

027.13 7087D

90.88
579

БИБЛИОТЕКА
КОМАНДИРА

С. С. БАКАСТОВ
П. П. МАРКЕЛЛОВ

АВИАЦИОННОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ВОЕНИЗДАТ НКО СССР • 1941

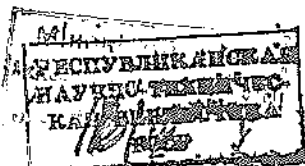
620-22 : 629.7

ДЕП

519

Военинженер 1 ранга С. С. БАКАСТОВ
Военинженер 2 ранга П. П. МАРКЕЛЛОВ

5-19

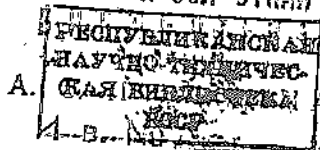


6 APR 1951

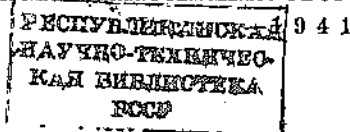
АВИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Второе исправленное издание

КНИЖНАЯ ОБЛАСТНАЯ



Военное издательство
НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР

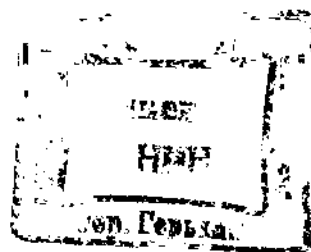


Военный инженер 1 ранга С. С. Бакастов
Военный инженер 2 ранга И. И. Маркелов
„АВИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ“

Второе исправленное издание

В книге систематизированы материалы, необходимые для изучения авиационного материаловедения.

Книга предназначена для авиационных техников ВВС Красной Армии.



Редактор военный инженер 2 ранга *Цыгулев А. А.*
Г297. Подписано к печати 5.3.41. Объем 18,5 п. л., 16,21 уч.-изд. л.
38.850 экз. в 1 п. л.

Отпечатано в 1-й типографии Военного изд-ва НКВД имени С. К. Тимошенко
Москва, ул. Спасская-Стенная, д. 3. Заказ № 772

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

§ 1. Общие свойства металлов

Стремление увеличить полезную нагрузку самолета за счет уменьшения веса конструкции самолета и мотора обуславливает необходимость применения прочных и легких материалов.

Возможность использования в авиастроении того или иного металла или сплава определяется его физическими, химическими, механическими и технологическими свойствами.

К физическим свойствам металлов относятся: удельный вес, температура плавления, коэффициент теплового расширения, тепло- и электропроводность, способность к намагничиванию и др.

Химические свойства металла характеризуют его стойкость против коррозии под действием воздуха, воды и водных растворов кислот, щелочей и солей.

К механическим свойствам металлов относятся: крепость (включая понятия о пределах упругости, пропорциональности, текучести и временном сопротивлении), пластичность, или тягучесть, твердость, сопротивляемость ударным нагрузкам (ударная вязкость) и стойкость против усталости под действием переменных нагрузок.

Технологические свойства металла обуславливают его способность подвергаться той или иной обработке в холодном или горячем состоянии. Сюда относятся:

а) ковкость, т. е. способность металла изменять свою форму под действием ударов молота;

б) пластичность — способность металла деформироваться под действием давления в процессе прокатки, прессовки, протяжки и волочения;

в) свариваемость, т. е. способность металлических частей, нагретых до температуры плавления, соединяться в одно целое;

г) литейные качества, выражающиеся в способности расплавленного металла хорошо заполнять формы и давать плотные отливки без раковин, пузырей и трещин при минимальной усадке;

д) термические качества, т. е. способность металлов и их сплавов изменять механические и физические свойства под влиянием термической (тепловой) обработки.

Только в самых редких случаях встречаются металлы или сплавы, которые совмещают в себе одновременно различные хорошие технологические свойства. Обычно же бывает так, что, например, металлы, обладающие хорошей ковкостью и пластичностью, дают плохие отливки. Наоборот, металлы или сплавы, имеющие хорошие литейные качества, в большинстве случаев не поддаются обработке давлением. Хорошей свариваемостью обладают лишь очень немногие металлы, к числу которых относятся в первую очередь железо и сталь с небольшим содержанием углерода.

Наиболее широкое применение в самолето- и моторостроении имеют следующие металлы и сплавы:

а) простые углеродистые стали;

б) специальные, или легированные, стали с добавкой хрома, никеля, вольфрама, молибдена и других элементов;

в) медь и ее сплавы (латуни и бронзы);

г) алюминий и его сплавы (дуралюмин, силумин и многие другие);

д) сплавы на основе магния, называемые электродами;

е) сплавы олова, меди и сурьмы (баббиты).

Что касается чугунов, то они применяются только для изготовления поршневых колец авиамоторов.

§ 2. Строение металлов

Чистые металлы и их сплавы в твердом виде представляют собой кристаллические тела, состоящие из зерен (кристаллитов), тесно прилегающих друг к другу (фиг. 1).

Кристаллическое строение металлов и сплавов ясно наблюдается на поверхности их изломов. О кристаллическом строении металлов можно также судить по наличию дендритных (древовидных) кристаллов правильных очертаний, образующихся в усадочных раковинах боль-

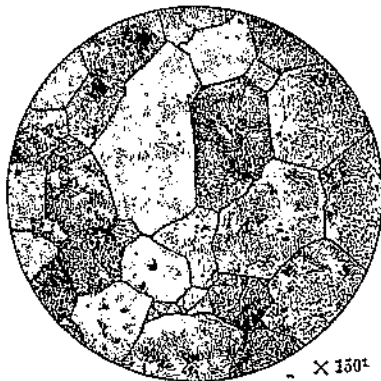
ных слитков при медленном их охлаждении. Признаки дендритного строения иногда можно видеть и на поверхности застывших слитков.

О особенной наглядностью зернистое строение металлов и сплавов обнаруживается при рассмотрении под микроскопом так называемых микрошлифов. Последние представляют собой образцы металлов, приготовленные для исследования под микроскопом. Микрошлиф имеет относительно ровную поверхность, протравленную соответствующим травителем. Под микроскопом на поверхности шлифа обнаруживаются фигуры различной формы и величины (см. фиг. 1). Эти фигуры представляют собой зерна, а линии, ограничивающие их, являются следом пересечения граней зерен с плоскостью шлифа.

Структура металлов и сплавов, видимая невооруженным глазом или через лупу с увеличением не свыше 10 раз, называется макроструктурой. Структура же, которая обнаруживается только под металломикроскопом (с отраженным светом), называется микроструктурой. Современные металломикроскопы позволяют получать увеличения в пределах от 100 до 7 000 раз и выше.

Образование зерен происходит в процессе перехода металла из жидкого состояния в твердое. Этот процесс протекает следующим образом.

В жидкой массе металла или сплава, охлажденного до температуры затвердевания, возникают так называемые центры кристаллизации, представляющие собой первые зародыши кристаллов. Число зародышей, образующихся в единицу времени, принято называть числом центров кристаллизации. Около каждого такого центра группируются атомы металла, располагаясь в строго определенном порядке, наподобие кирпичей в каменной кладке.



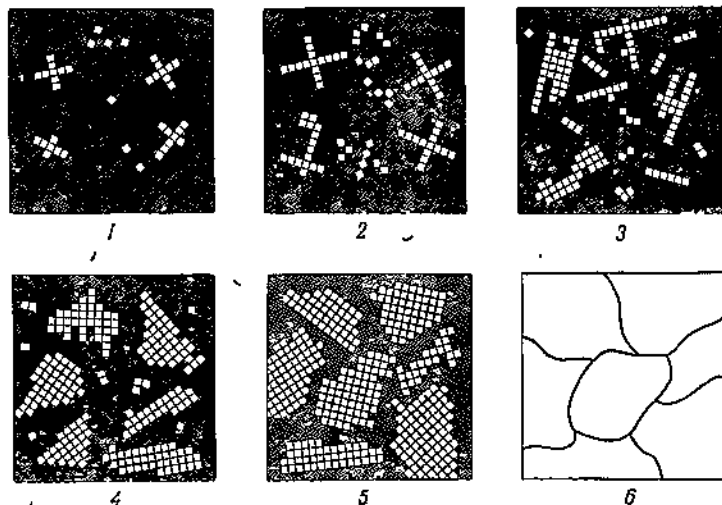
Фиг. 1. Зернистая структура металла

¹ Знак «X150» показывает, что шлиф сфотографирован через микроскоп при 150-кратном увеличении.

Таким образом, каждый зародыш постепенно обрастает твердым металлом и увеличивается в размерах.

Рост кристаллов совершается с определенной скоростью, называемой «скоростью кристаллизации». Процесс кристаллизации кончается тогда, когда отдельные кристаллы, растущие в разных направлениях навстречу друг другу, заполняют все промежутки и достигнут взаимного тесного соприкосновения.

Вследствие того что кристаллы к концу своего роста оказываются окруженными соседними плотно прилегаю-



Фиг. 2. Схема процесса образования зерен:
1 — образование центров кристаллизации; 2, 3, 4 — рост кристаллов; 5 — температура мешает кристаллам принять правильную форму; 6 — зерна

щими кристаллами, они приобретают неправильную внешнюю форму, несмотря на правильность своего внутреннего строения (правильность расположения атомов). Такие неправильной формы кристаллы получили наименование зерен или кристаллитов.

Картина постепенного роста зерен при затвердевании жидкого металла представлена на фиг. 2.

Величина зерен, образующихся при затвердевании расплавленного металла или сплава, зависит от многих факторов и прежде всего от скорости охлаждения. При очень быстром охлаждении зерна получаются более мелкими. В случае медленного охлаждения зерна достигают более крупных размеров.

Как общее правило следует указать, что чем мельче зерна, тем выше механические качества металлов и сплавов. Крупнозернистая структура, наоборот, свидетельствует о малой крепости и вязкости металла. Такая структура часто встречается в литых изделиях.

Для получения мелкозернистой структуры в литейной практике применяют различные способы, позволяющие увеличить скорость охлаждения жидкого металла: отливка производится в металлические формы (изложницы), изготавливаются специальные приспособления для отвода тепла от изложниц и т. д.

Мелкозернистую структуру и высокие механические свойства металлические изделия получают в результате холодной или горячей механической обработки —ковки, штамповки, прокатки и пр. Кроме этого, у некоторых сплавов, как например у сталей, мелкозернистую структуру можно получить не только механической, но и термической (тепловой) обработкой.

В отличие от металлов такие материалы, как стекло, различные смолы и т. д., имеют не кристаллическое, а аморфное строение. Аморфные тела представляют собой загустевшие жидкости с беспорядочным (хаотическим) расположением атомов.

§ 3. Механические испытания металлов

Механические свойства металлов определяются путем испытания специальных образцов на различных испытательных машинах. Наиболее распространены в заводской практике следующие испытания:

- а) на растяжение с определением временного сопротивления, предела пропорциональности, предела текучести, относительного удлинения и сужения площади сечения образца;
- б) на твердость;
- в) на удар;
- г) на усталость под действием переменных нагрузок.

1. Испытание на растяжение

Испытания на растяжение производятся на специальных разрывных машинах. Образцы для испытания применяются цилиндрические и плоские, нормальные и укороченные. Для получения сравнимых результатов испытаний форма и размеры образцов стандартизованы. Для

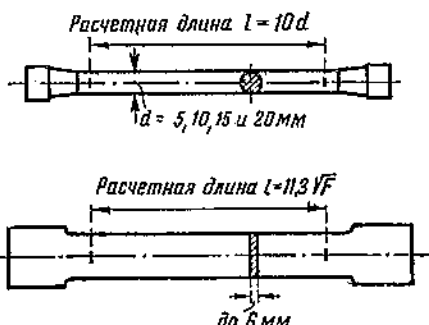
закрепления образцов в зажимах разрывной машины они имеют на концах специальные головки. Общий вид этих образцов приведен на фиг. 3.

Для определения удлинения на образце намечают две точки, расстояние между которыми называется расчетной длиной. Для образцов цилиндрической формы расчетная длина принимается равной 10 диаметрам образца, для плоских образцов она вычисляется по формуле

$$l = 11,3\sqrt{F},$$

где F — площадь сечения образца.

Постепенно увеличивая растягивающую нагрузку, образец доводят до разрыва. При этом определяют временное сопротивление σ_b , кг/мм², характеризующее крепость испытуемого металла, и относительное удлинение δ % образца, которое служит показателем тягучести металла. Одновременно определяется и относительное сужение ψ %, наблюдаемое при разрыве образца.



Фиг. 3. Нормальные образцы для испытания на растяжение

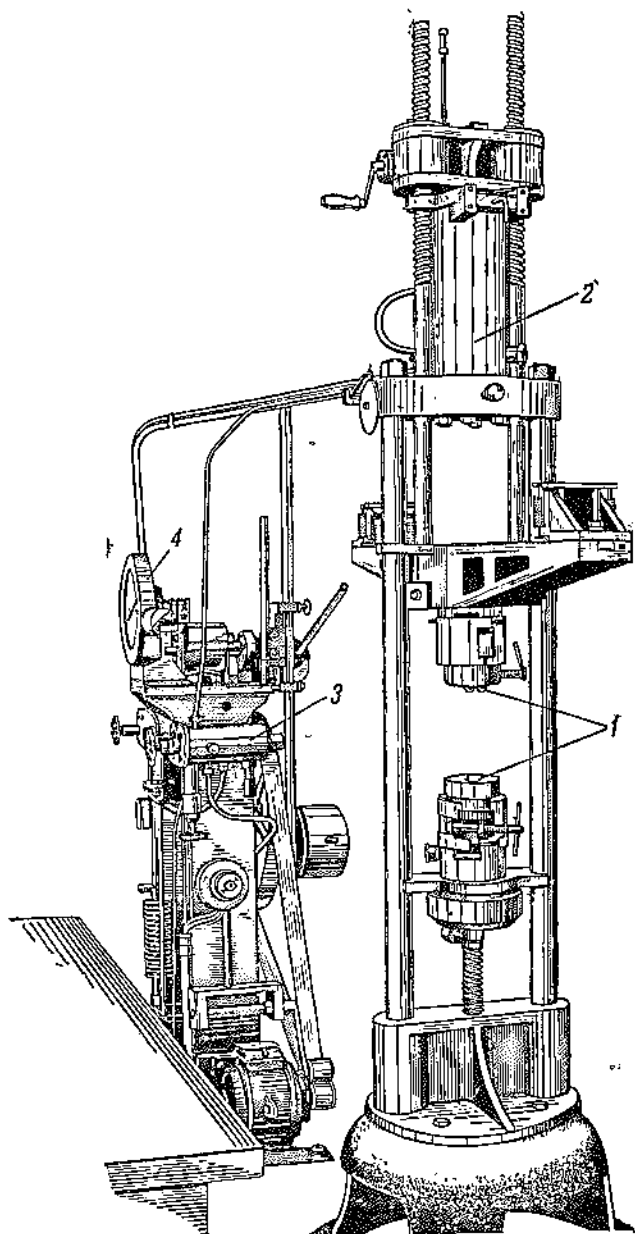
Временным сопротивлением или коэффициентом крепости σ_b кг/мм² называется отношение наибольшей нагрузки P_b кг, отмеченной за время испытания образца на разрыв, к первоначальной площади F мм² поперечного сечения образца:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F} \text{ кг/мм}^2.$$

Относительное удлинение δ % представляет собой процентное отношение приращения расчетной длины образца (Δl) после разрыва к первоначальной расчетной длине (l):

$$\delta = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 \text{ (в процентах).}$$

Относительное сужение ψ представляет собой уменьшение площади поперечного сечения образца в месте



Фиг. 4. Разрывная машина Амслера на 10 т:

1 — зажимы для образца; 2 — цилиндр с поршнем, движущимся под действием нагнетаемого по трубкам масла; 3 — масляный компрессор; 4 — динамометр, измеряющий разрывное усилие

разрыва, выраженное в процентах от первоначального сечения:

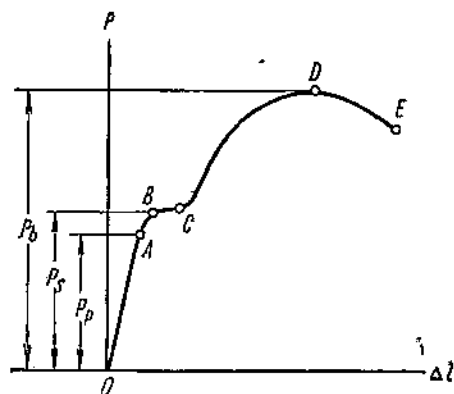
$$\psi = \frac{F - F_1}{F} \cdot 100 \text{ (в процентах),}$$

где F — первоначальная площадь сечения,

F_1 — площадь сечения в месте разрыва.

Относительное сужение тем больше, чем пластичнее металл.

Разрывные машины (фиг. 4) обычно снабжаются специальными приборами, которые автоматически вычерчивают кривые линии, на-



Фиг. 5. Диаграмма растяжения:

ОА — удлинение образца пропорционально нагрузке; АВ — пропорциональность между нагрузкой и деформацией нарушилась; ВС — металл "течет"; точка D — максимальная нагрузка на образец, называется "шейка"; точка E — разрушение образца

зываются диаграммами растяжения (фиг. 5). Эти диаграммы показывают зависимость между удлинением образца Δl и растягивающей нагрузкой P при постепенном ее возрастании.

По горизонтальной оси диаграммы растяжения откладываются приращения Δl длины образца, а по вертикальной оси — растягивающие нагрузки P .

Вначале диаграмма имеет вид прямой линии ОА. Эта прямая указывает на то, что

в начальный период растяжения удлинение образца возрастает пропорционально нагрузке, следуя закону Гука.

При нагрузке P_p , соответствующей точке А, впервые нарушается пропорциональность между удлинением и нагрузкой, вследствие чего диаграмма за точкой А искривляется. Отношение нагрузки P_p к площади F сечения образца называется пределом пропорциональности σ_p :

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F} \text{ кг/мм}^2.$$

При нагрузке P_s , соответствующей точке B , у образцов из мягких металлов наблюдается значительное увеличение длины без увеличения нагрузки. Это явление называется текучестью металла. На диаграмме растяжения оно выражается в появлении горизонтального участка BC . Отношение нагрузки P_s к площади F сечения образца называется пределом текучести σ_s или практическим пределом упругости:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F} \text{ кг/мм}^2.$$

В том случае, когда явление текучести (остановки или падения нагрузки) на диаграмме выражается неясно, вводится понятие об условном пределе текучести, при котором впервые появляется остаточное удлинение в 0,2%.

Точка D диаграммы соответствует наибольшей нагрузке P_b , наблюдаемой за время испытания. Отнеся эту нагрузку к единице площади поперечного сечения образца, мы получаем временное сопротивление или коэффициент крепости σ_b испытываемого металла. Формула для определения σ_b приведена выше.

За точкой D на образце появляется местное сужение («шейка»), после чего удлинение растет при падении нагрузки вплоть до разрыва образца (точка E).

Числовые результаты испытаний на растяжение некоторых важнейших металлов и сплавов, применяемых в авиастроении, приведены в табл. 1.

Таблица 1

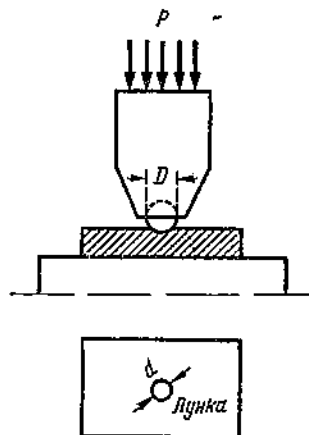
М а т е р и а л	Временное сопротивле- ние σ_b кг/мм ²	Относитель- ное удлине- ние δ %
Углеродистая сталь марки М	40—50	20
Хромоникельвольфрамовая сталь ХНВ для коленчатых валов и шатунов	110	12
Красная медь листовая	20—23	38
Алюминий литой	10—12	3
Дуралюмин после закалки и старения . .	38—42	15—23
Электрон прокатанный	26—28	8—12

Временное сопротивление и относительное удлинение металлов и сплавов изменяются в зависимости от темпе-

ратуры. Повышение температуры влечет за собой снижение крепости и увеличение пластичности. Вместе с тем низкие температуры вызывают упрочнение большинства металлов и сплавов.

2. Испытание на твердость

В настоящее время существует большое количество различных методов измерения твердости металлов. Наиболее



Фиг. 6. Схема испытания на твердость по Бринеллю

распространены: метод Бринелля, основанный на вдавливании в поверхность испытуемого металла стального закаленного шарика из весьма твердой хромистой стали, и метод Роквелла, основанный на вдавливании стального шарика или алмазного конуса с углом у вершины 120° . Весьма широко применяется также испытание на твердость по Виккерсу. Это испытание основано на вдавливании в поверхность металла алмазной пирамиды с углом у вершины 136° .

По методу Бринелля стальной шарик определенного диаметра D вдавливается под нагрузкой P в отшлифованную поверхность испытуемого металла (фиг. 6). Сферическое углубление (лунка), образующееся при этом на поверхности металла, будет тем меньше, чем тверже металл. Вдавливание производится с помощью специального пресса (фиг. 7).

Числом твердости по Бринеллю H_B считается отношение нагрузки P (кг) на шарик к поверхности лунки F_0 (мм²):

$$H_B = \frac{P}{F_0} \text{ кг/мм}^2.$$

При испытании твердых металлов (например стали) обычно применяется шарик диаметром $D = 10$ мм и нагрузка $P = 3\,000$ кг. Для более мягких металлов (меди, алюминия и их сплавов) нагрузка берется в 1 000, 750, 500 или 250 кг, а диаметр шарика — в 5 и 2,5 мм.

Для вычисления поверхности лунки F_0 достаточно измерить ее диаметр d . Это измерение производится с помощью специальной лупы или специального микроскопа. Поверхность лунки подсчитывается по формуле

$$F_0 = \frac{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \text{ мм}^2.$$

Число же твердости по Бринеллю определяется по формуле

$$H_B = \frac{P}{F_0} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где P — нагрузка на шарик,

D — диаметр шарика,

d — диаметр отпечатка.

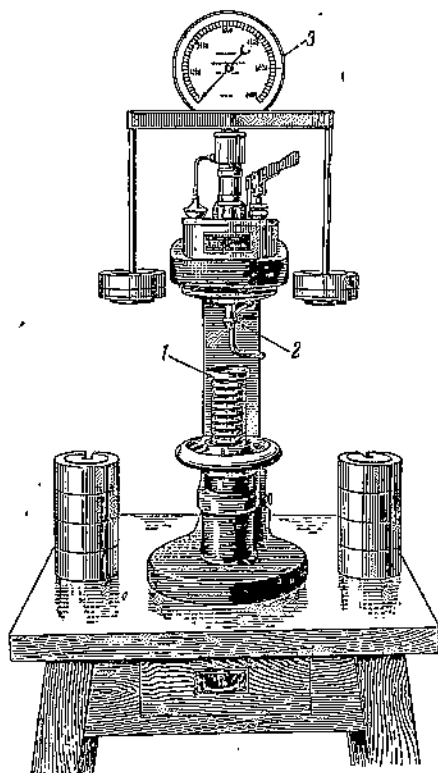
Для ускорения определения твердости по Бринеллю обычно пользуются готовыми таблицами, в которых даны числа твердости H_B для различных значений диаметра лунки d .

В табл. 2 даны числа твердости по Бринеллю при $D = 10 \text{ мм}$ и $P = 3000 \text{ кг}$.

Опытами установлено, что между числом твердости по Бринеллю H_B и временным сопротивлением σ_b существует некоторая зависимость. Для углеродистой стали эта зависимость выражается соотношением

$\sigma_b = 0,36 H_B \text{ кг/мм}^2$,
для хромоникелевой стали

$\sigma_b = 0,34 H_B \text{ кг/мм}^2$.



Фиг. 7. Пресс Бринелля:

1 — предметный столик; 2 — наконечник с шариком; 3 — динамометр

Указанная зависимость позволяет определять с достаточной для практики точностью временное сопротивление стали, зная ее твердость по Бринеллю. Определенные твердости по Бринеллю ценно в том отношении, что этому испытанию во многих случаях могут подвергаться без повреждения готовые изделия.

Таблица 2

d мм	H_B	d мм	H_B	d мм	H_B	d мм	H_B
1,50	1660	2,90	444	4,30	196	5,70	107
55	1682	95	430	35	192	75	105
60	1487	3,00	413	40	187	80	103
65	1373	05	402	45	183	85	101
70	1310	10	387	50	170	90	99
75	1236	15	375	55	174	95	97
80	1164	20	364	60	170	6,00	95,4
85	1103	25	351	65	166	05	94
90	1043	30	340	70	163	10	92
95	995	35	332	75	159	15	90
2,00	946	40	321	80	156	20	88,6
05	898	45	311	85	153	25	87
10	857	50	302	90	149	30	86
15	817	55	293	95	146	35	84
20	782	60	286	5,00	143	40	82,4
25	744	65	277	05	140	45	81
30	713	70	269	10	137	50	80
35	683	75	262	15	134	55	79
40	652	80	255	20	131	60	76,7
45	627	85	248	25	128	65	76
50	600	90	241	30	126	70	74
55	578	95	235	35	124	75	73
60	555	4,00	229	40	121	80	71,5
65	532	05	223	45	118	85	70
70	512	10	217	50	116	90	69
75	495	15	212	55	114	95	68
80	477	20	207	60	112	7,00	66,8
85	460	25	202	65	109		

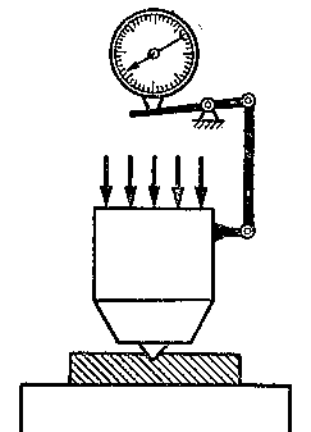
Наибольшая твердость, которую можно измерить способом Бринелли, выражается числом порядка 600—700 единиц (твердость закаленной стали). При испытании более твердых образцов метод Бринелли не дает достаточно точных показаний, так как шарик деформируется при вдавливании. В этих случаях определение твердости производится по методу Роквелла или Виккерса с применением алмаза вместо стального шарика.

Испытание на твердость по Роквеллу состоит в том, что в поверхность испытуемого металла вдавливают стальной шарик диаметром 1,59 мм под нагрузкой 100 кг или алмазный конус под нагрузкой 150 кг. Шарик применяется для более мягких, а конус — для более твердых металлов (фиг. 8).

Твердость по Роквеллу характеризуется глубиной погружения шарика или конуса в испытуемый металл. Число твердости представляет собой величину, обратную глубине погружения. Испытания на твердость по Роквеллу производятся при помощи специального пресса, называемого дюрометром (фиг. 9). Циферблат индикатора, стрелка которого отмечает глубину погружения, имеет две шкалы (одну для шарика, другую для конуса) с делениями, указывающими непосредственно число единиц твердости по Роквеллу. Шкала «В» для работы с шариком имеет деления красного цвета, шкала «С» для конуса — черного цвета.

Характерной особенностью метода Роквелла является то, что нагружение шарика или конуса производится в два приема. Сначала шарик или конус вдавливается грузом в 10 кг. Затем, не снимая этого груза, прикладывают основную нагрузку, которая берется для шарика в 90 кг, а для конуса — 140 кг. После некоторой выдержки снимают основную нагрузку, оставляя груз в 10 кг, и определяют по показанию стрелки индикатора твердость испытуемого металла.

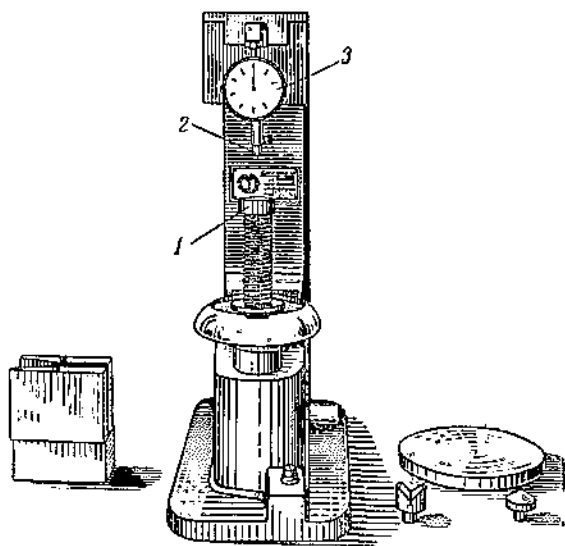
Твердость по Виккерсу характеризуется величиной отпечатка, образующегося от вдавливания алмазной пирамиды



Фиг. 8. Схема испытания на твердость по Роквеллу

под нагрузкой 30 и 50 кг. Величина отпечатка измеряется под микроскопом. По найденному размеру отпечатка определяют по специальным таблицам число твердости, выражаемое в единицах Бринелля.

Методы определения твердости по Роквеллу и Виккерсу весьма точны и позволяют производить испытания очень



Фиг. 9. Пресс для испытания на твердость по Роквеллу (дюрометр):

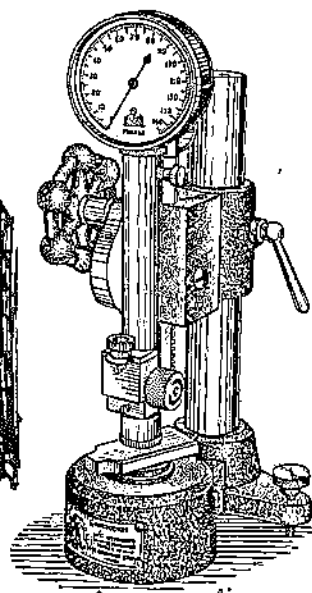
1 — предметный стол; 2 — накопчик с шариком или конусом; 3 — индикатор

твердых материалов. В этом заключается большое преимущество этих методов по сравнению с методом Бринелля.

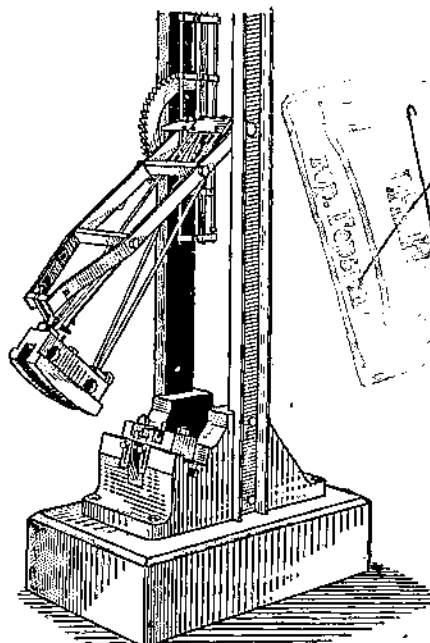
Довольно широкое применение получил способ определения твердости металлов при помощи склероскопа Шора (фиг. 10). Твердость по Шору определяется по высоте отскакивания от поверхности испытуемого металла алмазного или стального бойка, падающего с определенной высоты.

Метод Шора не дает точных показаний; так как высота отскакивания бойка зависит не только от твердости испытуемого металла, но и от многих других обстоятельств: от толщины металла, от степени шероховатости его по-

верхности и т. д. Однако этот метод, вследствие его простоты, часто применяется в заводской практике, преимущественно для быстрого контроля результатов термической обработки стальных изделий (закалки и отпуска).



Фиг. 10. Склероскоп Шора



Фиг. 11. Маятниковый копер

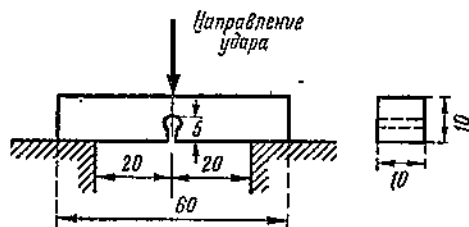
3. Испытание на удар

Способность металлов и сплавов сопротивляться ударным (динамическим) нагрузкам называется ударной вязкостью. Металлы, оказывающие незначительное сопротивление ударам, принято называть хрупкими. Вязкость металлов определяется испытаниями на удар.

Части самолета и мотора подвергаются иногда значительным ударным нагрузкам, поэтому ударные испытания металлов имеют весьма большое значение в авиастроении.

Испытание на удар производится при помощи специального маятникового копра Шарпи (рис. 12).

том, что тяжелый маятник, падая с определенной высоты, ломает образец стандартной формы, изготовленный из испытуемого металла (фиг. 12). Образец имеет надрез по середине (по месту удара маятника).



Фиг. 12. Нормальный образец для испытания на удар

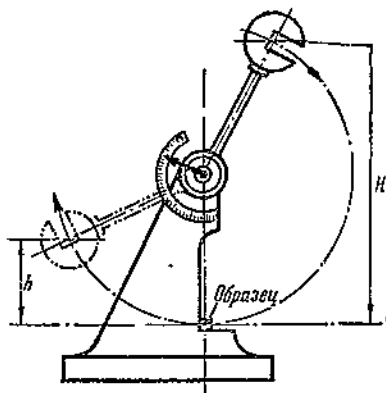
Маятник весом G кг, поднятый перед ударом на высоту H м, обладает запасом потенциальной энергии в GH кгм. Если эта энергия достаточно велика, то отпущенный маятник, сломав образец, поднимается после удара на некоторую высоту h м. Произведение Gh кгм равно, очевидно, избыточной энергии маятника, не использованной на излом. Отсюда следует, что работа, затраченная на излом образца, определяется как разность между запасом энергии GH поднятого перед ударом маятника и его неиспользованной энергии Gh :

$$GH - Gh = G(H - h) = A_0 \text{ кгм.}$$

Эта работа, отнесенная к 1 см^2 площади F сечения образца в месте удара, служит мерой вязкости испытуемого металла и называется удельной вязкостью или резильянсом ($a_k \text{ кгм/см}^2$):

$$a_k = \frac{A_0}{F} = \frac{G(H - h)}{F} \text{ кгм/см}^2.$$

Определение работы, затраченной на излом образца, производится при помощи таблицы, в которой величина



Фиг. 13. Схема маятникового копра

работы дана в зависимости от угла вылета маятника после удара. Этот угол отмечается стрелкой, укрепленной на оси маятника.

Для крепких и вязких металлов удельная вязкость достигает величины порядка 20 кж/см^2 ; у хрупких металлов удельная вязкость приближается к нулю.

4. Испытание на усталость

В технике приходится часто сталкиваться с явлением внезапного разрушения частей машин и сооружений, находящихся под действием переменных нагрузок.

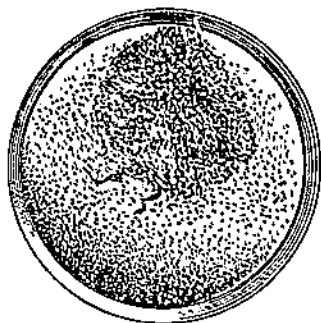
Переменными нагрузками называются такие, которые изменяются в пределах от нуля до некоторого максимума и снова уменьшаются до нуля, причем эти перемены повторяются большое число раз. К переменным нагрузкам относятся также и те нагрузки, которые меняются периодически не только по величине, но и по направлению. Такие знакопеременные нагрузки являются наиболее опасными для прочности металлов. К числу их относятся: чередующиеся растяжения и сжатия, изгибы то в одну, то в другую сторону и т. п.

Весьма характерно, что сопротивление металлов действию нагрузок, периодически изменяющих свою величину или величину и знак, значительно меньше сопротивления тех же металлов действию постоянных (статических) нагрузок. Явление разрушения металлов под действием переменных многократно приложенных нагрузок принято называть усталостью.

Многочисленные исследования показали, что первоначальной разрушения от усталости следует считать появление микроскопических трещинок в зернах металла, расположенных наиболее невыгодно по отношению к действию нагрузки. Эти трещинки под влиянием переменной нагрузки постепенно расширяются, доходят до границы между зернами, а затем следуют по этой границе.

Поверхность излома от усталости имеет характерные особенности (фиг. 14) и состоит обычно из двух зон: а) блестящей поверхности со следами мельчайшей металлической пыли в том месте, где появилась трещина и ее стенки постепенно притирались от повторных нажатий друг на друга, и б) обычной зернистой поверхности, по которой металл, ослабленный трещиной, разрушился сразу.

Части самолетов и моторов в условиях эксплуатации обычно подвергаются повторным переменным нагрузкам, поэтому металлы, применяемые в авиационной, должны обладать высокой сопротивляемостью усталости. Особенно опасными в отношении быстрого нарастания усталости являются вибрационные нагрузки большой частоты, которые могут возникать в крыльях, оперении и других деталях самолета. Для деталей авиамотора большую опасность представляют вынужденные крутильные колебания коленчатого вала, возникающие при определенных режимах работы мотора.



Фиг. 14. Пылом от усталости

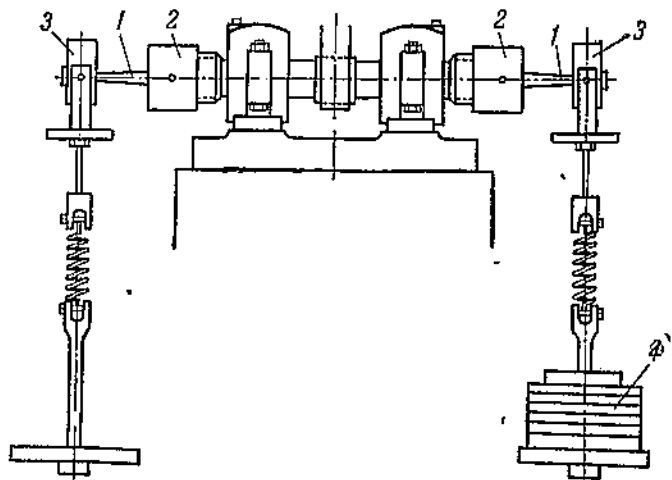
Чистота обработки поверхности металлических деталей оказывает большое влияние на устойчивость металла против усталости. Наличие на поверхности царапин и задиров, оставшихся после грубой обработки резцом, значительно понижает выносливость металла, создавая благоприятные условия для развития трещины усталости. Поэтому детали авиамоторов тщательно шлифуются и полируются с целью повышения сопротивления усталости.

Опыты показывают, что постепенно развивающаяся трещина усталости возникает только при переменных напряжениях, превышающих определенную границу, называемую пределом усталости или пределом выносливости. Если же напряжение, вызываемое переменной нагрузкой, не превосходит предела выносливости, то металл противостоит этой нагрузке бесконечно долго.

Таким образом, пределом усталости принято называть наибольшую величину периодически меняющегося напряжения, при которой число нагружений может быть повторено неограниченное количество раз без разрушения металла.

Для определения предела выносливости того или иного металла или сплава производят ряд испытаний при различных переменных нагрузках, снижая их до тех пор, пока не будет установлена такая нагрузка, которая не вызывает разрушения даже при очень большом заранее назначенном числе повторных нагружений. Для железа и стали за число нагружений обычно принимают 10 млн.,

а для цветных металлов — 20 млн. Опытом установлено, что стальной образец, выдержавший без разрушения 10 млн. нагружений, может выдержать практически неограниченное число повторных нагружений. Если предел выносливости установлен при указанном количестве нагружений, то говорят, что испытание проведено на «базисе 10 миллионов циклов».



Фиг. 15. Схема машины для испытания на усталость:
1 — испытываемый образец; 2 — патрон для закрепления образца;
3 — шариковый подшипник; 4 — нагрузка

Как показал опыт, предел выносливости для стали составляет от 0,35 до 0,5 временного сопротивления σ_b , определяемого при испытании на растяжение.

В настоящее время имеется большое количество машин различных систем для испытания металлов на усталость и определения предела выносливости. Чаще всего применяются машины, в которых быстро вращающийся цилиндрический образец подвергается переменному по направлению изгибу. Схема такой машины представлена на фиг. 15.

Как видно из рисунка, два испытываемых образца 1 круглого сечения зажимаются в патроны 2. На концы образцов насаживаются шарикоподшипники 3, к которым подвешиваются грузы 4. Образцы приводятся во вращение со скоростью 2 000—8 000 об/мин. Очевидно, что при каждом повороте на 180° образец испытывает изгиб то в одну, то

в другую сторону. Таким образом, материал образца подвергается действию знакопеременной изгибающей нагрузки. Число оборотов образца отмечается особым счетчиком.

ЛИТЕРАТУРА

Кашенко Г. А., проф., Учебное пособие по металлографии (Курс для мастеров социалистического труда).

Давиденков Н. Н., Механические свойства и испытание металлов.

Ваврицкий, проф., Руководство по испытанию материалов, части I, II и III, 1926.

Бочвар А. А., проф., Металловедение, 1935.

Шапошников, Основы механических испытаний металлов, 1936.



ГЛАВА ВТОРАЯ

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

§ 4. Классификация и свойства железоуглеродистых сплавов

Из всех сплавов наибольшее применение в технике имеют сплавы железа с углеродом. Эти сплавы в зависимости от содержания в них углерода подразделяются на две основные группы — стали и чугуны.

Железо находится в природе в виде руд, представляющих собой химические соединения железа с кислородом (например Fe_2O_3 , Fe_3O_4), смешанные с различными горными породами. Последние объединяются под общим названием «пустой породы».

Железо получается из руды путем плавки руды в доменных печах. При этом восстанавливается чистое железо, а пустая порода отходит в виде шлаков.

В процессе доменной плавки железо взаимодействует с углеродом топлива (кокса) и образует с ним сплав, называемый чугуном. Таким образом, конечным продуктом доменной плавки является чугун, представляющий собой железоуглеродистый сплав с содержанием углерода от 3,5 до 4,5%.

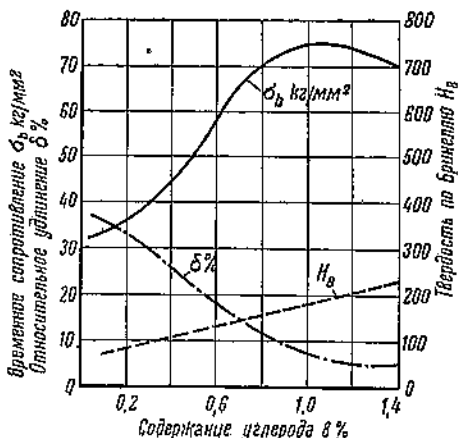
Другая группа сплавов железа с углеродом, содержащих до 1,7% углерода, называется сталями. Сталь вырабатывается из чугуна путем переплавки его в специальных печах (бессемеровских, томасовских, мартеновских и электрических). При этом часть углерода выгорает и общее содержание его в сплаве уменьшается.

Получение абсолютно чистого железа, не содержащего в себе углерода, представляет большие трудности. Минимальное содержание углерода в стали может быть доведено до 0,006% (железо «Армко»), в чугуне — до 1,7%.

Заметим, что чугуны с содержанием углерода меньше 2,5% в практике встречаются редко вследствие плохих литейных качеств.

В сталях и чугунах, помимо углерода, имеются неизбежные примеси кремния, марганца, фосфора и серы, которые содержатся в топливе и в руде и полностью не удаляются в процессе выплавки. Чугуна из руды и при переплавке чугуна в сталь.

При содержании в стали кремния до 0,4%, марганца до 0,8% и при отсутствии других специальных элементов



Фиг. 16. Изменение механических свойств стали в зависимости от содержания углерода

сталь называется углеродистой. Если же содержание этих примесей выше указанного количества или введены добавки специальных элементов — хрома, никеля, молибдена, вольфрама, ванадия и др. для придания стали особых свойств, то такие стали называются специальными или легированными.

Углерод в стали находится не в свободном состоянии, а образует с железом химическое соединение Fe_3C , называемое цементитом или карбидом железа. Цементит по сравнению с чистым железом обладает высокой твердостью и хрупкостью. Поэтому чем больше содержание углерода в стали, тем выше ее твердость и хрупкость.

Изменения механических свойств стали в зависимости от содержания углерода показаны на диаграмме (фиг. 16). Из диаграммы видно, что с увеличением содержания углерода в стали временное сопротивление разрыву и твердость возрастают, а относительное удлинение падает. Наибольшее временное сопротивление имеет сталь с содержанием 1,0—1,1% углерода.

Стали в зависимости от назначения подразделяются на конструкционные, или поделочные, и на инструментальные. Конструкционные стали применяются для изготов-

ления деталей машин и двигателей. К ним предъявляются повышенные требования в отношении вязкости. Как следует из диаграммы (фиг. 16), содержание углерода в этих сталях не должно превышать 0,6%. Стали с более высоким содержанием углерода и, следовательно, более твердые и хрупкие относятся к инструментальным сталям, применяемым для изготовления различного инструмента.

Неизбежные примеси в допустимых количествах (Mn до 0,8%, Si до 0,4%, P и S не более 0,05% каждого) не оказывают заметного влияния на свойства стали. При большом содержании примесей они влияют на свойства стали следующим образом:

а) Марганец повышает твердость и крепость стали, но понижает ее вязкие свойства. Марганец сильно способствует росту зерен при нагреве стали. В производстве стали он применяется как раскислитель, так как хорошо соединяется с кислородом и серой и уводит их из металла в шлак.

б) Кремний повышает упругие свойства стали. Он так же, как и марганец, применяется в качестве раскислителя при производстве стали. При раскислении кремний успокаивает кипящую сталь. Вследствие сильной окисляемости кремния присутствие его в стали в количестве выше допустимого затрудняет ее сварку.

На способность стали к свариванию углерод действует так же, как и кремний, но в более сильной степени. Хорошей свариваемостью обладают малоуглеродистые стали, содержащие примерно до 0,4% углерода.

в) Сера и фосфор являются вредными примесями, вследствие чего при выплавке стали стремятся уменьшить содержание их в стали. Сера придает стали красноломкость, т. е. хрупкость при красном калении. В соединении с железом она образует сернистое железо FeS , имеющее температуру плавления порядка 950° . При затвердевании жидкой стали сернистое железо обычно выделяется по границам зерен. При нагреве стали до красного каления сернистое железо расплавляется, вследствие чего нарушается сцепление между зернами и сталь делается хрупкой.

Фосфор придает стали хладноломкость, т. е. хрупкость при пониженных температурах. Это объясняется способностью фосфора давать с железом твердое и хрупкое соединение.

Фосфор, подобно марганцу, способствует росту зерен стали при нагреве.

Стальные изделия изготавливаются путем прокатки, протяжки,ковки,штамповки и в более редких случаях путем отливки. В литом состоянии сталь имеет низкие механические свойства вследствие крупнозернистой структуры, образующейся в процессе затвердевания из расплавленного состояния.

Чугуны подразделяются на белые и серые, в зависимости от того, в каком состоянии находится в них углерод. В белом чугуне, как и в стали, углерод находится в химическом соединении с железом в виде цементита, или карбида железа Fe_3C . Вследствие высокого содержания цементита белый чугун очень тверд и с трудом поддается обработке режущим инструментом. Он обычно идет для переработки на сталь и железо, а также для изготовления ковкого чугуна.

В сером чугуне большая часть углерода находится в свободном состоянии в виде мелких чешуек графита, равномерно распределенных по всей массе чугуна. Выделению углерода в виде графита способствует кремний, содержание которого в сером чугуне обычно допускается от 1 до 3%. Марганец, наоборот, удерживает углерод в химическом соединении с железом и способствует образованию белого чугуна.

Серый чугун обладает хорошими литейными свойствами. В расплавленном состоянии он жидкотекуч, поэтому хорошо заполняет формы. Серый чугун широко применяется как литейный сплав для изготовления разного рода отливок.

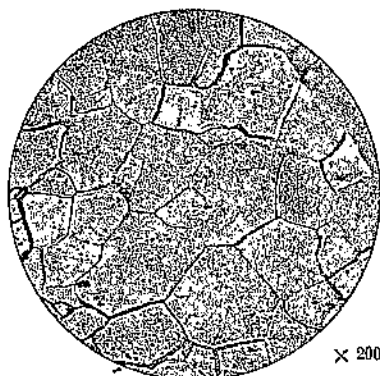
В авиастроении чугун, однако, имеет самое ограниченное применение. Единственные детали, которые изготавливаются из серого чугуна, — это поршневые кольца моторов.

§ 5. Структуры медленно охлажденных углеродистых сталей

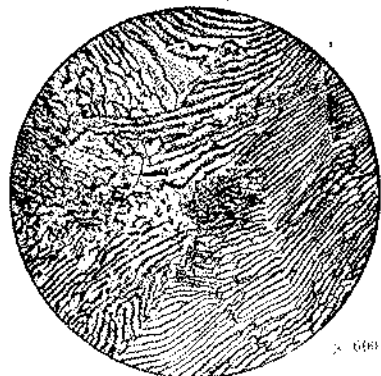
Выше было указано, что углерод в стали образует с железом химическое соединение Fe_3C , называемое цементитом или карбидом железа. В стали, наиболее богатой углеродом, содержащей 1,7% С, количество цементита достигает 25,5%, остальные же 74,5% приходятся на долю чистого железа и незначительного количества посторонних примесей. Чем меньше углерода содержит сталь, тем

меньше в ней цементита и тем больше чистого железа. Таким образом, сталь является сплавом, состоящим из чистого железа и цементита, причем чистого железа в этом сплаве значительно больше, чем цементита.

Чистое железо, находящееся в стали в виде самостоятельной составляющей, носит название феррита (фиг. 17)¹. Другой структурной составляющей стали является цементит. Эти две составляющие стали резко отличаются одна от другой своими свойствами: феррит



Фиг. 17. Структура феррита



Фиг. 18. Микроструктура эвтектоидной стали с 0,9% С (перлит)

мягок (твердость по Бринеллю 80—100) и обладает большим удлинением (порядка 40%), цементит очень тверд (твердость по Бринеллю 800) и чрезвычайно хрупок.

В медленно охлажденной (незакаленной) стали каждая из указанных составляющих находится в виде отдельных мелких скоплений, которые можно отчетливо видеть только под микроскопом при сравнительно большом увеличении (порядка 1 000).

При исследовании под микроскопом обнаруживается, что структура стали резко изменяется в зависимости от содержания углерода. Особенно характерную структуру имеет сталь, содержащая 0,9% углерода (фиг. 18). В этой стали, называемой эвтектоидной сталью, имеется

¹ Феррит, строго говоря, не является химически чистым железом, но весьма близок к нему. Он содержит в себе ничтожно малое количество углерода (несколько сотых долей процента), поэтому в дальнейшем мы будем отождествлять феррит с чистым железом.



× 600

Фиг. 19. Микроструктура доэвтектоидной стали с 0,18% С (феррит + перлит)



× 600

Фиг. 20. Микроструктура доэвтектоидной стали с 0,50% С (феррит + перлит)



× 600

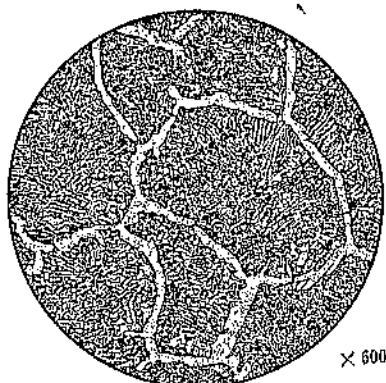
Фиг. 21. Микроструктура доэвтектоидной стали с 0,70% С (феррит + перлит)

13,5% цементита и 86,5% феррита (чистого железа). Ее структура состоит из смеси очень тонких параллельных пластинок цементита, расположенных попеременно с ферритом. Пластинки цементита в пределах одного зерна располагаются большей частью в одном направлении. Эта смесь мельчайших пластинок цементита, чередующихся с полосками феррита, называется перлитом. Название «перлит» дано потому, что при рассмотрении невооруженным глазом полированного и травленного шлифа перлит имеет оттенки цветов перламутра.

Стали с содержанием углерода меньше 0,9% называются доэвтектоидными сталями. Стали с содержанием углерода больше 0,9% называются заэвтектоидными сталями. Структуры тех и других сталей значительно отличаются от структуры эвтектоидной стали. Это различие обусловлено тем, что в доэвтектоидных сталях имеется избыток феррита, а в заэвтектоидных сталях — избыток цементита по сравнению с содержанием этих составляющих в эвтектоидной стали. При рассмотрении под микроскопом доэвтектоидных сталей наблюдается структура, состоящая из белых полей

(зерен или сетки) избыточного феррита и темных зерен перлита (фиг. 19). Чем больше сталь приближается по содержанию углерода к эвтектоидной стали, тем меньше в ней избыточного феррита и тем больше участки, занятые перлитом (фиг. 20 и 21). Наоборот, в малоуглеродистых сталях перлит присутствует лишь в небольших количествах и располагается по границам зерен феррита, составляющего основную массу такой стали (фиг. 19).

Заэвтектоидные стали, содержащие больше 0,9% углерода, имеют избыток цемента по сравнению с эвтектоидной сталью. Микроструктура этих сталей состоит из перлита и очень тонкой сетки избыточного цемента. Иногда цемент выделяется в виде мелких зерен или тонких нит, распределенных в перлите (фиг. 22). Повышенная твердость и хрупкость заэвтектоидных сталей объясняются присутствием избыточного цемента.



Фиг. 22. Микроструктура заэвтектоидной стали с 1,15% С (цементит + перлит)

§ 6. Превращения, происходящие в стали при нагреве

Очень важным свойством стали, от которого всецело зависит ее способность воспринимать закалку, является переход ее структурных составляющих (феррита и цемента) в твердый раствор при нагреве до определенной температуры.

Твердым раствором называется вполне однородное тело, состоящее из двух или нескольких компонентов, взятых в любых весовых количествах. В процессе образования твердого раствора атомы или молекулы одного вещества (растворимого) проникают в промежутки между атомами или молекулами другого вещества (растворителя) и равномерно распределяются между ними. При этом происходит настолько тесное смешение двух веществ, что образуется совершенно однородное тело, в котором даже при очень больших увеличениях микроскопа нет возможности различить отдельно те вещества, которые образовали раствор.

От химического соединения, представляющего собой также однородное вещество, твердый раствор отличается тем, что растворимое тело и растворитель могут находиться в растворе в произвольных весовых количествах, тогда как в химическое соединение вещества вступают в строго определенные весовых отношениях.

Механические смеси отличаются от твердого раствора своей неоднородностью.

Равномерное распределение частиц растворимого вещества между частицами растворителя при образовании твердого раствора происходит вследствие диффузии. Диффузия называется процесс перемещения частиц растворимого вещества из мест, богатых этим веществом, в места, бедные им.

Образование твердых растворов, в отличие от газовых и жидких растворов, происходит очень медленно, так как частицы растворимого сильно стеснены в своем движении между частицами твердого растворителя. С повышением температуры скорость диффузии возрастает, благодаря увеличению подвижности частиц.

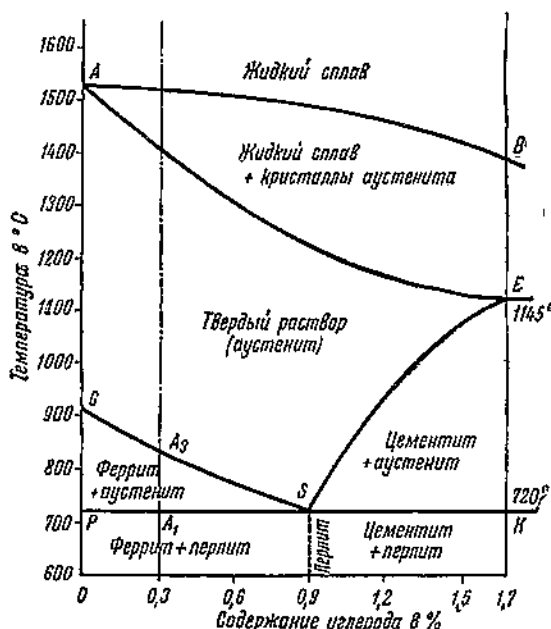
В сталях при нагреве до температуры красного каления образуется твердый раствор за счет растворения цементита в чистом железе. При нормальных температурах железо (феррит) находится в особой аллотропической форме, способной растворять в себе цементит лишь в ничтожно малых количествах. Эту аллотропическую форму железа принято называть α -железом. Нагрев до 906° вызывает перегруппировку атомов железа, в результате чего оно переходит в другую аллотропическую форму, называемую γ -железом. Железо γ в отличие от α -железа обладает способностью образовывать с цементитом твердый раствор.

Твердый раствор цементита в γ -железе называется аустенитом по имени ученого Аустена, открывшего его.

Температуры начала и конца образования твердого раствора для сталей с различным содержанием углерода определяются линиями *PSK* и *GSE* диаграммы, изображенной на фиг. 23. Эта диаграмма называется диаграммой состояния сплавов железа с углеродом. По горизонтальной оси ее отложено процентное содержание углерода, а по вертикальной оси — температуры, при которых происходят те или иные превращения в стали в процессе ее нагрева или охлаждения.

Рассмотрим процесс образования твердого раствора (аустенита) при нагревании эвтектоидной стали, структура которой, как мы знаем, состоит из перлита (фиг. 18).

При температурах ниже точки S (ниже 720°) никаких изменений в структуре стали не происходит. В тот момент, когда температура достигает точки S (720°), что соответ-



Фиг. 23. Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом

ствует вишнево-красному калению, начинается растворение пластинок цементита в железе. За все время, пока происходит процесс растворения, температура стали держится на постоянном уровне 720° . В результате образуется твердый раствор — аустенит. Этот твердый раствор может существовать только при температурах 720° и выше. При охлаждении аустенит не сохраняется и распадается вновь на феррит и цементит. Если охлаждение эвтектоидной стали ведется достаточно медленно, то цементит выделяется из раствора в виде тонких параллельных пластинок, чередующихся с полосками феррита. Таким образом,

при медленном охлаждении эвтектоидная сталь возвращается к своей исходной перлитовой структуре.

Проследим за процессом образования аустенита в доэвтектоидной стали, например в стали, содержащей 0,3% углерода. Ее исходная структура состоит из избыточного феррита и перлита (фиг. 20). При температуре, соответствующей точке A_1 (720°) на линии PS , в твердый раствор переходит в первую очередь перлит, но избыточный феррит при этой температуре еще сохраняется без изменения. Феррит начинает переходить в твердый раствор только при дальнейшем повышении температуры, после того как весь перлит превратится в аустенит. Избыточный феррит переходит в твердый раствор в промежутке температур между точками A_1 и A_3 (между линиями PS и GS). Образование твердого раствора полностью заканчивается при температуре A_3 на линии GS . При этой температуре сталь находится в состоянии красного каления.

В заэвтектоидных сталях, структура которых состоит из перлита и избыточного цементита (фиг. 22), процесс образования твердого раствора начинается при температуре 720° на линии SK и заканчивается на линии SE . При этом на линии SK совершается переход перлита в твердый раствор, а в промежутке температур между линиями SK и SE происходит растворение избыточного цементита. Выше линии SE все заэвтектоидные стали находятся в состоянии твердого раствора.

Таким образом, во всех сталях с различным содержанием углерода структурное превращение (образование аустенита) начинается при температуре 720° на линии PSK и заканчивается при температурах, соответствующих линии GSE . Выше этой линии все стали находятся в состоянии твердого раствора — аустенита.

Характерным свойством аустенита является его немагнитность. Поэтому при нагреве стали до состояния аустенита она перестает притягиваться магнитом. Это явление объясняется переходом железа α (феррита), обладающего высокой магнитной проницаемостью, в немагнитное железо γ .

На диаграмме состояния (фиг. 23) имеются еще две температурные линии AE и AB . Линия AE соответствует температурам начала плавления сталей с различным содержанием углерода, линия AB — температурам окончательного перехода сталей в жидкое состояние.

§ 7. Структуры закаленной и отпущенной стали

В стали, как было указано выше, образуется однородный твердый раствор (аустенит) при нагревании до температуры выше линии *GSE* (фиг. 23). При последующем охлаждении аустенит не может остаться без изменения и вновь распадается на феррит и цементит.

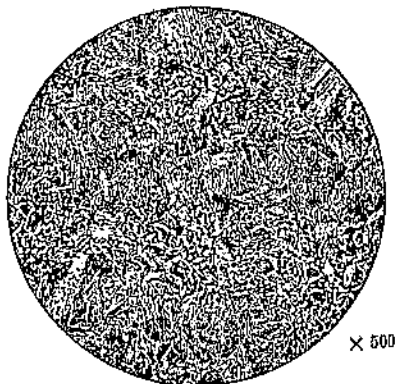
Процесс распада аустенита при охлаждении протекает сравнительно медленно, так как перегруппировка частиц феррита и цементита совершается в твердом веществе, в котором свобода движения частиц чрезвычайно стеснена. Если охлаждение раскаленной стали происходит достаточно медленно, то аустенит успевает распасться полностью с образованием структуры, состоящей из феррита и перлита в случае доэвтектоидной стали (фиг. 20) или из цементита и перлита в случае заэвтектоидной стали (фиг. 22).

Если же нагретую сталь охладить с большой скоростью, например, погружая ее в воду или в масло, то процесс распада аустенита совершается неполностью. В этом случае структура стали фиксируется в том переходном состоянии, в котором ее застало быстрое охлаждение. Операция нагрева стали до состояния аустенита с последующим быстрым охлаждением называется в технике *закалкой*.

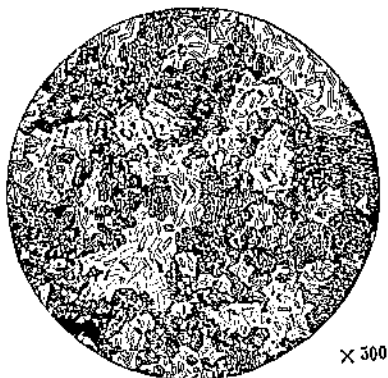
В зависимости от скорости охлаждения закаленная сталь может быть зафиксирована в той или иной переходной структурной форме, образующейся в процессе распада аустенита. Эти переходные структурные формы носят названия *мартенсита*, *троостита* и *сорбита*. Они отличаются одна от другой степенью измельченности (крупности) выделившихся из твердого раствора частичек цементита, рассеянных в основной массе феррита. Чем мельче выпавшие частицы цементита, тем тверже закаленная сталь.

Мартенсит является начальной формой распада аустенита, которую можно зафиксировать резким охлаждением (*закалкой*) стали в воде комнатной температуры. При таком охлаждении процесс распада аустенита задерживается в начальной его стадии, когда молекулы цементита, находящиеся в растворе, не успевают еще обособиться в более крупные скопления, которые можно было бы различить под микроскопом. В этом случае получается мартенсит, частицы цементита в котором остаются в состоянии молекулярного распыления.

Сталь, получившая в результате резкого охлаждения структуру мартенсита, находится в неустойчивом состоянии, так как мартенсит имеет стремление к дальнейшему распаденню, задержанному быстрым охлаждением. Достаточно небольшого нагрева (до $180-200^{\circ}$), чтобы распадение возобновилось, и тогда мартенсит начинает переходить в более устойчивую форму — в троостит. Нагрев стали, закаленной на мартенсит до сравнительно невысоких температур, в пределах $150-600^{\circ}$, называется отпуском. При отпуске на температуру $300-400^{\circ}$ мартенсит полностью переходит в троостит.



Фиг. 24. Микроструктура мартенсита



Фиг. 25. Троостит на фоне мартенсита

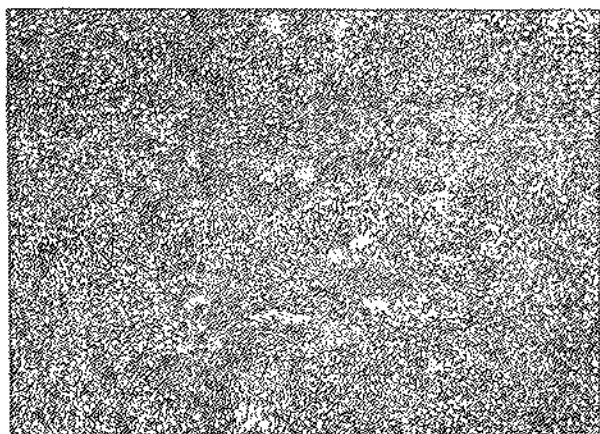
Мартенсит имеет очень высокую твердость ($500-700$ по Бринеллю, смотря по содержанию углерода) и вместе с тем хрупок. По сравнению с другими переходными структурами стали мартенсит имеет наибольший удельный объем, поэтому при закалке стали на мартенсит резко увеличивается объем изделия, что вызывает появление внутренних напряжений и обуславливает возможность коробления изделия.

Мартенситовая структура в углеродистых сталях получается, если они подвергаются после нагрева резкому охлаждению в воде. Под микроскопом при большом увеличении обнаруживается, что мартенсит имеет тонкоиглочатое строение (фиг. 24). Иглы мартенсита располагаются параллельно по трем различным направлениям, образуя иногда равносторонние треугольники.

Следующей за мартенситом переходной структурой при распаденнии аустенита является троостит, который мо-

жет быть получен путем закалки стали при более умеренной скорости охлаждения. Троостит представляет собой распавшийся твердый раствор, в котором цементит выделился в состоянии высокой степени размельчения. Частицы цементита в троостите настолько малы, что их можно видеть под микроскопом лишь при очень большом увеличении (порядка 3 500—4 000).

По сравнению с мартенситом троостит обладает меньшей твердостью (300—500 по Бринеллю) и не так хрупок.



× 500

Фиг. 26. Микроструктура сорбита

Троостит очень часто наблюдается в сочетании с мартенситом, так как достаточно небольшого промедления в закалке, чтобы наряду с мартенситом появился троостит. Под микроскопом такой троостит имеет вид темных пятен, расположенных на фоне мелкопгольчатого мартенсита, имеющего вид белых полей (фиг. 25).

Троостит можно получать не только закалкой стали с умеренной скоростью охлаждения, но и отпуском стали, закаленной резким охлаждением на мартенсит. Для этого необходимо нагреть закаленную сталь до 300—400° и выдержать ее некоторое время при этой температуре. Такой нагрев (отпуск) увеличивает подвижность частиц, вследствие чего неустойчивый мартенсит переходит в троостит. Этот переход сопровождается понижением твердости и значительным ослаблением внутренних напряжений.

Дальнейшей, после троостита, переходной структурой распада аустенита является сорбит, представляющий собой перлит, в котором зерна цементита очень мелкие. В сорбите при большом увеличении можно различить зерна цементита и феррита (фиг. 26), но они выражены не так резко, как в перлите, в котором зерна цементита значительно крупнее. Таким образом, сорбит можно рассматривать как перлит с чрезвычайно мелкими зернами цементита, рассеянными в феррите.

Сорбит может быть получен двумя способами: а) закалкой стали при замедленной скорости охлаждения, например путем охлаждения мелких деталей на воздухе, а массивных деталей в масле, или б) посредством отпуска при 500—600° стали, закаленной на мартенсит.

Сорбит обладает высокими механическими качествами — сравнительно большим временным сопротивлением разрыву и хорошей вязкостью при повышенной твердости. На этом основании сорбит считается наилучшей структурой для деталей машин и двигателей. Для инструментальных сталей более выгодна мартенситовая структура, так как твердость сорбита и троостита (200—500 по Бринеллю) для режущих инструментов недостаточна.

§ 8. Перекристаллизация стали

При нагреве стали до температуры выше линии *GSE* диаграммы состояния (фиг. 23) структурные составляющие — цементит и феррит — переходят в твердый раствор. При этом феррит претерпевает значительные изменения, превращаясь из железа α в железо γ . Переход железа из одной аллотропической формы в другую сопровождается полной перегруппировкой атомов, в результате чего образуются новые зерна независимо от того, каковы были предшествующие. Это явление исчезновения старых зерен и возникновения новых в процессе образования твердого раствора (аустенита) называется перекристаллизацией стали.

Возникновение и рост новых зерен аустенита совершаются из новых центров кристаллизации (зародышей), образующихся в зернах исходного железа α при его аллотропическом превращении в железо γ . Вновь образовавшиеся зерна аустенита при температурах, близких к линии *GSE*, имеют очень малые размеры. Если сталь охладить с этой температуры, то она сохраняет мелкозернистое строение. Процесс перекристаллизации стали имеет

большое практическое значение, так как он позволяет путем одного только нагрева размельчать зерна стали и этим улучшать ее механические свойства.

Решающее влияние на величину зерен, образующихся при перекристаллизации, имеет температура нагрева. Наиболее мелкие зерна получаются при температуре перехода структурных составляющих стали в твердый раствор. Для сталей доэвтектоидных эта температура определяется линией *GS* диаграммы состояния (фиг. 23), для заэвтектоидных — линией *SE*.

С повышением температуры выше линии *GSE* зерна начинают все более и более укрупняться. Рост зерен при чрезмерном повышении температуры нагрева происходит вследствие слияния между собой соседних зерен, в результате чего одни зерна исчезают, другие же растут за счет первых.

При чрезмерно высокой температуре нагрева сталь получается крупнозернистой и с пониженными механическими свойствами. Такая сталь называется перегретой. Крупное зерно может получиться и при нормальной температуре нагрева, если сталь продолжительное время выдерживается при этой температуре. В этом случае наблюдается усиленный рост зерен, как и при перегреве.

Нагрев стали до температуры, близкой к началу плавления, дает еще более вредные последствия. Такой нагрев вызывает образование пленок окиси по границам зерен вследствие проникновения кислорода воздуха в глубь металла. Эти пленки нарушают связь между зернами, в результате чего сталь становится чрезвычайно хрупкой. Такая сталь называется *пережженной*.

Крупнозернистую перегретую сталь можно исправить вторичным нагревом с соблюдением необходимой температуры нагрева и продолжительности выдержки.

Сталь, получившую пережог, в отличие от перегретой стали, никаким повторным нагревом исправить нельзя.

ЛИТЕРАТУРА

Кащенко Г. А., проф., Учебное пособие по металлографии (Курс для мастеров социалистического труда).

Лактин Ю. М., инж.-доц., Чулицкий Н. Н., проф.-докт., и др., Авиационное материаловедение, ч. I, 1938.

Бочвар А. А., проф., Металловедение.

Болховитинов Н. Ф., Металлография и термическая обработка, 1938.

Гевеллинг Н. В., проф., Авиационное материаловедение, 1936.



ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

§ 9. Общие сведения о термической обработке стали

Термическая обработка заключается в нагреве стали до определенной температуры и последующем охлаждении с той или иной скоростью.

Термическая обработка дает возможность придавать стали самые разнообразные механические свойства в соответствии с теми требованиями, которые предъявляются к изделиям, изготовленным из нее.

В зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения различают следующие основные виды термической обработки: закалку, отпуск, отжиг и нормализацию.

§ 10. Закалка стали

Закалкой называются нагрев стали до температуры перехода ее структурных составляющих в твердый раствор и последующее быстрое охлаждение.

Закалка применяется для повышения твердости и прочности стали. При закалке резко изменяется структура стали. В зависимости от скорости охлаждения сталь может быть получена в состоянии мартенсита, троостита или сорбита. Эти структуры, как было указано выше, являются переходными структурными формами распада аустенита.

При закалке стали, вследствие разности температур ее поверхностных и внутренних слоев во время быстрого охлаждения, в ней возникают внутренние напряжения. Последние увеличивают хрупкость стали, способствуют короблению изделия и даже образованию в нем трещин. Поэтому для устранения хрупкости и внутренних

напряжений стальные изделия после закалки обычно подвергаются отпуску при той или иной температуре в зависимости от тех механических свойств, которые необходимо придать изделию.

Результаты закалки в основном зависят от состава стали, от температуры нагрева, от скорости охлаждения и некоторых других факторов.

1. Температура закалки

Большое влияние на результаты закалки имеет температура нагрева. Нормальные температуры для нагрева под закалку углеродистых сталей с различным содержанием углерода приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

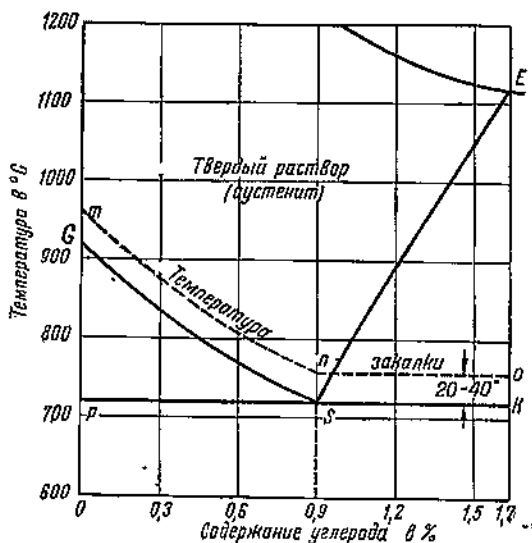
Содержание углерода в стали в %	Температура закалки в °С	Содержание углерода в стали в %	Температура закалки в °С
0,1	900—910	0,6	770—790
0,2	840—850	0,8	750—770
0,4	790—810	0,9—1,5	740—760

Для доэвтектоидных сталей, содержащих углерода меньше 0,9%, температура нагрева под закалку должна быть такой, чтобы перлит и избыточный феррит (фиг. 20) полностью перешли в твердый раствор. Только в этом случае сталь получает «полную закалку» на мартенсит. Отсюда следует, что температура нагрева для доэвтектоидных сталей должна быть немного выше (на 20—40°) линии GS диаграммы состояния (фиг. 23).

Нанося эти температуры на диаграмму состояния, получаем кривую *mn* (фиг. 27), соответствующую нормальным температурам закалки доэвтектоидных сталей в зависимости от содержания углерода.

Нагрев стали выше указанных температур вредно отражается на результатах закалки, так как перегрев вызывает усиленный рост зерен. После закалки перегретая сталь имеет структуру, состоящую из грубоигольчатого мартенсита. Сталь с такой структурой по сравнению с нормально закаленной сталью обладает очень большой хрупкостью и обычно имеет трещины, образующиеся при охлаждении.

При нагреве доэвтектоидных сталей до температур, лежащих ниже линии m_n (фиг. 27), но находящихся в пределах между линиями PS и GS , закалка получается неполной, даже при достаточно быстром охлаждении. При таком нагреве часть избыточного феррита не может перейти в твердый раствор, в результате чего сталь после закалки имеет структуру, состоящую из мартенсита и феррита. Такая структура имеет пониженную твердость.



Фиг. 27. Температуры закалки стали

При нагреве до температур ниже линии PS (ниже 720°) сталь не закаливается, так как при этих температурах она не претерпевает структурных превращений.

Закалка заэвтектоидных сталей производится при температурах, лежащих на $20-40^\circ$ выше линии SK (фиг. 27), т. е. при $740-760^\circ$, независимо от содержания углерода. На диаграмме состояния нормальная закалочная температура для заэвтектоидных сталей изображается прямой линией no , параллельной линии SK . При таком нагреве избыточный цементит заэвтектоидной стали (фиг. 22) полностью переходит в твердый раствор и сохраняется после закалки без изменения. В этом случае структура закаленной стали будет состоять из мартенсита с прожилками цементита. Присутствие цементита сообщает за-

каленной стали повышенную твердость, так как цементит имеет большую твердость, чем мартенсит. Высокая твердость в закаленных заэвтектоидных сталях является желательной, потому что эти стали применяются исключительно для режущих и измерительных инструментов. Если же заэвтектоидную сталь подвергать закалке при температуре, лежащей выше линии *SE*, то структура ее будет состоять из одного мартенсита, так как при этих температурах весь избыточный цементит переходит в твердый раствор. Такой режим закалки сообщает стали меньшую твердость.

Закалка заэвтектоидных сталей при температурах выше линии *SE* не рекомендуется, так как это связано с опасностью перегрева и даже пережога стали.

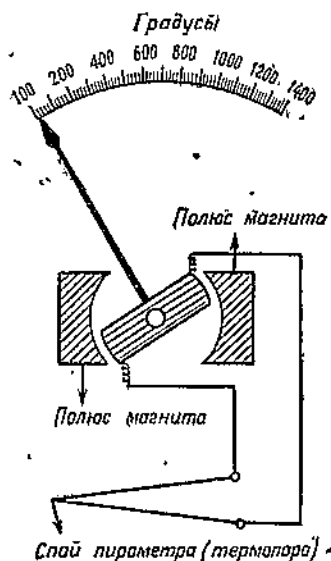
Основным условием получения доброкачественной закалки стальных изделий является точное соблюдение определенного температурного режима, в противном случае возможен перегрев стали или, наоборот, получение неполной закалки. Для контроля температуры нагрева при закалке необходимо пользоваться пирометрами. Грубо температура нагрева под закалку может быть определена по цветам каления, указанным в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Цвета каления	Температура нагрева в °C
Слабое свечение в темноте	500—520
Бурый	600
Темнокрасный	650
Вишнево-красный темный	700
Вишнево-красный	750
Вишнево-красный светлый	800
Красный	850
Светлокрасный	900
Оранжевый	950
Желтый	1 000
Желто-белый	1 100
Белый (разной яркости)	1 200—1 300

П и р о м е т р представляет собой прибор для измерения высоких температур, действие которого основано на возникновении электродвижущей силы при нагревании места спая двух проволок из разнородных металлов, образу-

щих так называемую термопару (фиг. 28). Величина этой электродвижущей силы пропорциональна температуре нагрева места спая. В цепь термопары включается гальванометр, измеряющий силу тока. Шкала гальванометра градуирована в градусах Цельсия и позволяет производить непосредственный отсчет температуры нагретого конца термопары.



Фиг. 28. Схема термоэлектрического пирометра.

Проволочки термопар изготавливаются из разнородных сплавов, например:

а) платина — сплав платины с 10% родия, для температур до 1400°;

б) железо — константан (40% Ni, остальное Cu), для температур до 900°.

Пирометры имеют широкое применение для измерения температур при термической обработке металлов. Кроме того, они применяются и для контроля температур головок цилиндров авиационных двигателей воздушного охлаждения. Для этой цели термопара монтируется под запальную свечу цилиндра, а гальванометр помещается на приборной доске пилота.

Термопары самолетных пирометров выполняются из следующих сплавов:

а) хромель (9—10% Cr, остальное Ni) — алюмель (1,8—2,2% Al; 1,8—2,2% Mn; 0,85—1,15% Si; 0,4—0,7% Co; остальное Ni) или

б) хромель — копель (43—44% Ni, остальное Cu).

2. Охлаждение при закалке

Быстрое охлаждение стали, нагретой до закалочной температуры, имеет целью зафиксировать переходную структуру, образующуюся в начальной стадии распада твердого раствора (аустенита). Такой структурой является мартенсит или смешанная структура мартенсит + троостит. Закалка на мартенсит дает наибольшую твердость и обеспечивает после отпуска наиболее высокие механические

свойства стали. Вместе с тем слишком резкое охлаждение связано с опасностью коробления изделия и образования в нем трещин.

Условием получения мартенситовой структуры является охлаждение стали с достаточно большой скоростью. Наименьшая скорость охлаждения, при которой сталь получает закалку только на один мартенсит, называется критической скоростью закалики. Для простой углеродистой стали критическая скорость закалики составляет около 160° в 1 сек.

Охладители, применяемые при закалке, обладают различной закалывающей способностью и сообщают стали различную степень твердости. Холодная вода (комнатной температуры) является весьма резким охладителем, так как она имеет высокую теплоемкость и большую скрытую теплоту испарения. Закалывающая способность воды усиливается от прибавления поваренной соли или едкого натрия и понижается при добавлении мыла или извести. Более умеренную закалку дают минеральные и в особенности растительные масла. Подогретая вода (50° и выше) также является умеренным охладителем. К слабо действующим охладителям относятся вода при $80-90^{\circ}$, струя воздуха, расплавленный свинец или расплавленная селитра.

Чем резче закалка, тем большие внутренние напряжения возникают в изделии. Эти напряжения иногда вызывают образование трещин. При умеренной закалке внутренние напряжения менее значительны, поэтому закалку стали следует производить в умеренных охладителях, которые не дают чрезмерно быстрого охлаждения. Мягкие углеродистые стали (0,3—0,4% С) обычно закалываются в воде, а изделия из более твердой стали (за исключением инструментов) — в масле или в подогретой воде. Специальные стали закалывают преимущественно в масле.

3. Глубина закалики

Существенным недостатком углеродистых сталей является то, что они в массивных изделиях не дают сквозной закалики на мартенсит по всему сечению изделия.

Полная сквозная закалка может быть получена только в тонких изделиях, например в прутках диаметром не более 10 мм. В массивных деталях, даже при самом резком охлаждении, закалка на мартенсит получается только с поверхности на глубину 3,0—5,0 мм. Сердцевина же,

которая охлаждается более медленно, чем наружные слои, закаливается слабее. Обычно она получает закалку на сорбит или даже остается совсем незакаленной, если изделие имеет очень крупные размеры.

Добавка к стали специальных элементов способствует углублению закалики и получению мартенситовой структуры в более глубоких зонах сечения изделия, даже в условиях сравнительно медленного охлаждения. Сильное углубление закалики дают молибден, хром, вольфрам, марганец и другие элементы. Действие этих элементов выражается в том, что они сообщают аустениту особую устойчивость и задерживают процесс его распада при охлаждении.

Углубление закалики особенно сильно проявляется при добавлении в сталь, помимо указанных элементов, никеля. Благодаря этому стали с присадкой никеля (хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и др.) имеют широкое применение для крупных изделий, например для коленчатых валов, шатунов, шестерен редуктора, массивных штампов и т. д.

4. Дефекты закалики

При закалке стали на мартенсит объем изделия увеличивается, так как мартенсит имеет наибольший удельный объем по сравнению с другими структурными формами стали.

В массивных изделиях наружные слои приобретают при закалке мартенситовую структуру и расширяются сильнее сердцевины, которая вследствие более медленного охлаждения получает закалку на троостит и сорбит. Слабо закаленная сердцевина препятствует расширению наружного мартенситового слоя, в результате чего в изделии появляются внутренние напряжения.

Помимо этого, внутренние напряжения возникают вследствие разности температур, создающейся в различных зонах изделия во время быстрого и неравномерного охлаждения. Под влиянием внутренних напряжений может произойти изменение формы изделия (коробление) и образование трещин. Чаще всего трещины образуются в момент закалики. Иногда появление трещин наблюдается спустя некоторое время после закалики.

Детали сложной формы с резкими переходами и острыми углами особенно опасны в отношении образования закалочных трещин.

Исправление коробления изделия путем правки обычно не дает желаемых результатов. Чтобы избежать коробле-

ния, часто прибегают к специальным методам термической обработки или применяют всякого рода приспособления. Например, закалку тонких лент производят под массивными чугунными плитами, шестерни закаливают в специальных прессах, сварные авиаконструкции перед закалкой закрепляют в специальные рамы и т. д. Вместе с этим следует указать, что доброкачественная закалка в большой мере зависит от опытности калильщика.

§ 11. Отпуск закаленной стали

Отпуском называется нагрев закаленной стали до температур, лежащих ниже линии *PSK* (см. диаграмму состояния, фиг. 23), с последующим быстрым или медленным охлаждением. Назначение отпуска заключается в том, чтобы устранить внутренние напряжения, возникшие при закалке, и придать изделию желаемые механические и физические свойства.

Выше было отмечено, что мартенсит является неустойчивой структурой, которая сохраняется при нормальной температуре только благодаря малой подвижности частиц. С повышением температуры подвижность частиц увеличивается, и мартенсит переходит в более устойчивую структурную форму. Чем выше температура отпуска, тем быстрее и полнее идет процесс превращения мартенсита в другие структурные формы (сначала в троостит, а затем в сорбит). Заметное превращение структуры стали, закаленной на мартенсит, наблюдается при нагреве выше 180°. Нагрев ниже этой температуры не вызывает изменения структуры и не снижает твердости стали. В данном случае имеет место лишь частичное снижение внутренних напряжений.

В табл. 5 указаны те структуры, которые образуются в закаленной стали при различных температурах отпуска.

Таблица 5

Температура отпуска в °C	Структура отпущенной стали
до 180	Мартенсит
180—300	Мартенсит + троостит
300—400	Троостит
400—500	Троостит + сорбит
500—600	Сорбит

С повышением температуры отпуска механические свойства закаленной стали сильно изменяются: твердость и временное сопротивление понижаются, а относительное удлинение и сопротивление удару (вязкость) возрастают. Изменяя температуру отпуска, можно придавать стали самые разнообразные механические свойства.

В табл. 6 указаны изменения механических свойств углеродистой стали марки У4 в зависимости от температуры отпуска. Эта сталь содержит: С — 0,44%, Мп — 0,75%, Si — 0,20%, Р — 0,03% и S — 0,04%.

Таблица 6

Нагрев после закали в °С	Твердость по Бринеллю H_B в кг/мм ²	Сопротивление разрыву σ_b в кг/мм ²	Удлинение в % на образце $l=10d$	Сжатие площади поперечного сечения ψ в %	Ударное сопротивление по Шарпи в кг/см ²
250	435	140	3	6	1
400	370	120	6	20	2
550	245	80	12	45	6
600	195	60	14	55	10
800	160	50	16	60	8

Примечание. Данные проф. Минкевича.

Детали машин и двигателей, изготавливаемые из конструкционных сталей, обычно подвергаются после закали высокому отпуску — при температурах от 500 до 600°. В данном случае стремятся получить сорбитовую структуру стали, обладающую, наряду с повышенной твердостью и крепостью, высокими вязкими свойствами.

Отпуск инструментальных сталей производится при температурах не выше 300°. Инструменты подвергаются отпуску в основном с целью уменьшить внутренние напряжения и хрупкость, которые свойственны стали, закаленной на мартенсит. Одновременно наблюдается некоторое снижение твердости стали, что нежелательно, но с этим приходится мириться.

Температуры отпуска для наиболее употребительных инструментов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Наименование инструмента	Температура отпуска в °C
Токарные резцы, пожевки	220—225
Плоски, строгальные резцы, сверла, шабры, перочинные ножи	230—235
Развертки, фрезы, бритвы	240—245
Метчики	250—255
Спиральные сверла	260—265
Зубила для горячей рубки металла, топоры	270—295
Отвертки	290—295
Пилы для дерева, ручные	300

Нагрев стали при отпуске должен производиться с точным соблюдением необходимой температуры, контролируемой пирометром. При определении температуры нагрева в пределах от 200 до 350° можно руководствоваться цветами побежалости, которые появляются на зачищенной поверхности стального изделия вследствие образования тонкого слоя окислов железа.

Цвета побежалости, соответствующие различным температурам нагрева стали, приведены в табл. 8.

Таблица 8

Цвета побежалости	Температуры нагрева в °C
Светложелтый	225
Темножелтый	240
Коричнево-желтый	255
Коричнево-красный	265
Пурпуровый	275
Фиолетовый	285
Синий	295—310
Светлосиний	315—325
Зеленовато-серый (цвет морской воды)	330

Определение температур отпуска по цветам побежалости, как и определение закалочных температур по калильным цветам, является грубо приближенным и требует от калильщика большой опытности. Ввиду этого пользоваться указанными способами определения температур допустимо только в случае отсутствия пирометра.

Кроме температуры нагрева, на результаты отпуска большое влияние оказывает время выдержки стали при температуре отпуска: чем дольше выдержка, тем полнее совершается переход закаленной стали в более устойчивое состояние и вместе с тем в большей степени устраниются внутренние напряжения.

Скорость охлаждения углеродистой стали после отпуска не оказывает влияния на ее механические свойства.

§ 12. Отжиг стали

Отжиг стали производится с целью улучшения ее структуры и уничтожения внутренних напряжений, возникших в результате горячей или холодной механической обработки. Отжиг уменьшает твердость и восстанавливает вязкость и пластичность стали и таким образом облегчает ее дальнейшую механическую обработку.

Необходимо различать два основных вида отжига, принципиально отличающихся один от другого: а) отжиг литых и горячеобработанных изделий и б) отжиг изделий, подвергнутых холодной механической обработке.

1. Отжиг изделий, подвергнутых горячей механической обработке, и изделий, полученных путем отливки

Этот отжиг применяется с целью улучшения структуры и механических свойств стали. Он особенно необходим для стальных отливок, которые в процессе медленного охлаждения в формах получают грубую, крупнозернистую структуру и пониженные механические качества.

Крупнозернистая структура свойственна также стальным изделиям, подвергнутым механической обработке в горячем состоянии (ковке или прокатке), если обработка была закончена при чрезмерно высокой температуре. В этом случае крупнозернистая структура образуется вследствие перегрева стали.

Таким образом, отжиг изделий литых и подвергнутых горячей механической обработке применяется для исправ-

ления крупнозернистой структуры. Размельчение зерен достигается путем перекристаллизации стали в процессе нагрева ее до температуры образования твердого раствора (см. § 8).

Температура нагрева доэвтектоидных сталей при отжиге, как и при закалке, берется на 30—40° выше линии GS (фиг. 27). Заэвтектоидные стали нагревают на 30—40° выше линии SK. Более высокий нагрев приводит к перегреву и развитию крупнозернистой структуры. Нагрев до температуры, близкой к началу плавления, вызывает перегжог. Отсюда следует, что операция отжига требует точного соблюдения необходимой температуры нагрева, иначе вместо улучшения изделия его можно привести в полную негодность.

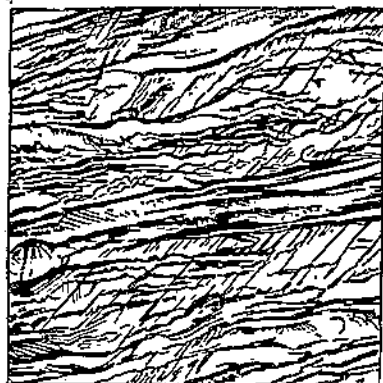
Если отжиг производится с целью понижения твердости и хрупкости стали для облегчения ее механической обработки, то охлаждение после отжига должно быть очень медленным. Обычно изделия в процессе отжига охлаждаются вместе с печью или в среде, плохо проводящей тепло (гашеная известь, сухой песок, шлак и т. п.).

2. Отжиг изделий, обработанных в холодном состоянии

Холодная обработка, т. е. прокатка, волочение, штамповка и другие виды обработки при нормальных температурах, вызывает значительные изменения свойств и структуры металла.

При холодной обработке металл «течет» в том или другом направлении, в зависимости от направления приложенного усилия. Вместе с тем его зерна претерпевают сдвиги, деформируются и вытягиваются в направлении течения металла. В результате этого металл приобретает волокнистое строение в виде вытянутых, параллельных друг другу зерен (фиг. 29 и 30). Такая структура называется *полосчатой*.

Под влиянием холодной обработки металл сильно упрочняется. По мере увеличения степени деформации крепость и твердость металла повышаются, но одновременно снижаются его пластичность и сопротивление удару. Например, холодная прокатка дуралюмина повышает его временное сопротивление разрыву с 40 до 50 кг/мм² и понижает относительное удлинение с 20 до 8—5%. Подобным же образом холодная обработка влияет и на механические свойства стали.



Фиг. 29. Структура латуни после холодной прокатки



Фиг. 30. Структура холоднообработанной дсэвтектонидной стали

В табл. 9 указаны изменения механических свойств при протяжке проволоки из твердой мартеновской стали состава: С — 0,55%, Мп — 0,47%, Si — 0,26%, Р — 0,058% и S — 0,036%.

Таблица 9

Катаная проволока диаметром 5,37 мм	Степень обкатки в %	Времен- ное со- противля- ние разрыву в кг/мм ²	Удлине- ние в %	Сужение площади попереч- ного сечения в %
До протяжки	0	65,5	23,3	38,0
1-я протяжка	34	98,6	6,9	19,4
2-я »	55	111,3	6,8	15,2
4-я »	78,6	133,4	6,0	14,1
5-я »	86,6	142,2	5,9	13,4

Примечание. Приведенные данные взяты у Геренса.

Вместе с этим необходимо отметить, что металлы, получивший волокнистое строение в результате горячей и в особенности холодной обработки, оказывается более

прочным по направлению волокон, чем поперек них. Это обстоятельство имеет большое практическое значение, которого нельзя не учитывать. Например, при применении листового материала или лент для какой-либо конструкции необходимо располагать их так, чтобы растягивающее усилие совпадало с направлением волокон металла. Это обеспечит большую надежность конструкции.

Упрочнение металла при холодной обработке принято называть наклепом, а самый металл называют наклепанным или нагартованным.

Холодная обработка давлением применяется, когда желают получить листы, ленты, проволоку, трубы и другие полуфабрикаты небольшой толщины и точных размеров, а также при штамповке и загибе изделий сложной конфигурации из листового материала.

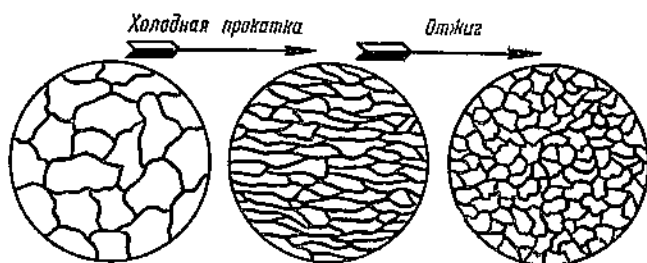
Обработка металлов в горячем состоянии технически и экономически целесообразна только до определенных размеров изделий и когда точность этих размеров не имеет большого значения. Например, проволоку в горячем состоянии катают только до 5—5,5 мм, ленту — до толщины 1,5—2,0 мм. Ленту и проволоку более тонких размеров получают путем холодной прокатки и волочения. При этом последовательные операции прокатки или волочения чередуются с отжигом для устранения внутренних напряжений и чрезмерной жесткости, возникших при деформации металла в холодном состоянии.

Отжиг углеродистой стали, подвергнутой холодной обработке давлением, производится при температурах в пределах 600—700°, т. е. при температурах ниже линии *PSK* диаграммы состояния (фиг. 23). Такой отжиг вполне обеспечивает восстановление пластичности стали и позволяет производить ее дальнейшую прокатку или волочение в холодном состоянии.

При отжиге нагартованного металла одновременно с изменением механических свойств изменяется и его структура: вместо первоначальных вытянутых и сплюснутых зерен возникают новые мелкие зерна нормальной, округленной формы. Этот процесс возникновения и роста новых зерен при сравнительно низком нагреве называется рекристаллизацией наклепанного металла. Явление рекристаллизации объясняется тем, что наклепанное состояние металла, подобно закаленному, является неустойчивым. В таком состоянии металла может находиться

только при низких температурах. При нагреве же, обуславливающим достаточную подвижность частиц, необходимую для их перегруппировки, волокнистая структура переходит в более стабильную структуру с равноосными округленными зернами. На фиг. 31 приведена схема изменения структуры металла при холодной прокатке и последующем отжиге, сопровождаемом рекристаллизационной зерен.

Процесс рекристаллизации в наклепанном металле начинается при сравнительно невысоком нагреве. Так например, рекристаллизация зерен красной меди, подвергнутой сильному обжатию, начинается при температуре около 250° . Для железа с высокой степенью



Фиг. 31. Схема изменения структуры металла при холодной прокатке и последующем отжиге

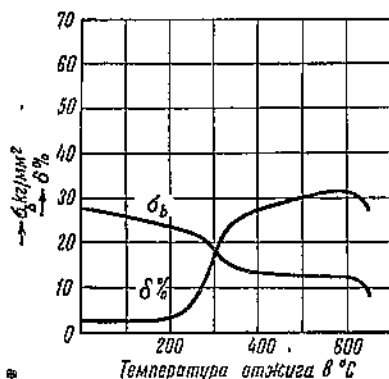
наклепа температура начала рекристаллизации лежит около 450° .

В начале рекристаллизации новые зерна, образующиеся вместо первоначальных вытянутых и сплюснутых, очень мелкие, но по мере повышения температуры они начинают интенсивно расти. При некоторой температуре, зависящей от природы металла и от степени его холодной деформации, может получиться непомерный рост зерен, сопровождаемый резким снижением механических свойств металла. Отсюда следует, что такое неблагоприятное сочетание степени деформации и температуры последующего отжига приносит изделию большой вред вследствие образования крупнозернистой структуры.

Такая степень деформации и такая температура отжига, при которых в металле обнаруживается непомерный рост зерен при нагреве его после деформации, называются соответственно критической деформацией и кри-

тической температурой рекристаллизации. Например, в железе и мягкой стали чрезвычайно сильный рост зерен происходит при температуре отжига в пределах 800—900° после сравнительно небольшого обжатия в 5—10%. У красной меди непомерно большие зерна получаются при деформации в 5—10% и температуре отжига 700—800°.

Таким образом, отжиг наклепанного металла при температуре ниже критической температуры рекристаллизации сообщает металлу мелкозернистую структуру и уничтожает внутренние напряжения, полученные при холодной

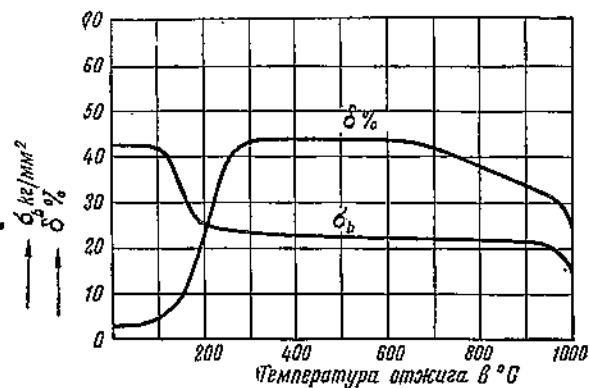


Фиг. 32. Изменение механических свойств наклепанного алюминия в зависимости от температуры отжига

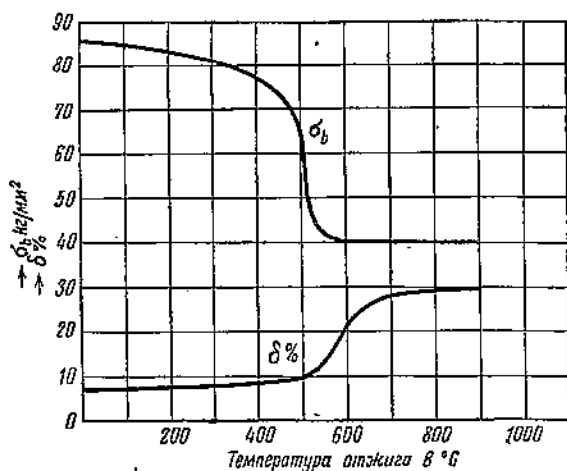
обработке. В результате такого отжига металл становится более пластичным, причем его временное сопротивление и твердость понижаются, а удлинение и сопротивление удару увеличиваются.

Изменения механических свойств алюминия, меди и железа в зависимости от температуры отжига приведены на фиг. 32, 33 и 34.

Если отжиг наклепанной стали производится при низкой температуре (ниже линии *PSK* диаграммы состояния), то скорость охлаждения после отжига не оказывает влияния на механические свойства стали, так как нагрев ниже линии *PSK* не вызывает образования твердого раствора. Охлаждение после такого отжига производится обычно на воздухе.



Фиг. 33. Изменение механических свойств наклепанной меди в зависимости от температуры отжига

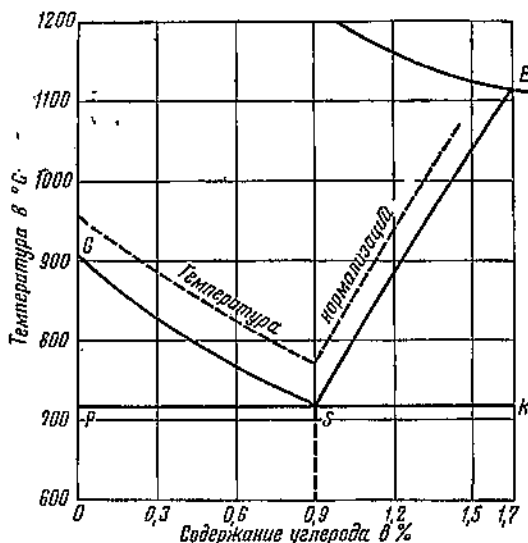


Фиг. 34. Изменение механических свойств наклепанного железа в зависимости от температуры отжига

§ 13. Нормализация стали

Нормализацией называется процесс нагрева стали до температуры, немного превышающей линию *GSE* (фиг. 23), и последующего охлаждения на воздухе.

Нормализация является по существу закалкой с охлаждением на воздухе, в результате которой сталь в тонких изделиях получает преимущественно сорбитовую структуру.



Фиг. 35. Температуры нормализации стали

Нормализация широко применяется для стальных полуфабрикатов, как например листов, труб, профилей, проволоки и т. п. Она имеет целью устранить полосчатую структуру, полученную при прокатке или протяжке в холодном состоянии, и создать нормальную мелкозернистую структуру.

В результате нормализации тонкостенные изделия получают закалку на сорбит, так как охлаждение их на воздухе совершается со скоростью, достаточной для фиксации сорбита. Эта структура обуславливает высокие механические свойства нормализованной стали: повышенное временное сопротивление разрыву и хорошую вязкость.

Нормализация массивных изделий не может дать глубокой закалки на сорбит по всему сечению изделия, вследствие незначительной скорости охлаждения на воздухе. В этом случае нормализация оказывает такое же действие, как и отжиг с медленным охлаждением, но, по сравнению с отжигом, является более простым и менее длительным процессом. Поэтому нормализация часто применяется вместо отжига послековки в горячем состоянии заготовок для крупных изделий (коленчатые валы, шестерни и т. п.). В этом случае нормализация производится как подготовительная операция перед закалкой и имеет целью размельчение зерен и снятие внутренних напряжений.

При нормализации стали, как и при отжиге, необходимо избегать перегрева, чтобы не получить крупнозернистой структуры. Температура нормализации не должна превышать больше чем на $50-60^{\circ}$ линию *GSE* превращения стали в твердый раствор (фиг. 35). Эта температура выше температуры отжига, что позволяет несколько сократить длительность выдержки, необходимой для перекристаллизации. Непродолжительная выдержка при температуре нагрева и охлаждение на воздухе обеспечивают получение мелкозернистой структуры в нормализованном изделии.

ЛИТЕРАТУРА

Кащенко Г. А., проф., Учебное пособие по металлографии (Курс для мастеров социалистического труда).

Лактин Ю. М., инж.-доц., Чулицкий П. Н., проф.-докт., и др., Авиационное материаловедение, ч. I, 1938.

Лактин Ю. М., Авиационные металлы и их горячая обработка, 1936.

Минкевич Н. А., проф., Курс термической обработки стали и чугуна.

Ботвар А. А., проф., Основы термической обработки сплавов.

Нёрр Г. С., Термическая обработка металлических частей самолетов. Перев. с англ.



ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

§ 14. Общие сведения

Химико-термическая обработка стали отличается от рассмотренных нами способов термической обработки тем, что она совмещает два процесса: изменение химического состава стали, находящейся в твердом состоянии, путем насыщения ее поверхности каким-либо элементом, и тепловую обработку, состоящую в нагреве до некоторой температуры и охлаждении с той или иной скоростью.

В процессе химико-термической обработки состав стали изменяется с поверхности на небольшую глубину. Целью такой обработки является повышение твердости наружного слоя изделия или повышение стойкости его против коррозии.

Рассмотрим следующие основные виды химико-термической обработки стали, имеющие широкое применение в моторостроении: цементацию, нитрирование и цианирование.

§ 15. Цементация стали

1. Сущность и цель цементации

Цементацией называется поверхностное науглероживание изделий из мягкой стали с низким содержанием углерода путем нагревания их в среде, богатой углеродом (древесно-угольный порошок, светильный газ и т. п.).

Цементация основана на том, что малоуглеродистая сталь, нагретая до состояния твердого раствора (аустенита), т. е. до температуры выше линии GS диаграммы

состояния, приобретает способность растворять в себе углерод. Проникновение (диффузия) атомов углерода из окружающей среды в раскаленную сталь совершается тем быстрее, чем выше температура нагрева.

В результате цементации науглероженный наружный слой изделия приобретает высокую твердость, а сердцевина остается мягкой и вязкой, способной оказывать высокое сопротивление ударным нагрузкам. Сочетание высокой твердости наружного слоя с высокой ударной вязкостью сердцевины чрезвычайно выгодно для деталей, которые работают на истирание и подвергаются ударам.

Цементация широко применяется в моторостроении при изготовлении шестерен, поршневых пальцев, наклонных и распределительных валиков, осей и валиков передач к агрегатам, роликов толкателей и их осей, клапанных тарелок и других деталей.

Для изготовления деталей, подвергающихся цементации, применяются малоуглеродистые стали, содержащие не более 0,2% углерода. Такие стали сохраняют вязкую сердцевину после цементации и закалки изделия.

Содержание углерода в наружном слое цементированного изделия, как правило, не должно превышать 0,9%. Более высокая концентрация углерода создает в наружном слое структуру заэвтектоидной стали, в которой, как мы знаем, избыточный цементит может присутствовать в виде тонкой сетки вокруг зерен перлита (фиг. 22). Эта цементитная сетка повышает хрупкость науглероженного слоя.

Если концентрация углерода в поверхностном слое доведена до 0,8—0,9%, то он получает после закалки и отпуска вполне достаточную твердость (550—650 по Бринеллю), более чем в два раза превосходящую твердость сердцевины.

Степень науглероживания и глубина цементированного слоя зависят от температуры нагрева при цементации, от продолжительности выдержки при этой температуре и от состава применяемого науглероживающего вещества, называемого карбюризатором.

Чрезмерно высокая температура нагрева и продолжительная выдержка нежелательны, так как длительное пребывание стали в зоне высокой температуры приводит к укрупнению зерен, а следовательно, и к ухудшению механических свойств. Обычно процесс цементации ведется при температуре 850—950° с выдержкой

при этой температуре от 2 до 10 час., в зависимости от того, какую глубину цементированного слоя желают получить.

Глубину цементированного слоя для крупных сильно нагруженных деталей обычно доводят до 2—2,5 мм, для мелких и средних деталей — от 0,5 до 1,5 мм. В практике приближенное определение глубины цементации производится путем исследования излома: цементированный слой после закалки имеет излом матовый, фарфоровидный, сердцевина — мелкозернистый, блестящий.

Необходимым условием доброкачественной цементации является постепенное и плавное понижение содержания углерода от поверхности к сердцевине, обеспечивающее прочную связь между науглероженным слоем и мягкой сердцевиной изделия. Резкое изменение концентрации углерода создает опасность отслаивания наружной корки вследствие больших внутренних напряжений, которые возникают на границе между цементированным слоем и сердцевиной при последующей закалке изделия.

2. Стали для цементруемых деталей авиамоторов

Простая малоуглеродистая сталь, вследствие недостаточной крепости и твердости, непригодна для изготовления высоконагруженных цементруемых деталей авиамоторов. Для шестерен, валиков, поршневых пальцев, роликов и других деталей мотора, работающих на истирание и испытывающих переменные динамические нагрузки, требуется особо высокая поверхностная твердость при большой крепости и вязкости сердцевины.

Указанные детали изготавливаются из высококачественных специальных сталей, чаще всего хромоникелевых, с низким содержанием углерода. Содержание углерода в этих сталях берется от 0,1 до 0,16%, никеля до 4% и хрома до 1,5%.

Благотворное влияние хрома и никеля на процесс цементации выражается в том, что эти элементы ускоряют цементацию и обеспечивают постепенный переход от науглероженного слоя к мягкой сердцевине изделия. Никель значительно повышает крепость и вязкость сердцевины. Присутствие хрома способствует повышению твердости науглероженного слоя и углублению закалки.

В табл. 10 приведены марки, состав и механические свойства хромоникелевых сталей, идущих на изготовление цементруемых деталей авиамоторов.

Таблица 10

Марки		Состав в %			Механические свойства сердцевинки после закалки и отпуска до 300°	
ОСТ	„Авиа“	C	Cr	Ni	σ_b кг/мм ²	δ %
13ХН2А	ЦК	0,1—0,16	0,2—0,5	1,7—2,3	60	15
12ХН3А	ХН1	0,1—0,16	0,60—0,9	2,75—3,25	90—100	11—12
13ХН4А	ХМ1	0,1—0,16	0,75—1,10	3,4—4,0	100	9

Сталь марки ЦК применяется для деталей, работающих со средним износом и испытывающих небольшие давления, как например распределительные валики, клапанные тарелки и т. п.

Сталь марки ХН1 применяется для более нагруженных деталей, работающих с большим износом и требующих повышенных механических свойств сердцевинки по сравнению с тем, что дает сталь марки ЦК. К таким деталям относятся поршневые пальцы, шестерни передач к агрегатам, ролики толкателей и их оси и ряд других деталей.

Из стали марки ХМ1 изготавливаются наиболее ответственные детали, подвергающиеся цементации, как то: наклонные валики, конические шестерни и т. д.

Основными видами цементации являются: цементация твердым порошком и цементация газами.

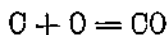
3. Цементация твердым порошком

На практике наибольшее распространение для цементации имеют карбюризаторы, состоящие из древесноугольного порошка, смешанного с какой-нибудь углекислой солью, как то: содой (Na_2CO_3), поташом (K_2CO_3) или витеритом (углекислый барий — BaCO_3). Эти углекислые соли добавляются в количестве 10—30% к древесному углю с целью усилить действие угольного порошка. Это дает возможность сократить продолжительность цементации и вести процесс при более низких температурах. Выше было отмечено, что высокая температура нагрева и продолжительная выдержка изделий при цементации способствуют перегреву.

В практике большое применение имеет смесь, состоящая из 75% березового угля и 25% соды. Цементация хромо-

никелевых сталей этой смесью производится при 850—900° с выдержкой в течение 4—6 час. В результате получается науглероженный слой толщиной 0,8—1,2 мм.

Рассмотрим действие древесного угля и соды (Na_2CO_3) на поверхностный слой стали. Уголь карбюризатора при температуре цементации сгорает в окись углерода по уравнению

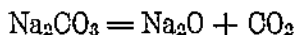


Окись углерода при соприкосновении с раскаленной сталью разлагается на углекислый газ и углерод по реакции

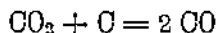


Атомы углерода, выделившиеся из окиси углерода, находятся в состоянии наибольшей активности («в момент рождения»). Эти атомы, соприкасаясь с поверхностью стального изделия, диффундируют в металл, вследствие чего концентрация углерода в наружном слое постепенно возрастает.

Усиливающее действие соды (Na_2CO_3) заключается в том, что она разлагается на окись натрия (Na_2O) и углекислый газ (CO_2) по уравнению



Выделяющийся углекислый газ соединяется с углеродом угля, образуя окись углерода:



Окись углерода, разлагаясь по уравнению $2 \text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$, выделяет углерод в атомном состоянии и насыщает им поверхностный слой стали.

Изделия, подлежащие цементации, укладываются в ящики из специального огнестойкого материала и засыпаются карбюризатором. Наиболее стойким материалом для ящиков являются специальные жароупорные стали. Высокой огнеупорностью обладают также чугуны или стальные ящики, поверхность которых алитирована, т. е. насыщена алюминием.

Упаковка в ящики производится так, чтобы изделия не касались друг друга и были окружены со всех сторон плотно утрамбованным карбюризатором. Так, например, для цементации шестерен и распределительных валиков применяются чугунные трубы, внутренний диаметр которых превышает диаметр изделий на 60—100 мм. Ящик

закрывают стальной или чугунной крышкой. Все щели обмазывают огнеупорной глиной, чтобы устранить утечку газов при нагреве.

Многие детали должны иметь цементированный слой не по всей поверхности, а только в отдельных местах, работающих на истирание. Так, например, у распределительных валликов цементации подвергаются только кулачки и шейки, у шестерен — только зубцы. Чтобы предохранить от науглероживания те места изделия, которые не подлежат цементации, их обматывают асбестовым шнуром или покрывают специальной огнеупорной замазкой. Наиболее надежным способом защиты от науглероживания является нанесение гальваническим путем слоя меди толщиной до 0,4 мм. Тот же результат может быть достигнут, если оставлять в соответствующих местах изделия припуски, которые после цементации снимаются на станке. Величина припуска должна быть несколько больше глубины цементации.

Места, подлежащие цементации, предварительно обтачиваются напильником с припуском до 0,2 мм. Этот припуск после цементации и закалки удаляется шлифовкой.

Изделия, упакованные в ящики, загружают в холодную печь, которую затем медленно нагревают до температуры цементации. Нагрев печи обычно продолжается 5—6 час. Температура нагрева должна быть немного выше температуры полного превращения структуры стали в твердый раствор, так как только при этом условии сталь приобретает способность растворять в себе углерод. Для простой углеродистой стали температура цементации поддерживается в пределах 900—950°. Для хромоникелевых сталей возможен более низкий нагрев — в пределах 850—900°. Выдержка изделий при температуре цементации длится 4—8 час., в зависимости от желаемой глубины науглероживания (0,8—1,5 мм).

По окончании процесса цементации ящики медленно охлаждаются вместе с печью.

4. Цементация газами

Цементация газами применяется преимущественно для мелких деталей с толщиной цементированного слоя не более 0,5 мм. В качестве газовых карбюризаторов употребляют светильный газ, ацетилен и некоторые другие газы.

Цементация изделий производится в герметически закрытых обогреваемых снаружи печах, через которые про-

пускается газ. Науглероживающее действие светильного газа и ацетилена значительно сильнее действия твердых карбюризаторов, поэтому продолжительность процесса при цементации газом сокращается в 1,5—2 раза. Газовая цементация обычно ведется при температуре 900—950°.

В последнее время в моторостроении начинает приобретать широкое распространение цементация газом, полученным путем пиролиза керосина. Пиролиз осуществляется нагреванием керосина в специальных установках до температуры 650—700°. Продукты пиролиза — газообразные углеводороды преимущественно ароматического ряда — после предварительной очистки направляются в специальную печь, где и производится цементация изделий.

Преимуществами газовой цементации являются: чистота процесса, точность и большая производительность, в 2—3 раза превышающая производительность цементации твердыми карбюризаторами.

5. Термическая обработка изделий после цементации

Продолжительное пребывание стали при высоких температурах в процессе цементации вредно отражается на ее структуре вследствие перегрева. Особенно крупнозернистым становится науглероженный слой. Отсюда вытекает необходимость подвергать цементированные изделия термической обработке для улучшения структуры и для придания высокой твердости наружному слою.

Термическая обработка цементированных изделий усложняется тем обстоятельством, что содержание углерода не одинаково в различных зонах сечения изделия и изменяется примерно от 0,9% в наружном слое до 0,15% в сердцевине. Это значит, что для малоуглеродистой сердцевины требуется более высокий нагрев при закалке, чем для наружного слоя. Определяя необходимые температуры нагрева по диаграмме, представленной на фиг. 27, находят, что термическую обработку сердцевины следует вести при температуре 880—900°, а для наружного слоя требуется нагрев не выше 740—760°.

Сложная термическая обработка, применяемая для цементированных изделий, обычно состоит из следующих операций:

а) закалка при температуре 880—900° с охлаждением в масле для улучшения структуры сердцевины;

б) вторичная закалка при $740-760^{\circ}$ с охлаждением в воде или масле для улучшения структуры наружного слоя и придания ему высокой твердости;

в) отпуск при $150-200^{\circ}$ для ослабления внутренних напряжений.

Первая закалка дает измельчение зерен сердцевины, но она не может благоприятно отразиться на структуре наружного слоя, так как нагрев до $880-900^{\circ}$ для науглероженного слоя чрезмерно высок. Вторичная закалка с нагревом до $740-760^{\circ}$ обеспечивает измельчение зерен науглероженного слоя и вызывает образование в нем мартенситовой структуры, необходимой для получения изделия с высокой поверхностной твердостью.

Необходимость подвергать цементированные изделия двойной закалке является основным недостатком процесса цементации. Закалка, требующая быстрого охлаждения, вызывает появление больших внутренних напряжений, которые при последующем отпуске при низкой температуре снимаются только частично. Внутренние напряжения вызывают коробление цементированного изделия, а иногда и образование трещин или отслаивание цементированного слоя.

§ 16. Нитрирование стали

Нитрированием или азотированием называется процесс насыщения поверхностного слоя стального изделия азотом.

Нитрирование производится с той же целью, что и цементация, т. е. для получения изделия с мягкой сердцевиной и твердым наружным слоем.

Процесс нитрирования состоит в том, что изделия из специальной стали, нагретые до температуры $550-580^{\circ}$, выдерживаются в течение 45—55 час. в потоке аммиака (NH_3). При этой температуре происходит разложение аммиака на азот и водород. Атомы азота, выделяющиеся в активной форме («в момент рождения»), проникают в поверхность стали и образуют с железом химические соединения Fe_3N и Fe_4N , называемые нитридами. В результате сталь приобретает с поверхности высокую твердость, достигающую до 1000 и более единиц по Бринеллю.

Нитрирование изделий производится в специальной печи с наружным электрическим нагревателем. Печи изготовляются из материала, стойкого против действия аммиака и продуктов его разложения (водорода и азота). Такими материалами являются нихром (20% хрома и 80% никеля), нержавеющая хромоникелевая сталь (20% хрома и

25% никеля), эмалированное железо и др. Аммиак подается в печь непрерывным потоком из баллонов. По выходе из печи неразложившийся аммиак поглощается водой в особом резервуаре.

Процесс нитрирования совершается наиболее успешно при температуре 550—580°. Выдержка изделий в потоке аммиака при этой температуре длится 45—55 час. Глубина получаемого при этом нитрированного слоя составляет около 0,2 мм. Практика показала, что более продолжительная выдержка нецелесообразна, так как после 55-часовой выдержки дальнейшее приращение толщины азотированного слоя почти прекращается.

Подготовка изделий к нитрированию состоит в том, что они подвергаются после грубой механической обработки закалке и отпуску при высокой температуре — на сорбит. После этой термической обработки изделия отделяются написто и шлифуются. Те места изделий, которые должны после нитрирования оставаться мягкими, предохраняются от проникновения азота путем поверхностного покрытия оловом, медью и другими металлами или специальной замазкой.

После нитрирования поверхность изделия получается матово-серебристого цвета с налетом серого порошка, который легко удаляется при окончательной полировке изделия.

Изделия после нитрирования не подвергаются дополнительной термической обработке, так как непосредственно после нитрирования они имеют высокую поверхностную твердость. Для сердцевин изделий необходимость в термообработке после нитрирования также отпадает благодаря тому, что сравнительно низкая температура нагрева при нитрировании не вызывает роста зерен стали.

В связи с этим процесс нитрирования не вызывает опасений в отношении коробления и появления трещин в изделии. В этом состоит основное преимущество нитрирования перед цементацией. Вместе с тем твердость нитрированной поверхности (до 1 000 по Бринеллю) значительно превосходит твердость, получаемую при цементации. Высокая твердость обеспечивает более продолжительную работу на истирание нитрированных изделий по сравнению с цементированными. Вместе с большой твердостью нитрированная сталь приобретает высокую стойкость против коррозии.

Нитрирование простых углеродистых сталей практически не применяется, так как насыщение их азотом протекает

очень медленно и поверхностный слой получается недостаточно твердым. Ввиду этого нитрированию в большинстве случаев подвергаются только специальные стали, в состав которых входит алюминий, хром, молибден или ванадий. Никель в эти стали не вводится, потому что он замедляет процесс нитрирования.

Присутствие алюминия в нитрируемой стали ускоряет процесс насыщения ее азотом. Хром оказывает сильное влияние на повышение поверхностной твердости нитрированного изделия. Молибден и ванадий способствуют получению одновременно твердой корки и вязкой мелкозернистой сердцевины.

Для нитрируемых деталей современных авиамоторов применяется преимущественно хромомолибденоалюминиевая сталь марки ХМАЗ следующего состава:

Углерода	0,3 — 0,38%
Хрома	1,35 — 1,65%
Молибдена	0,4 — 0,6 %
Алюминия	0,75 — 1,25%

Нитрирование получило широкое распространение в моторостроении и с успехом применяется для наиболее ответственных деталей, работающих на истирание, как то: гильзы цилиндров, шестерни редуктора, шестерни передач к нагнетателю, поршневые пальцы, пальцы сцепного шатуна, валтики передач к агрегатам и т. д.

§ 17. Цианирование стали

Цианированием называется поверхностное насыщение стали одновременно углеродом и азотом путем погружения изделия в расплавленные цианистые соли.

Таковыми солями являются желтая и красная кровяная соль $[K_2Fe(CN)_6]$ и $K_4Fe(CN)_6]$, цианистый калий (KCN), цианистый натрий (NaCN) и др. Из приведенных формул видно, что в состав молекул этих солей входит группа CN, называемая цианом. В процессе цианирования углерод и азот этой группы проникают в поверхностный слой стали и создают твердую корку толщиной от 0,06 до 0,2 мм при выдержке изделия в расплавленной соли соответственно от 15 до 60 мин.

В практике для цианирования малоуглеродистых сталей обычно применяется цианистый натрий, к которому для уменьшения улетучивания примешиваются сода и пова-

В
х
к
в
р
н
о
6*

ренная соль. Смесь этих солей расплавляют в стальной или чугунной ванне и доводят температуру ванны до 840—870°.

Изделия загружают в ванну в холодном состоянии и выдерживают до полного и равномерного прогрева. Выдержка длится не более 60 мин., иначе на изделии получается чрезмерно науглероженная хрупкая корка.

По окончании процесса цианирования изделие немедленно без дополнительного нагрева подвергается закалке в воде или масле. Такая упрощенная термическая обработка возможна благодаря тому, что непродолжительная выдержка при температуре цианирования исключает возможность образования крупнозернистой структуры.

В этом состоит основное преимущество цианирования перед цементацией. Кроме того, цианированные изделия работают на истирание надежнее, чем цементированные, вследствие более высокой твердости поверхностного слоя, насыщенного не только углеродом, но и азотом.

Крупным недостатком цианирования является легкая разлагаемость и летучесть цианистых солей. Продукты разложения этих солей очень ядовиты, поэтому приходится принимать особые меры предосторожности для предупреждения отравления рабочих.

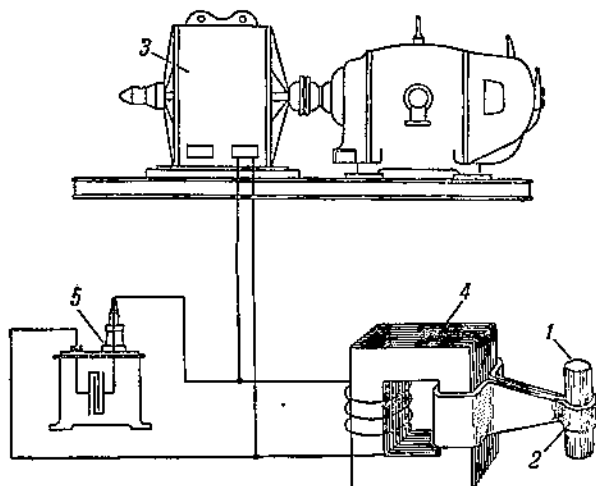
Цианирование имеет применение для мелких деталей автоматов, не требующих глубокой цементации.

Цианирование поверхностей неотвеченных изделий, как например граней гаек, гаек ключей и т. п., часто производится упрощенным способом. Для этой цели применяется желтая кровяная соль в виде порошка. Изделие предварительно нагревают в горне до 800—850°, затем вынимают, посыпают со всех сторон порошком и снова помещают в горн для кратковременного нагрева. После этого изделие закаливают в воде.

§ 18. Поверхностная закалка стали

За последнее время разработаны методы повышения поверхностной твердости стальных изделий без изменения химического состава стали. Эти методы основаны на закалке стали с поверхности на небольшую глубину. Для этого до закалочной температуры нагревается только наружный слой изделия, что возможно при условии, если источник тепла развивает очень высокую температуру и обеспечивает быстрый нагрев.

Поверхностная закалка по методу проф. Вологодина осуществляется нагревом при помощи токов высокой частоты, которые вызывают в изделии токи Фуко. Характерным свойством токов высокой частоты является так называемый «скин-эффект», т. е. стремление тока распространяться по поверхности проводника, но не по всему его сечению. Это свойство используется для быстрого поверхностного нагрева изделия под закалку.



Фиг. 36. Схема устройства для поверхностной закалки цилиндрических предметов:

1 — закаливаемый предмет; 2 — индуктор; 3 — генератор высокой частоты; 4 — питающий трансформатор; 5 — батарея конденсаторов

Изделие, подвергающееся закалке, например шейка вала, зажимается в специальный индуктор (фиг. 36), соединенный с трансформатором. При включении тока поверхность изделия быстро нагревается. По достижении необходимой закалочной температуры ток выключают. В этот момент через отверстия в индукторе нагретая поверхность обрызгивается охлаждающей жидкостью.

Другой метод (контактный) поверхностной закалки стальных изделий за счет нагрева электрическим током разработан проф. Гевелингом. При поверхностной закалке по способу проф. Гевелинга изделие нагревается током большой силы, подводимым к закаливаемой поверхности через контакты в виде медных роликов, обкатывающих поверхность и нагревающих ее.

Преимущество поверхностной закалки перед цементацией заключается в том, что сердцевина изделия не подвергается нагреву, следовательно, структура ее остается без изменения. Процесс поверхностной закалки по сравнению со всеми видами химико-термической обработки стали требует значительно меньшей затраты времени.

ЛИТЕРАТУРА

Кащенко Г. А., проф., Учебное пособие по металлографии (Курс для мастеров социалистического труда).

Минкевич Н. А., проф., Курс термической обработки сталей и чугуна.

Минкевич Н. А., проф., Технология стальных и чугунных авиадеталей, части I и II, 1936.



А
Б
В
Г
Д
Е

Ж
З
И
К
Л
М
Н
О

ГЛАВА ПЯТАЯ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТАЛИ

§ 19. Общие сведения

Область применения простых углеродистых сталей в авиастроении весьма ограничена, так как механические свойства этих сталей не удовлетворяют тем требованиям, которые предъявляются к материалам для современных самолетов и моторов.

Важнейшим недостатком простых углеродистых сталей является невозможность получать в крупных изделиях равномерную сквозную закалку по всему сечению изделия. Самое резкое охлаждение крупных изделий из простой стали может дать закалку на мартенсит лишь с поверхности, более же глубокие слои, охлаждающиеся с меньшей скоростью, получают закалку на сорбит или даже совсем не закалываются.

Введение в сталь небольших количеств специальных элементов повышает закалываемость ее и дает возможность получать структуру мартенсита на большей глубине при сравнительно малых скоростях охлаждения. В этом случае закалка обеспечивает наибольшую равномерность механических свойств в наружных и внутренних зонах изделия.

Закалка и последующий отпуск при высокой температуре придают специальным сталям, содержащим небольшое количество добавочных элементов, равномерную тонкую сорбитовую структуру по всему сечению. Эта структура обуславливает высокую крепость и хорошую вязкость стали при сравнительно большой твердости.

В некоторых сортах специальных сталей путем закалки и отпуска можно повысить временное сопротивление на разрыв до $150-200 \text{ кг/мм}^2$ при относительном удлинении порядка $4-10\%$. В простых углеродистых сталях при том же удлинении можно получить временное сопротивление

не свыше 100 кг/мм². Отсюда видно, какое большое преимущество имеют специальные стали по сравнению с простыми углеродистыми.

§ 20. Классификация специальных сталей по назначению и микроструктуре

Большинство элементов, при введении их в углеродистую сталь, сообщает твердому раствору (аустениту), образующемуся при нагреве, особую устойчивость и задерживает процесс его распада при охлаждении. Добавочные элементы, введенные в сталь, в зависимости от их природы и количества могут вызвать настолько сильное торможение распада твердого раствора, что сталь будет получаться в состоянии мартенсита и даже аустенита при охлаждении на воздухе без применения ускоренного охлаждения в воде или масле. Это свойство принимать закалку на мартенсит при охлаждении на воздухе с закалочной температуры называется **самозакаливаемостью** стали. Оно является весьма характерным для многих специальных сталей.

В зависимости от того, какую структуру получает сталь при охлаждении на воздухе от температуры закалки, французский ученый Гийе подразделяет все специальные стали на следующие четыре класса: 1) перлитовый, 2) мартенситовый, 3) аустенитовый и 4) карбидный.

В табл. 11 указывается, к какому из этих классов относится по структуре специальная сталь в зависимости от содержания в ней углерода и специального элемента.

Таблица 11

Наименование специального элемента	Mn		Ni		Cr		W		Mo		V	
	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8
Перлитовый класс	0—5	0—3	0—10	0—5	0—7	0—3	9	0—1,5	0—2	0—1	0—0,97	0—0,95
Мартенситовый класс	5—12	3—7	10—27	5—15	7—20	3—18	—	—	—	—	—	—
Аустенитовый класс	> 12	> 7	> 27	> 15	—	—	—	—	—	—	—	—
Карбидный класс	—	—	—	—	> 20	> 18	> 9	> 4,5	> 2	> 1	> 0,97	> 0,95

Примечание. Дашные Гийе.

Специальные стали перлитового класса характеризуются сравнительно небольшим содержанием добавочных элементов. По своей структуре эти стали приближаются к простым углеродистым сталям. При медленном охлаждении их от температуры закали твердый раствор претерпевает полное распадение с образованием перлита, как и в простых углеродистых сталях. Однако перлит специальных сталей имеет более тонкое строение и обладает более высокими механическими качествами, чем перлит простой углеродистой стали. Кроме того, стали перлитового класса имеют то преимущество перед простыми сталями, что они закаляются на большую глубину и приобретают после отпуска при высокой температуре на сорбит большую крепость при значительной вязкости.

Стали перлитового класса относятся к конструкционным сталям и широко применяются для изготовления частей машин, двигателей и всякого рода сооружений.

Стали мартенситового класса отличаются от перлитовых сталей более высоким содержанием добавочных элементов. Они характеризуются тем, что при охлаждении на воздухе приобретают мартенситовую структуру.

Стали мартенситового класса практического применения почти не имеют вследствие высокой твердости, затрудняющей их механическую обработку, и большой хрупкости.

Стали аустенитового класса содержат наибольшее количество специальных элементов, сообщающих аустениту настолько большую устойчивость, что он не претерпевает распада при охлаждении на воздухе. Поэтому эти стали при обыкновенной температуре имеют однородную аустенитовую структуру.

Стали аустенитового класса обладают особыми свойствами, зависящими от природы растворенных в них специальных элементов. К этим сталям относятся стали, стойкие против истирания (сталь Гатфильда, содержащая 1,1% C и 12% Mn), нержавеющие стали, жаростойкие, немагнитные, с малым коэффициентом линейного расширения, с высоким электрическим сопротивлением и др.

К карбидному классу принадлежат те стали, которые имеют в своем составе большое количество карбидообразующих элементов, т. е. таких элементов, которые вступают в химические соединения с углеродом. К числу этих элементов относятся хром, вольфрам, молибден и ванадий.

Карбиды этих металлов отличаются чрезвычайно высокой твердостью, поэтому стали карбидного класса идут

главным образом на изготовление режущего инструмента. Они обладают высокой твердостью, стойкостью против истирания и особенно ценным свойством, называемым красностойкостью, т. е. способностью не снижать твердости при нагреве до красного каления (быстрорежущие стали).

§ 21. Никелевые, хромистые и хромоникелевые стали

Специальные стали приготовляются в тиглях или электрических печах путем переплавки простой углеродистой стали вместе с необходимыми присадками специальных элементов, которые вводятся в расплавленную сталь или в чистом виде (например никель) или в виде сплавов с железом (ферросплавов). Эти сплавы содержат высокий процент специальных элементов, как например сплав железа с хромом (феррохром), содержащий до 70% хрома, сплав железа с вольфрамом (ферровольфрам) с 80% вольфрама и т. д.

Основными добавочными элементами, которые имеют наиболее широкое применение в специальных сталях, являются никель и хром. Рассмотрим влияние этих элементов на свойства стали.

1. Никелевые стали

Никель — мягкий и тягучий металл серебристо-белого цвета, немного тяжелее железа (удельный вес 8,8), плавится при температуре 1450°. При сплавлении со сталью никель полностью растворяется в феррите. Добавка никеля увеличивает вязкость и тягучесть стали при одновременном незначительном повышении ее крепости и твердости. Никель способствует углублению закалки, но не в такой степени, как хром, марганец, молибден, вольфрам и др. Однако в сочетании с указанными элементами способность никеля углублять закалку значительно повышается. Никелевые стали значительно лучше сопротивляются ржавлению, чем простые углеродистые стали.

Конструкционные никелевые стали перлитового класса с содержанием никеля от 1 до 7% применяются в машиностроении для изготовления коленчатых валов, шатунов, зубчатых колес, болтов, заклепок и т. п.

В качестве примера применения никелевой стали в авиационном моторостроении можно указать только на кулачковые шайбы мотора М-25 и некоторые другие ответ-

ственные детали, изготавливаемые из цементируемой стали Н5А, содержащей 0,1—0,17% углерода и 4,5—5,25% никеля.

Ограниченное распространение никелевых сталей в авиастроении объясняется тем, что они являются более мягкими по сравнению со сталями, содержащими, кроме никеля, другие элементы, особенно хром.

Добавка никеля сильно изменяет коэффициент теплового расширения стали. Сталь, содержащая 36% никеля, называется инварной сталью. Эта сталь замечательна тем, что ее коэффициент линейного расширения почти равен нулю. Инвар применяется в точном приборостроении, например для маятников хронометров, не меняющих своей длины при колебаниях температуры.

Сталь, содержащая 48—51% никеля, имеет коэффициент расширения, равный коэффициенту расширения стекла и платины. Эта сталь называется платинитом и идет на изготовление электродов лампочек накаливания, ободков для линз оптических приборов и других деталей, которые должны иметь такой же коэффициент расширения, как стекло.

2. Хромистые стали

Чистый хром представляет собой твердый металл блестяще-белого цвета с температурой плавления 1520° и удельным весом 6,8.

Для получения хромистой стали хром добавляется к простой углеродистой стали в виде феррохрома. При этом хром частично входит в твердый раствор с ферритом, частично же соединяется с углеродом стали, образуя карбиды Cr_3C_2 и Cr_4C . Эти карбиды хрома в сочетании с карбидом железа Fe_3C (цементитом) сильно повышают твердость и крепость стали, но одновременно увеличивают ее хрупкость. Хром сильно углубляет закалку. В качестве присадки хром широко применяется для инструментальных сталей и сталей для шарикоподшипников, которые после закалки должны иметь высокую твердость. Стали для шариковых и роликовых подшипников содержат около 1—1,2% углерода и 1—1,5% хрома. Почти такой же состав имеют и инструментальные хромистые стали.

В моторостроении хромистые стали применяются для изготовления цилиндров мощных моторов, втулок винта и их фланцев. Марки, состав и механические свойства этих сталей (после закалки и отпуска) указаны в табл. 12.

Добавление хрома в больших количествах делает сталь устойчивой против коррозии. Стали с высоким содержанием хрома (11—14%) относятся к разряду нержавеющих сталей.

Таблица 12

Марка		Состав в %		Механические свойства		
ОСТ	„Азна“	C	Cr	σ_b кг/мм ²	δ %	H_B
38XA	X4	0,34—0,42	0,8—1,1	95—100	12—10	270—330
45XA	X5	0,4—0,5	1,2—1,6	80	12	230—280

3. Хромоникелевые стали

Конструкционные хромоникелевые стали по сравнению с другими сталями обладают более высокой ударной вязкостью, наряду с высокой крепостью и твердостью. Наиболее выгодное соотношение между содержанием хрома и никеля в этих сталях лежит в пределах 2,5—3 части никеля на 1 часть хрома.

Хромоникелевые стали хорошо закаливаются на большую глубину. Это дает возможность получать в изделиях крупных размеров сквозную закалку при охлаждении с умеренной скоростью. Хромоникелевые стали не терпят резкого охлаждения и не допускают закали в воде. Обычно закалку этих сталей производят в масле, а в некоторых случаях даже на воздухе.

Температура нагрева под закалку хромоникелевых конструкционных сталей берется в пределах 820—840°. Отпуск производится при сравнительно высоких температурах — порядка 500—650° — для получения сорбитовой структуры. После отпуска необходимо производить быстрое охлаждение, так как при медленном охлаждении с температуры отпуска хромоникелевые стали способны приобретать хрупкость. Охлаждение рекомендуется производить в масле.

Хромоникелевые стали имеют широкое применение в авиамоторостроении. Они идут для изготовления наиболее ответственных, высоконагруженных деталей. В разделе «Цементация стали» были рассмотрены хромоникелевые стали, применяемые для цементируемых деталей моторов (марки ЦК, ХН1 и ХМ1). Кроме этих сталей, в моторостроении применяются хромоникелевые стали марок ХН2,

ХНЗ и ХН4 (табл. 13), которые цементации не подвергаются. Они предназначены для изготовления изделий, которые подвергаются термической обработке — закалке и отпуску при высокой температуре.

Стали ХН2 и ХНЗ применяются для втулок винта, валков, рычагов, коромысел впуска и выпуска, шпильки, болтов и ряда других деталей авиамоторов.

Сталь ХН4 идет на изготовление пестерен, толкателей, клапанных замков и других деталей, подверженных высоким ударным и переменным нагрузкам.

Таблица 13

Марка		Состав в %			Механические свойства	
ОСТ	„Авиа“	С	Cr	Ni	σ_b кгс/мм ²	δ %
20ХНЗА	ХН2	0,17—0,25	0,6 — 0,9	2,75—3,25	85—100	12—10
—	ХНЗ	0,25—0,35	0,85—1,25	2,8 — 3,5	105—110	12—10
37ХНЗА	ХН4	0,33—0,41	1,2 — 1,6	3,0 — 3,7	115	10

В конструкциях самолета хромоникелевая сталь употребляется только для болтов, валков и тому подобных деталей. Эти детали изготавливаются из стали марки ХНЗ.

Большое значение в самолетостроении имеют стали с высоким содержанием хрома и никеля (17—20% Cr и 8—10% Ni). Эти стали относятся к сталям аустенитового класса и характеризуются высокой стойкостью против коррозии и хорошей свариваемостью. Описание их дается в § 29.

При всех преимуществах, которыми обладают хромоникелевые стали в отношении механических качеств, они имеют и недостатки. Важнейшим недостатком их является склонность к образованию внутренних трещин, называемых флокенами (хлопьевидные пятна), которые резко понижают прочность металла и главным образом его сопротивление удару и усталости. В изломе флокены обнаруживаются в виде белых пятен круглого или эллиптического очертания размером по диаметру до 20—30 мм.

Природа флокенов и причины их образования до сих пор не вполне выяснены, несмотря на многочисленные исследования, посвященные изучению этого вопроса. Образование флокенов может быть объяснено следующими обстоятельствами:

а) неравномерным охлаждением стали после горячей обработки (ковки, прокатки, штамповки), при котором в отдельных местах изделия возникают большие внутренние напряжения, вызывающие образование внутренних трещин;

б) наличием в металле шлаковых (неметаллических) включений или тонких слоев оксидов;

в) присутствием в металле раковин и газовых пузырей.

Радикальной мерой борьбы с флокенами в изделиях из хромистых и хромоникелевых сталей является в основном соблюдение определенного режима нагрева и охлаждения при горячей механической обработке. В качестве меры борьбы с флокенами часто прибегают к присадке дополнительных специальных элементов, главным образом молибдена, вольфрама или ванадия, т. е. таких элементов, которые способствуют получению мелкозернистой структуры.

ЛИТЕРАТУРА

Минкевич Н. А., проф., Сталь, стальные и чугунные полуфабрикаты.

Минкевич Н. А., проф., Курс термической обработки стали и чугуна.

Штейнберг С., проф., Металловедение, ч. III, Специальные стали.

Ляхтия Ю. М., инж.-доц., Чулицкий Н. Н., проф.-докт., и др., Авиацисное материаловедение, ч. I, 1938.



ГЛАВА ШЕСТАЯ

СТАЛИ И ЧУГУНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В АВИАМОТОРОСТРОЕНИИ

§ 22. Стали для коленчатых валов и шатунов

Коленчатые валы и шатуны являются самыми ответственными деталями авиамоторов. Коленчатый вал в процессе работы подвергается истиранию в шейках и испытывает сложные напряжения. Он работает на кручение, изгиб и срез от повторных нагрузок, прилагаемых с большой частотой.

Работа шатунов в авиамоторах протекает в условиях повторных растяжений и сжатий, вызывающих продольный изгиб. По роду нагрузок, которым коленчатый вал и шатун подвергаются в работе, для их изготовления требуется высококачественная сталь с высокими механическими свойствами, т. е. высоким сопротивлением разрыву, пределом упругости, относительным удлинением, сопротивлением удару и главным образом с высоким пределом усталости. Такими сталями являются хромоникелевые стали с добавкой вольфрама или молибдена. Состав и механические свойства этих сталей после закалки и отпуска приведены в табл. 14.

Таблица 14

Марка		Состав в %				
ОСТ	„Авиа“	C	• Cr	Ni	W ¹	Mo ¹
13XН4ВА	И-114	0,10—0,16	1,35—1,65	4,10—4,60	0,8—1,2	0,25—0,45
18XН4ВА	53А1	0,15—0,22	1,35—1,65	4,10—4,60	0,8—1,2	0,25—0,45
26XН4ВА	53А2	0,2 —0,3	1,3 —1,7	4,0 —4,7	0,8—1,2	0,25—0,45

¹ Сталь содержит или вольфрам или молибден, а не оба элемента одновременно.

Вольфрам и молибден оказывают положительное влияние на структуру и механические свойства хромоникелевой стали. Оба эти элемента препятствуют росту зерна при нагреве стали и способствуют получению весьма мелкозернистой структуры. Действие молибдена проявляется значительно сильнее, чем вольфрама, поэтому он вводится в сталь в меньшем количестве.

Стали, указанные в табл. 14, идут на изготовление коленчатых валов, валов редуктора и шатунов.

После закалки и отпуска эти стали имеют временное сопротивление $\sigma_b = 140 \text{ кг/мм}^2$ и выше, при относительном удлинении $\delta = 12-14\%$.

Сталь И-114 применяется не только для указанных деталей, но и для валов импеллера и шестерен. Она содержит меньше углерода, чем другие стали, поэтому может подвергаться цементации.

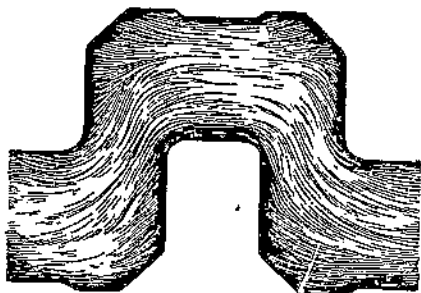
Большое значение для прочности коленчатых валов и шатунов имеет расположение волокон стали. В § 12 указывалось, что в результатековки или прокатки металл приобретает волокнистое строение. Такое строение обуславливает неодинаковую прочность металла в различных направлениях. Прочность будет наибольшей в том случае, когда направление волокон совпадает с направлением приложенных усилий.

Щеки коленчатого вала подвергаются растягивающим усилиям, направленным перпендикулярно к оси вала, и в то же время являются наиболее нагруженными частями его. Если направление волокон металла в щеках будет совпадать с направлением оси вала, т. е. если волокна будут направлены перпендикулярно по отношению к растягивающему усилию, то щека явится наиболее слабым местом коленчатого вала.

Поэтому для увеличения прочности ковку коленчатого вала ведут так, чтобы направление волокон следовало конфигурации вала, как это показано на фиг. 37. Наиболее выгоднейшее расположение волокон в шатуне представлено схематически на фиг. 38.

Наилучший способ изготовления коленчатых валов, обеспечивающий правильное расположение волокон, состоит в следующем. Кованая заготовка нужных размеров выгибается в штампах под прессом для образования грубой формы колен, расположенных в одной плоскости. Затем вал в горячем состоянии подвергается скручиванию в шейках, в результате чего колена получают разведенными на требуемый угол.

Для повышения механических свойств стали готовые поковки после грубой обдирки на станках подвергаются термической обработке, состоящей из следующих операций:

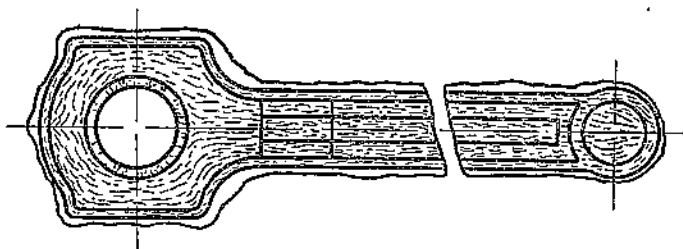


Фиг. 37. Наиболее выгодное расположение волокон в щеках и шейках коленчатого вала

а) отжига или нормализации для уменьшения зерен стали и устранения внутренних напряжений, остающихся послековки и штамповки;

б) закалки в масле с последующим отпуском при высокой температуре для сообщения стали нужных механических свойств.

После термообработки валы и шатуны поступают в окончательную отделку, причем особое внимание обращается на тщательность шлифовки и полировки поверхности изделия. Удаление царапин и следов обработки резцами повышает стойкость изделия против усталости, вызываемой знакопеременными нагрузками.



Фиг. 38. Наиболее выгодное расположение волокон в шатуне

Шейки коленчатого вала некоторых моторов, имеющих шатуны с роликовыми подшипниками, подвергаются цементации для получения высокой поверхностной твердости. Валы этих моторов изготавливаются из цементируемой хромоникельвольфрамовой стали И-114 (табл. 14). После цементации шеек весь вал проходит термическую обработку, обычно применяемую для цементированных изделий: двойную закалку и отпуск при низкой температуре. Производство такой термообработки весьма сложно и свя-

зано с возможностью поводки вала, поэтому валы с цементированными шейками получили очень ограниченное распространение.

Необходимость в цементации шеек вала отпадает в случае применения шатунов с бронзовыми втулками или вкладышами, залитыми баббитом.

Стали, марки которых указаны в табл. 14, кроме коленчатых валов и шатунов, применяются для изготовления ответственных болтов, валов редуктора, поршневых пальцев и других высоконагруженных деталей.

§ 23. Стали для цилиндров

Цилиндры авиамоторов водяного охлаждения состоят из стальных гильз, связанных между собой в блок общей водяной рубашкой и клапанной головкой. Рубашка и головка отливаются из легких алюминиевых сплавов.

В звездообразных моторах воздушного охлаждения стальные цилиндры для лучшего отвода тепла изготавливаются с тонкими, широкими ребрами. Охлаждающие ребра получают путем проточки поллой гильзы, отштампованной с припуском, необходимым для образования ребер. На гильзу навертывается в нагретом состоянии клапанная головка, отлитая из алюминиевого сплава.

Во время работы цилиндр испытывает усилие от давления газов. Это усилие, достигающее наибольшей величины в момент вспышки, стремится разорвать цилиндр по образующей. Зеркало цилиндра должно иметь достаточно твердую поверхность для уменьшения износа, вызываемого трением поршневых колец. Вместе с этим материал для гильз должен обладать стойкостью в отношении коррозии от действия выхлопных газов.

Для изготовления цилиндров применяются следующие стали:

а) Простая углеродистая сталь У4 (0,4—0,5% углерода), которая после закалки в масле и отпуска при высокой температуре на сорбит имеет временное сопротивление около 75 кг/мм^2 , удлинение 13% и твердость по Бринеллю 240—270.

б) Хромистые стали Х5 и Х4, состав и механические свойства которых приведены в табл. 12. Эти стали по сравнению со сталью У4 обладают более высокой твердостью и крепостью.

в) Хромомолибденоалюминиевая сталь ХМАЗ (см. § 16), подвергаемая нитрированию. Процесс нитрирования позволяет получать цилиндры с очень высокой поверхностной твердостью и устойчивые против коррозии. Эти качества сохраняются у нитрированных цилиндров при повышенной температуре во время работы мотора.

§ 24. Стали для клапанов

Работа клапанов авиамоторов протекает в особо тяжелых условиях, создаваемых высокой температурой нагрева. Выхлопные клапаны вследствие омывания их выхлопными газами нагреваются до 870—900°.

В значительно более благоприятных условиях работают клапаны впуска, температура которых при нормальном режиме работы мотора не превышает 260°.

Вместе с тем клапаны испытывают значительные нагрузки в виде резких ударов в момент посадки грибка клапана на седло. Эти удары, передаваемые с большой частотой, могут вызвать смятие рабочей поверхности клапана, растрескивание грибка и выкрашивание его кромки. Стержень клапана подвергается износу от трения скольжения в направляющей втулке.

В эксплуатации выхлопные клапаны выбывают из строя главным образом по причине выгорания кромки грибка. Это явление обусловлено как механическими воздействиями (ударами), так и разъедающим действием горячих выхлопных газов (газовая коррозия). Особенно сильная коррозия выхлопных клапанов наблюдается при работе мотора на свинцовом бензине с повышенным содержанием тетраэтилового свинца.

В соответствии с указанными условиями работы клапанов к сталям, применяемым для их изготовления, предъявляются следующие требования:

а) сохранение крепости, ударной вязкости и твердости при нагреве до 800—900°;

б) устойчивость против газовой коррозии при высоких температурах;

в) отсутствие самозакаливания клапана при охлаждении на воздухе с высоких температур после остановки мотора.

Самозакаливание представляет значительную опасность вследствие хрупкости, приобретаемой клапаном в холодном состоянии, что может вызвать поломку его при запуске мотора (пока клапан не нагреется). В этом отношении большое преимущество имеют стали аустенитового класса,

в особенности стали с высоким содержанием хрома и никеля, которые при охлаждении на воздухе сохраняют структуру аустенита и высокую ударную вязкость, свойственную этой структуре. Кроме того, хромоникелевые стали обладают большой стойкостью против газовой коррозии.

Естественно, что сталь для клапанов выпуска, работающих в особо тяжелых температурных условиях, должна быть более жаростойкой и должна обладать более высокими механическими свойствами, чем сталь для клапанов впуска.

Марки и составы клапанных сталей, применяемых в моторостроении, приведены в табл. 15.

Таблица 15

Клапаны	Марки сталей	Состав в %						
		C	Si	Cr	Ni	W	Mo	V
Впуска Выпуска	X12M	1,45—1,7	ниже 0,5	11—12,5	ниже 0,5	—	0,5—0,8	0,15—0,3
Впуска Выпуска	XHVa ЭЯЭО	0,16—0,25 0,3—0,4	ниже 0,4 2,3—2,9	0,7—1,1 16—20	3,0—4,6 23—27	— —	— —	0,2—0,4 —
Впуска Выпуска	ЭП73 ЭП69	0,25—0,37 0,4—0,5	2—3 0,3—0,8	11,5—14 13—15	6,5—7,5 13—15	— 2,0—2,75	— 0,4—0,6	— —
Впуска Выпуска	ОХ10М	0,30—0,45	2,2—3,2	8,0—12	ниже 0,5	—	0,7—1,3	—
Впуска Выпуска	X12K	1,1—1,4	ниже 0,5	11—13	ниже 0,5	Со 2,5—3	0,5—1,0	—

Все эти стали содержат высокий процент хрома (до 20%), который повышает твердость и жаростойкость стали, т. е. способность сохранять механические свойства при повышенных температурах. Вместе с тем хром повышает коррозионную стойкость стали и способствует, особенно в сочетании с кремнием, устранению самозакаливаемости клапана.

Стойкость против коррозии высокохромистой стали сильно повышается при добавлении никеля. Наилучшие показатели в отношении сопротивляемости газовой корро-

выш при высоких температурах дают нержавеющие хромо-никелевые и сплехромоникелевые стали (марки ЭИ69 и ЭИ30).

Добавление молибдена, вольфрама и кобальта, так же как и хрома, оказывает благоприятное влияние на жаростойкость клапанных сталей и способствует сохранению крепости и твердости клапана при высоких температурах. Шток клапана из стали ЭИ69 подвергается нитрированию для повышения сопротивляемости износу.

Чтобы удлинить срок службы клапанов выпуска и время их работы между двумя очередными притирками, иногда на рабочую поверхность грибка наваривается твердый сплав стеллит. Это дает возможность значительно повысить устойчивость клапана против газовой коррозии и повторных ударных нагрузок в условиях высокой температуры.

Стеллит представляет собой сплав на кобальтовой основе (60—65% кобальта), содержащий хром, вольфрам, кремний и углерод. Состав стеллита:

Кобальта	60—65%
Хрома	27—30%
Вольфрама	4—5%
Кремния	2—2,5%
Углерода	0,9—1,2%

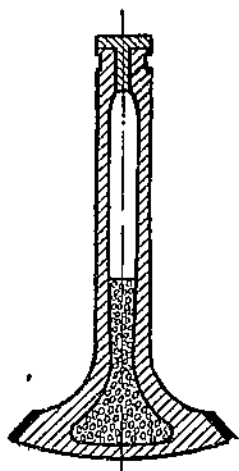
Стеллит наплавляется на фаску клапана при помощи кислородно-ацетиленового пламени. Операция наплавки протекает следующим образом.

Клапан, предварительно подогретый до 750—850°, устанавливается в медное гнездо на специальном сварочном столике. Клапан может поворачиваться на небольшой угол от нажима ноги на педаль. Сварщик направляет пламя горелки на фаску клапана и подогревает участок в 20—30 мм до температуры, близкой к началу плавления. Одновременно разогревается и прутки стеллита, помещенный своим концом в пламя горелки. Как только на стеллитовом прутке образуется капля жидкого металла (стеллита), ее быстрым прикосновением прутка переносят на фаску клапана. Затем пламя горелки переносят на следующий участок фаски, куда наносят следующую каплю стеллита, и т. д.

После наплавки стеллита фаска клапана шлифуется и полируется. Толщина слоя стеллита в зависимости от формы и размеров клапана может колебаться от 0,8 до 1,6 мм.

При работе наплавленного стеллитом клапана по седлу из алюминиевой бронзы наблюдается налипание бронзы на фаску клапана. Это способствует выгоранию кромки грибка, в особенности при работе мотора на свинцовом бензине. Применение стальных седел вместо бронзовых значительно увеличивает срок службы клапанов. Такие седла изготовляются из хромоникелевой стали аустенитового класса, имеющей коэффициент теплового расширения, близкий к таковому алюминиевой бронзы.

Широко применяются в моторостроении пустотелые клапаны выхлопа, заполняемые для улучшения теплоотдачи металлическим натрием (фиг. 39). Натрий имеет низкую температуру плавления (97°), поэтому он быстро расплавляется после запуска мотора и, взбалтываясь в полости клапана, способствует интенсивному отводу тепла от грибка к стержню.



Фиг. 39. Охлаждение клапана металлическим натрием

§ 25. Стали для клапанных пружин

Клапанные пружины испытывают в работе ударные нагрузки большой частоты, которые сообщают пружинам значительное сжатие по высоте.

В мощных авномоторах каждый клапан снабжается тремя спиральными пружинами, чтобы предотвратить остановку мотора в случае поломки одной из пружин.

Сталь для клапанных пружин должна обладать большой упругостью, высокой ударной вязкостью и выносливостью на усталость. Этим требованиям в большей степени удовлетворяет хромованадиевая сталь марки ХВа следующего состава:

Углерода	0,45—0,6%
Хрома	0,75—1,1%
Ванадия	0,18—0,26%

Добавление небольшого количества ванадия к хромистой стали в значительной мере повышает ее временное

сопротивление разрыву, предел упругости и сопротивление переменным нагрузкам (предел усталости).

Хромованадиевая сталь применяется для изготовления клапанных пружин и амортизирующих пружин привода нагнетателя.

Пружины изготавливаются следующим образом.

Круглая проволока из стали ХВa навивается в холодном состоянии на станке на стальную оправку. Затем, вместе с оправкой, пружина подвергается отжигу при температуре 760° для снятия наклепа, полученного при навивке. Вслед за этим пружина снимается с оправки и закаливается в масле при температуре $830-850^{\circ}$. После закалки следует отпуск при $330-350^{\circ}$ с охлаждением в масле.

Сталь ХВa, подвергнутая закалке и отпуску, имеет временное сопротивление не менее 150 кг/мм^2 при относительном удлинении в 5—6%.

§ 26. Чугун для поршневых колец

Назначение поршневых колец состоит в том, чтобы создавать между поршнем и зеркалом цилиндра уплотнение, препятствующее утечке газов из камеры сгорания. Вместе с тем кольца не должны допускать проникновения масла в камеру сгорания.

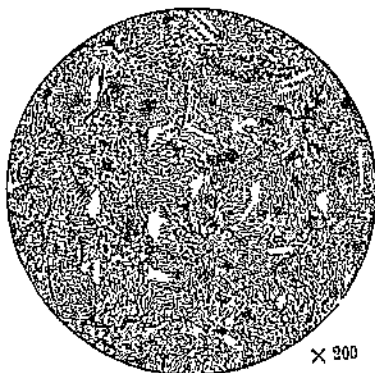
В соответствии с этими требованиями поршневые кольца должны обладать следующими свойствами:

- а) высокой упругостью, обеспечивающей герметичность камеры сгорания;
- б) антифрикционными свойствами, необходимыми для наименьшего износа самого кольца и зеркала цилиндра;
- в) жаростойкостью, так как кольцо работает при температуре порядка 300° ;
- г) высоким сопротивлением ударной нагрузке, получаемой кольцом при каждой перемене направления движения поршня;
- д) прочностью на изгиб, который имеет место при надевании кольца на поршень.

Этим требованиям наилучшим образом отвечает серый цилиндрический чугун.

В сером чугуне большая часть углерода находится в свободном состоянии в виде графита (свободный углерод), меньшая же часть углерода (связанный углерод) образует с железом химическое соединение Fe_3C — цементит.

Графит серого чугуна имеет вид мелких пластинок или чешуек, вкрапленных в основную массу металла. Основная металлическая масса чугуна, в зависимости от количества связанного углерода, может быть ферритовая, феррито-перлитовая, перлитовая и цементито-перлитовая. Перлитовый чугун имеет 0,6—0,9% связанного углерода; структура его состоит из перлита с рассеянными в нем чешуйками графита (фиг. 40). В сравнении с серыми чугунами на другой основе перлитовый чугун имеет более высокие механические свойства и плотный мелкозернистый излом.



Фиг. 40. Микроструктура серого чугуна на перлитовой основе

Сравнительные механические свойства перлитового и обычного серого литейного чугуна приведены в табл. 16.

Таблица 16

Материал	Удлинение в %	Сопротивление в кг/мм ²			Твердость по Бринеллю $H_B^{10/3000}$
		растягу	сжатию	изгибу	
Стружечное литье	—	10,8	20,5	—	121
Серый чугун А . .	0,6	21,8	37,6	93,6	208
» » В . .	—	21,10	35,1	90,2	184
» » С . .	—	—	38,2	82,3	192
Перлитовый чугун .	0,6	29,2	49,9	99,1	212

Перлитовый чугун дает хорошие и плотные отливки. В общем машиностроении он применяется для отливки цилиндров и поршневых колец насосов, компрессоров, воздуходувных машин и др., работающих при повышенных давлениях.

Для поршневых колец авиамоторов рекомендуется перлитовый чугун следующего состава:

	Отливка в песок	Отливка в кокиль
Общее содержание углерода	3,0—3,6%	3,2—3,8%
Связанный углерод	0,5—0,8%	0,5—0,9%
Кремний	2,6—3,2%	2,6—3,2%
Марганец	0,6—0,9%	0,4—0,7%
Фосфор (не более)	0,7%	0,7%
Сера (не более)	0,10%	0,10%

Влияние примесей на свойства чугуна выражается в следующем: марганец способствует отбеливанию чугуна; кремний, наоборот, способствует выделению графита и получению серого палома. Углерод в виде графита в деталях, работающих на трение, является желательным элементом, так как он при работе на трение служит смазкой и улучшает антифрикционные свойства материала.

Фосфор повышает жидкотекучесть чугуна и несколько улучшает его литейные свойства. К тому же при содержании до 1,0% он повышает антифрикционные свойства чугуна.

Лучшие отливки в отношении плотности и чистоты поверхности дает центробежный способ литья, состоящий в том, что чугун заливают в подогретый до 400—450° кокиль, вращающийся со скоростью около 1000 об/мин.

§ 27. Стали для магнитов

Стали, применяемые для изготовления магнитов авиационных магнето, должны обладать высокой коэрцитивной (магнитоудерживающей) силой. Такими сталями являются хромовольфрамовые и особенно кобальтовые стали, имеющие в своем составе хром, вольфрам или молибден вместо вольфрама.

Средний состав этих сталей приведен в табл. 17.

Таблица 17

Наименование стали	Состав в %				
	C	Cr	W	Mo	Co
Хромовольфрамкобальтовая	0,8	0	0	—	30
Хромомолибденкобальтовая	1	9	—	2	30

Наилучшие магнитные свойства — коэрцитивную силу и остаточную магнитную индукцию — стали этого типа получают после сложной тройной термической обработки. Тройная термическая обработка магнитной кобальтовой стали состоит из следующих операций:

а) Закалка стали с высокой температуры на аустенит. При этом происходит частичное растворение карбидов Co , W , Cr .

Для этого сталь нагревают до температуры $1200\text{--}1250^\circ$ и охлаждают в масле или на воздухе.

б) Отжиг стали с целью подготовки структуры перед последующей закалкой. Отжиг производится на температуру в пределах $720\text{--}800^\circ$ с охлаждением на воздухе. При отжиге аустенит распадается, и получается трооститовая или троостито-мартенситовая структура с выделением мелких зерен карбидов.

в) Окончательная закалка в масле с температуры $950\text{--}970^\circ$ для получения мартенситовой структуры с мелкими зернами карбидов. Мартенситовая структура имеет наиболее высокие магнитные свойства.

После окончательной закалки рекомендуется производить старение, с тем чтобы свойства стали не изменялись со временем.

Старение осуществляется путем нагрева стали до $100\text{--}150^\circ$ в течение $20\text{--}30$ час. в масляной ванне. Однако в практике магнитные стали процессу искусственного старения обычно не подвергаются. Поэтому при эксплуатации очень часто наблюдаются случаи размагничивания магнитов с течением времени. Магнитные свойства сталей, не прошедших искусственного старения, могут изменяться также от сотрясений, толчков и ударов.

За последнее время появился новый магнитный сплав, имеющий в своем составе около $1,0\text{--}1,5\%$ C , $22\text{--}30\%$ Ni и $10\text{--}17\%$ Al . Этот сплав, называемый MnNiAl , имеет высокую остаточную магнитную индукцию. Он обладает настолько высокими магнитными свойствами, что способен поднимать и удерживать груз, вес которого в 60 раз превышает вес самого магнита.

ЛИТЕРАТУРА

Милкевич Н. А., проф., Сталь, стальные и чугунные полупроизведения, 1930—1932.

Милкевич Н. А., проф., Технологии стальных и чугунных изделий, части I и II, 1936.

Информационные сборники ВИАМ.



ГЛАВА СЕДЬМАЯ

СТАЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ

§ 28. Стали для сварных самолетных конструкций

Сварка в производстве металлических самолетов играет чрезвычайно важную роль. По сравнению с другими видами соединений (заклепками и болтами) сварка имеет следующие преимущества:

- а) сравнительно малый вес сварных соединений;
- б) надежность сварных швов при условии правильного их выполнения;
- в) большая производительность и экономичность сварочных работ.

Хорошая свариваемость является поэтому одним из наиболее важных требований, предъявляемых к сталям для самолетных конструкций.

Наилучшей свариваемостью обладают простые малоуглеродистые стали, содержащие не более 0,35% углерода. Эти стали при правильном проведении сварки дают сварочный шов, мало уступающий по крепости основному металлу. С повышенным содержанием углерода способность стали к свариванию ухудшается.

1. Углеродистая сталь

Сталь с малым содержанием углерода применяется для сложных сварных частей самолетов деревянной и смешанной конструкции, например для подстоечных башмаков, ушков, сереежек и т. п. Эти детали готовятся из мягкой стали марки М с содержанием углерода 0,15—0,25%, обладающей следующими механическими свойствами: временное сопротивление 40—50 кг/мм², относительное удлинение около 20%.

В самолетах металлической конструкции сталь марки М имеет очень ограниченное применение, так как прочность ее не удовлетворяет тем требованиям, которые предъявляются к материалам для современных скоростных самолетов.

Сварные части этих самолетов изготавливаются из высококачественных специальных сталей — хромомолибденовой и хромансиля, обладающих вполне удовлетворительной свариваемостью и вместе с тем высокими механическими свойствами, получающимися в результате термической обработки.

2. Хромомолибденовая сталь

Сталь марки ХТМ (по ОСТ — 30ХМА) широко используется нашими самолетостроительными заводами. Эта сталь имеет следующий состав:

Углерода	0,25—0,35%
Хрома	0,8 —1,1%
Молибдена	0,15—0,25%

Молибден, несмотря на очень малое содержание его в стали, оказывает сильное влияние на ее свойства. Задерживая рост зерен при высоких температурах, он придает стали большую устойчивость против перегрева. Мелкозернистая структура, создаваемая молибденом, обуславливает высокое временное сопротивление разрыву и устойчивость стали против ударных и вибрационных нагрузок.

Механические свойства хромомолибденовой стали улучшаются закалкой с последующим отпуском. Временное сопротивление и относительное удлинение стали ХТМ в зависимости от термической обработки указаны в табл. 18.

Т а б л и ц а 18

Термическая обработка	Механические свойства	
	σ_b кг/мм ²	δ %
Отжиг при 880° с охлаждением вместе с печью	45—60	16
Нормализация при 880°	70—90	11
Закалка в масле с 880° и отпуск при 300°	130—150	3—4

Хромомолибденовая сталь поступает на самолетостроительные заводы в виде листов, тонкостенных труб, трубчатых осей и полуосей. Листовой материал и трубы идут на изготовление цельносварных ферм фюзеляжей, лонжеронов и подмоторных рам.

Характерным свойством стали ХТМ является способность закаливаться при охлаждении на воздухе. Вследствие этой склонности к воздушной закалке сварной шов, нагреваемый в процессе сварки до температуры плавления, получает высокую твердость и хрупкость при охлаждении на воздухе. В результате воздушной закалки создаются большие внутренние напряжения, которые очень часто приводят к образованию трещин в зоне сварки.

Для уменьшения хрупкости и уничтожения внутренних напряжений, получающихся при сварке, самолетные конструкции подвергаются отжигу с охлаждением вместе с печью. Отжиг восстанавливает вязкость и тягучесть стали, но одновременно значительно снижает ее крепость.

После отжига хромомолибденовая сталь имеет временное сопротивление разрыву $45-60 \text{ кг/мм}^2$. Крепость ее в отожженном состоянии, как это следует из приведенных цифр, почти не отличается от крепости простой углеродистой стали. Отсюда вытекает необходимость подвергнуть отожженные сварные детали закалке с последующим отпускком. Это дает возможность повысить временное сопротивление хромомолибденовой стали до $130-150 \text{ кг/мм}^2$.

Термообработка сварных трубчатых конструкций больших габаритов (фюзеляжей и лонжеронов) производится в специальных шахтных электрических печах. Чтобы избежать деформации при нагреве, сварные конструкции подвешиваются в печи в вертикальном положении. Масляная ванна для охлаждения располагается непосредственно под печью, что дает возможность быстро переносить нагретые детали из печи в закалочную среду.

Выше было указано, что хромомолибденовая сталь может хорошо свариваться и имеет высокие механические качества. К недостаткам этой стали следует отнести склонность к образованию трещин при сварке вследствие восприимчивости к воздушной закалке. Кроме того, несмотря на малое содержание добавочных элементов, эта сталь все же является дорогой по причине высокой стоимости молибдена, входящего в ее состав.

В. Хромансиль

За последнее время большое применение в самолетостроении получила специальная сталь, не содержащая дорогих добавочных элементов. Основными примесями в этой стали являются хром, марганец и кремний, вследствие чего ее называют сокращенно **хромансиль** (марка по ГОСТ — 30ХГСА).

Сталь хромансиль поступает на самолетостроительные заводы в виде листов и цельнотянутых труб, которые идут на изготовление сварных фюзеляжей, лонжеронов, подмоторных рам, ног, осей и полуосей шасси.

Авиационные листы и трубы изготавливаются из стали хромансиль следующего состава:

Углерода	0,28—0,35%
Хрома	0,8 —1,10%
Марганца	0,8 —1,1%
Кремния	0,9 —1,2%

Сталь хромансиль имеет ряд существенных преимуществ перед хромомолибденовой сталью. Основными достоинствами ее являются вполне удовлетворительная свариваемость, высокая прочность, хорошая ударная вязкость и сравнительно низкая стоимость.

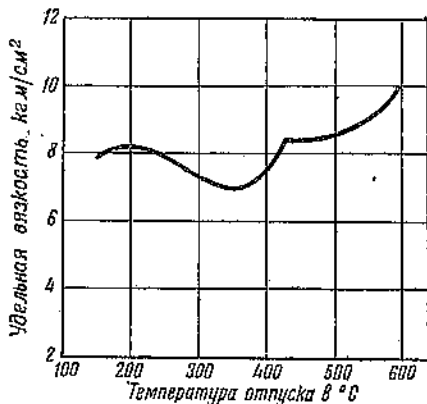
Хромансиль, как и хромомолибденовая сталь, очень восприимчив к воздушной закалке, обуславливающей высокую твердость и хрупкость сварного шва. Все же склонность хромансиля к образованию трещин при сварке меньше, чем у хромомолибденовой стали.

Термическая обработка сварных самолетных конструкций из стали хромансиль состоит из следующих операций: отжига при 850—870° для исправления структуры и снятия внутренних напряжений в сварных швах и закалки при 870—890° с последующим отпуском при низкой температуре с целью повышения механических свойств всей конструкции в целом. Наиболее благоприятная температура отпуска закаленного хромансиля лежит в пределах 175—225°.

Применение низких температур отпуска обеспечивает хромансиль высокое временное сопротивление при достаточно хорошей вязкости. Исследования механических свойств хромансиля при различных температурах отпуска показали, что отпуск в пределах 250—400° дает резкое понижение ударной вязкости (фиг. 41). Отпуск при температурах выше 400° увеличивает вязкость хромансиля,

но невыгоден в том отношении, что значительно снижает временное сопротивление.

Правильно проведенная термическая обработка (закалка) хромансиль с отпуском при температуре $175-225^{\circ}$ дает возможность получить временное сопротивление в пределах от 120 до 160 кг/мм^2 при относительном удлинении около 5%.



Фиг. 41. Изменение ударной вязкости закаленного хромансиля в зависимости от температуры отпуска

Многочисленные испытания сварных конструкций из сталей хромансиль показали, что их прочность и сопротивление усталости не только не уступают, но во многих случаях выше, чем у тех же конструкций, изготовленных из хромомолибденовой стали.

§ 29. Нержавеющие стали

Стойкость против коррозии металлов и сплавов, применяемых в самолетостроении, имеет огромное значение в связи с тем, что самолеты в условиях эксплуатации подвергаются длительному воздействию влажного воздуха, способствующего возникновению и развитию коррозии.

Простые углеродистые стали, а также специальные стали с низким содержанием добавочных элементов (стали перлитового класса) не обладают достаточной антикоррозийной стойкостью, так как они легко подвергаются ржавлению под действием влаги и кислорода воздуха.

Вопрос о борьбе с коррозией стали в авиационном решении решается применением так называемых нержавеющей сталей. Эти стали можно разделить на две группы: а) хромистые нержавеющей стали с высоким содержанием хрома и б) хромоникелевые нержавеющей стали, которые наряду с высоким содержанием хрома имеют высокий процент никеля.

Нержавеющие стали поступают на авиационные заводы в виде листов, лент, прутков, проволоки и цельнотянутых труб.

Сорта хромистых нержавеющей сталей, применяемых для изготовления различных деталей гидросамолетов (поковок, шпильки, болтов, сереек, труб для осей и т. п.), приведены в табл. 19.

Т а б л и ц а 19

Марка	Остаток в %		Механические свойства	
	C	Cr	σ_b кг/мм ²	δ %
ЭЖ 1	ниже 0,12	12—15	55—70	15
ЭЖ 2	0,13—0,26	12—15	85	13

Примечание. Указанные механические свойства стали приобретает после закалки и отпуска.

Стойкость против коррозии высокохромистых сталей объясняется образованием тонкой прозрачной пленки окиси хрома на поверхности изделий. Эта пленка предохраняет сталь от дальнейшего окисления и защищает ее от воздействия внешней среды. Шлифовка и полировка изделий из нержавеющей сталей значительно повышают их коррозионную устойчивость, тогда как наличие царапин на поверхности вызывает появление местной коррозии.

Хромистые нержавеющей стали имеют ограниченное применение в самолетостроении вследствие плохой свариваемости. Более широкое применение в авиации имеют нержавеющей хромоникелевые стали марок ЭЖ1 и ЭЖ2, содержащие:

Углерода ниже 0,14 (ЭЖ1) и 0,15—0,25% (ЭЖ2)
 Хрома 18—22%
 Никеля 8—10%

Эти стали благодаря повышенному содержанию хрома и присутствию значительного количества никеля обладают более высокими антикоррозийными свойствами, чем хромистые нержавеющие стали.

Хромоникелевые нержавеющие стали принадлежат к сталям аустенитового класса; структура их, состоящая из однородных зерен твердого раствора, обуславливает высокую стойкость против коррозии.

Сталь ЭЯ2, как и все стали аустенитового класса, совершенно немагнитна и имеет высокую вязкость и тягучесть. Наибольшую тягучесть она приобретает после закалки при температуре $1050-1150^{\circ}$ с охлаждением в холодной воде, благодаря тому что в закаленном состоянии она имеет совершенно однородную аустенитовую структуру. После закалки сталь имеет временное сопротивление 70 кг/мм^2 и относительное удлинение $45-50\%$. Холодной прокаткой (наклепом) можно повысить временное сопротивление ее до $140-150 \text{ кг/мм}^2$, но это повышение крепости сопровождается резким снижением относительного удлинения (до $3-4\%$) и ухудшением антикоррозийных свойств.

Весьма ценным свойством хромоникелевых нержавеющих сталей является их хорошая свариваемость. Они хорошо свариваются контактным способом (точечной сваркой), весьма распространенным в самолетостроении. Из нержавеющей стали марки ЭЯ2 изготовлены самолеты «Сталь 2» и «Сталь 3» гражданского воздушного флота.

Широкому использованию стали ЭЯ2 в массовом самолетостроении препятствует ее высокая стоимость.

Для выхлопных патрубков, коллекторов, глушителей и других деталей, работающих при высоких температурах, широко применяется нержавеющая сталь марки ЭЯ1Т, имеющая в своем составе:

Углерода	ниже $0,14\%$
Хрома	$17-20\%$
Никеля	$8-10\%$
Титана	$0,5-0,6\%$

Эта сталь обладает очень высокими жаростойкими свойствами и после соответствующей термообработки (закалка при $1050-1100^{\circ}$ в течение $15-20$ мин. с охлаждением в воде или на воздухе) имеет $\sigma_b = 58 \text{ кг/мм}^2$, $\delta = 45\%$. Однако эта сталь, как и все нержавеющие хромоникелевые стали, является очень дорогой.

Для удешевления нержавеющей сталей понижают содержание в них никеля, заменяя его марганцем. Действие марганца на сталь сходно с действием никеля. Одним из заменителей нержавеющей хромоникелевой стали является сталь ЭИ-100 следующего состава:

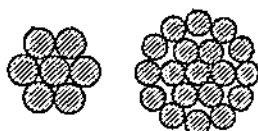
Углерода	0,16—0,30%
Кремния (не более)	0,8%
Марганца	8—10%
Хрома	12—14%
Никеля	3,8—5%

Как видно из приведенных цифр, содержание никели в стали ЭИ-100 значительно меньше, чем в сталях ЭЯ-1 и ЭЯ-2. По механическим качествам эти стали почти равноценны, но сталь ЭИ-100 несколько уступает хромоникелевым сталям в отношении стойкости против коррозии.

§ 30. Авиационные тросы

Тросы применяются в механизмах управления рулями, элеронами и убирающимися шасси самолетов. Авиатросы изготавливаются путем свивки стальных оцинкованных проволок.

Тросы управления по своей конструкции относятся к так называемым тросам двойной свивки, которые полу-



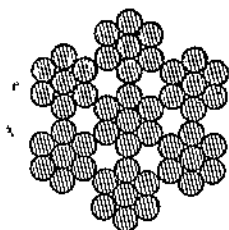
Фиг. 42. Сечение троса
ординарной свивки

чаются путем свивки не отдельных проволок, а целых прядей. Каждая прядь (фиг. 42) представляет собой трос ординарной свивки и состоит из одной центральной (стержневой) проволоки и 6 или 18 проволок, обвивающих центральную. Число проволок в пряди может быть $1+6=7$ или $1+6+12=19$.

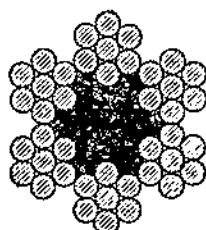
Все тросы двойной свивки разделяются на жесткие и мягкие. Жесткие тросы состоят из 7 проволочных прядей, из которых одна прядь является сердечником,

А остальные 6 прядей плотно обвивают ее (фиг. 43). Число проволок в жестких тросах может быть $7 \times 7 = 49$ или $7 \times 19 = 133$.

В мягких тросах двойной свивки сердечником служит хлопчатобумажная или льняная пряжа (фиг. 44). Применением мягкого сердечника достигается значительное увеличение гибкости тросов и меньшее их изнашивание при работе по направляющим роликам.



Фиг. 43. Сечение жесткого троса двойной свивки



Фиг. 44. Сечение мягкого троса двойной свивки

Жесткие тросы изготавливаются диаметром от 3,5 до 13,5 мм, мягкие тросы — от 2 до 6 мм. Диаметр троса считается диаметр описанной окружности, вмещающей в себе все сечение троса.

Данные о конструкции и разрывающей нагрузке жестких и мягких тросов различных диаметров приведены в табл. 20 и 21.

Таблица 20
Тросы с жестким сердечником

Диаметр троса в мм	Число прядей	Число проволок в пряди	Разрывающая нагрузка в кг	Диаметр троса в мм	Число прядей	Число проволок в пряди	Разрывающая нагрузка в кг
3,5	7	7	1 050	8	7	7	4 750
4,5	7	7	1 550	9	7	7	5 850
5,5	7	7	2 200	10,5	7	19	7 625
6,5	7	7	2 850	12,5	7	19	10 200
7	7	7	3 750	13,5	7	19	12 900

Таблица 21
Тросы с мягким сердечником

Диаметр троса в мм	Число проволок	Число проволок в пряди	Разрывная нагрузка в кг	Диаметр троса в мм	Число проволок	Число проволок в пряди	Разрывная нагрузка в кг
2	6	7	340	4	6	7	1 060
2,5	6	7	460	4,5	6	7	1 470
3	6	7	640	5	6	19	1 810
3,5	6	7	900	6	6	19	2 400

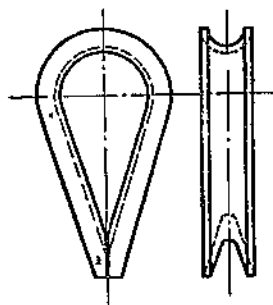
Крепость на разрыв троса в целом на 20—25% меньше суммарной крепости составляющих его проволок. Это объясняется неодинаковым натяжением проволок при действии на трос растягивающего усилия и тем, что проволоки в тросе работают не только на растяжение, но и на скручивание, ввиду расположения их по винтовым линиям.

Для свивки тросов в зависимости от их диаметра применяется проволока диаметром от 0,24 до 1 мм из углеродистой стали с временным сопротивлением не менее 170 кг/мм². Эта сталь содержит около 0,5% углерода.

Проволока изготавливается из катанки, т. е. из прутков, полученных путем горячей прокатки стальных слитков. В дальнейшем катанка протягивается в холодном состоянии через отверстия волоочильных досок. Для уничтожения наклепа проволока в процессе волочения подвергается особому рода термической обработке, называемой патентированием. Патентирование заключается в быстром протягивании проволоки через железные трубы, заложённые в длинную печь, с последующим охлаждением проволоки в свинцовой ванне, нагретой до температуры 430—480°. В результате патентирования проволока получает структуру, состоящую из зерен сорбита, которые при дальнейшем волочении вытягиваются в длинные волокна. Патентирование дает возможность протягивать проволоку до очень малых диаметров с исключительно высоким временным сопротивлением.

Перед свивкой проволока подвергается электролитической («холодной») оцинковке. Прочность и цельность цинкового покрытия проволок имеют большое значение

для защиты троса от ржавления. Качество оцинковки проверяется погружением проволоки в водный раствор медного купороса (1 часть купороса на 5 частей воды). Проволока диаметром меньше 0,75 мм погружается в раствор один раз на 30 сек., проволока диаметром больше 0,75 мм погружается два раза на 30 сек. Оцинковка считается доброкачественной, если на проволоке не появляется покраснения. Покраснение, появившееся на расстоянии меньше 10 мм от места отреза проволоки, в расчет не принимается.



Фиг. 45. Коуш

Концы тросов управления самолетом заделываются со вставкой особых колец — коушей, изготовляемых из мягкой углеродистой стали (фиг. 45). Коуш придает тросу плавный изгиб и препятствует перетиранию отдельных проволок. Размеры коуша подбираются в зависимости от диаметра троса. Необходимые для этого данные приведены в табл. 22.

Таблица 22

№ коуша	Диаметр троса в мм	Размеры коуша в мм		
		внутренний диаметр колец	ширина канавки	толщина стенок
3	2—3	8	3,2	0,8
4	3—4	11	4,2	0,8
5	4—5	13	5,3	0,8
6	5—6	16	6,3	0,8
7	6—7	19	7,4	1,2
8	7—8	21	8,4	1,2
9	8—9	24	9,5	1,2
10	9—10	26	10,5	1,5

Трос закрепляется на коуше заплеткой. Для этого конец троса распускают на отдельные пряди, вплетают их внутрь троса и затягивают. Во избежание заерывания концов заплетки последнюю обматывают железной проволокой.

Тросы управления перед постановкой на место вытягивают усилием, равным 20% от разрывного. Предварительная вытяжка делается для того, чтобы избежать ослабления троса в процессе работы. Несмотря на это, в эксплуатации имеет место дальнейшее вытягивание троса и ослабление его. Для выбирания слабину в тросы заделываются тандеры (фиг. 46).

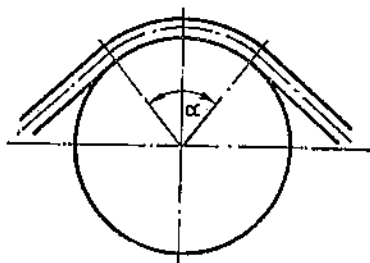


Фиг. 46. Тандер

Хвостовики тандеров изготовляются из прутковой стали, а соединительные муфты — из латуни. Правильно подобранный тандер должен иметь диаметр шейки хвостовика, равный диаметру троса или на 1—1,5 мм более.

Муфта тандера кончается мягкой железной оцинкованной проволокой, диаметр которой должен соответствовать диаметру отверстия в муфте.

Большое влияние на изнашивание троса имеют материал и конструкция направляющих и поддерживающих роликов. Чем мягче материал ролика, тем меньше изнашивается трос, поэтому наиболее широкое применение имеют ролики, изготовленные из алюминиевых сплавов и из пластмасс.



Фиг. 47. Угол охвата ролика тросом

Изнашивание троса идет тем быстрее, чем меньше диаметр ролика и чем больше угол охвата ролика тросом (фиг. 47). Диаметр ролика должен быть тем больше, чем больше диаметр троса. Данные для подбора роликов при угле охвата больше 40° указаны в табл. 23.

Таблица 23

Диаметр троса в мм	2 и 3	4 и 5	6 и 7
Диаметр ролика в мм . .	50	100	140

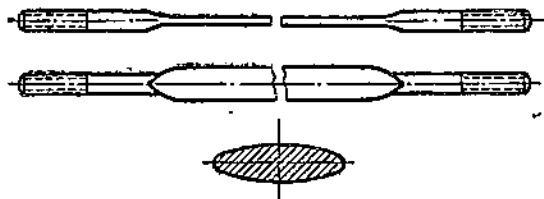
В процессе эксплуатации необходимо внимательно следить за износом тросов управления, в особенности на участках, работающих по направляющим роликам и в поддерживающих втулках. Износ троса может выражаться в образовании заершенности (обрывов отдельных проволок), в уменьшении диаметра троса вследствие истирания, а также в появлении наклепа у проволок в местах перегиба, вследствие чего проволоки становятся хрупкими.

Необходимо следить за чистотой смазки как самого троса, так и канавок роликов, периодически удаляя старую смазку и заменяя ее свежей. Для этого трос протирают тряпкой, смоченной в керосине, насухо вытирают и смазывают смесью 25% технического вазелина и 75% бензина. Канавки роликов после промывки керосином смазываются техническим вазелином.

Ржавчина с троса удаляется тряпками, смоченными в керосине, но ни в коем случае не наждачной или стальной шкуркой.

§ 31. Ленты-расчалки

Стальные ленты-расчалки (фиг. 48) применяются в бипланных коробках в комбинации со стойками и в расчалочных конструкциях крыльев монопланов. Работая на растяжение, ленты-расчалки создают дополнительные опоры для лонжеронов крыльев и разгружают их от изгиба в вертикальной плоскости.

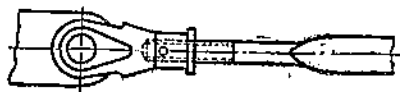


Фиг. 48. Лента-расчалка

Внешние расчалки находятся в потоке воздуха, поэтому для уменьшения лобового сопротивления им придают плоскую обтекаемую форму.

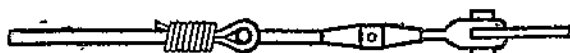
Для внутренних расчалок крыльев и ферменных фюзеляжей применяются как плоские ленточные, так и круглые проволочные расчалки. Ленты-расчалки являются в этом случае более выгодными, так как прочность их наре-

занной части равна прочности средней овальной части (фиг. 49). У круглой же расчалки крепление к узлу лонжерона всегда имеет пониженную крепость по сравнению со средней частью расчалки (фиг. 50).



Фиг. 49. Крепление ленты-расчалки к узлу

Ленты-расчалки изготавливаются из углеродистой стали марки РС, с содержанием 0,4—0,5% углерода. Эта сталь имеет временное сопротивление 75—85 кг/мм² и относительное удлинение не менее 11%.



Фиг. 50. Крепление круглой расчалки к узлу

Ленты-расчалки изготавливаются следующим образом: круглый прутки из стали РС в средней своей части предварительно обжимается в холодном состоянии между цилиндрическими валками, а затем протягивается между роликами, которые сообщают прутку требуемую овальную форму.

В табл. 24 приведена крепость на разрыв лент-расчалок различных номеров (номер ленты обозначает диаметр ее цилиндрической части в миллиметрах).

Таблица 24

№ ленты	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16
Разрывное усилие в кг . . .	260	480	800	1 230	1 820	2 300	3 100	3 850	4 600	5 300	7 300	10 100

Очень большое значение для прочности лент-расчалок в эксплуатации имеет предварительная затяжка их. Чрезмерная затяжка может вызвать обрыв ленты в полете

вследствие большой перегрузки. С другой стороны, слабая затяжка является причиной вибрарования ленты в воздухе. В этом случае лента также может оборваться вследствие усталости металла.

Затяжка ленты производится путем ввертывания ее в муфту при помощи специального ключа с последующим законтриванием гайкой. Глубина ввертывания проверяется шпилькой через контрольное отверстие муфты.

Лента подлежит замене, если ее нарезанный конец доходит при ввертывании доотказа. Спиливать концы ленты воспрещается.

Всекие повреждения на поверхности ленты (потертость в местах перекрепления, царапины, зарубки) сильно понижают сопротивляемость ленты вибрационным нагрузкам и способствуют ее обрыву от усталости. Лента, имеющая потертость глубиной свыше 0,5 мм, подлежит замене. Царапины и мелкие зарубки следует удалять зачисткой, сводя острые края углубления на-нет на длине около 100 мм.

Ленты-расчалки необходимо содержать в полной чистоте, удаляя пыль, грязь и ржавчину тряпками, смоченными в керосине. Более сильную ржавчину можно зачищать мягкой шкуркой. Если после удаления ржавчины остаются раковины, то лента подлежит замене. Зачистка резьбы шкуркой не разрешается.

Очищенная лента должна быть смазана тонким слоем технического вазелина. Летом на пыльных аэродромах разрешается покрывать ленты бесцветным масляным лаком № 17а.

ЛИТЕРАТУРА

Минкевич Н. А., проф., Сталь, стальные и чугунные полуфабрикаты, 1930—1932.

Минкевич Н. А., проф., Технология стальных и чугунных авиадеталей, части I и II, 1936.

Норр Г. С., Термическая обработка металлических частей самолетов. Перев. с англ.

Берхен С. Н., Основные материалы самолетостроения, 1932.

Информационные сборники ВНАМ.



ГЛАВА ВОСЬМАЯ

МЕДНЫЕ И АНТИФРИКЦИОННЫЕ СПЛАВЫ

§ 32. Медь

Технически чистая, или красная, медь имеет удельный вес 8,9 и температуру плавления 1083° .

В отожженном состоянии медь имеет временное сопротивление $20\text{--}22 \text{ кг/мм}^2$ и обладает большим относительным удлинением, достигающим до 50%. Нагартовкой временное сопротивление меди может быть повышено до 30 кг/мм^2 и больше, но ее удлинение снижается при этом до 3—4%.

Медь хорошо обрабатывается прокаткой, волочением и штамповкой. Исключительно высокая пластичность меди дает возможность протягивать ее в холодном состоянии в тончайшую проволоку и прокатывать в очень тонкие листы.

Медь отливается плохо, так как в расплавленном состоянии она легко растворяет газы, в результате чего отливки получают пузыристую структуру. Высокая вязкость меди затрудняет ее обработку резцом и напильником.

Вследствие легкой окисляемости в расплавленном состоянии красная медь содержит некоторое количество закиси меди Cu_2O . Примесь закиси меди оказывает чрезвычайно вредное влияние на свойства меди. Наличие закиси меди даже в небольших количествах ухудшает литейные свойства меди и делает ее хрупкой.

С окислением расплавленной меди борются добавлением к ней раскислителей, к числу которых относятся фосфор, алюминий, кремний и др. В качестве раскислителя наиболее часто применяется фосфор, который вводится в расплавленную медь в виде фосфористой меди, содержащей 8—12% фосфора.

Наиболее широкое применение медь имеет в электро-технике, вследствие ее исключительно высокой электропроводности. В этом отношении медь уступает только серебру.

В авиастроении медь применяется в виде листов и лент для изготовления радиаторов, в виде цельнотянутых труб для бензиновых, масляных и водяных трубопроводов и в виде прутков для всевозможных поделок.

Для повышения механических и литейных качеств меди к ней добавляют цинк, олово, алюминий, свинец и другие присадки. Таким образом, получаются сплавы на медной основе, из которых наиболее важное значение имеют латуни и бронзы.

§ 33. Латуни

Латунями называются сплавы меди с цинком, содержащие до 40—50% цинка. По мере увеличения содержания цинка временное сопротивление сплава возрастает. Наилучшие механические свойства латунь имеет при содержании цинка в 38—41%. Временное сопротивление латуни такого состава в отожженном состоянии достигает 30 кг/мм² при удлинении в 35%. Нагартовка дает добавочное повышение прочности латуни до 40—42 кг/мм² при снижении удлинения до 10—15%.

Повышение содержания цинка в латуни больше 50% не приносит пользы, так как при этом прочность и пластичность латуни резко уменьшаются.

Сплавы меди с цинком при затвердевании образуют шесть различных твердых растворов: α , β , γ , δ , ϵ и ν , отличающихся друг от друга различным строением кристаллов. Из них наиболее широкое техническое применение имеют α -латуни, содержащие до 39% цинка, и β -латуни, содержащие до 50% цинка.

α -латуни обладают большой вязкостью и тягучестью. Они хорошо прокатываются, протягиваются и штампуются в холодном состоянии с промежуточными отжигами для устранения хрупкости, получающейся в результате наклепа.

В отличие от α -латуней, β -латуни представляют собой более твердый и менее пластичный материал. Обработка их производится только в горячем состоянии.

Плавка и литье латуней требуют большой осторожности вследствие большой летучести цинка при высоких температурах.

В авиапромышленности латунь применяется в виде труб для сотовых радиаторов и для бензо-, масло- и водопроводов, а также в виде листов и прутков для изготовления различной арматуры. Преимущественно эти детали изготавливаются из латуни двух марок: ЛМ-59, содержащей 59% меди и 41% цинка, и ЛМ-62, содержащей 62% меди и 38% цинка.

Латунь, содержащая 9—11% цинка, называется томпаком. Томпак имеет красивый золотистый цвет и применяется для изготовления предметов широкого потребления.

К специальным сортам латуни, имеющим более сложный состав, относятся мунцевая латунь и морская латунь.

Мунцевая латунь марки ЛМ-59, кроме меди и цинка, содержит небольшое количество свинца (0,8—1,9%). Мунц отлично обрабатывается режущим инструментом, в то время как обыкновенная латунь, не содержащая свинца, плохо поддается обработке снятием стружки вследствие большой вязкости. Добавление свинца сообщает латуни небольшую хрупкость, поэтому при обработке резцом она дает мелкую сыпучую стружку. Это свойство мунцевой латуни имеет большое значение при изготовлении резьбовых изделий (кранов, муфт, тандеров, жиклеров, пробок, вентилялей для баллонов и т. д.).

Морская латунь марки ЛМ-62 применяется для деталей, имеющих применение на морских судах и гидросамолетах. В ее состав, кроме меди и цинка, входит олово в количестве 1—1,5%. Присутствие олова повышает стойкость латуни против коррозии в морской воде.

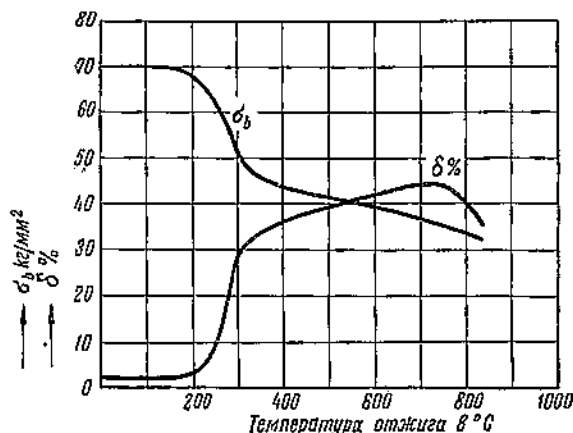
§ 34. Отжиг латунных и медных трубопроводов

При эксплуатации самолета необходимо постоянно иметь в виду, что медные и латунные трубки бензо- и маслопроводов под влиянием вибраций мотора получают наклеп и с течением времени становятся хрупкими. Поэтому эти трубки перед постановкой на место, а также через каждые 150—200 час. работы мотора, но не реже одного раза в год, необходимо отжигать, иначе они могут легко растрескаться.

Влияние температуры отжига на механические свойства красной меди и латуни показано на диаграммах, изображенных на фиг. 33 и 51. Из этих диаграмм видно, что результаты отжига выражаются в понижении временного сопротивления и в увеличении удлинения металла. При

этом действие отжига обнаруживается уже при нагреве до 275—350°. Однако при таком низком нагреве процесс рекристаллизации наклепанных зерен идет чрезвычайно медленно, поэтому нормальной температурой отжига для меди и латуни считается 600—650°.

Отжиг медных и латунных трубок производится путем нагрева их до температуры в пределах 600—650° (до вишнево-красного каления) на горне или при помощи паяльной лампы.



Фиг. 51. Влияние температуры отжига на механические свойства наклепанной латуни Л-59

Скорость охлаждения после отжига не оказывает влияния на механические свойства меди, поэтому медные трубки можно охлаждать как на воздухе, так и в воде. Охлаждение в воде имеет то преимущество, что оно способствует отскакиванию окалины, образующейся при нагреве. Однако необходимо помнить, что замачивание медных трубок в воде допустимо только в том случае, если на трубках нет припаянных ниппелей, так как быстрое охлаждение в воде нарушает прочность припоя (серебряного). Следовательно, при наличии ниппелей медные трубки необходимо охлаждать не в воде, а на воздухе.

Латунные трубки после отжига следует обязательно охлаждать на воздухе, так как охлаждение в воде сообщает латуни большую хрупкость.

Нагрев при отжиге не следует вести при температуре выше 650°, учитывая, что перегрев наклепанного металла

приводит к образованию крупнозернистой структуры. Вместе с тем необходимо иметь в виду, что серебряный припой марки ПСр45, применяемый для пайки никпелей, имеет температуру плавления 720° , следовательно, отжиг при температуре выше 650° может испортить паяный шов.

При замене трубок бензо- и маслопроводов новыми приходится иметь дело с загибом трубок для придания им необходимой формы. Трубки перед загибом следует обязательно отжигать. Загиб производится с применением наполнителя — канифоли или песка. С канифолью загибаются главным образом медные и латунные трубки, с песком — дуралюминовые. Канифоль в расплавленном виде наливается в трубку, после ее остывания делается загиб, затем канифоль выплавляется.

§ 35. Бронзы

Бронзами называются сплавы меди с оловом или с такими металлами, как алюминий, свинец или марганец.

В зависимости от того, какой из этих металлов находится в сплаве с медью, различают оловянистые, алюминиевые, свинцовистые и марганцовистые бронзы. Рассмотрим свойства и применение в авиастроении оловянистых и алюминиевых бронз.

1. Оловянистые бронзы

Прибавка олова к меди сильно повышает временное сопротивление и твердость сплава, но одновременно понижает относительное удлинение и увеличивает хрупкость.

На практике применяются оловянистые бронзы, содержащие не выше 9—11% олова. Такие бронзы в литом виде имеют временное сопротивление около 20 кг/мм^2 и относительное удлинение около 10%.

Оловянистые бронзы обладают исключительно хорошими литейными и антифрикционными качествами. Они находят применение для изготовления литых фасонных деталей и машинных частей, работающих на трение.

Наиболее высокие литейные и антифрикционные свойства оловянистые бронзы приобретают при добавлении к ним цинка или свинца.

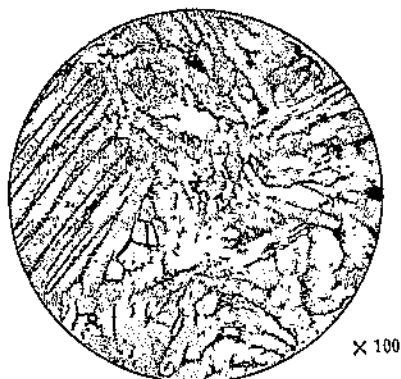
Оловянноцинковая бронза марки БрОЦ, содержащая 9—11% олова и 2—4% цинка, применяется в моторостроении для отливки арматуры бензо- и маслопроводов

(краніки, тройники и т. д.) и в качестве антифрикционного сплава для изготовления втулок поршневых головок шатунов.

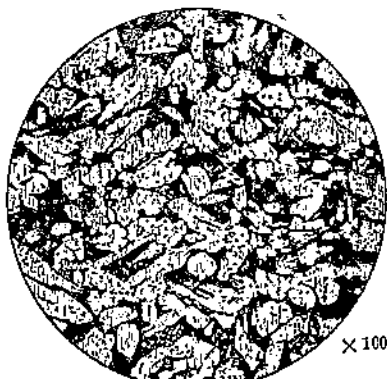
2. Алюминиевые бронзы

Алюминиевые бронзы содержат до 11% алюминия. Они отличаются высокими антифрикционными свойствами, но представляют некоторые трудности при литье.

Алюминиевые бронзы по сравнению с оловянистыми имеют более высокую крепость и твердость, в особенности



Фиг. 52. Микроструктура алюминеомарганцевистой бронзы



Фиг. 53. Микроструктура бронзы БрАЖМц

при наличии дополнительных компонентов (марганца, никеля и железа). Эти компоненты способствуют образованию мелкозернистой структуры при отливке, а марганец и никель, кроме того, улучшают антикоррозионные свойства бронзы.

На фиг. 52 приведена структура алюминеомарганцевистой бронзы (литые в песок) состава: Cu — 90%; Al — 8% и Mn — 2%.

Алюминиевые бронзы обладают способностью принимать закалку, в результате которой временное сопротивление и твердость могут быть повышены приблизительно на 30%. Закалка производится при температуре 900° с охлаждением в воде, затем следует отпуск при 600° с охлаждением на воздухе.

В моторостроении применяются алюминеожелезомарганцевая бронза марки БрАЖМц и алюминеожелезо-

Никелевая бронза марки БрАЖН. Эти бронзы обладают большой жароупорностью и крепостью на удар. В основном они идут на изготовление седел клапанов, направляющих втулок клапанов и втулок свечей. Состав и механические свойства бронз БрАЖМц и БрАЖН (для прутков после закалки) приведены в табл. 25.

Таблица 25

Марки	Состав в %					Механические свойства	
	Al	Fe	Mn	Ni	Cu	σ_b кг/мм ²	δ %
БрАЖМц 10-3-1	9—11	2—4	1—2	—	остальное	55—60	15—12
БрАЖН 11-4-4	10,0—11,5	3,5—4,5	—	3,5—4,5	остальное	55—65	10—5

Структура бронзы БрАЖМц (горячепрессованный пруток) приведена на фиг. 53.

§ 36. Антифрикционные сплавы

Антифрикционные сплавы применяются для заливки подшипников и втулок с целью уменьшить трение, износ и нагревание трущихся поверхностей.

В соответствии с этим назначением антифрикционные сплавы, играющие в моторостроении очень ответственную роль, должны удовлетворять следующим требованиям:

а) сплав должен быть достаточно пластичным, чтобы поверхность вкладыша могла легко прирабатываться к шейке вала;

б) сплав должен обладать хорошей прочностью, чтобы противостоять усталости под действием ударных нагрузок, прилагаемых с большой частотой;

в) антифрикционный сплав должен иметь достаточную твердость при нормальной и повышенной температурах для уменьшения трения между шейкой вала и вкладышем. Однако эта твердость не должна быть чрезмерной, способной вызывать быстрый износ шейки вала.

Таким образом, антифрикционный сплав должен быть одновременно и твердым для уменьшения трения, и мяг-

ким и пластичным, чтобы вкладыш мог прирабатываться к шейке вала, не вызывая ее износа.

Такое сочетание противоположных свойств, очевидно, не встречается в сплавах, имеющих однородную структуру. Хорошие антифрикционные свойства могут иметь только сплавы с неоднородной структурой, состоящей из кристаллов различной твердости. Назначение твердых кристаллов заключается в том, чтобы служить опорой для шейки вала и уменьшать трение, в то время как основная мягкая масса создает возможность твердым кристаллам вдавливаться в поверхность вкладыша и тем самым обеспечивает прирабатываемость вкладыша к валу. При этом в мягкой основной массе вследствие более сильного истирания образуется сеть мельчайших канальцев, по которым циркулирует смазочное масло. Наличие этих канальцев препятствует выдавливанию масла с трущихся поверхностей и способствует сохранению сплошной масляной пленки.

Таким образом, обязательным условием антифрикционности сплава является неоднородность структуры. Хорошие антифрикционные свойства оловянистых бронз обусловлены тем, что эти бронзы имеют структуру, состоящую из твердых богатых оловом участков, расположенных в мягкой пластичной массе, богатой медью.

В моторостроении для заливки вкладышей подшипников и втулок, работающих при больших удельных нагрузках, применяются в основном два антифрикционных сплава — баббит на оловянной основе и свинцовистая бронза.

1. Аванцонный баббит

В состав аванцонного баббита входят олово, медь и сурьма. Последняя представляет собой твердый и хрупкий металло-металлоид с температурой плавления 630°. Аванцонный баббит содержит:

Меди	3,5—4%
Сурьмы	4—5%
Олова	остальное

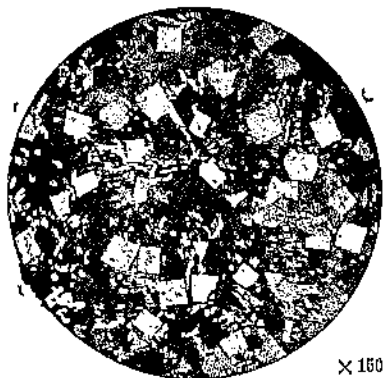
Микроструктура баббита типа Шарпи, содержащего 5—6% меди, 11—12% сурьмы, остальное — олово (фиг. 54), состоит из мягкой основной массы, богатой оловом, в которую вкраплены твердые кристаллы химического соединения олова с медью, имеющие форму звезд и игл, и менее твердые кубические кристаллы соединения олова с

сурьмой. Эти кристаллы создают опору для шейки вала, а на вытертых мягких местах, образующих сетку, располагается масло.

Авиационный баббит обладает высокими антифрикционными свойствами и хорошей прирабатываемостью к шейке вала. Недостатком баббита является его малая прочность при повышенных температурах. При нагреве выше 80—100° прочность баббита сильно понижается, и он плохо выдерживает большие нагрузки. В этих случаях возможно растрескивание баббита, обволакивание баббитом шейки вала и заедание шейки.

Вкладыши заливаются баббитом обычно центробежным способом. Вкладыши могут быть бронзовыми или стальными. Заливка по стальному вкладышу труднее, чем по бронзовому, так как коэффициент расширения баббита ближе к коэффициенту расширения бронзы, чем стали.

Подготовка вкладышей к заливке заключается в том, что их обезжиривают в растворе щелочи и промывают в кипящей воде. Для увеличения прочности связи между баббитом и вкладышем последний подвергается облуживанию с предварительной протравкой его поверхности раствором хлористого цинка. Температура расплавленного баббита при заливке равна около 320°.



Фиг. 54. Микроструктура баббита (сплав Шарни)

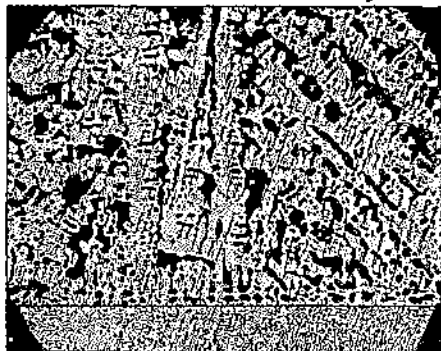
2. Свинцовистая бронза

Свинцовистая бронза, применяемая для заливки вкладышей коренных подшипников и втулок авиамоторов, содержит 28—31% свинца, остальное — медь. Структура ее (фиг. 55) состоит из мягких зерен свинца (черные вкрапления), рассеянных в почти чистой меди (основная белая масса).

Свинцовистая бронза обладает высокими антифрикционными свойствами, лучше, чем баббит, сохраняет прочность при высоких температурах и допускает более высокие удельные давления.

Свинцовистая бронза менее пластична, чем авиационный баббит, и поэтому хуже прирабатывается к шейке вала. Ввиду этого вкладыши, залитые свинцовистой бронзой, требуют тщательной механической обработки и правильного монтажа с минимальными допусками. Во избежание повышенного износа вкладышей, залитые свинцовистой бронзой, должны смазываться маслом, тщательно очищенным от механических примесей.

- Заливка свинцовистой бронзой производится исключительно по стальным вкладышам.



× 100

Фиг. 55. Микроструктура свинцовистой бронзы

В качестве материала для вкладышей обычно применяется малоуглеродистая сталь марки У2, содержащая 0,2% углерода. Для прочной связи между вкладышем и бронзой необходим предварительный нагрев вкладыша до температуры около 1000°.

Перед заливкой вкладыш подвергается обезжириванию в кипящем растворе едкого натрия и промывке в горячей воде. После этого вкладыш обмазывают флюсом,

нагревают до 1050° и заливают расплавленной бронзой, нагретой до 1100°.

Заливка вкладышей свинцовистой бронзой представляет значительные трудности в связи с необходимостью получить равномерное распределение зерен свинца в меди. Между тем свинец и медь при затвердевании стремятся разделиться вследствие большого различия в их удельных весах. Это вредное явление, создающее грубую неоднородность затвердевшего сплава, называется ликвацией. Склонность к ликвации свойственна не только свинцовистой бронзе, но и оловянистой бронзе и некоторым другим сплавам.

Добиться равномерного и тонкого распределения зерен свинца в меди при заливке вкладыша свинцовистой бронзой можно быстрым охлаждением бронзы в процессе ее затвердевания. Для этого вкладыш с залитой в него

бронзой охлаждают водой, распыленной при помощи специального пульверизатора (спрейера).

ЛИТЕРАТУРА

Шиммель, Металлография технических медных сплавов, 1933.
Бочвар А. А., проф., и др., Атлас по металлографии меди, 1930.

Шпагин А. И., Специальные латуни, 1931.

Градусов и Мурач, Справочник по свойствам и применению цветных металлов и их сплавов, 1933.

Ляхтин Ю. М., инж.-доц., Чулицкий Н. Н., проф.-докт., и др., Авиационное материаловедение, ч. I, 1938.



ГЛАВА ДЕВЯТАЯ АЛЮМИНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

§ 37. Алюминий

Алюминий представляет собой металл, очень распространенный в земной коре, главным образом в виде водной окиси алюминия $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$.

Наиболее богатой алюминиевой рудой является так называемый боксит, содержащий до 30% алюминия. Мощные залежи бокситов имеются у нас на Урале и в Череповецком районе Ленинградской области (тихвинские бокситы).

Алюминий является наиболее легким после магния техническим металлом. Его удельный вес равен 2,72. Температура плавления алюминия 658° . Он обладает хорошей электропроводностью и теплопроводностью (свыше 50% от соответствующих свойств меди), поэтому имеет широкое применение в электротехнике.

На воздухе алюминий быстро покрывается прочной и плотной пленкой окиси алюминия Al_2O_3 , которая предохраняет его от дальнейшего окисления. Эта защитная пленка обуславливает большую устойчивость алюминия против коррозии в атмосферных условиях. Антикоррозийная стойкость алюминия тем выше, чем меньше он содержит посторонних примесей.

Алюминий хорошо сопротивляется действию кислот (за исключением соляной кислоты), но совершенно не переносит щелочей даже в самых слабых растворах. Этим объясняется сильная коррозия дуралюминовых самолетных баков под влиянием щелочного топлива.

В морской воде алюминий быстро разрушается.

Алюминий очень мягок и пластичен. Он хорошо куется и прокатывается в холодном состоянии.

Литейные свойства алюминия недостаточно хорошие: он имеет небольшую жидкотекучесть и дает пористые отливки.

Пайка и сварка алюминия и его сплавов затруднительны вследствие наличия на поверхности стойкой пленки окиси алюминия, которую очень трудно удалить при помощи флюсов. Эта пленка препятствует получению прочного сварного шва. Однако в настоящее время эти затруднения в значительной мере преодолены, и сварка алюминия и его сплавов находит уже широкое применение в технике (сварные бензо- и маслобаки и т. п.). Самолетные сварные баки изготавливаются из алюминомарганцовистого сплава АМц, содержащего 1,2—1,5% марганца.

Существующий общесоюзный стандарт (ОСТ 2028) предусматривает следующие марки технического алюминия (табл. 26).

Т а б л и ц а 26

Марка	Содержание Al (из металла) в %	Содержание примесей (не более) в %				
		Fe	Si	Fe + Si	Cu + Zn	Fe + Si + Cu + Zn
Al I . .	99,5	—	—	0,50	0,05	0,50
Al II . .	99,0	—	—	1,00	0,10	1,00
Al III . .	98,0	1,00	1,00	1,75	0,25	2,00

Чистый алюминий вследствие малой крепости ($\sigma_b = 9—12$ кг/мм²) в авиации почти не применяется. Зато очень широкое применение в самолето- и моторостроении имеют сплавы на основе алюминия. Преимуществом этих сплавов перед сталями и медными сплавами является малый удельный вес при наличии высоких механических свойств. Существенным недостатком всех алюминиевых сплавов является недостаточная антикоррозийная стойкость.

Алюминиевые сплавы подразделяются на две основные группы: сплавы для обработки давлением и сплавы для литья. Наиболее важными для самолетостроения сплавами, относящимися к первой группе, являются сплавы типа дуралюмин.

§ 38. Дуралюмин

Дуралюмин был изобретен в 1909 г. немецким инженером Вильмом.

Широкое применение дуралюмина в самолетостроении обусловлено его высокой крепостью (38—42 кг/мм²) и малым удельным весом (2,8—2,9).

Дуралюмин хорошо поддается ковке и прокатке в горячем состоянии. Для отливки деталей дуралюмин применяется чрезвычайно редко вследствие никаких литейных качеств.

В самолетостроении дуралюмин применяется в виде листов, труб, профилей, лент и прутков.

Дуралюмин является сложным сплавом. В его состав входят следующие компоненты:

Медь	3,5—5,5%
Магния	0,5—0,8%
Марганца	0,5—0,8%
Алюминия	остальное

Кроме этих основных компонентов, дуралюмин содержит кремний и железо (от 0,2 до 0,6%), которые являются неизбежными примесями, попадающими в дуралюмин в процессе плавки.

Влияние основных компонентов на свойства дуралюмина заключается в следующем:

а) Медь и магний повышают крепость и твердость дуралюмина и обуславливают его замечательную способность принимать закалку.

б) Марганец дополнительно повышает крепость и твердость дуралюмина и улучшает его антикоррозийную стойкость. В процессах, происходящих при закалке и старении дуралюмина (см. ниже), марганец участия не принимает.

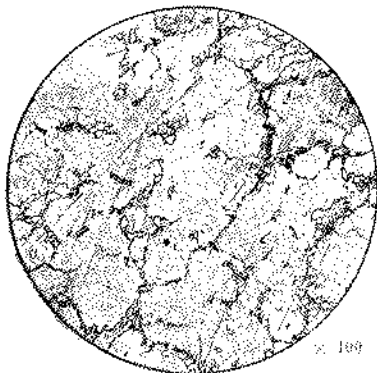
Содержание в дуралюмине железа выше допустимого предела (0,7%) заметно ухудшает эффект закали и старения и понижает антикоррозийные свойства дуралюмина. Железо образует с алюминием химическое соединение $FeAl_3$, сообщающее дуралюмину хрупкость. Кремний несколько парализует вредное влияние железа.

Медь и магний присутствуют в дуралюмине в виде химических соединений: алюмината меди $CuAl_2$ и силицида магния Mg_2Si . Эти соединения при нормальной темпера-

туре находятся в небольших количествах в твердом растворе в зернах дуралюмина, большая же часть их располагается в виде отдельных включений по границам зерен. Такую структуру дуралюмин имеет в литом состоянии (фиг. 56).

При нагреве дуралюмина химические соединения CuAl_2 и Mg_2Si , расположенные по границам зерен, постепенно диффундируют в зерна и растворяются в алюминии.

Переходом в твердый раствор основных структурных составляющих дуралюмина при нагревании всецело объясняется его способность принимать закалку.



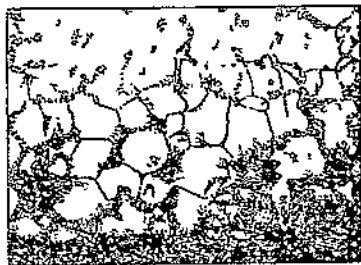
Фиг. 56. Микроструктура литого дуралюмина

1. Закалка и старение дуралюмина

Закалка дуралюмина состоит из нагрева его до температуры $500 \pm 10^\circ$ и последующего охлаждения в воде комнатной температуры.

Точное соблюдение указанной температуры нагрева является обязательным условием для получения доброкачественной закалки. Нагрев ниже 490° дает неполную закалку, а нагрев выше 510° вызывает усиленный рост зерен, в результате чего дуралюмин приобретает большую хрупкость. Переход через верхний предел закалочной температуры тем более опасен, что при $540-550^\circ$ дуралюмин испытывает пережог, сопровождающийся образованием пузырей на его поверхности (фиг. 57).

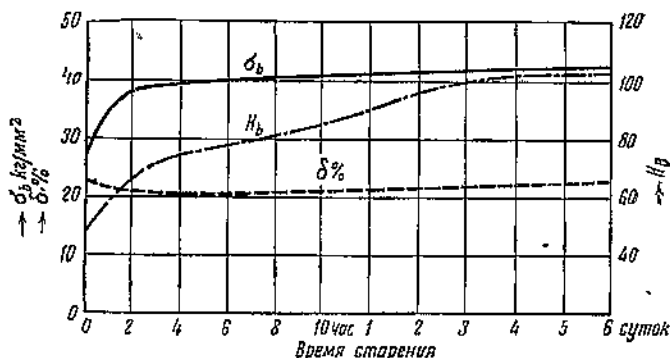
Нагрев под закалку дуралюминовых листов, труб, профилей и других полуфабрикатов производится в сепитричных ваннах. Применение ванн обеспечивает наибольшую равномерность



Фиг. 57. Микроструктура листа дуралюмина, пережженного при неправильной термической обработке

прогреваания дуралюмина. Ванна составляется из смеси калиевой и натриевой селитры в отношении 1 : 1. Эта смесь плавится при температуре 220°. Расплавленную селитру перегревают и доводят температуру ванны до 500°.

Недостатком селитряных ванн является опасность возникновения пожара в случае попадания в ванну пыли, масляных концов, тряпок и т. п. Брызги воды могут вызвать взрыв ванны.



Фиг. 58. Изменение крепости и твердости закаленного дуралюмина в процессе старения

Время выдержки дуралюмина в селитряной ванне устанавливается в зависимости от толщины закаливаемых изделий: дуралюмин толщиной от 0,3 до 2 мм нагревается в течение 7 мин., при толщине 2,5—5 мм — 10 мин., при толщине 5—6 мм — 15 мин.

Охлаждение нагретого под закалку дуралюмина производится в проточной воде комнатной температуры. Сразу после охлаждения детали промывают в теплой воде и протирают чистыми тряпками для удаления следов селитры, остатки которой могут вызвать сильную коррозию.

Характерным свойством дуралюмина является то, что повышение его крепости и твердости наступает не сразу после закалки, как у стали, а совершается постепенно в течение 5—6 суток. При этом наиболее интенсивное нарастание крепости и твердости идет в течение первых 12 час. (фиг. 58).

Этот процесс постепенного упрочения дуралюмина после закалки называется старением. Старение при

комнатной температуре в течение 5—6 суток называется естественным.

Старение дуралюмина после закалки может быть ускорено применением нагрева до 100—150°. В этом случае процесс старения заканчивается в течение 3—4 час. Такое старение называется искусственным. Искусственное старение к дуралюмину нормального состава обычно не применяется, так как установлено, что детали, подвергнутые искусственному старению, обладают повышенной стойкостью против коррозии.

Охлаждение закаленного дуралюмина ниже комнатной температуры замедляет старение. При температурах ниже 0° старение происходит чрезвычайно медленно.

Непосредственно после закалки дуралюмин имеет временное сопротивление около 24—28 кг/мм², удлинение 20—22% и твердость по Бринеллю около 50. В таком состоянии он наиболее пластичен, но по прошествии 2—3 час. крепость и твердость его начинают быстро нарастать. Поэтому все работы, связанные с деформацией дуралюмина, как например штамповку, выгибание, клепку и т. п., можно производить лишь в течение 2 час. после закалки, пока процесс старения не зашел слишком далеко и материал еще достаточно пластичен.

На самолетостроительных заводах расходный запас свежезакаленных заклепок хранится в сосудах, охлаждаемых твердой углекислотой. Низкая температура тормозит процесс старения, поэтому заклепки могут храниться в этих условиях в течение довольно длительного времени, не теряя мягкости и пластичности.

Повышение механических качеств дуралюмина после закалки и старения характеризуется табл. 27.

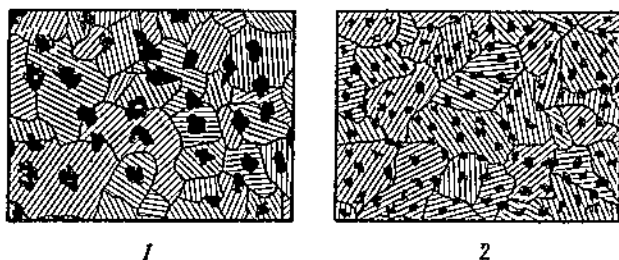
Таблица 27

Состояние дуралюмина	Механические свойства		
	σ_b кг/мм ²	ϵ %	H_B
Отожженный	16—22	15—20	40—50
Непосредственно после закалки	24—28	20—22	45—50
После старения	38—42	15—23	95—105

Из этой таблицы видно, что в процессе старения крепость и твердость дуралюмина увеличиваются приблизительно в два раза, а относительное удлинение остается почти без изменения.

2. Сущность закалки и старения дуралюмина

В процессе нагрева дуралюмина под закалку до 500° химические соединения CuAl_2 и Mg_2Si , расположенные главным образом по границам зерен, целиком переходят в твердый раствор. При последующем охлаждении твердый раствор фиксируется, но, будучи пересыщенным и



Фиг. 59. Схема упрочнения дуралюмина в процессе закалки и старения:

1 — до закалки; химические соединения CuAl_2 и Mg_2Si в виде крупных включений; 2 — после закалки и старения: твердые частички CuAl_2 и Mg_2Si в виде ультрамикроскопических включений (шпиров), расклинивающих зерна

неустойчивым, он начинает медленно распадаться, выделяя в крайне размельченном виде не различные в микроскоп частички химических соединений CuAl_2 и Mg_2Si . Эти твердые частички распределяются равномерно в зернах дуралюмина и играют роль шпиров, расклинивающих зерна (подобно гравию в бетоне). В результате упрочнения зерен крепость и твердость дуралюмина соответственно повышаются (фиг. 59).

Распадение твердого раствора с выделением мельчайших частичек CuAl_2 и Mg_2Si протекает при комнатной температуре очень медленно, вследствие малой подвижности частиц. Поэтому процесс старения при комнатной температуре длится довольно долго — в течение 5—7 суток. За это время твердость и крепость дуралюмина непрерывно повышаются. В этом в основном и состоит сущность процесса естественного старения закаленного дуралюмина.

При нагревании свежезакаленного дуралюмина до температуры 100—150° скорость распадаenia твердого раствора увеличивается вследствие того, что частицы становятся более подвижными. При этих условиях распадение твердого раствора и старение протекают значительно быстрее. Практически оно уже заканчивается в течение 3—4 час.

С понижением температуры частицы теряют подвижность, вследствие чего распадение твердого раствора замедляется. При температурах ниже 0° процесс старения протекает настолько медленно, что практически в сплаве не происходит почти никаких изменений.

3. Закалка дуралюминовых заклепок

Соединение дуралюминовых листов, профилей и труб в самолетных конструкциях, как правило, производится при помощи холодной клепки. Для этой цели применяются заклепки, изготовляемые из дуралюминовой проволоки.

Материал заклепок должен обладать большой пластичностью, чтобы заклепки при расклепывании не давали трещин. Этому требованию удовлетворяет дуралюмин с более низким содержанием меди, магния и марганца по сравнению с дуралюмином нормального состава. Однако большого различия в составе материала заклепок и материала деталей, соединяемых заклепочным швом, допустить нельзя, потому что контакт двух разнородных сплавов является причиной развития коррозии.

Состав дуралюминовых сплавов марок Д16, Д17 и Д18, идущих на изготовление заклепок, приведен в табл. 28.

Т а б л и ц а 28

Марка	Состав в %			
	Cu	Mg	Mn	Al
Д16	4,1	1,5	0,8	Остальное
Д17	4,0	0,6	0,6	»
Д18	2,5	0,35	0,2	»

Наиболее крепким является сплав Д16, применяемый для клепки ответственных деталей самолета. По мере уменьшения содержания меди и магния (сплавы Д17 и Д18) крепость сплава уменьшается, а пластичность его растет. Сплав Д18 вследствие малого содержания меди и

магния долго сохраняет пластичность в процессе старения, поэтому заклепки из него можно клепать даже через 4—5 суток после закалки. Но крепость сплава Д18 сравнительно невелика, и применение его ограничивается клепкой малонагруженных деталей самолета. Кроме того, состав сплава Д18 более других отличается от состава нормального дуралюмина, следовательно, заклепки из этого сплава более подвержены коррозии, чем заклепки из сплавов Д16 и Д17.

Дуралюминовые заклепки изготовляются из отожженной проволоки и поставляются в термически необработанном виде. Прочность заклепок в таком состоянии невелика, поэтому перед постановкой на место они должны быть обязательно подвергнуты закалке.

Нагрев заклепок под закалку следует производить в селитряной ванне, точно соблюдая температуру нагрева в пределах 490—510°. Заклепки для погружения в ванну укладываются в сетчатую железную коробку. Выдержка заклепок при температуре закалки продолжается от 10 до 20 мин. в зависимости от количества закалчиваемых заклепок. По окончании выдержки коробку извлекают из ванны, дают стечь селитре и быстро погружают в ванну с холодной проточной водой для закалки. При этом коробку хорошо встряхивают, чтобы отмыть селитру. Затем коробку еще раз прополаскивают в ванне с горячей водой (40—60°) для окончательного удаления следов селитры. После вскрытия коробки производится тщательный просмотр заклепок, чтобы убедиться в отсутствии на них следов селитры.

Заклепки из сплавов Д16 и Д17 должны быть поставлены на место не позднее 1—2 час. с момента закалки, иначе в процессе старения они становятся настолько твердыми, что дают трещины при расклепывании. Если в течение этого срока заклепки не будут использованы полностью, то применять их в таком виде в дальнейшем нельзя. Оставшиеся заклепки перед употреблением должны быть подвергнуты вторичной закалке.

4. Отпуск дуралюмина

Холодная обработка, связанная со значительными деформациями, не может быть применена к дуралюмину в закаленном и состарившемся состоянии. При этом неизбежно образуются трещины вследствие недостаточной пластичности материала.

Холодная обработка закаленного и состарившегося дуралюмина без риска образования трещин возможна после отжига. Предварительный отжиг применяется при выгибании дуралюминовых труб, при штамповке, выколотке и отбортовке листового материала и тому подобных работах.

Процесс отжига дуралюминовых деталей заключается в нагреве их до температуры $350 \pm 10^\circ$, некоторой выдержке при этой температуре и последующем охлаждении. В результате отжига в структуре закаленного дуралюмина происходят следующие изменения:

а) мельчайшие частички химических соединений CuAl_2 и Mg_2Si , равномерно рассеянные в зернах дуралюмина, объединяются, образуя крупные включения, располагающиеся по границам зерен;

б) если дуралюмин подвергался перед этим нагартовке (прокатке или протяжке в холодном состоянии), то искаженные и раздробленные холодной обработкой зерна приобретают в процессе рекристаллизации равноосную форму.

Отжиг значительно снижает твердость и крепость дуралюмина. В отожженном состоянии дуралюмин не стареет, и пластические свойства его значительно улучшаются.

Отжиг дуралюмина следует производить в солидной ванне при указанных выше температурах. Нагрев выше 360° недопустим, так как он вызывает частичную закалку.

Длительность нагрева зависит от толщины материала: дуралюмин толщиной 0,3—1,8 мм отжигается в течение 20 мин., при толщине 2—4 мм — в течение 35 мин., 5—6 мм — 45 мин. и 6—8 мм — 60 мин. Отожженному дуралюмину дают медленно охладиться над ванной до $200\text{—}250^\circ$ (в течение 1,5—2 мин.), чтобы с деталей за это время стекла соли. После этого детали промываются в теплой воде и протираются насухо тряпками.

По окончании холодной обработки давлением деталь подвергается закалке и старению для повышения ее механических свойств.

Работа по загибу дуралюминовых труб бензо- и маслопроводов требует обязательного применения отжига. При загибе отожженных труб применяется мелкий сухой песок в качестве наполнителя.

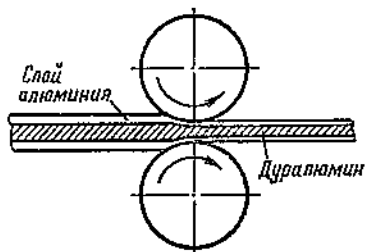
5. Пластированный дуралюмин (альклед)

Основным методом защиты дуралюминовых листов от коррозии является покрытие их тонким слоем чистого алюминия. Это покрытие создает надежную защиту дур-

алюмину благодаря тому, что чистый алюминий значительно лучше сопротивляется коррозии, чем дуралюмин (примерно в 10 раз).

Листовой дуралюмин, покрытый защитным слоем чистого алюминия, называется **плакированным дуралюмином** или **алкледом**.

Плакировка дуралюмина производится следующим образом: дуралюминовую плиту, полученную путем отливки, закладывают между двумя листами чистого алюминия, нагревают в печи до температуры 430° и в горячем виде



Фиг. 60. Плакировка дуралюмина

прокатывают в лист толщиной 8—10 мм (фиг. 60). Окончательно лист доводится до требуемой толщины холодной прокаткой с промежуточными отжигами. Толщина плакирующего слоя с каждой стороны должна быть не меньше 4% от толщины листа.

Недостатком плакированного дуралюмина является большая чувствительность мягкого плакирующего слоя к повреждениям — царапинам, вмятинам, забоинам и т. п., которые легко загрязняются и становятся очагами коррозии. При этом коррозия главным образом происходит за счет плакирующего слоя. В эксплуатации необходимо тщательно оберегать плакирующий слой обшивки самолета от повреждений.

Дуралюминовые листы и катаные профили поставляются на самолетостроительные заводы исключительно в плакированном виде. Плакировка дуралюминовых труб, прессованных профилей и прутков технически неосуществима.

6. Дуралюмин повышенной крепости. Супердуралюмин

Необходимость уменьшить аэродинамическое сопротивление крыльев, фюзеляжа и оперения для увеличения скорости самолета потребовала замены гофрированной дуралюминовой обшивки на обшивку гладкими листами. Чтобы осуществить эту замену, потребовался листовой материал, обладающий более высокой прочностью и жесткостью, чем дуралюмин нормального состава.

В результате проведенных исследований было установлено, что небольшое увеличение содержания в дуралюмине меди, магния и марганца, при одновременном введении в сплав небольшого количества кремния, позволяет повысить временное сопротивление дуралюмина в закаленном состоянии с 38 до 42—44 кг/мм². Дополнительное повышение крепости листового материала, подвергнутого закалке, достигается холодной прокаткой (нагартовкой). При этом временное сопротивление нагартованных листов доходит до 48—52 кг/мм² при удлинении в 10%.

Сплавы, имеющие повышенное содержание меди, магния, марганца и содержащие, кроме того, более 0,6% кремния, получили название супердуралюминов. Состав улучшенных дуралюминов Д4 и Д5 и плакированного супердуралюмина Д8 приведен в табл. 29.

Т а б л и ц а 29

Марки	Состав в %					
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Al
Д4 и Д5	4,6—5,2	0,65—1,0	0,6—1,2	ниже 0,7	ниже 0,3	Остальное
Д8 ¹ . .	4—5	0,6—1,0	0,6—1,0	0,6—1,0	» 0,6	»

Данные о механических свойствах (после закалки и старения) и применении этих сплавов приведены в табл. 30.

Т а б л и ц а 30

Марки	Механические свойства		Основное назначение
	σ_b кг/мм ²	δ %	
Д4 и Д5 .	44—43	15—13	Нагартованные листы и ленты для гладкой обшивки, прутки и трубы
Д8	48—52	10—12	Нагартованные листы и ленты для гладкой обшивки

Листы и ленты из сплавов Д4, Д5 и Д8 плакируются алюминием для предохранения от коррозии. Термическая обработка листов, лент, труб и прутков из сплавов Д4 и Д5 состоит из закалки при температуре 495—510° и естественного старения в течение нескольких суток.

¹ Плакированный супердуралюмин.

Листовой материал, применяемый для гладкой обшивки самолетов, после закалки и старения подвергается нагартовке (холодной прокатке). Этим достигается дополнительное повышение крепости и жесткости материала за счет сжатия его относительного удлинения.

Для повышения удлинения нагартованные листы подвергаются отпуску, состоящему в нагреве до 150° в течение 3 час. В результате отпуска относительное удлинение увеличивается в два раза, в то время как временное сопротивление почти не изменяется.

Наибольшей крепостью обладает супердуралюминовый сплав Д8, характерной особенностью которого является то, что искусственное старение после закалки сообщает ему более высокие механические свойства, чем естественное старение. Эта особенность сплава Д8 объясняется повышенным содержанием кремния. Искусственное старение закаленных листов из сплава Д8 производится путем нагревания до 160° с выдержкой при этой температуре в течение 15 час.

Все супердуралюминовые сплавы и в особенности сплав Д8 значительно более чувствительны к температуре закалки, чем дуралюмин нормального состава, поэтому нагрев под закалку этих сплавов требует очень точного температурного режима. Для сплава Д8 наиболее благоприятная закалочная температура лежит в узких пределах — от 503 до 507° .

7. Применение дуралюмина для воздушных винтов

Металлические винты имеют значительные преимущества по сравнению с деревянными винтами благодаря более высокому коэффициенту полезного действия и лучшей сопротивляемости износу. В настоящее время деревянные винты применяются только для маломощных самолетов.

Основным материалом для изготовления металлических винтов является дуралюмин.

Дуралюминовые винты изготавливаются из литых болванок путем горячей прессовки или прокатки для получения грубых заготовок, которые в дальнейшем подвергаются ковке под молотом в горячем состоянии (при температуре 450°) и горячей штамповке в закрытых штампах.

После штамповки винты закалываются при температуре $490-510^{\circ}$ с охлаждением в воде. Нагрев под закалку про-

изводится в селитряных ваннах. Процесс старения происходит при комнатной температуре (естественное старение) и продолжается 5—6 суток.

Дуралюмин, применяемый для изготовления винтов, должен обладать большой пластичностью для облегчения обработки, связанной с ковкой и штамповкой больших по площади и тонких поверхностей. Состав и механические свойства сплава, идущего на изготовление винтов, приведены в табл. 31.

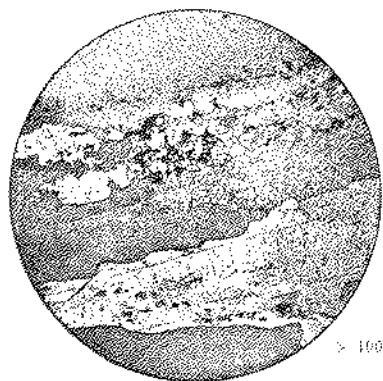
Таблица 31

Марка	Состав в %						Механические свойства	
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Al	σ_b кг/мм ²	δ %
АК1	3,5—5,0	0,4—0,8	0,4—0,8	ниже 0,7	ниже 0,7	остальное	35	13

Сплав АК1 применяется для изготовления воздушных винтов, крыльчаток нагнетателей и картеров распределительных валков.

Микроструктура сплава АК1 представлена на фпг. 61.

Исследования случаев поломок металлических винтов в эксплуатации показали, что разрушение винтов чаще всего происходит от усталости под влиянием резонансных вибраций, вызванных мотором. Усталость материала винта выражается в образовании мельчайших трещинок, своевременное выявление которых представляет большие трудности. Наиболее надежным способом обнаружения трещинок является легкое травление лопастей винта 10—20% раствором едкого натрия с последующей отмывкой образовавшегося тем-



Фиг. 61. Микроструктура деформированного и термически обработанного сплава АК1

ного налета 20% раствором азотной кислоты. Протравленная поверхность тщательно исследуется с помощью лупы.

Травление винта возможно производить только в специально оборудованной мастерской.

§ 39. Поршневые алюминиевые сплавы

Поршни авиамоторов работают в условиях повышенной температуры (около 350°) и испытывают значительные нагрузки в виде резких толчков, передаваемых с большой частотой.

Основные требования, которым должен удовлетворять материал для поршней, следующие:

а) малый удельный вес, необходимый для уменьшения инерционных сил движущихся масс;

б) способность сохранять высокие значения крепости и сопротивления износу при повышенных температурах;

в) хорошая теплопроводность, препятствующая перегреву поршня;

г) низкий коэффициент теплового расширения, позволяющий уменьшить зазор между поршнем и цилиндром без опасения заедания поршня.

В настоящее время широкое распространение получили прессованные поршни из легких алюминиевых сплавов, значительно более надежные в работе, чем литые поршни. Преимущество прессованных поршней перед литыми заключается в более высокой механической прочности, обусловленных мелкозернистой структурой, получаемой в процессе горячейковки и штамповки литых заготовок. Вместе с тем горячая обработка давлением дает возможность избежать внутренних напряжений, пористости и раковин, свойственных литым поршням.

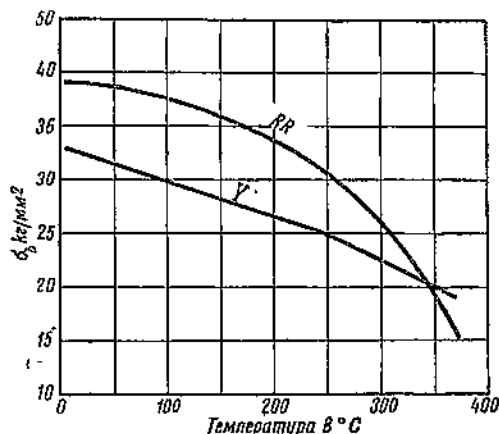
Для изготовления прессованных поршней широкое применение имеют алюминиевые сплавы типа Y (игрек или уайт) и типа RR, химический состав которых указан в табл. 32.

Таблица 32

Тип	Марка по ВС (авиа)	Состав в %							
		Cu	Mg	Ni	Fe	Si	Ti	Mn	Al
Y	АКБ	3,5—1,5	0,1—0,7	1,8—2,3	ниже 0,7	ниже 0,7	—	—	остальное
RR59	АКБ	1,5—2,5	1,4—1,8	0,5—1,5	0,8—1,4	0,5—1,25	0,05—0,12	ниже 0,2	остальное

Эти сплавы обладают способностью подвергаться горячей ковке и штамповке до окончательного размера без образования трещин, получая при этом гладкую поверхность. Очень ценным свойством сплавов Y и RR59 является сравнительно небольшое понижение прочности при повышенных температурах.

На фиг. 62 представлена диаграмма, характеризующая изменение временного сопротивления термически обработанных сплавов Y и RR59 при повышении температуры.



Фиг. 62. Изменение крепости поршневых сплавов Y и RR59 при повышении температуры

В состав обоих сплавов входит никель, способствующий улучшению механических свойств сплава и повышению его жаростойкости. Сплав RR59 отличается от сплава Y более сложным составом. Железо вводится в него для увеличения крепости при повышенных температурах, титан способствует образованию мелкозернистой структуры.

Для упрочения прессованных поршней из сплавов Y и RR59 применяется закалка с последующим искусственным старением.

Режим термообработки обоих сплавов примерно один и тот же и состоит в закалке при температуре около 530° с охлаждением в воде и в искусственном старении при 150—220° в течение нескольких часов.

§ 40. Алюминиевые сплавы для кованых и штампованных картеров звездообразных моторов

Для изготовления кованых и штампованных картеров звездообразных моторов в большинстве идут сплавы АКЗ и АК5. Химический состав этих сплавов приведен в табл. 33.

Таблица 33

Тип	Марка по ВД (авиа)	Остаток в %								
		Cu	Mg	Ni	Fe	Si	Ti	Mn	Cr	Al
RR56	АКЗ	1,5—3,0	0,4—1,0	0,5—1,5	0,8—1,4	0,5—1,0	0,05—0,12	ниже 0,2	—	остаточное
A51S	АК5	ниже 0,5	0,45—0,48	—	ниже 0,7	0,6—1,2	—	ниже 0,2	0,15—0,35	остаточное

Сплав RR56, так же как и поршневой сплав RR59, относится к серии сплавов RR (Рольс-Ройс).

Сплав АК5 характеризуется низким содержанием меди, вследствие чего он обладает высокой пластичностью, приближающейся к пластичности чистого алюминия.

Термообработка штампованных картеров из сплавов АКЗ и АК5 состоит из закалки при температуре 530—540° и искусственного старения при 155—175° в течение 15—20 час.

Сплав АКЗ в термически обработанном виде имеет временное сопротивление 44—50 кг/мм² и удлинение 8—18%. Термически обработанный сплав АК5 характеризуется следующими значениями прочности и удлинения: $\sigma_b = 30—35$ кг/мм² и $\delta = 8—15\%$.

§ 41. Алюминиевые сплавы для литых деталей авиамоторов

Основные требования к алюминиевым сплавам для литья заключаются в том, что эти сплавы, помимо высоких механических качеств, должны обладать хорошей жидкотекучестью и способностью давать отливки без пористости и раковин при минимальной усадке.

К сплавам, применяемым для отливки моторных деталей, работа которых протекает в условиях повышенной температуры (клапанные головки и блоки), предъявляется

дополнительное требование — сохранять крепость при повышении температуры.

Наиболее ответственными литейными деталями авиамоторов являются картеры коленчатого вала, редуктора и нагнетателя. Картеры испытывают очень большие нагрузки, но, в отличие от клапанных головок и блоков, работают при нормальной температуре.

Для отливки клапанных головок, блоков и головок цилиндров применяется жароупорный сплав типа У (пгрек) марки АС5 с несколько повышенным содержанием магния (1—2%) по сравнению со сплавом того же типа, применяемым для прессованных поршней. Этот сплав дает плотные, без пузырей, отливки с мелкозернистой структурой и отлично обрабатывается резанием.

Важнейшими сплавами, применяемыми для отливки картеров и арматуры, являются: а) сплавы типа силумин, б) медно-алюминиевые сплавы и в) сплав RR50.

1. Силумин

Силумином называется сплав алюминия с кремнием с содержанием кремния в пределах от 5 до 13%.

Благодаря высокой жидкотекучести и незначительной усадке при застывании силумин обладает исключительно хорошими литейными качествами, поэтому он особенно пригоден для приготовления сложных и тонкостенных отливок (картеров и арматуры).

В отношении коррозии силумин является наиболее устойчивым из всех алюминиевых сплавов.

Широкое применение силумин получил после того, как в 1920 г. американцем Пани было открыто явление модификации силумина. Это явление заключается в том, что если к расплавленному силумину с 10—13% кремния добавить 0,05—0,1% металлического натрия или около 1% смеси фтористых солей натрия и калия, то структура затвердевшего силумина становится мелкозернистой.

Силумин, обработанный в жидком состоянии натрием или фтористыми солями натрия и калия, носит название модифицированного силумина. Модификация резко повышает механические качества силумина, причем его крепость и пластичность возрастают одновременно. У немодифицированного силумина с 12—13% кремния временное сопротивление $\sigma_b = 12—16 \text{ кг/мм}^2$ и относительное удлинение $\delta = 0,5\%$; того же состава модифицированный силумин имеет $\sigma_b = 16—22 \text{ кг/мм}^2$ и $\delta = 3\%$.

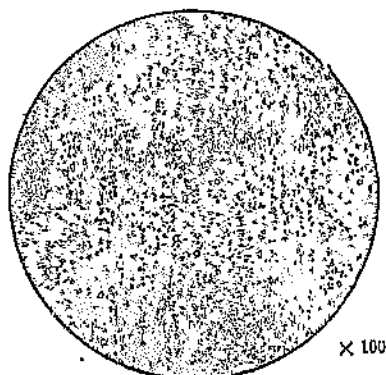
Микроструктуры немодифицированного и модифицированного силумина представлены на фиг. 63 и 64.

Весьма широкое применение для отливки картеров имеют силумины специального состава: кобальтовый, марганцовистый и др., отличающиеся очень высокими механическими качествами. Химический состав их примерно следующий:

Кремния	9—10%
Магния	0,2—0,3%
Кобальта или марганца	0,4—0,6%
Алюминия	остальное



Фиг. 63. Микроструктура немодифицированного силумина



Фиг. 64. Микроструктура модифицированного силумина

Благодаря присутствию магния специальные силумины могут быть термически обработаны. Термообработка состоит из закалки при 525—530° с охлаждением в воде и искусственного старения при 150—175° с выдержкой от 20 до 30 час. В результате термообработки временное сопротивление силуминов повышается с 16 до 22—30 кг/мм².

Добавление кобальта уменьшает вредное влияние железа, которое является неизбежной примесью силумина, сильно снижающей его механические свойства, особенно пластичность. При отсутствии кобальта железо образует хрупкие иглообразные включения $FeAl_3$, в присутствии же кобальта железо оказывается связанным в тройное химическое соединение, кристаллизующееся в форме равноосных зерен.

Недостатком силуминовых отливок является их пористость, получающаяся вследствие того, что силумин в

расплавленном состоянии легко насыщается газами. При затвердевании жидкого силумина растворенные газы скапливаются в виде пузырьков, часть которых не успевает выделиться и застревает между зернами металла, создавая пористость отливки.

Для уменьшения пористости в отливках из силуминов проф. А. А. Бочваром предложен особый метод литья их. Согласно этому методу подготовленная под заливку опока помещается в автоклав и заливается силумином через люк. После этого люк быстро закрывают и перед самым началом затвердевания отливки в автоклав впускают сжатый воздух под давлением 5—6 ат. Под этим давлением отливка выдерживается до окончания затвердевания.

Уменьшение пористости силумина при затвердевании под давлением объясняется тем, что внешнее давление препятствует образованию газовых пузырьков, и таким образом большая часть газов остается в металле в растворенном виде.

2. Медноалюминиевые сплавы

Медноалюминиевые сплавы с содержанием меди от 8 до 14% получили широкое распространение благодаря их высоким литейным качествам и сравнительно низкой стоимости.

Из всех алюминиевых сплавов сплавы алюминия с медью обладают наибольшей жидкотекучестью, уступая в этом отношении только силумину.

Медноалюминиевый сплав с добавкой железа и кремния марки АС2 применяется для отливки картеров, рубашек цилиндров и корпусов помп авиамоторов. Этот сплав имеет широкое применение и для арматурного литья. В состав его входят:

Меди	7—9%
Железа	0,5—1,5%
Кремния	0,8—2,2%
Алюминия	остальное

Одновременное присутствие железа и кремния повышает крепость и улучшает литейные свойства сплава.

Термообработка сплава АС2 сводится к закалке при 500—520° с охлаждением в воде и искусственному старению при 130°. В термически обработанном виде сплав имеет следующие механические свойства: $\sigma_b = 12—16 \text{ кг/мм}^2$ и $\delta = 0,2\%$.

8. Сплав RR50

Этот сплав содержит те же компоненты, что и другие сплавы серии RR, применяемые для кованых и штампованных половинок картеров и поршней.

Химический состав сплавов серии RR, в том числе и сплава RR50, приведен в табл. 84.

Таблица 84

Компонент	Содержание в %		
	RR50	RR56	RR59
Медь	1,3	1,5—3,0	1,5—2,5
Магний	0,10	0,4—1,0	1,4—1,8
Никель	1,3	0,5—1,5	0,5—1,5
Железо	1,0	0,8—1,4	0,8—1,4
Кремний	2,20	0,5—1,0	0,5—1,25
Титан	0,18	0,05—0,12	0,05—0,12
Марганец	—	ниже 0,2	ниже 0,2
Алюминий	остальное	остальное	остальное
Механические свойства:			
σ_b кг/мм ²	23—27	44—50	36—46
δ %	0—2,5	10—20	6—10

Примечание. Временное сопротивление сплава RR50 приведено при отливке в кокиль и термической обработке.

Сплав RR50 характеризуется хорошими литейными качествами и дает плотные, без раковин и пустот, отливки.

Закалку сплав RR50 получает в момент литья, поэтому термическая обработка отливок сводится только к искусственному старению при 155—175° в течение 20 час.

ЛИТЕРАТУРА

Лахтин Ю. М., инж.-доц., Чулицкий Н. Н., проф.-докт. и др., Авиационное материаловедение, ч. I, 1938.

Чуриков И. Н., инж., Термическая обработка алюминия и его сплавов, 1939.

Эдвардс Д., Фрери Ф., Джеффрис Э., Изделия из алюминия и их производство, тт. II и III, 1934.

Сборник статей ВИАМ.

Пэнтоп Эдв. Т., Беркен С. Н., Лыкошин В. А., Обработка алюминия и его сплавов.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ МАГНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

§ 42. Магний

Магний является самым легким из всех технических металлов. Он имеет удельный вес 1,7. Температура плавления магния 650°.

Магний обладает большим сродством с кислородом. Окисляясь на воздухе, он покрывается пленкой окиси магния MgO , но эта пленка очень пориста, поэтому она плохо предохраняет металл от дальнейшего окисления.

При нагревании свыше 700° магний загорается и горит ослепительным пламенем, выделяя огромное количество тепла.

По отношению к щелочным растворам магний довольно стоек, но сильно разъедается кислотами. В морской воде магний быстро разрушается.

Чистый магний как конструкционный материал применения не имеет вследствие низких механических свойств (временное сопротивление литого магния не превышает 10 кг/мм²).

Значительное распространение в авиастроении получили сплавы на основе магния, содержащие алюминий, цинк и марганец. Эти сплавы известны под названием «электрон».

§ 43. Электрон

Из всех сплавов, применяемых в авиастроении, магниевые сплавы типа электрон являются самыми легкими. Удельный вес электрона в зависимости от состава колеблется в пределах от 1,76 до 1,82, т. е. в среднем на 35% меньше удельного веса алюминиевых сплавов.

Однако легкость электрона не может быть полностью использована для уменьшения веса конструкции, так как электрон по сравнению с алюминиевыми сплавами имеет более низкую крепость. При условии одинаковой прочности детали из электрона должны иметь площадь сечения в среднем на 15% больше, чем изготовленные из алюминиевых сплавов.

Крупнейшим недостатком электрона, ограничивающим область его применения в авиационной, является малая антикоррозийная стойкость. Электрон легко разрушается под действием влажного воздуха и водных растворов хлористых и сернокислых солей. Морской воды он совершенно не переносит.

В самолетостроении электрон применяется для изготовления сварных бензиновых и масляных баков, колес, тормозных колодок, роликов управления, капотов, обтекателей, каркасов рулей управления, сидений, рам, дверей и различных деталей отделки стен и переборок кабины.

В моторостроении наиболее ответственными деталями, изготавливаемыми из электрона, являются крыльчатки и нагнетателей. Электрон имеет применение и для изготовления задних крышек картеров звездообразных моторов.

Основные компоненты, входящие в состав электрона, имеют следующее назначение: алюминий и цинк вводятся в электрон для повышения его крепости и твердости, марганец увеличивает стойкость электрона против коррозии.

В некоторые сорта электрона добавляют небольшое количество титана и бериллия. Титан способствует образованию мелкозернистой структуры при затвердевании электрона из расплавленного состояния. Бериллий уменьшает окисляемость электрона при плавке и разливке.

Все сплавы типа электрон делятся на сплавы для литья и сплавы для обработки давлением (прокаткой, прессовкой, штамповкой). Состав и механические свойства сплавов для литья (после термической обработки) приведены в табл. 35.

Плавка электрона ведется в стальных тиглях под слоем флюса, состоящего из смеси хлористых и фтористых солей магния и калия. Флюс защищает металл от окисления и препятствует его самовозгоранию. При разливке в формы струя электрона припыливается серным цветом для предохранения от воспламенения.

Таблица 35

Марки	Состав в %						Механические свойства	
	Al	Zn	Mn	Ti	Be	Mg	σ_b кг/мм ²	δ %
МА4	6—7	2,5—3,5	0,1—0,3	—	0,01—0,03	остальное	22—29	4—8
МА5	8—9	—	0,1—0,3	0,2—0,4	0,01—0,03	остальное	22—25	5—8
МА6	9,5—10,5	—	0,1—0,3	—	0,01—0,03	остальное	21—25	1—4

Сплавы МА5 и МА6 благодаря высокому содержанию алюминия могут подвергаться термической обработке. Термообработка их состоит из закалки с 410—420° после нагрева в течение 16—20 час. и старения при 170—180° в течение 16 час. Такая длительность нагрева под закалку объясняется медленностью образования твердого раствора.

Состав и механические свойства магниевых сплавов (после отжига) для обработки давлением приведены в табл. 36.

Таблица 36

Марки	Состав в %						Механические свойства	
	Al	Zn	Mn	Ti	Be	Mg	σ_b кг/мм ²	δ %
МА1	ниже 0,04	—	1,3—1,7	—	—	остальное	20—24	7—11
МА2	3—4	0,3—0,7	0,2—0,5	—	0,03—0,05	остальное	25—28	8—12
МА3	6—7	0,8—1,2	0,2—0,5	0,2—0,4	0,01—0,03	остальное	28—32	10—14

Сплав МА1 выпускается в виде листов, которые идут на изготовление сварных баков. Среди всех сплавов типа электрон сплав МА1 имеет наибольшую антикоррозионную стойкость.

Сплав МА2 применяется в виде прутков для деталей, изготавливаемых ковкой и штамповкой. Вследствие малой

пластичности обработка электрона давлением возможна только в горячем состоянии в интервале температур от 480 до 280°.

Наибольшей прочностью обладает сплав МАЗ благодаря повышенному содержанию алюминия и цинка и добавлению титана. Этот сплав применяется в виде листов, прутков и труб. Для предохранения от коррозии листовой материал из сплава МАЗ плакируется сплавом МА1.

Электрон хорошо обрабатывается резанием. При больших скоростях резания не исключена возможность воспламенения электронных стружек. Тушение загоревшихся стружек водой не допускается, так как горящий магний разлагает воду на кислород и водород, что сопровождается взрывом. Тушение электрона производится нескорм или сухим порошком графита.

Для повышения стойкости против коррозии изделия из электрона подвергаются травлению в растворе, состоящем из 11 частей хромпика $K_2Cr_2O_7$, 18 частей азотной кислоты HNO_3 и 100 частей воды. Травление производится в течение 45—60 сек. при температуре 80°, с последующей промывкой в горячей воде, сушкой и протиркой тряпками, смоченными в олифе. В результате травления электрон покрывается защитной пленкой, значительно более прочной и плотной, чем естественная пленка окиси магния. Полученная путем травления пленка может защищать электрон в течение не более 5—6 месяцев в атмосферных условиях. Защита электрона на более продолжительный срок достигается нанесением лакокрасочного покрытия поверх защитной пленки.

ЛИТЕРАТУРА

Дугасков А. С., инж., Магнелиеые сплавы, их изготовление и применение, 1933.

Афанасьев Я. Е., инж., Магнелиеые сплавы.

Золотухин, инж., Электрон как конструкционный материал в самолетостроении, 1939.



ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

СВАРКА И ПАЙКА

§ 44. Значение сварки и пайки в самолетостроении

Все способы, которыми осуществляется соединение отдельных деталей машин, можно разделить на две группы: разъёмные соединения, к которым относятся болтовые, шпоночные, шлицевые и клиновые соединения, и неразъёмные, или глухие, соединения, осуществляемые путем сварки, пайки и клепки.

При пайке соединение металлических частей производится при помощи сплавляющих сплавов, называемых припоями. Припой вводится в расплавленном состоянии между скрепляемыми деталями и, застывая, связывает их в одно целое. Вследствие сравнительно невысоких механических качеств припоев паяный шов не обладает большой прочностью, поэтому для высоконагруженных деталей самолета этот способ соединения не применяется.

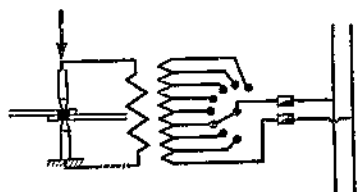
Сварка осуществляется путем местного нагрева кромок соединяемых металлических частей до температуры, при которой металл переходит в тестообразное или жидкое состояние. При застывании крошки металла «свариваются», образуя соединение, которое по прочности мало уступает целому куску металла.

Благодаря своим технико-экономическим преимуществам по сравнению с другими видами соединений (клепка, пайка, болтовые соединения и др.) сварка в настоящее время является одним из основных видов соединений металлов. Широкое применение сварка имеет и в самолетостроении.

В зависимости от источников тепла, используемых при сварке, различают следующие виды сварки: газовая свар-

ка, электросварка (контактная и дуговая) и атомноводородная сварка.

При газовой сварке тепло получается за счет сжигания в атмосфере чистого кислорода горючих газов: водорода, бензола, бугаза и ацетилена. Последний имеет наиболее широкое применение. Горючий газ смешивается с кислородом в газовой горелке и по выходе из нее воспламеняется. Струя пламени, направленная на свариваемый участок, расплавляет как кромки шва, так и пруток присадочного материала, подводимого для заполнения паза между кромками.

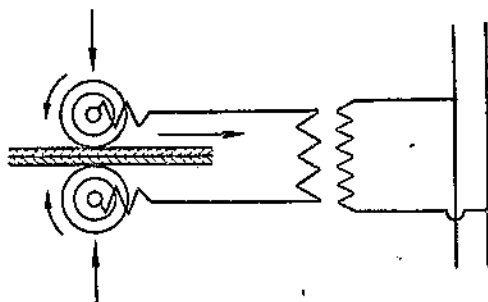


Фиг. 65. Схема точечной сварки

Контактная электросварка, или сварка сопротивлением, основана на превращении электрической энергии в тепловую при прохождении электрического тока по проводнику. Чем больше сопротивление проводника, тем сильнее он нагревается при прохождении тока.

Различают три вида контактной сварки: а) стыковая, или поверхностная, сварка; б) точечная сварка и в) роликовая, или линейная, сварка.

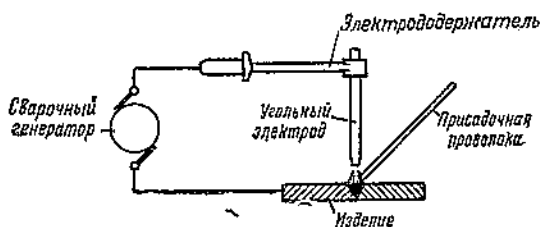
Процесс контактной сварки встык (стыковая сварка) происходит следующим образом. Соединяемые части (стержни или трубы) закрепляются в зажимах сварочной машины так, что свариваемые поверхности слабо прижимаются друг к другу, затем включается электрический ток. При прохождении тока в стыке свариваемых частей и в соседних к нему зонах выделяется большое количество тепла, так как это место оказывает наибольшее сопротивление прохождению тока благодаря неплотному прилеганию и наличию воздушного пространства. Как только металл в месте стыка достигнет сварочной температуры,



Фиг. 66. Схема роликовой сварки

производится сварка путем сильного сдавливания соединяемых частей.

Электрическая точечная и роликовая сварка является разновидностью стыковой сварки и применяется для соединения листового материала. При точечной сварке листы накладываются друг на друга внахлестку и зажимаются между двумя медными электродами, соединенными со вторичной обмоткой трансформатора (фиг. 65). При включении тока часть металла, находящаяся между электродами, сильно нагревается. По достижении сварочной температуры соединяемые листы, быстро и сильно сдавливаемые электродами, свариваются. Получаемые таким образом сварные точки могут быть размещены на любом расстоянии друг от друга.



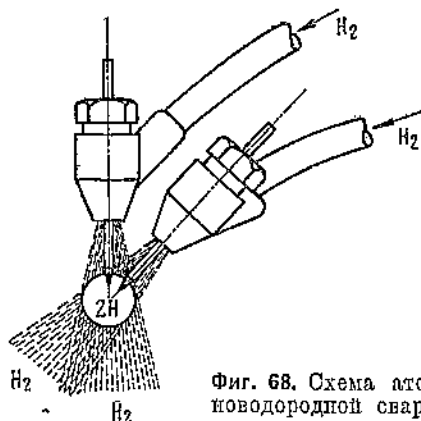
Фиг. 67. Схема электродуговой сварки

Точечная сварка широко применяется в авиационной промышленности. Основными ее достоинствами являются прочность шва и высокая производительность работы.

Роликовая контактная сварка применяется в тех случаях, когда требуется получить не только прочное, но и плотное соединение листового материала. От точечной сварки она отличается тем, что в ней стержневые электроды заменены вращающимися роликами, которые захватывают свариваемые листы (фиг. 66). При прохождении тока металл под роликами нагревается и сваривается под влиянием давления роликов. Перемещая свариваемые листы между роликами, можно получить непрерывный шов.

При электродуговой сварке используется тепло вольтовой дуги, возникающей между свариваемым изделием, присоединенным к одному из зажимов источника тока, и углеродным или металлическим электродом, присоединенным к другому зажиму (фиг. 67). Металл при дуговой сварке нагревается до расплавления и сваривается без приложения давления извне.

Атомноводородная сварка основана на применении вольтовой дуги, возникающей между двумя вольфрамовыми электродами, через пламя которой пропускается струя водорода (фиг. 68). Под действием высокой температуры молекулярный (двухатомный) водород распадается на атомы, поглощая тепло вольтовой дуги. Атомный водород, попадая на менее нагретый свариваемый металл, снова переходит в молекулярное состояние. Эта



Фиг. 68. Схема атомноводородной сварки

группировка водородных атомов в молекулы сопровождается выделением тепла, которое и используется для расплавления металла.

Основное преимущество атомноводородной сварки по сравнению с электродуговой заключается в том, что атмосфера водорода, окружающая расплавленный металл, защищает его от окисления и азотирования, что

всегда имеет место при сварке в атмосфере воздуха.

На самолетостроительных заводах применяются все указанные виды сварки, в условиях же эксплуатации и ремонта материальной части ВВС наиболее широкое применение имеют ацетилено-кислородная («автогенная») и электродуговая сварка, к изучению которых мы и перейдем.

§ 45. Материалы и аппаратура для ацетилено-кислородной сварки

1. Кислород

Сгорание горючих газов в смеси с воздухом происходит при сравнительно низких температурах, так как при этом значительная часть тепла непронизводительно расходуется на подогрев азота и других инертных газов, содержащихся в воздухе. С целью наиболее полного использования теплотворной способности горючего газа и получения более высокой температуры горения газы в про-

пн
ю-
ся
е-
ш-
м-
ий
та
д-
у-
б-
ю-
ся
е-

е-
ий
по
а-
то
а,
в-
п-
ия
то

а-
е-
е-
к-
м.

цессе сварки сжигаются в струе чистого кислорода. Так, например, сгорание ацетилен в смеси с воздухом дает температуру до 2000° , при горении же ацетилена в кислороде температура пламени достигает $3100-3300^{\circ}$.

Кислород представляет собой бесцветный двухатомный газ, активно поддерживающий горение. Удельный вес его при 0° и давлении 760 мм рт. ст. равен $1,429 \text{ кг/м}^3$. Содержание кислорода в воздухе составляет 23,2% по весу и 21% по объему.

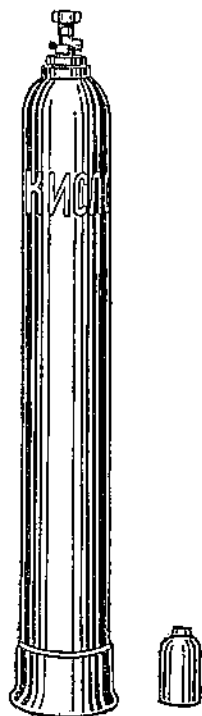
Для промышленных целей кислород добывается из воздуха по способу Линде. Этот способ основан на сжатии воздуха путем попередного сильного сжатия и охлаждения, с последующим разделением его на кислород и азот. Такое разделение жидкого воздуха на составные части основано на том, что жидкий азот кипит при более низкой температуре, чем жидкий кислород (азот кипит при $-195,8^{\circ}$, а кислород при -183°). При кипении жидкого воздуха в особом разделительном аппарате азот выкипает раньше кислорода, в результате чего после испарения азота остается почти чистый кислород. Полученный таким образом газ, содержащий 99,0—99,5% кислорода, нагнетается в баллоны под давлением в 150 ат.

Кислород, добываемый по способу Линде, может быть получен как в газообразном, так и в жидком состоянии. Применение жидкого кислорода оказывается в ряде случаев более выгодным, так как он занимает очень малый объем и более безопасен при хранении и транспортировке, чем газообразный кислород, находящийся в баллонах при высоком давлении. 1 л жидкого кислорода дает при испарении 800 л газообразного.

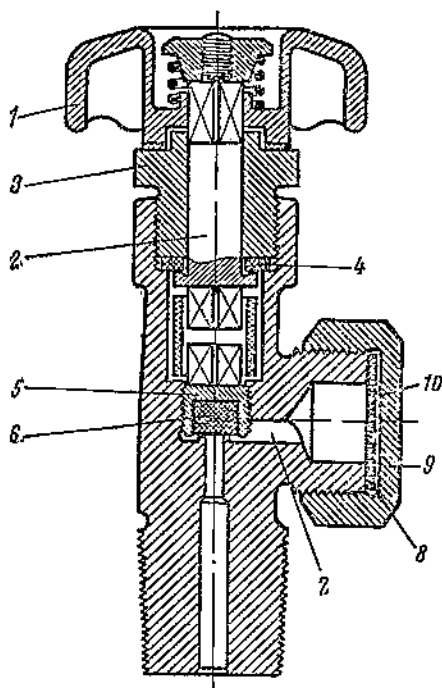
Для хранения и перевозки жидкого кислорода применяются сосуды Дюара емкостью в 5, 15 и 25 л жидкости. Сосуд Дюара — медный шарообразный сосуд с двойными стенками, помещенный в железный или дюралюминовый кожух. Из пространства между двойными стенками воздух выкачан.

Для поглощения остатков воздуха между стенками сосуда помещена камера, заполненная силикагелем. Силикагель представляет собой обезвоженный студень (гель) кремневой кислоты H_2SiO_3 . Он имеет вид твердой, совершенно сплошной белой массы. Эта масса пронизана во всех направлениях мельчайшими порами (канальцами), не видимыми в микроскоп. Вследствие наличия этих мельчайших пор силикагель имеет огромную поверхность (на 1 г силикагеля приходится до 10 км^2 поверхности) и

Является поэтому превосходным адсорбирующим веществом. Силикагель, помещенный между стенками сосуда Дюара, адсорбирует, т. е. притягивает и удерживает на своей поверхности, последние остатки воздуха и тем самым делает сосуд почти совершенно не проницаемым для тепла.



Фиг. 69. Кислородный баллон



Фиг. 70. Вентиль для кислородного баллона:

1 — маховичок; 3 — шпиндель; 3 — гайка сальника; 4 — прокладка; 5 — клапан; 6 — уплотнитель клапана; 7 — канал для выхода газа; 8 — боковой штуцер; 9 — заглушка; 10 — прокладка

Применение жидкого кислорода для сварочных работ требует установки специального оборудования (газификатора) для перевода кислорода в газообразное состояние. Ввиду сложности этого оборудования применение жидкого кислорода целесообразно только на больших заводах, в условиях же частей и мастерских пользуются газообразным кислородом, доставляемым в баллонах.

Кислородный баллон (фиг. 69) представляет собой стальной цилиндрический сосуд, снабженный запорным вентилем, боковой штуцер которого служит для присоединения редуктора, понижающего давление сжатого кислорода до необходимого рабочего давления. Вентиль для предохранения от повреждения закрывается колпаком. На нижнюю часть баллона для придания устойчивости насаживается в горячем состоянии квадратный башмак.

Баллоны для сжатого кислорода окрашиваются в светлосиний цвет и имеют надпись «Кислород».

Кислородные баллоны изготовляются емкостью 27, 33, 40 и 50 л. Давление кислорода в баллоне доводится до 150 ат. Если привести давление сжатого кислорода к 1 ат, то оказывается, что баллон емкостью 40 л при давлении в 150 ат вмещает $40 \cdot 150 = 6\,000$ л, или 6 м³, кислорода при атмосферном давлении.

Запорные вентили кислородных баллонов изготовляются из латуни (фиг. 70). Вентиль в нижней части имеет конический хвостовик с резьбой для ввертывания в горловину баллона. Вентиль открывается вращением маховичка 1 против часовой стрелки. При помощи шпинделя 2, проходящего через сальниковую гайку 3 с фибровой прокладкой 4, вращение от маховичка передается клапану 5. Клапан снабжен уплотнителем 6 из отожженной красной меди. Поднимаясь по резьбе, клапан открывает проход для сжатого кислорода в канал 7 бокового штуцера 8. Боковой штуцер снабжен правой резьбой для крепления редуктора с помощью напудной гайки. При перевозке и хранении баллона на боковой штуцер наворачивается заглушка 9, имеющая фибровую прокладку 10.

Если баллон имеет вентиль, пропускающий газ, то такой баллон подлежит опорожнению и отправке в ремонт. Производить разборку вентиля на месте категорически запрещается, и ремонтировать они могут только в специальных мастерских.

Кислородные баллоны во избежание взрыва подвергаются в обязательном порядке 1 раз в 3 года испытанию на гидравлическое давление в 225 ат. Испытания производит инспектор охраны труда на заводе, на котором баллоны наполняются кислородом. Если баллон выдержал испытание, то на его горловине выбивается клеймо инспектора и срок следующего испытания. Пользоваться баллонами, сроки испытания которых истекли, категорически запрещено.

При эксплуатации, перевозке и хранении кислородных баллонов необходимо соблюдать особую осторожность, так

как всякая небрежность при обращении с ними может вызвать взрыв, сопровождающийся большими разрушениями и несчастными случаями. Необходимо строго выполнять следующие правила по технике безопасности:

а) Избегать падения баллонов, ударов и толчков, могущих вызвать взрыв баллона вследствие резкого повышения давления. При перевозке баллонов не допускать их перекатывания. Не поднимать баллоны за вентили.

б) Вентили содержать в безукоризненной чистоте. Смазывать вентили какой-либо смазкой безусловно воспрещается, так как окисление смазки сжатым кислородом сопровождается повышением температуры, в результате чего смазка вспыхивает, давление в баллоне повышается, и может произойти взрыв. Для обезжиривания деталей, соприкасающихся со сжатым кислородом, следует применять бензин или четыреххлористый углерод.

в) Избегать нагревания баллонов солнечными лучами, не держать их поблизости от сварочных постов, печей, батарей центрального отопления и т. д.

г) Немедленно возобновлять нарушенную окраску баллонов. Стандартная синяя окраска гарантирует, что кислород не будет по ошибке применен вместо другого газа, например вместо сжатого воздуха, для запуска мотора.

2. Ацетилен

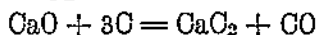
Ацетилен (C_2H_2) представляет собой неопредельный углеводород, который при нормальных температуре и давлении находится в газообразном состоянии. Структурная формула ацетилена $H-C \equiv C-H$. Удельный вес ацетилена при 0° и 760 мм рт. ст. равен $1,179 \text{ кг/м}^3$, следовательно, ацетилен легче кислорода и воздуха.

Химически чистый ацетилен бесцветен и обладает слабым запахом. Технический ацетилен, применяемый для газовой сварки, вследствие присутствия в нем примесей (сероводорода, аммиака, фосфористого водорода и др.) имеет резкий чесночный запах. На воздухе ацетилен горит сильно коптящим пламенем.

Взрывная опасность ацетилено-воздушных смесей чрезвычайно велика вследствие очень широких пределов воспламеняемости этих смесей (от 3 до 65%). Поэтому во избежание взрыва необходимо тщательно следить за герметичностью всех ацетиленовых приборов и трубопроводов.

Основным материалом для добывания ацетилена является карбид кальция (CaC_2), получаемый путем прокалива-

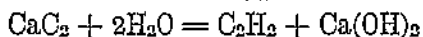
ния в электрической печи смеси негашеной извести и кокса. При этом известь сплавляется с коксом, образуя карбид кальция по уравнению



Получаемый таким образом карбид кальция дробится на куски (гранулы) различной величины (от 2 до 80 мм).

Карбид кальция хранится в герметически закрытых железных барабанах, гофрированных для жесткости. Он обладает очень большой гигроскопичностью и жадно соединяется с водой, выделяя ацетилен. Открывать барабаны с карбидом кальция путем отайки крышки пламенем паяльной лампы, а также вырубать крышку зубилом ни в коем случае нельзя, так как образовавшийся в барабане ацетилен может вызвать взрыв. Раскупорку барабана рекомендуется производить специальным ножом.

Технический ацетилен получается действием воды на карбид кальция. Разложение карбида кальция водой и образование ацетилена идет по уравнению



Эта реакция экзотермична, т. е. сопровождается выделением тепла. Для разложения 1 кг карбида кальция требуется 0,5 л воды. При этом получается от 250 до 300 л ацетилена.

Подача ацетилена к месту производства сварки усложняется тем, что сжатый ацетилен чрезвычайно опасен вследствие большой взрывчатости. При повышении давления более 1,75 ат от малейшего толчка происходит взрыв ацетилена вследствие его распада на составные части (углерод и водород). Этот распад сопровождается выделением большого количества тепла и резким повышением давления.

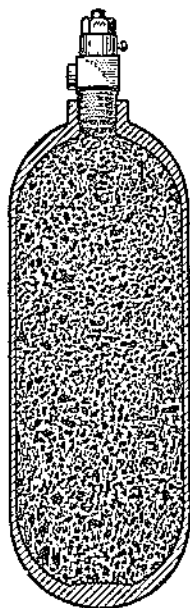
Ввиду невозможности нагнетать ацетилен в обыкновенные баллоны, сварочные посты снабжаются тем одним из следующих способов:

- а) получением ацетилена из карбида кальция в специальных генераторах непосредственно у сварочных постов;
- б) применением баллонов особого устройства, заполненных пористой массой и ацетоном, в котором растворен ацетилен.

Ацетон, являющийся прекрасным растворителем ацетилена, представляет собой легкую прозрачную жидкость с резким запахом. Ацетон вырабатывается путем сухой перегонки дерева. 1 л ацетона при нормальном давлении растворяет 23 л ацетилена. Растворимость ацетилена в аце-

тоне повышается прямо пропорционально давлению. Так, например, при давлении в 15 ат 1 л ацетона растворяет $23 \times 15 = 345$ л ацетилен. При понижении давления ацетилен выделяется из раствора в виде пузырьков.

Ацетиленовые баллоны заполняются пористой массой, состоящей из мелких зерен древесного угля, пифузальной земли, пензы, торфа, асбеста и других пористых материалов (фиг. 71). Эта пористая масса пропитывается ацетоном. Ацетилен нагнетается в баллон под давлением в 15 ат и растворяется в ацетоне. При этом давлении баллон емкостью в 40 л содержит около 5 м³ ацетилена.



Фиг. 71. Ацетиленовый баллон, наполненный пористой массой

Пористая масса создает возможность безопасной эксплуатации ацетиленовых баллонов, так как она заполняет весь баллон и не оставляет пустых мест, где мог бы скопиться газообразный ацетилен.

Ацетиленовые баллоны окрашиваются в белый цвет. Они снабжаются вентилями, изготовленными из малоуглеродистой стали. Применение латуни в данном случае недопустимо, так как сжатый ацетилен при соприкосновении с медью дает взрывчатую смесь. Вентиль открывается при помощи торцового ключа, надеваемого на квадратную головку шпинделя. Вентиль имеет боковой штуцер, к которому при помощи хомута присоединяется редуктор, изготовляемый из стали. При открывании вентиля ацетилен выделяется из ацетона в виде мелких пузырьков, образующих у выхода из вентиля сплошную струю газа. Выпуск ацетилена возможен только до тех пор, пока давление в баллоне не упадет до 1,5—2,5 ат. Дальнейший отбор ацетилена приводит к вытеканию ацетона из баллона.

Один раз в 3 года ацетиленовые баллоны подвергаются испытанию азотом на давление в 30 ат. На горловинах баллонов, выдержавших испытание, выбивается клеймо технического инспектора, производившего испытание, и срок следующего испытания.

При эксплуатации ацетиленовых баллонов необходимо соблюдать следующие правила:

а) Не допускать ударов и толчков, могущих вызвать оседание пористой массы и образование в баллоне пустот.

б) Защищать баллоны от солнечных лучей и не держать их вблизи сварочных постов, печей и отопительных приборов.

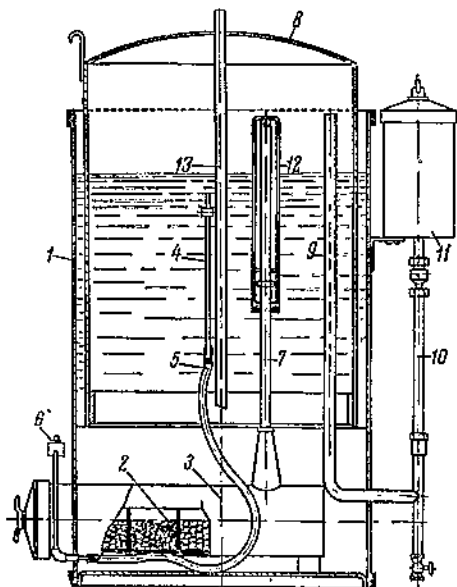
в) Во время работы устанавливать баллоны в вертикальном положении во избежание вытекания ацетона.

г) Тщательно следить за герметичностью вентиля и плотностью присоединения к нему редуктора, помня, что утечка ацетиленового газа создает опасность взрыва.

3. Ацетиленовый генератор

Непосредственно у сварочных постов ацетилен получается из карбида кальция в особых аппаратах, называемых ацетиленовыми генераторами.

Рассмотрим устройство и работу генератора «Рекорд», наиболее широко применяемого в ремонтных мастерских (фиг. 72). В корпус 1, представляющий собой металлический бак, заливается вода. Карбид кальция загружается в коробку 2, помещенную в камеру 3. В корпус генератора погружен открытый снизу колокол 8. Таким образом, вода заполняет и часть колокола. Через шланг 4, связанный с колоколом, вода по шлангу 5 и через кран 6 поступает в камеру 3, где она взаимодействует с карбидом кальция. Выделяющийся при этом ацетилен по трубке 7, накрытой колпаком 12, поступает под колокол, откуда по трубкам 9 и 10 направ-



Фиг. 72. Схема ацетиленового генератора «Рекорд»:

1 — корпус генератора; 2 — коробка для загрузки карбида кальция; 3 — камера; 4, 5 и 6 — шланг, шланг (5) и кран (6), питающие загрузочную камеру водой; 7 — трубка для выхода ацетилена; 8 — колокол; 9, 10 — трубки для выхода ацетилена из колокола; 11 — манометр; 12 — колпак газовой трубки; 13 — трубка, выводящая лишнюю воду в атмосферу

ляется через очиститель 11 и водяной затвор к сварочному посту.

По мере накопления ацетилен под колоколом последний вытесняется кверху, вследствие чего ниппель 4 выходит из воды и подача воды в камеру 3, а следовательно, и образование ацетилена прекращаются. При расходовании ацетилена ниппель снова погружается в воду, и газообразование возобновляется. При переполнении колокола газом нижний конец трубки 13 выходит из воды, открывая выход излишнему ацетилену в атмосферу.

Давление ацетилена в колоколе достигает 150 мм вод. ст. Производительность генератора — от 1 000 до 1 200 л ацетилена в час.

Полученный в генераторе ацетилен содержит ряд вредных примесей: сероводород H_2S , фосфористый водород PH_3 , аммиак NH_3 и кремнистый водород SiH_4 . Эти примеси, за исключением фосфористого водорода, удаляются в процессе промывки ацетилена водой, когда он проходит в колокол через погруженный в воду колпак 12 выводной трубки 7.

Фосфористый водород в воде не растворяется, и для его удаления применяется специальная активированная пористая масса «гератоль», состоящая из инфузорной земли, пропитанной раствором хромпика в серной кислоте. Гератоль помещается в очистителе 11, где и происходит очистка ацетилена от фосфористого водорода.

Необходимой принадлежностью каждого ацетиленового генератора является водяной затвор. Назначение его состоит в том, чтобы предохранять генератор от «обратных ударов», возникающих в тех случаях, когда рабочая смесь воспламеняется внутри сварочной горелки и пламя устремляется в генератор, угрожая взрывом. Обратный удар может произойти при перегреве или засорении горелки, а также при избытке ацетилена в пламени, когда скорость сгорания рабочей смеси, возрастающая с увеличением содержания ацетилена, становится больше скорости истечения смеси из горелки.

Водяной затвор (фиг. 73) представляет собой резервуар с двумя трубками, опущенными в него на разную глубину. Резервуар заполняется водой до уровня контрольного крана. При этом нижние концы обеих трубок оказываются погруженными в воду. При нормальной работе генератора (фиг. 73, А) ацетилен поступает в затвор по длинной трубке, снабженной краном 1, проходит пространство, заполненное водой, собирается в верхней части ре-

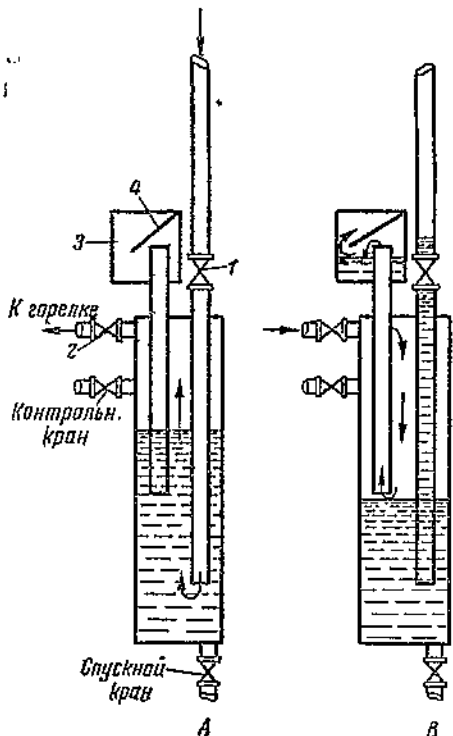
зервуара и через иппель 2 направляется к сварочной горелке.

При обратном ударе в горелке рабочая смесь устремляется в противоположном направлении и через иппель 2 попадает в верхнюю часть затвора (фиг. 73, В). Под давлением смеси вода вытесняется в обе трубки, и уровень ее в резервуаре понижается. При этом длинная трубка заполняется водой, вследствие чего поступление ацетилена из генератора прекращается. Одновременно нижний конец короткой трубки выходит из воды, освобождая проход газа в атмосферу через воронку 3, снабженную водоотбойником 4, который препятствует выбрасыванию воды из затвора. После того как давление в затворе понизится до нормального рабочего давления, вода из воронки 3 и трубки с краном 1 сливается в резервуар, и работа генератора продолжается нормально.

При эксплуатации ацетиленового генератора необходимо соблюдать следующие правила, обеспечивающие его нормальную и безопасную работу.

а) Заливка генератора водой должна производиться до необходимого уровня, определяемого контрольным краном.

б) Карбид кальция должен применяться обязательно только той грануляции, которая установлена для генератора данного типа. Для генератора «Рекорд» установлена грануляция карбида в 15×25 , 25×50 и 50×80 мм.



Фиг. 73. Схема водяного затвора:
А — рабочее положение; В — момент обратного удара; 1 — кран; 2 — выходной край о иппелем; 3 — воронка; 4 — водоотбойник

в) Перед заполнением загрузочного ящика карбидом необходимо тщательно очистить ящик от гашеной извести, образующейся при взаимодействии карбида кальция с водой. Засыпать свежий карбид следует не больше чем на половину объема загрузочного ящика.

г) Перед пуском генератора в ход необходимо проверить плотность всех соединений и арматуры.

д) Во избежание взрыва необходимо удалить из генератора воздух, для чего выпустить первые порции ацетилена в атмосферу.

Экзотермичность реакции образования ацетилена способствует повышению температуры воды в генераторе. Нагревание воды оказывает отрицательное влияние на чистоту получаемого ацетилена и вызывает понижение температуры сварочного пламени вследствие присутствия водяных паров в ацетилене. По этой причине нельзя допускать, чтобы температура воды в генераторе поднималась выше 50—60°. В случае перегрева необходимо долить свежей воды или прекратить работу генератора, чтобы дать ему остыть.

Если генератор установлен под открытым небом или в неотапливаемом помещении, то в зимнее время по окончании работы необходимо слить из генератора и водяного затвора всю воду. Если же вода замерзла, то генератор следует отогревать горячей водой, но ни в коем случае не применять для этого пламени горелки.

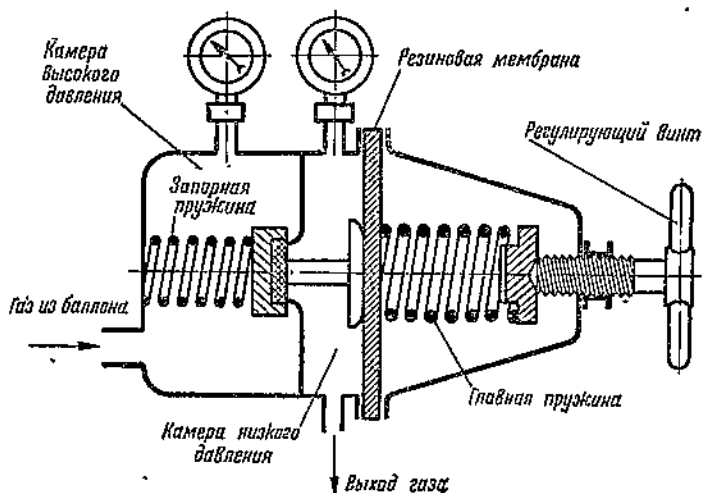
4. Редукторы

Кислород и ацетилен, применяемые для газовой сварки, содержатся в баллонах под большим давлением. Для понижения его до величины рабочего давления и для поддержания последнего на постоянном уровне независимо от уменьшения давления газа в баллоне применяются специальные приборы, называемые редукторами или манодетандерами.

Принципиальная схема устройства редуктора изображена на фиг. 74. Газ из баллона поступает в камеру высокого давления редуктора. Давление в этой камере, равное давлению газа в баллоне, измеряется манометром со шкалой до 250 ат. Выходное отверстие камеры высокого давления закрыто клапаном, который прижимается к седлу запорной пружиной. При ввертывании регулирующей винта он сжимает главную нажимную пружину. При этом резиновая мембрана прогибается и приоткрывает клапан, преодолевая сопротивление запорной пружины. Газ про-

ходит в камеру низкого давления и расширяется, причем давление его понижается до необходимого рабочего, измеряемого манометром низкого давления со шкалой до 15 ат.

Если расход газа соответствует количеству газа, поступающего в камеру низкого давления, рабочее давление остается постоянным, и положение мембраны не меняется. Если же расход газа превышает количество газа, поступающего в редуктор, то давление в камере высокого давления понижается, мембрана под действием главной пружины



Фиг. 74. Схема редуктора

жины еще более прогибается и увеличивает открытие клапана. Приток газа в камеру низкого давления возрастает.

С уменьшением расхода газа давление в камере высокого давления повышается, вследствие чего мембрана прогибается в обратную сторону. При этом клапан под действием пружины перекрывает выходное отверстие, выравнивая тем самым рабочее давление газа.

Кислородные редукторы позволяют поддерживать максимальное рабочее давление газа в пределах 15—20 ат. Рабочее давление, создаваемое ацетиленовыми редукторами, не превышает 3 ат.

На фиг. 74 изображена схема так называемого одноклапанного редуктора. В редукторах этого типа понижение давления достигается сразу при расширении газа в ка-

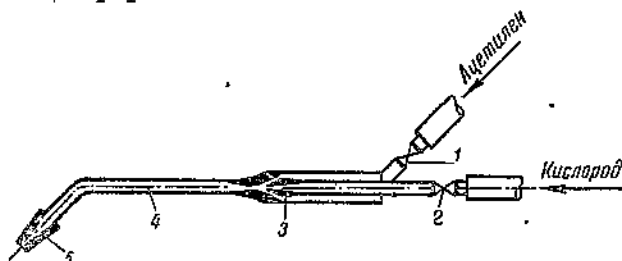
мере низкого давления. Недостатком однокамерных редукторов является значительное колебание рабочего давления вследствие резкого перепада давления при переходе газа из камеры высокого в камеру низкого давления.

Двухкамерные редукторы, применяемые для кислородных баллонов, не имеют этого недостатка, так как расширение газа в редукторах этого типа происходит более плавно. Двухкамерный редуктор состоит как бы из двух последовательно расположенных редукторов, осуществляющих двухступенчатое понижение давления газа, сначала со 150 до 30—40 ат, а затем до установленного рабочего давления.

Редуктор снабжается предохранительным клапаном, отрегулированным на максимально допустимое рабочее давление. При увеличении давления свыше этого предела клапан открывается и выпускает избыток газа в атмосферу. На редукторе имеется запорный вентиль, служащий для кратковременного прекращения подачи газа к горелке.

5. Сварочные горелки

Назначение сварочной горелки заключается в хорошем смешении ацетилена с кислородом и в создании устойчивого концентрированного пламени.



Фиг. 75. Схема инжекторной сварочной горелки:

1, 2 — вентили, регулирующие поступление ацетилена и кислорода; 3 — сопло; 4 — смешительная камера; 5 — мундштук

На фиг. 75 изображена схема так называемой инжекторной горелки, имеющей наиболее широкое распространение. Ацетилен подается в горелку под очень небольшим давлением, порядка 0,01—0,02 ат, через полую рукоятку горелки и регулирующий вентиль 1. Кислород идет под давлением 2—3 ат через регулирующий вентиль 2 и проходит через трубку, имеющую на конце узкое сопло 3. Эта трубка называется инжектором. Вследствие большой

скорости истечения кислорода из сопла создается некоторое разрежение в кольцевом канале между инжектором и стволом рукоятки. Благодаря этому разрежению происходит подсасывание ацетилена, который вместе с кислородом поступает в смесительную камеру 4, где оба газа перемешиваются. Горючая смесь по выходе из мундштука 5 воспламеняется, образуя факел сварочного пламени.

Количество поступающих в горелку газов, а следовательно, и состав смеси регулируются вентилями. Детали сварочной горелки изготавливаются из латуни и красной меди. Высокая теплопроводность этих металлов способствует понижению температуры горелки и уменьшает тем самым возможность обратных ударов.

Количество тепла, потребного для сварки, зависит от толщины свариваемого металла. Для сварки металлов различных сечений применяется инжекторная горелка марки ОУ (сварочная универсальная), снабженная комплектом сменных наконечников. Каждый наконечник состоит из инжектора, смесительной трубки и мундштука.

При выборе номера наконечника, в зависимости от толщины свариваемого металла, нужно руководствоваться данными, приведенными в табл. 37.

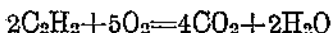
Таблица 37

Толщина свариваемых листов в мм	№ наконечника	Диаметр инжектора в мм	Диаметр смесительной камеры в мм	Диаметр мундштука в мм	Рабочее давление кислорода в ат
1—2	1	0,3	1,0	0,9	0,8
2—4	2	0,4	1,3	1,25	1,0
4—6	3	0,5	1,65	1,6	1,3
6—10	4	0,6	1,95	1,9	1,5
10—15	5	0,8	2,5	2,4	1,8
15—20	6	1,0	2,9	2,85	2,2
20—25	7	1,2	3,5	3,45	2,8

Правильный выбор наконечника имеет большое значение, так как при пользовании меньшим номером расплавление металла требует более продолжительного времени вследствие недостатка тепла, применение же слишком высокого номера может вызвать брак вследствие пережога металла.

§ 46. Сварочное пламя

Полное сгорание ацетилена идет по уравнению

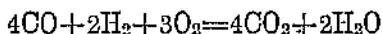


Для полного сгорания ацетилена требуется 2,5 объема кислорода на 1 объем ацетилена. Однако правильное соотношение между поступающими в горелку кислородом и ацетиленом лежит в пределах от 1 до 1,2 объема кислорода на 1 объем ацетилена. При таком составе рабочей смеси сгорание ацетилена за счет кислорода, подаваемого из баллона, будет неполным, вследствие чего в горении будет участвовать кислород окружающего воздуха. Образующиеся при этом продукты полного сгорания ограждают свариваемый металл от окисления кислородом воздуха.

Таким образом, для устранения образования окислов и шлаков в сварном шве необходимо подводить из баллона к горелке только часть кислорода, потребного для полного сгорания ацетилена. В этом случае горение ацетилена происходит в две фазы. Первая фаза неполного сгорания совершается за счет кислорода, поступающего из баллона. Это сгорание идет по уравнению:



Во второй фазе происходит горение продуктов неполного сгорания — окиси углерода и водорода — за счет кислорода окружающего воздуха:



Строение сварочного пламени и его температура в различных точках представлены на фиг. 76, из которой видно, что сварочное пламя состоит из трех зон.

В зоне 1, называемой ядром, происходит распад ацетилена на углерод и водород. Эта зона имеет яркочелую светящуюся окраску вследствие присутствия в ней раскаленных добела частиц углерода.

В зоне 2, называемой восстановительной зоной, происходит неполное сгорание углерода за счет кислорода, поступающего из баллона. Эта зона имеет вид оболочки синего цвета, окружающей ядро.

Третья зона, 3, называется зоной полного сгорания, так как в этой зоне происходит окончательное сгорание окиси углерода и водорода за счет кислорода воздуха.

Наиболее высокую температуру (около 3000°) пламя имеет в восстановительной зоне на расстоянии 2—3 мм от ядра. Сварку следует производить именно этой частью пламени, так как она имеет максимальную температуру и, кроме того, содержит окись углерода, которая энергично раскисляет и восстанавливает окислы и шлаки, образующиеся на поверхности расплавленного металла.

Таким образом, указанное выше соотношение между объемами кислорода и ацетилена, равное $1 \div 1,2$, обуславливает нейтральность сварочного пламени относительно расплавленного металла. Такое нейтральное пламя не вызывает никаких изменений химического состава сварного шва.

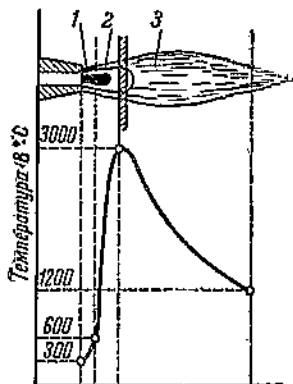
Избыток кислорода в пламени значительно понижает качество шва, загрязняя его окислами и шлаковыми включениями. Признаками избытка кислорода являются синеватое свечение пламени и уменьшение общей его длины.

При чрезмерном обогащении пламени ацетиленом ядро исчезает и факел удлиняется. Ацетилен в этом случае не успевает полностью сгорать, и продукты его распада — водород и углерод — диффундируют в расплавленный металл. При сварке стали таким пламенем может произойти сильное науглероживание шва, что неизбежно увеличивает его хрупкость.

Таким образом, для получения доброкачественного сварного шва необходимо:

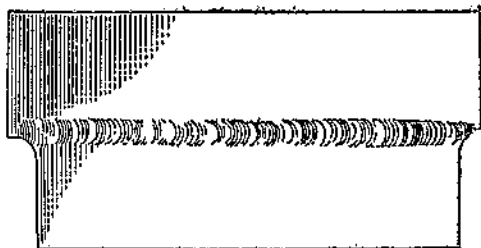
- а) вести сварку горелкой соответствующего номера;
- б) отрегулировать поступление кислорода и ацетилена в горелку так, чтобы пламя было нейтральным;
- в) нагревать свариваемый металл восстановительной зоной пламени.

Количество тепла, сообщаемого металлу при сварке, возрастает с увеличением угла наклона пламени к поверхности свариваемой детали. Следует иметь в виду, что пламя, направленное перпендикулярно к поверхности детали, может вызвать настолько сильный нагрев, что ме-

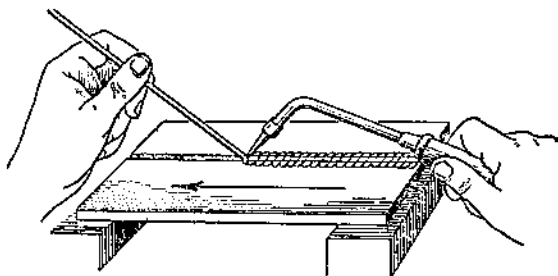


Фиг. 76. Строение сварочного пламени:

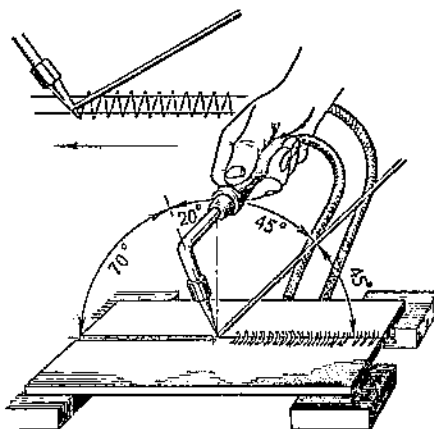
1 — ядро пламени; 2 — восстановительная зона; 3 — зона полного сгорания



Фиг. 77. Сварной шов



Фиг. 78. Схема левой сварки



Фиг. 79. Схема правой сварки

Толщ. малой толщины будет прожжена насквозь. Поэтому горелка при сварке должна быть наклонена к свариваемой поверхности под определенным углом, тем меньшим, чем меньше толщина металла.

По мере расплавления основного металла к свариваемому участку подводят присадочный металл, который, расплавляясь в пламени горелки, заполняет щель между кромками свариваемых деталей. При этом присадочный металл застывает в виде чешуек, образуя сварной шов (фиг. 77).

В зависимости от способа передвижения горелки и присадочной проволоки вдоль шва различают левую и правую сварку. При левой сварке присадочная проволока движется вперед пламени (фиг. 78), при правой сварке проволока движется позади пламени (фиг. 79).

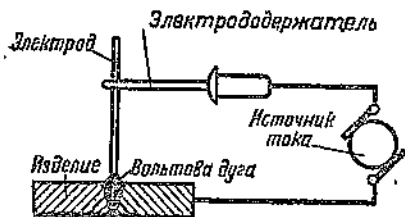
Левая сварка применяется при сварке деталей с малым сечением. Вследствие этого в самолетостроении этот вид сварки имеет наибольшее распространение. Правая сварка обладает преимуществом по сравнению с левой при сварке металла толщиной выше 2 мм: благодаря более сосредоточенному нагреву скорость сварки повышается.

§ 47. Электродуговая сварка

При электродуговой сварке металл нагревается теплом вольтовой дуги, возникающей между электродом и свариваемым металлом (фиг. 80). Для возбуждения дуги применяется как постоянный, так и переменный ток. Для применяемых в самолетостроении толщин материалов пользуются током силой от 30 до 250 а, при напряжении в 15—25 в.

При сварке постоянным током изделие присоединяется к положительному полюсу источника тока, так как на положительном полюсе выделяется значительно больше тепла, чем на отрицательном. Обратная полярность применяется в случае сварки материалов малой толщины.

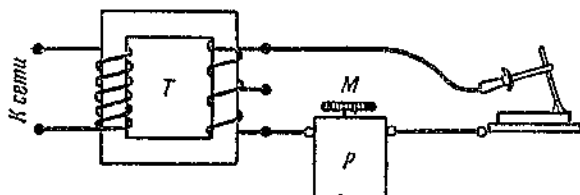
Присадочным материалом при дуговой сварке служит сам металли-



Фиг. 80. Схема электродуговой сварки

ческий электрод, расплавляемый теплом вольтовой дуги (способ инженера Н. Г. Славянова).

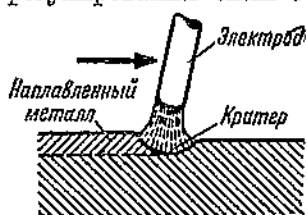
Источником тока при сварке постоянным током является динамомашина, смонтированная на одном валу с электромотором. Для сварки переменным током применяются специальные аппараты, как например аппарат типа СТ-2 завода «Электрик», схема которого показана на фиг. 81.



Фиг. 81. Схема электросварочного аппарата:

T — трансформатор; *P* — регулятор силы тока; *M* — электрод

Этот аппарат состоит из понижающего трансформатора *T* и отдельно смонтированного регулятора *P*, служащего для регулирования силы тока в необходимых для сварки пределах. Регулирование производится при помощи маховичка *M*.



Фиг. 82. Образование шва при дуговой сварке

Для возбуждения вольтовой дуги достаточно прикоснуться концом электрода к свариваемому металлу. При этом происходит короткое замыкание, которое дает необходимый подогрев для возникновения дуги между металлом и электродом. После этого электрод отводится на расстояние 1,5—3 мм от поверхности свариваемого металла.

Образовавшаяся дуга начинает расплавлять как основной металл, так и электрод, конец которого в процессе сварки должен находиться все время в расплавленном состоянии. При этом на поверхности свариваемого металла в том месте, где возникла вольтова дуга, появляется углубление — кратер. В это углубление переходит в виде капель расплавленный металл электрода и смешивается здесь с основным металлом, образуя прочный шов (фиг. 82).

В последнее время как в самолетостроении, так и в ремонтном деле все шире начинает применяться дуговая сварка, постепенно вытесняющая газовую. Преимущество

дуговой сварки заключается в том, что она дает минимальное коробление свариваемых частей и снижает опасность образования в них трещин. Дуговая сварка обеспечивает прочность сварного шва не ниже прочности, получаемой при газовой сварке. Склонность к коррозированию у шва, выполненного дуговой сваркой, такая же, как и у основного металла. Дуговая сварка позволяет облегчить вес конструкции значительно больше, нежели газовая, что имеет большое значение в авиатехнике.

§ 48. Присадочные материалы и флюсы

1. Присадочные материалы

Присадочные материалы, применяемые в виде проволоки или прутков при газовой и электродуговой сварке, служат для заполнения щели между кромками свариваемых деталей.

Присадочная проволока должна удовлетворять следующим основным требованиям:

а) температура плавления присадочного металла должна быть близкой к температуре плавления основного металла;

б) прочность присадочного металла должна соответствовать прочности основного;

в) присадочный металл не должен содержать вредных примесей, ухудшающих качество сварного шва;

г) металл присадочной проволоки должен плавиться спокойно, без разбрызгивания;

д) наплавленный металл после затвердевания должен давать плотный шов без раковин, пузырей и пор.

Нормально присадочный металл берется того же химического состава, что и основной металл. Однако в некоторых случаях приходится допускать незначительное отклонение состава присадочного металла от основного. Так, например, для сварки углеродистой стали марки М, содержащей 0,15—0,25% углерода, применяется стальная проволока марки ЛО следующего состава:

Углерода	0,1%
Кремния (не более)	0,15%
Марганца (не более)	0,6%
Серы (не более)	0,04%
Фосфора (не более)	0,04%

Пониженное содержание углерода в присадочной проволоке по сравнению с основным металлом обусловлено стремлением получить достаточно вязкий сварной шов. Наплавленный металл всегда имеет крупнозернистую структуру, свойственную металлу, затвердевшему из расплавленного состояния. Эта структура обуславливает повышенную хрупкость сварного шва, поэтому при одинаковом содержании углерода в присадочном и основном металле сварной шов получается значительно более хрупким, чем основной металл, сохранивший мелкозернистую структуру. Однако чрезмерно большое понижение содержания углерода в присадочной проволоке недопустимо, так как при ее расплавлении часть углерода выгорает, в результате чего крепость шва уменьшается.

Примеси кремния, серы и фосфора сильно понижают качество сварного шва, поэтому содержание этих элементов в присадочной проволоке строго ограничивается.

Проволока из мягкой малоуглеродистой стали марки ЛС может применяться и для сварки специальных сталей (хромомolibденовой и хромансиля), так как диффузия между наплавленным и основным металлом способствует выравниванию состава сварного шва и прилегающих к нему зон. Если же сварная конструкция подвергается после сварки термической обработке, то состав присадочного и основного металла должен быть один и тот же, иначе термообработка не уравнивает их механических качеств.

Для сварки цветных металлов присадочный материал берется одинакового состава с основным.

Величину сечения присадочной или электродной проволоки следует подбирать в зависимости от толщины свариваемого металла, с таким расчетом, чтобы кромки свариваемого изделия и присадочный материал переходили одновременно в жидкое состояние. Применение слишком тонкой проволоки при сварке металла большой толщины влечет за собой пережог проволоки. Наоборот, если сварка ведется толстой проволокой при малой толщине основного металла, может произойти пережог последнего.

В табл. 38 приведены основные данные для выбора диаметра присадочной или электродной проволоки в зависимости от толщины свариваемых деталей из малоуглеродистой стали.

Таблица 38

Толщина материала в мм	Диаметр провода в мм	Диаметр электрод в мм	Сила тока в а	Напряже- ние тока в в
2	2	2	40—60	16
3	2	2—3	45—65	18
3—5	3—4	3	70—120	18—20
5—10	3—5	3—4	120—150	20
10—15	4—6	5	150—200	20
15—20	6—8	6	200—250	22

2. Флюсы

Флюсами или плавнями называются вещества, применяемые при сварке и пайке для предохранения изделия от окисления.

При газовой сварке флюсы применяются в виде порошков, которыми посыпают кромки свариваемых изделий, или в виде пасты, которая наносится тонким слоем на присадочную проволоку.

В процессе нагревания металл легко окисляется, образуя твердые окислы, температура плавления которых значительно выше температуры плавления чистого металла. Эти окислы обволакивают металл и не дают ему сплавляться. Назначение флюсов заключается в том, чтобы растворить тугоплавкие окислы, имеющиеся на поверхности как основного, так и присадочного металла, и превратить их в жидкий, легкоплавкий шлак, всплывающий на поверхность расплавленного металла. При этом слой шлака образует газонепроницаемую пленку, предохраняющую металл от дальнейшего окисления.

Газовая сварка сталей обычно ведется без применения флюсов. Цветные же металлы и в особенности алюминий, легко образующий тугоплавкую пленку окиси алюминия (Al_2O_3), требуют обязательного применения флюсов.

В качестве флюса для меди и ее сплавов применяется смесь буры, поваренной соли и борной кислоты. Примерный состав этой смеси таков:

Буря ($Na_2B_4O_7$)	70%
Поваренной соли ($NaCl$)	20%
Борной кислоты (H_3BO_3)	10%

Для флюсов, применяемых при сварке алюминия, имеется большое число рецептов. Все эти флюсы состоят из хлористых и фтористых соединений, например:

Хлористого калия (KCl)	63%
Хлористого лития (LiCl)	21%
Хлористого натрия (NaCl)	12%
Кислого сернокислого калия (KHSO ₄)	4%

Очень большое значение имеют флюсы при дуговой сварке, так как металлы в процессе нагрева вольтовой дугой оказываются незащищенным от действия воздуха. В результате этого происходит окисление шва и насыщение его азотом. Флюсом при электродуговой сварке служит специальная обмазка, которая наносится тонким слоем (0,1—0,2 мм) на поверхность электрода.

В состав электродных обмазок входят вещества расплавающие (кремний, марганец, углерод), шлакообразующие (окись алюминия, бура, поташ) и связывающие (жидкое стекло). Расплавляясь вместе с электродом, обмазка образует на поверхности жидкого металла слой шлака, который защищает металлы от поглощения кислорода и азота.

Разработанные ВИАМ рецепты обмазок для сварки малоуглеродистой стали (обмазка № 24) и хромомолибденовой стали (обмазка № 25а) приведены в табл. 39.

Таблица 39

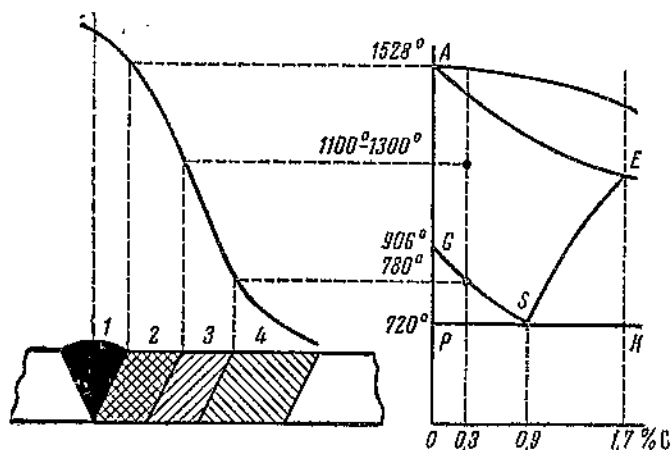
Наименование вещества	Содержание в весовых единицах	
	обмазка № 24	обмазка № 25а
Мел (CaCO ₃)	1	1
Углекислый барий (BaCO ₃)	2	2
Двуокись титана (TiO ₂)	2	2
Окись алюминия (Al ₂ O ₃)	0,5	—
Двуокись марганца (MnO ₂)	0,5	0,5

На 100 г указанной в таблице сухой смеси берется 100 см³ 25% водного раствора жидкого стекла.

§ 49. Структура сварного шва, напряжения и деформации при сварке

Нагрев металла до сварочной температуры вызывает ряд изменений в структуре как самого шва, так и прилегающих к нему участков.

На поперечном сечении сварного соединения (фиг. 83) из малоуглеродистой стали можно различить следующие характерные зоны. Наплавленный присадочный металл и расплавленная кромка основного металла образуют зону 1,



Фиг. 83. Структура сварного соединения:

1 — зона наплавленного (литого) металла; 2 — зона перегрева; 3 — зона нормализации; 4 — зона полного отжига

имеющую крупнозернистую структуру, характерную для литого металла. К этой зоне прилегает так называемая зона перегрева 2, температура нагрева которой лежит в пределах 1100—1500°.

Как видно из диаграммы состояния сплавов железа с углеродом, изображенной на фиг. 83 справа, эта температура значительно превышает линию *GS*. Следовательно, сталь в зоне 2 испытывает перегрев и получает крупнозернистую структуру, свойственную перегретому металлу.

Далее идет зона 3, или зона нормализации. Эта зона в процессе сварки нагревается до закалочной температуры (несколько выше линии *GS*) и нормализуется при остывании сварного соединения на воздухе.

Зона нормализации постепенно переходит в зону 4, температура нагрева которой лежит ниже линии *GS*. Такой

нагрев не вызывает существенных изменений в структуре стали. Зона 4 непосредственно граничит с металлом, оставшимся вне влияния сварочного пламени.

Структурные изменения в зонах 1, 2 и 3 оказывают большое влияние на механические качества сварного шва и заставляют очень внимательно подходить к процессу сварки, так как при неумелом или небрежном ведении сварки можно легко вывести из строя ответственную деталь, понизив ее прочность до недопустимых пределов. Поэтому в условиях полевого ремонта сварку ответственных деталей при отсутствии опытных сварщиков и надлежащего оборудования вести не рекомендуется.

Электросварка выгодно отличается от газовой сварки тем, что площадь металла, подвергающаяся действию высоких температур, значительно меньше. В связи с этим уменьшается и зона перегрева (фиг. 83).

Указанные преимущества электросварки способствуют ее широкому внедрению не только в самолетостроении, но и в ремонтном деле.

Выравнивание структур сварного соединения и придание ему сплошной мелкозернистой структуры достигаются путем последующей термической обработки, состоящей из закалки и отпуска или нормализации. При этом температура отпуска берется в зависимости от тех механических свойств, которые должна иметь свариваемая конструкция.

Помимо структурных изменений в металле, большое влияние на прочность сварного соединения оказывают внутренние напряжения, возникающие как в процессе сварки, так и после нее, в период остывания металла.

К первой группе напряжений относятся те напряжения, которые возникают вследствие неравномерного нагрева металла. Участки металла, прилегающие к стыку свариваемых частей, стремятся расшириться при нагревании пламенем горелки или вольтовой дугой. Этому расширению препятствует остальной металл, не получающий нагрева. В результате появляются напряжения, вызывающие коробление изделия. В случае резкого перепада температур при переходе от нагретого металла к холодному внутренние напряжения могут вызвать появление трещин. Особенно сильные напряжения, обусловленные неравномерностью нагрева, возникают при сварке деталей различной толщины.

Ко второй группе внутренних напряжений относятся так называемые усадочные напряжения, вызываемые уменьше-

нием объема металла при переходе его из жидкого состояния в твердое. Из схемы, изображенной на фиг. 84, видно, что при сварке деталей со скошенными кромками объем наплавленного металла в верхней части шва больше, чем в нижней. Очевидно, что и усадка, а следовательно, и усадочные напряжения в верхней части будут больше. В результате этого металл неизбежно «поведет». Если же крепление концов детали будет препятствовать поводке, то усадочные напряжения могут вызвать появление трещин.

Помимо указанных выше факторов, образованию трещин в сварных соединениях способствуют:

а) сварка деталей, резко отличающихся друг от друга по толщине;

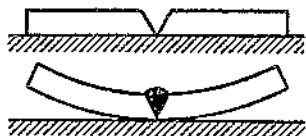
б) нагромождение швов, особенно при параллельном или перекрестном их расположении;

в) изменения в химическом составе металла шва в результате возможного науглероживания, окисления или насыщения азотом.

Нужно иметь в виду, что чем больше сварных швов имеет деталь, тем больше в ней внутренние напряжения. Поэтому к ремонту сложных самолетных узлов следует подходить особенно осторожно и вдумчиво.

Борьба с появлением внутренних напряжений при сварке ведется различными способами, в первую очередь термической обработкой. Наилучшие результаты получаются при сварке отожженного металла. Поэтому, если металл поступает для сварки в закаленном, нормализованном или нагартованном состоянии, его надлежит отжечь. При сварке сложных узлов следует производить промежуточный отжиг между отдельными сварочными операциями и завершить сварку окончательной термообработкой: нормализацией для углеродистой стали и закалкой с отпуском для хромомolibденовой стали и хромансиля.

Сварку сложных конструкций необходимо вести с учетом возможных деформаций. В случае сварки пространственной фермы следует вести сварку по возможности симметрично относительно геометрической оси фермы. Так, например, при подварке трещин в подкосах подмоторной



Фиг. 84. Поводка сваренной детали со скошенными кромками

рамы, выполненной из стальных труб, возможна настолько сильная деформация всей рамы, что правильность положения ее относительно оси самолета будет нарушена, что в свою очередь повлечет за собой нарушение всей регулировки машины. Появления таких деформаций можно избежать, подваривая одновременно правый и левый подкосы рамы.

Контроль качества сварного шва в условиях эксплуатации и ремонта сводится к внешнему осмотру. Сварной шов должен иметь ровную чешуйчатую поверхность (фиг. 77), причем каждая последующая чешуйка должна перекрывать не менее чем на $\frac{2}{3}$ предыдущую. Пористость шва, наличие окислов и шлаковых включений, а также разбрызганных мелких капель металла являются недопустимыми дефектами сварного соединения.

К числу дефектов шва относятся также непровар и перегог. Непровар характеризуется отсутствием сплавления между основным и присадочным металлом вследствие недостаточного проникновения наплавленного металла в основной. Непровар и перегог устанавливаются осмотром тыловой стороны шва, где это доступно. Признаком непровара является незаполненный стык. Наличие окалины и бугроватость поверхности металла свидетельствуют о перегоге.

Само собой разумеется, что трещины, хотя бы очень небольшие, являются совершенно недопустимым дефектом сварного соединения. При проверке детали на отсутствие трещин можно рекомендовать способ простукивания: при наличии даже незаметных для глаза трещин деталь издает дребезжащий звук. В лабораторных условиях для определения трещин в местах сварки применяют метод рентгеновского просвечивания или пользуются специальным прибором, называемым магнитоскопом.

§ 50. Сварка сталей и цветных металлов

Способность свариваться у различных металлов неодинакова и зависит от их физических свойств и химического состава.

С точки зрения прочности сварного соединения хорошо сваривающимися металлами и сплавами считаются те, которые дают прочность сварного шва, близкую к прочности целого металла. Практически при сварке специальных сталей, применяемых в самолетостроении, приходится счи-

таться с понижением прочности сварного шва в пределах 15—20%.

Причины падения прочности стали в местах сварки заключаются как в структурных изменениях, происходящих под влиянием высокого нагрева, так и в тех внутренних напряжениях, которые возникают в сварном шве.

Величина внутренних напряжений зависит от теплопроводности металла, от его коэффициента теплового расширения и от величины усадки при затвердевании из расплавленного состояния. Малая теплопроводность приводит к концентрации тепла на ограниченном участке и препятствует выравниванию температур по всей массе металла. При этом внутренние напряжения развиваются тем сильнее, чем больше коэффициент расширения металла. Значение величины усадки при переходе металла из жидкого состояния в твердое понятно без пояснений.

Таким образом, для обеспечения хорошей свариваемости металл должен иметь возможно большую теплопроводность и наименьшие значения коэффициентов линейного расширения и усадки. Коэффициенты теплопроводности и линейного расширения наиболее употребительных металлов приведены в табл. 40.

Таблица 40

Металл	Коэффициенты	
	теплопроводности при 20° (относительно серебра)	линейного расширения (от 0 до 100°)
Сталь	0,16	0,000012
Медь	0,95	0,000016
Алюминий	0,56	0,000024

1. Сварка малоуглеродистой стали

Малоуглеродистая сталь по сравнению с другими металлами обладает наилучшей свариваемостью, чем и объясняется ее применение в самолетостроении для изготовления ряда сварных деталей, требующих сложного гнутья (узлы и т. д.). Эти детали изготавливаются из стали марки М, содержащей 0,15—0,25% углерода.

Чем меньше углерода содержит сталь, тем лучше ее свариваемость. Ухудшение свариваемости с увеличением содержания углерода объясняется следующим:

а) увеличивается выгорание углерода, в результате чего шов получается пористым;

б) уменьшается теплопроводность стали, следовательно, возрастают внутренние напряжения.

Стали с содержанием углерода свыше 0,6% сварке не подвергаются.

Большое влияние на свариваемость стали оказывают примеси серы и фосфора. Сера вызывает красноломкость стали, увеличивает хрупкость шва в процессе остывания и тем самым способствует появлению трещин. Фосфор сообщает стали хладноломкость и обуславливает хрупкость остывшего шва.

В качестве присадочного материала для сварки малоуглеродистой стали марки М применяется стальная проволока марки ЛО, содержащая 0,1% углерода. При газовой сварке флюсы обычно не применяются. Электродуговая сварка производится с применением обмазанных электродов (состав обмазки ВИАМ № 24 указан в табл. 39). Газовую сварку малоуглеродистой стали необходимо вести нейтральным пламенем, нагревая изделие восстановительной зоной факела. Предварительно сталь должна быть тщательно очищена от грязи, ржавчины и краски.

Изделия из малоуглеродистой стали подвергаются перед сваркой термической обработке в виде нормализации. Этой же термообработкой заканчивается и процесс сварки.

2. Сварка специальных сталей

Сварка специальных сталей встречает ряд затруднений, в большинстве случаев чрезвычайно серьезных.

Содержащиеся в стали специальные примеси испытывают в процессе сварки ряд изменений и по-разному влияют на качество сварного шва.

Некоторые примеси, как например хром, вольфрам, молибден и ванадий, вступают в химическое соединение с углеродом, образуя твердые, но очень хрупкие соединения — так называемые карбиды. Присутствие карбидов в зоне сварного шва вызывает большую хрупкость последнего.

Хром и ванадий легко окисляются в процессе сварки и частично выгорают. В результате наплавленный металл

и прилегающие к нему зоны основного металла обедняются этими элементами и загрязняются их оксидами.

Очень важным обстоятельством, ухудшающим свариваемость многих специальных сталей, является самозакаливаемость, т. е. способность стали получать структуру мартенсита при сравнительно медленном охлаждении на воздухе после сварки. При этом закалку принимают как наплавленный металл, так и ближайšie к нему зоны основного металла. Переход в структуру мартенсита сопровождается появлением внутренних напряжений в зонах сварки, повышением твердости шва и резким снижением его ударной вязкости.

Малая теплопроводность специальных сталей по сравнению с углеродистыми обуславливает концентрацию тепла на небольшом участке, что ведет к возникновению внутренних напряжений и к появлению трещин.

В самолетостроении наибольшее применение имеют хромомолибденовая и хромокремнистомарганцовистая стали (хромансиль), являющиеся основными материалами для изготовления наиболее ответственных деталей самолета, а также хромоникелевая нержавеющая сталь, применение которой носит обычно вспомогательный характер.

Хромомолибденовая сталь марки ХТМ содержит 0,25—0,35% углерода, 0,8—1,1% хрома и 0,15—0,25% молибдена. Более дешевая хромансильевая сталь, являющаяся заменителем хромомолибденовой, содержит 0,28—0,35% углерода, 0,8—1,1% хрома, 0,8—1,1% марганца и 0,9—1,2% кремния. Технологический процесс сварки обеих сталей почти один и тот же.

Основным недостатком сварки этих сталей является их самозакаливаемость и склонность к образованию трещин. Поэтому сварные конструкции из них должны обязательно проходить термообработку для улучшения структуры шва и прилегающих к нему зон. Применявшаяся ранее нормализация сварных самолетных конструкций в настоящее время не практикуется и заменяется закалкой с последующим отпуском. Такая термообработка обеспечивает более высокие механические качества сварных соединений, чем нормализация. Закалка производится при температуре $880 \pm 10^\circ$ с охлаждением в масле. Температура отпуска берется в пределах $400\text{—}525^\circ$ в зависимости от требуемой прочности готовой детали (от 80 до 130 кг/мм²).

В случае необходимости получить временное сопротивление порядка 180 кг/мм² при удлинении около 5% закаленному хромансилью дают отпуск при 230° . Следует иметь

в виду, что при температурах отпуска в пределах 250—350° ударная вязкость хромансиля резко понижается.

Сварка хромомолибденовой стали и хромансиля может производиться как кислородно-ацетиленовым пламенем, так и вольтовой дугой. Листовой материал и трубы подвергаются сварке в отожженном состоянии. При сварке сложных конструкций применяются промежуточные отжиги для устранения внутренних напряжений.

В качестве присадочного материала для соединений, не требующих крепости выше 90 кг/мм², берется малоуглеродистая проволока. Эта же проволока применяется и в случаях сварки хромомолибденовой стали или хромансиля с простой углеродистой сталью. Для сварных соединений повышенной прочности применяется присадочная проволока того же состава, что и основной металл, но с меньшим содержанием углерода для уменьшения образования карбидов.

Пламя сварочной горелки должно быть строго нейтральным. Перед началом наложения сварного шва материал подогревается до темнокрасного каления. Газовая сварка ведется без применения флюсов. Качество сварного шва, при правильном его выполнении, получается очень высокое.

Электродуговая сварка хромомолибденовой стали и хромансиля производится постоянным током. Длина дуги устанавливается в пределах от 1,5 до 3 мм. Материал для электродов берется того же состава, что и материал для присадочной проволоки, применяемой при газовой сварке. Рекомендуемый состав электродных обмазок указан в табл. 39.

Сварка нержавеющей хромоникелевой стали марки ЭЯ2 отличается некоторыми особенностями. Эта сталь относится к аустенитовому классу. Ее высокая стойкость против коррозии обусловлена большой однородностью состава зерен, представляющих собой твердый раствор. Однако в процессе нагрева при температурах 650—800° аустенитовая структура претерпевает распад с выделением зерен карбидов хрома. При дальнейшем повышении температуры карбиды снова переходят в твердый раствор. Отсюда следует, что в зонах, нагреваемых в процессе сварки до 650—800°, т. е. расположенных вблизи сварного шва, сталь становится хрупкой и теряет противокоррозионную стойкость вследствие нарушения однородности структуры. Это обстоятельство затрудняет применение газовой и дуговой сварки для нержавеющей стали.

Нержавеющая сталь прекрасно сваривается роликовой и в особенности точечной сваркой, с применением автоматического прерывателя тока, позволяющего производить нагрев стали в настолько короткие промежутки времени, что аустенит не успевает распадаться. Этот способ американцы называют shotwelding, что означает «сварка выстрелом».

3. Сварка алюминия и его сплавов

Сварка алюминия и его сплавов представляет значительные трудности, которые в основном сводятся к следующему:

а) Алюминий обладает большим сродством к кислороду и легко образует тугоплавкий окисел Al_2O_3 , имеющий очень высокую температуру плавления (2050°). Вследствие этого сварка алюминиевых сплавов требует обязательного применения флюсов.

б) Высокий коэффициент линейного расширения алюминия обуславливает склонность изделия к короблению и поводке в процессе сварки.

Большие трудности представляет сварка алюминиевых сплавов, применяемых в термически обработанном виде, так как прочность сварного шва получается в этом случае значительно ниже, чем прочность целого металла. Дело в том, что наплавленный металл имеет крупнозернистую структуру, свойственную металлу, затвердевшему из жидкого состояния. Последующей термической обработкой не удается исправить крупнозернистую структуру шва и довести его крепость до крепости основного металла.

Ремонтная сварка деталей из литых алюминиевых сплавов, например сплунниковых картеров, дает удовлетворительные результаты при соблюдении следующих условий. Свариваемая деталь должна быть тщательно очищена от грязи и жира стальными щетками и прочно установлена на сварочном столе во избежание коробления при сварке. Пламя горелки должно быть строго нейтральным, так как избыток кислорода способствует сильному окислению сварного шва. Зона нагрева должна быть возможно меньше, чтобы избежать роста зерен на широком участке, тем более что высокая теплопроводность алюминия способствует расширению зоны перегрева. Присадочный материал берется того же состава, что и свариваемый сплав. Флюсы наносятся на шов при помощи нагретого стержня присадочного материала, который опускается в коробку

с флюсом. При этом флюс прилипает к стержню и таким образом переносится на шов.

По окончании сварки рекомендуется произвести отжиг для уничтожения внутренних напряжений в сварном шве. Остатки флюсов и шлаки необходимо удалить, так как вследствие большой гигроскопичности они способствуют коррозии шва под влиянием влаги воздуха.

Сварка листового материала и труб из сплавов типа дуралюмина не обеспечивает необходимой прочности силовых элементов самолетных конструкций. Наиболее снижается прочность при газовой сварке, особенно у высокопрочных закаленных алюминиевых сплавов. В этом случае прочность сварного соединения в зонах, нагреваемых в процессе сварки до $180-350^{\circ}$, не превышает 50% прочности основного материала. Объясняется это тем, что при указанных температурах происходит отжиг металла и, следовательно, снижение его крепости. Поэтому основным видом соединения дуралюминовых листов и труб в самолетостроении остается клепка.

В настоящее время широкое применение имеют сварные бензиновые и масляные баки, изготавливаемые из листов алюминия-марганцовистого сплава марки АМц, содержащего 1,2—1,5% марганца. Этот сплав хорошо сваривается и обладает высокой противокоррозийной стойкостью. По сравнению с дуралюминовыми клепаными баками сварные баки из сплава АМц значительно легче и в то же время герметичнее. Подварка трещин в этих баках допустима и дает положительные результаты.

При этом в качестве присадочного материала следует брать проволоку марки АК (4—6% кремния, остальное алюминий) и флюс состава:

Хлористого калия	45%
Хлористого натрия	30%
Хлористого лития	15%
Фтористого натрия	3,5%
Фтористого лития	3,5%
Пироксерникалевой соли ($K_2S_2O_7$) . . .	3%

При ремонте самолетных баков должны быть приняты все меры предосторожности против возможного взрыва паров бензина. Бак должен быть снят с самолета, тщательно промыт горячей водой. Затем он должен быть проветрен в течение нескольких часов или продут сжатым воздухом для удаления остатков паров топлива. Во время сварки все имеющиеся в баке отверстия должны быть открыты,

§ 51. Уход за сварными деталями самолета и ремонт их

Сварные детали самолета в процессе эксплуатации должны находиться под постоянным наблюдением, с тем чтобы не остались необнаруженными деформации и трещины, которые могут возникнуть под влиянием перегрузок в полете и грубых посадок.

Возможность появления этих дефектов обусловлена наличием в сварных швах наплавленного металла с литой крупнозернистой структурой, зон перегрева и внутренних напряжений, не уничтоженных термической обработкой.

Наиболее типичными повреждениями сварных деталей самолета являются:

- а) прогибы труб шасси, хвостовой части фюзеляжа и в особенности подмоторной рамы, подверженной ударным и вибрационным нагрузкам;
- б) складки и наплывы у труб, работающих на сжатие;
- в) трещины в сварных узлах.

При контроле состояния сварных соединений необходимо иметь в виду, что деформации и трещины появляются обычно не в самом шве, а в перегретой зоне основного металла, на расстоянии 3—12 мм от шва. Иногда, вследствие самозакаливаемости стали, эти повреждения могут находиться и в большем удалении от шва — в зоне нормализации.

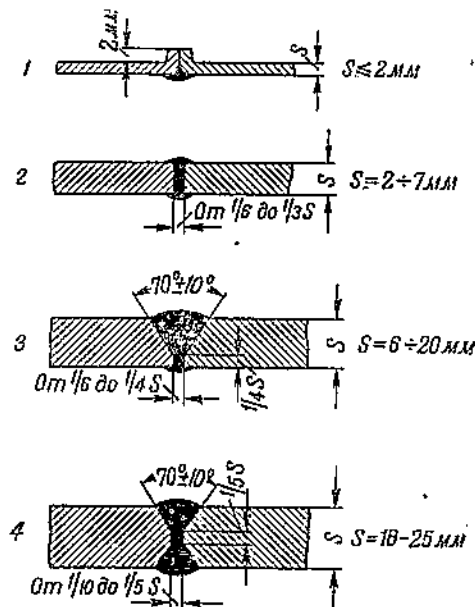
Контроль сварных соединений производится путем осмотра их с помощью лупы. При осмотре узлов следует обращать внимание на отставание краски. В подозрительных случаях краску необходимо удалить и внимательно осмотреть зачищенное место. Места, наиболее подверженные всякого рода повреждениям, целесообразно покрывать прозрачным лаком, что облегчает наблюдение.

Крупным недостатком сварных трубчатых конструкций является ржавление труб, особенно в местах сварки, могущее вызвать значительную потерю прочности. Поэтому в эксплуатации необходимо вести тщательное наблюдение за появлением ржавчины, не допуская скопления влаги, пыли и грязи на металлических частях самолета, следить за целостностью окраски и своевременно возобновлять ее в случае повреждения.

К вопросам ремонта сварных самолетных конструкций в полевых условиях следует подходить с большой осторожностью. Сварку можно поручать только опытному сварщику, знающему особенности сварки специальных сталей, применяемых в самолетостроении. Все ремонтные

работы с применением сварки должны проходить под наблюдением и руководством инженера части или соединения. Во всех случаях рекомендуется применять электродуговую сварку, так как этот метод дает лучшие результаты, чем газовая сварка, вызывающая резкие изменения в структуре металла (перегрев) на широком участке.

При отсутствии электросварочного аппарата подварку трещин в узлах можно производить газовой сваркой. При



Фиг. 85. Подготовка кромок при сварке встык:

1 — отбортованное соединение; 2 — бесшовное соединение; 3 — V-образное соединение; 4 — X-образное соединение

этом элементы конструкции, прилегающие к поврежденному участку, нужно обкладывать мокрым асбестом, чтобы ограничить зону перегрева.

При подварке трещины необходимо предварительно зашлифовать на ее концах отверстия диаметром 1,5—2 мм, чтобы снять напряжения в материале и воспрепятствовать распространению трещины в процессе сварки. Подварка должна производиться от середины трещины в оба конца.

Ремонтировать сваркой одно и то же место можно не

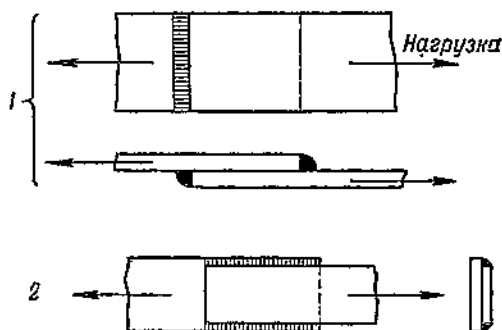
более двух раз. Допускается заварка не более двух трещин в одном узле при условии, что трещины находятся на расстоянии не менее 30 мм одна от другой.

При выполнении более сложных сварочных работ, связанных с заменой отдельных частей ремонтируемой конструкции, необходимо иметь в виду, что доброкачественность сварного соединения во многом зависит от правильной подготовки свариваемых деталей. Прежде всего эти детали должны быть точно подогнаны одна к другой по всему контуру, по которому будет проходить сварной

шов. Неравномерный зазор между кромками свариваемых частей вызовет неравномерную усадку наплавленного металла, в результате чего в сварном соединении возникнут внутренние напряжения и могут образоваться трещины. Заусенцы и неровности должны быть устранены ошпловкой.

Свариваемые детали должны быть тщательно очищены от окалины, ржавчины, грязи, краски и жировых пятен, загрязняющих наплавленный металл и ухудшающих качество сварного соединения.

Основными типами сварных соединений являются соединения встык (фиг. 85) и внахлестку (фиг. 86).



Фиг. 86. Сварка внахлестку:
1 — торцовый шов; 2 — фланговый шов

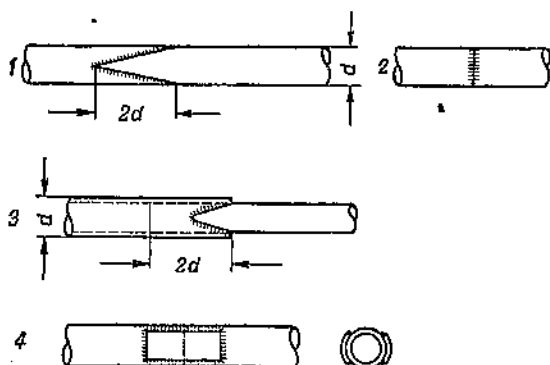
Если шов располагается перпендикулярно к направлению приложенной нагрузки, то такой шов называется торцовым (фиг. 86, 1). Шов, расположенный параллельно направлению нагрузки, носит название продольного или флангового (фиг. 86, 2). Торцовые швы работают на растяжение, фланговые — на срез. При сварке деталей, подвергающихся динамическим нагрузкам, более надежными оказываются фланговые швы или комбинация фланговых швов с торцовым.

Подготовка кромок свариваемых деталей при сварке встык (фиг. 85) осуществляется тем или иным способом в зависимости от толщины материала. При сварке листов толщиной в 2 мм и менее производится предварительная отбортовка кромок (фиг. 85, 1). Кромки более толстого материала подготавливаются, как показано на фиг. 85, 2, 3 и 4.

Сварные соединения стальных труб и приварка к ним усиливающих накладок приведены на фиг. 87. Швы на

трубах, выполненные «хвостами» (фиг. 87, 1 и 3), часто применяются при ремонтной сварке самолетных конструкций благодаря более высокой прочности по сравнению с торцовым швом (фиг. 87, 2).

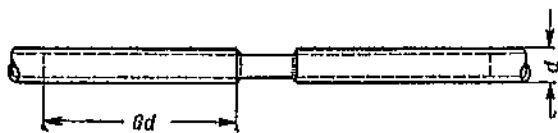
Если конструкция не допускает увеличения диаметра трубы усиливающими накладками или применением телескопического соединения, прибегают к постановке буза



Фиг. 87. Виды сварки труб:

1 — соединение «хвостами»; 2 — торцовый шов; 3 — телескопическое соединение труб; 4 — постановка усиливающих накладок

внутри трубы (фиг. 88). Однако в этом случае придется считаться с некоторым понижением прочности соединения, вследствие того что диаметр буза меньше диаметра соединяемых труб.



Фиг. 88. Ремонт трубы с установкой буза

Чтобы обеспечить правильное взаимное расположение свариваемых деталей при сварке длинным швом, следует предварительно произвести прихватку деталей в отдельных точках (фиг. 89). Прихватки на концах шва не допускаются.

В особых инструкциях дается перечень тех деталей, которые можно ремонтировать сваркой, не снимая их с самолета. Если сварка производится на самолете, то

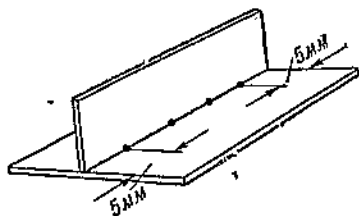
необходимо снять предварительно бензиновые баки или заполнить их водой со снятыми бензомагистралями. По окончании сварки вода из бензиновых баков сливается, баки промываются несколько раз бензином до полной очистки их от остатков воды. Во время сварки какого-либо узла все дуралюминовые детали, расположенные вблизи поврежденного места, снимаются.

По окончании сварочных работ место сварки должно быть тщательно зачищено стальными щетками и покрыто бесцветным масляным лаком.

Сварные конструкции из хромомolibденовой стали и хромансиля подвергаются термической обработке после сварки. Ремонт элементов этих конструкций следует производить при помощи электродуговой сварки. При отсутствии электросварочной аппаратуры допускается применение газовой сварки с последующей термообработкой сваренной детали. Необходимость термической обработки обусловлена недопустимым понижением прочности детали при нагреве ее пламенем горелки до сварочной температуры на широком участке.

Термическая обработка деталей из хромомolibденовой стали и хромансиля после ремонта их с применением сварки состоит из закалки при $870-890^{\circ}$ в масле и отпуска при $460-480^{\circ}$ в течение 1 часа с охлаждением на воздухе.

Детали, не требующие термообработки после сварки, допускается заваривать во всех случаях газовой сваркой.



Фиг. 89. Прихватка деталей

§ 52. Пайка

Пайкой называется соединение металлических деталей посредством введения между ними в расплавленном виде сплава, называемого припоем. Основным отличием пайки от сварки является то, что при пайке кромки основного металла не подвергаются расплавлению.

Для обеспечения надлежащей прочности паяных швов припой должны удовлетворять следующим требованиям:

а) Механические качества припоя должны быть по возможности близки к механическим качествам основного металла.

б) Температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления основного металла, с тем чтобы нагрев изделия в процессе пайки не только не вызывал расплавления кромок шва, но и не производил значительных изменений в структуре спаиваемого металла.

в) В паяном шве необходим плавный переход от структуры припоя к структуре основного металла, плавным образом, необходимо некоторое взаимное растворение (диффузия) обоих металлов. Это достигается нагревом изделия до температуры, немного превышающей температуру плавления припоя.

Основным условием прочной пайки является чистота спаиваемых поверхностей. Поэтому их предварительно опиливают, скоблят и травят. Во время нагрева эти поверхности надо предохранять от окисления. Для этого употребляют флюсы, т. е. такие вещества, которые защищают спаиваемые поверхности от доступа воздуха и растворяют образующиеся окислы.

Все припои разделяются по признаку прочности и тугоплавкости на две группы: мягкие, или слабые, припои и твердые, или крепкие.

1. Мягкие припои

Мягкими припоями обычно служат сплавы олова со свинцом в различных пропорциях. Наиболее распространенные припои этой группы указаны в табл. 41.

Обычно в практике оловянно-свинцовые припои носят названия, определяющие их состав. Так, припой ПОС-64 называется «третником», ПОС-50 — «половинником», ПОС-33 — «свинцовым третником».

Таблица 41

Марки	Состав в %		Температура плавления, °С	Назначение
	Sn	Pb		
ПОС-64	64	36	181	Для деталей из легкоплавкого металла
ПОС-50	50	50	218	Для пайки радиаторов, листов из латуни и белой жести, электропроводов
ПОС-33	33	67	260	Для пайки цинковых и оцинкованных листов

В качестве флюса для пайки мягкими припоями наиболее широко применяется хлористый цинк ($ZnCl_2$), плавящаяся соляная кислота, получающаяся при взаимодействии соляной кислоты с цинком по уравнению



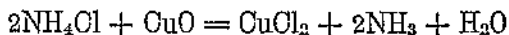
При этом хлористый цинк получается в виде водного раствора. Следует иметь в виду, что реакция образования хлористого цинка сопровождается повышением температуры и бурным выделением водорода («кипением»). Чтобы избежать выбрасывания из сосуда соляной кислоты при травлении ее цинком, нужно наполнять сосуд кислотой не больше чем на половину его емкости.

В качестве флюса для мягких припоев применяется также канифоль, представляющая собой продукт перегонки сосновой смолы. Канифоль берется в виде порошка и в таком виде насыпается на место спайки или же ее растворяют в денатурированном спирте. Применение канифоли в растворенном виде значительно более удобно, так как получающаяся клейкая жидкость хорошо прилипает к спаиваемой поверхности. Раскисляющая способность канифоли ниже, чем хлористого цинка.

При пайке цинка и оцинкованных изделий в качестве флюса применяют 10% водный раствор соляной кислоты.

Мягкие припои наносятся на место спайки при помощи медного паяльника. Предварительно паяльник должен быть облужен оловом для лучшего прилипания к нему припоя. Нагретый паяльник облуживают, натирая его лезвие куском нашатыря, в желобок которого кладут несколько крупинок олова и наносят 2—3 капли хлористого цинка.

Назначение нашатыря (хлористый аммоний — NH_4Cl) заключается в том, чтобы очистить паяльник от окиси меди (CuO), появляющейся на его поверхности при нагревании. Нашатырь взаимодействует с окисью меди, превращая ее в легкоплавкую соль $CuCl_2$, стекающую с паяльника. Реакция идет по уравнению



Особо легкоплавкими припоями являются оловянно-свинцовые сплавы, содержащие висмут или кадмий, и паяльные пасты. Так, например, для пайки олова и предохранителей электрических приборов применяется припой, со-

державший 15,5% олова, 32% свинца и 52,5% висмута. Этот припой плавится при температуре 96°.

Паяльные пасты применяются для быстрой и легкой пайки меди, латуни и жести. Наиболее употребительной пастой является тиноль, в состав которого входят олово и свинец в виде порошка, нашатырь в качестве флюса и глицерин, назначение которого состоит в том, чтобы придать порошкообразной смеси консистенцию мази. Процесс пайки тинолем чрезвычайно прост. Так, например, для спайки электропроводов достаточно обмазать их концы тинолем и расплавить его пламенем спички.

2. Твердые припои

Прочность мягких припоев, очень невелика, поэтому для спайки более ответственных деталей применяются твердые припои: медноцинковые (латунные) и серебряные. Состав твердых припоев указан в табл. 42.

Т а б л и ц а 42

Марки	Состав в %			Темпе- ратура плавления в °С	Назначение
	Cu	Zn	Ag		
ПМЦ36	36	64	—	810	Для пайки латуни, содержащей 60% и более меди
ПМЦ42	42	58	—	830	
ПМЦ51	51	49	—	870	Для пайки латуни, содержащей 67% и более меди, а также для меди и бронзы
ПМЦ65	65	35	—	910	Для пайки железных и стальных изделий
ПСр12	36	52	12	785	Для пайки латуни с содержанием меди более 58%
ПСр25	40	35	25	765	
ПСр45	30	25	45	720	Для пайки никелевой

При выборе твердого припоя необходимо иметь в виду, что температура плавления припоя должна быть несколько ниже температуры плавления соединяемых метал-

лов. Температура плавления медноцинковых припоев тем ниже, чем больше содержание в них цинка, поэтому припой с большим содержанием цинка употребляется для пайки медных сплавов, а с меньшим — для пайки железа и стали.

Добавка серебра к медноцинковым припоям увеличивает прочность и вязкость припоя и вместе с тем понижает температуру плавления. Серебряные припои применяются в тех случаях, когда необходимо получить особо прочное соединение, например для припаивания шлангов к медным трубкам бензопроводов.

Флюсы, употребляемые при пайке мягкими припоями, для твердых припоев не пригодны, так как они кипят при температурах плавления этих припоев. Флюсом в данном случае служит бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) или борная кислота (H_3BO_3). Оба эти флюса применяются в виде порошка, которым посыпают нагретый для пайки шов, перед тем как он заполняется припоем.

Для пайки твердым припоем изделие подогревается паяльной лампой, газовой горелкой или углем на горне. Медноцинковые припои применяются в виде проволоки, серебряные — в виде зерен размером от 1 до 3 мм.

3. Пайка алюминиевых сплавов

Пайка алюминиевых сплавов, как и сварка их, представляет большие затруднения вследствие образования тугоплавкой оксидной пленки Al_2O_3 . Пайка производится шаберным способом или с применением флюсов. При шаберном способе место спая очищается шабером и облуживается тем же припоем, которым осуществляется и пайка. Для этого поверхность спаиваемой детали нагревают паяльной лампой до температуры плавления припоя и вводят расплавленный припой, который растекается по шву. В это время под слоем жидкого припоя кромку изделия скоблят шабером для удаления окиси алюминия. При этом окисел всплывает на поверхность расплавленного припоя, который защищает кромку шва от дальнейшего окисления.

Способ пайки алюминиевых сплавов с применением флюса дает более надежные результаты, чем шаберный способ. Флюсы для пайки аналогичны по составу флюсам для сварки.

Припои, применяемые для пайки алюминиевых сплавов, указаны в табл. 43.

Таблица 43

Наименование припоя	Состав в %				
	Zn	Sn	Al	Cd	P+Sn
Авпа СССР № 1	25	55	—	20	—
Авпа СССР № 2	25	40	15	20	—
Авто СССР № 1	30	63	1	—	3

ВИАМ рекомендует следующий состав припоя для пайки алюминиевых сплавов:

Олова	71%
Цинка	23%
Алюминия	6%

В качестве флюса для этого припоя служит 30% спиртовой раствор смеси:

Хлористого цинка	90%
Фтористого натрия	2%
— Хлористого алюминия	5%

Большим недостатком паяных швов у алюминиевых сплавов является незначительная прочность шва и малая стойкость его против коррозии. Сильная коррозия шва объясняется тем, что между припоем и основным металлом создается гальваническая пара с большой разностью потенциалов. Паяный шов особенно быстро разрушается при наличии влаги.

В последнее время для пайки алюминиевых сплавов применяются припой и флюс марки ОГК 34А, характерные большой прочностью и высокой противокоррозийной стойкостью.

Пайка припоем ОГК 34А очень проста. Изделие и пруток припоя нагреваются пламенем паяльной лампы до температуры 400—450°; нагретый пруток припоя погружают в порошкообразный флюс и сразу же переносят на место спайки. Как только прилипающий к нагретому прутку флюс начинает плавиться, прутком медленно проводят по кромкам спаиваемых деталей; расплавляющийся припой образует после затвердевания прочный гладкий шов. Чтобы предупредить возникновение коррозии, место спайки должно быть тщательно промыто водой и насухо вытерто.

Недостатком описанного припоя является сравнительно высокая температура плавления, близкая к температуре плавления алюминиевых сплавов. Это создает опасность пережога материала изделия при нагревании и требует от производящего пайку большого внимания. Флюс ОГК 34А обладает значительной гигроскопичностью и должен храниться в плотно закрывающейся посуде.

ЛИТЕРАТУРА

- Шинке И., инж., Горн Г., инж., Автогенная сварка и резка.
Поплавко М. В., инж., Сварка в самолетостроении, 1939.
Фалькевич А. С., инж., Черняк В. С., инж., Газовая
сварка и резка, 1938.
Орлов А. С., инж., Курс сварки, 1935.



ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

§ 53. Общее понятие о коррозии и ее значение в авиации

Коррозией называется процесс химического разрушения металлов и сплавов при взаимодействии их с окружающей средой: воздухом, водой, кислотами, щелочами, газами и т. д.

Слово «коррозия» в буквальном переводе с латинского означает «разъедание».

Общезвестное явление разрушения (коррозии) железных и стальных изделий под действием влаги и воздуха принято называть ржавлением. При этих условиях разрушению подвергаются также и цветные металлы и сплавы, иногда даже в большей степени, чем черные.

Коррозия начинается с поверхности металла и распространяется как по самой поверхности, так и вглубь. При этом вместо металла образуется новое вещество (обычно гидрат его окиси), в результате чего вес металла и его прочность постепенно уменьшаются.

Убыль металлов от коррозии наносит огромный ущерб мировому хозяйству. По данным статистики, из выплавленных за 33 года (1890—1923 гг.) 1 766 млн. т черного металла погибло от коррозии 718 млн. т, т. е. около 40% всей мировой продукции. Иными словами, убыль черных металлов достигает 60 000 т в сутки. Эти цифры убеждают нас в том, какое громадное значение для народного хозяйства имеют мероприятия по борьбе с коррозией металлов.

Чрезвычайно важное значение имеет вопрос о защите металлов от коррозии в авиации. В самолетных конструкциях имеются металлические детали с большой поверх-

Ностью при малом сечении. Поэтому разрушение металла с поверхности даже на небольшую глубину сильно снижает прочность деталей самолета и в особенности их сопротивляемость динамическим нагрузкам. Кроме того, применение в самолетных конструкциях большого числа разнородных металлов способствует, как будет выяснено в дальнейшем, появлению местных очагов коррозии. Необходимо также учитывать, что самолеты в условиях эксплуатации подвергаются постоянному воздействию влаги и кислорода воздуха.

Борьба с коррозией при эксплуатации самолета путем предупредительных мер является одной из ответственных задач авиационного техника. Поэтому мы остановимся подробно как на причинах возникновения коррозии, так и на методах защиты от нее.

§ 54. Разновидности коррозии

В зависимости от причин, вызывающих коррозию, мы рассмотрим два вида ее: а) коррозию химическую и б) коррозию электрохимическую.

Х и м и ч е с к а я коррозия является следствием непосредственного воздействия на металлы различных химических веществ, как например действие кислоты на металлы с образованием соли, разъедание металла щелочью (в особенности алюминия и его сплавов), окисление металла кислородом воздуха и т. д. К химической коррозии относятся и так называемая **г а з о в а я к о р р о з и я**, происходящая от действия на металлы газов, нагретых до высоких температур.

Примерами газовой коррозии являются: ржавление стволов огнестрельного оружия под влиянием пороховых газов, коррозия клапанов авиамоторов, обтекаемых продуктами сгорания топлива, и т. п. Напомним, что особенно сильно страдают от коррозии выхлопные клапаны при работе мотора на свинцовом топливе.

Э л е к т р о х и м и ч е с к а я коррозия, в отличие от коррозии химической, возникает при взаимодействии двух разнородных металлов, смоченных электропроводящей жидкостью (электролитом) или погруженных в нее. Обычно бывает трудно разграничить процессы химической и электрохимической коррозии, так как оба эти процесса очень часто протекают одновременно. Что касается коррозии сплавов, то она должна быть отнесена главным образом к электрохимической коррозии.

§ 55. Процесс электрохимической коррозии

Чтобы понять сущность процесса электрохимической коррозии, необходимо познакомиться с работой гальванического элемента, т. е. с теми явлениями, которые возникают при погружении двух разнородных металлов в раствор кислоты, щелочи или соли.

Все химические элементы, в том числе и металлы, состоят из мельчайших частиц — атомов. В свою очередь атом каждого элемента состоит из ядра, заряженного положительным электричеством, и вращающихся вокруг ядра отрицательно заряженных частиц, называемых электронами. Положительный заряд ядра равен сумме отрицательных зарядов электронов, поэтому атом в целом электрически нейтрален. Это же равновесие положительных и отрицательных зарядов сохраняется и при группировке атомов в молекулы.

Атомы способны либо терять, либо присоединять один или несколько электронов. При потере или присоединении электронов атом перестает быть электрически нейтральным. Такой атом, заряженный положительным или отрицательным электричеством, называется **ионом**.

Очевидно, что атом, потерявший один или несколько электронов, превращается в **ион**, заряженный положительным электричеством, вследствие преобладания положительного заряда ядра над отрицательными зарядами оставшихся электронов. Такой положительно заряженный ион называется **катионом**. Если же атом превращается в ион путем присоединения одного или нескольких электронов, то такой ион будет иметь отрицательный заряд, равный сумме отрицательных зарядов присоединенных электронов. Отрицательно заряженный ион принято называть **анионом**.

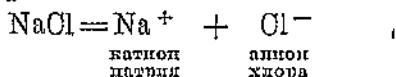
Электрический ток в металлическом проводнике представляет собой поток электронов, движущихся от отрицательного полюса источника электричества к положительному полюсу.

В отличие от проводимости электричества металлами, в водных растворах кислот, щелочей и солей электрический ток устанавливается благодаря движению ионов растворенного в воде вещества. Химически чистая вода электричества не проводит, но кислоты, щелочи и соли дают в воде растворы, проводящие электрический ток. Эти растворы называются **электролитами**.

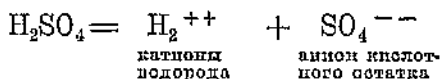
Проводимость электрического тока электролитом объясняется распадом молекул растворенных в воде кислот, щелочей и солей на частицы, заряженные положительным и отрицательным электричеством, т. е. на катионы и анионы. Явление распада молекул кислот, щелочей и солей на электрически заряженные частицы (ионы) при растворении этих веществ в воде носит название электролитической диссоциации молекул.

При диссоциации атомы металла или водорода, входящие в состав распадающейся молекулы, теряют часть своих электронов и превращаются в катионы (+). Атомы же металлоидов присоединяют электроны, потерянные атомами металла или водорода, и превращаются в анионы (—).

Так, например, при растворении в воде поваренной соли ее молекулы распадаются на катионы натрия и анионы хлора по уравнению



При диссоциации серной кислоты H_2SO_4 ее молекулы распадаются на катионы водорода и анионы так называемого кислотного остатка SO_4 по уравнению.

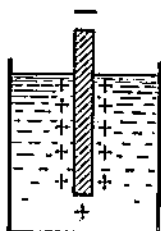


Сущность разрушительного действия, которому подвергаются металлы при погружении в электролит, объясняется тем, что металлы обнаруживают стремление выделять свои атомы в раствор. При этом каждый атом металла при переходе в электролит оставляет в металле один или несколько своих электронов, превращаясь в положительно заряженный ион (катион). Самый же металл, благодаря наличию избыточных электронов, заряжается отрицательным электричеством.

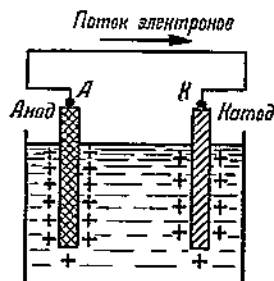
Таким образом, при погружении металлической пластинки в электролит катионы металла, выделившиеся в электролит, образуют положительно заряженный слой вокруг пластинки, получающей отрицательный заряд (фиг. 90). Сила, заставляющая переходить катионы металла в раствор, называется упругостью растворения. Упругость растворения для каждого металла различна: наибольшей упругостью растворения обладают алюминий, магний, натрий и калий, наименьшей — золото,

платина и серебро. Чем больше упругость растворения металла, тем большее количество катионов он выделяет в электролит.

Процесс растворения металла в электролите продолжается до тех пор, пока упругость растворения не станет равной противодействию катионов металла, находящихся в растворе. Это противодействие, нарастающее по мере выделения катионов металла в раствор, называется осмотическим давлением. Таким образом, упругость растворения и осмотическое давление действуют подобно двум силам, направленным в противоположные стороны.



Фиг. 90. Выделение положительно заряженных ионов (катионов) металла в электролит



Фиг. 91. Схема гальванического элемента

При наступлении равновесия между упругостью растворения и осмотическим давлением дальнейшее выделение катионов металла в раствор прекращается.

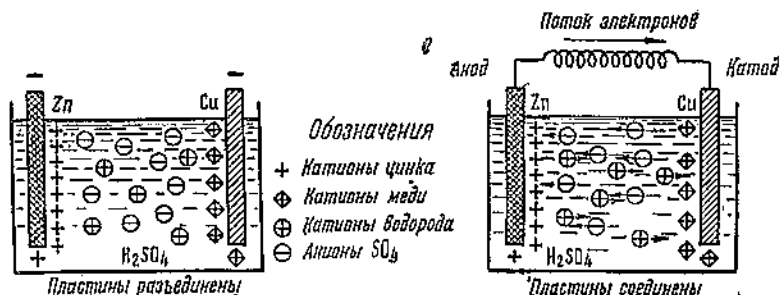
Если в электролит погрузить две пластинки из различных металлов, обладающих различной упругостью растворения (Фиг. 91), то металл *А* с более высокой упругостью растворения выделит в электролит большее количество своих катионов, чем металл *К*. В результате пластинка *А* зарядится до более высокого отрицательного потенциала, чем пластинка *К*.

При замыкании проводником обеих пластинок по проводнику начнется движение электронов от пластинки *А* к пластинке *К*, т. е. возникнет электрический ток, стремящийся выравнять разность потенциалов. Таким образом, мы получаем гальванический элемент, или гальваническую пару.

Металл *А*, обладающий более высокой упругостью растворения и, следовательно, заряжающийся до более вы-

Сокого отрицательного потенциала, является отрицательным электродом гальванического элемента и называется анодом. Другой металл K с меньшей упругостью растворения служит положительным электродом элемента и называется катодом.

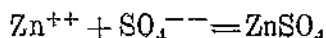
Проследим за явлениями, которые происходят в гальваническом элементе при замкнутой внешней цепи. Положим, что элемент состоит из цинкового и медного электродов и водного раствора серной кислоты в качестве электролита (фиг. 92). Молекулы серной кислоты вследствие диссоциации расщеплены на катионы водорода (+)



Фиг. 92. Схема прохождения электрического тока в гальваническом элементе

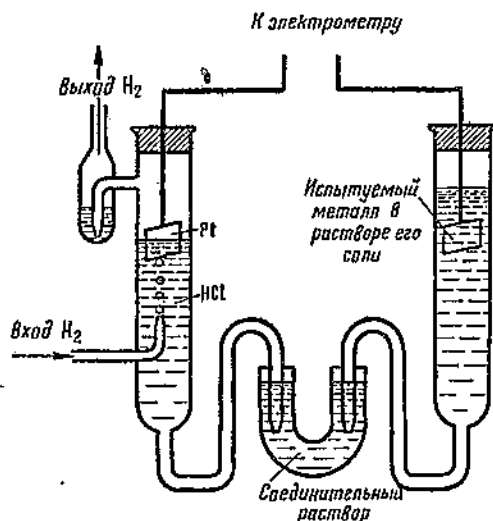
и анионы кислотного остатка SO_4 (—). Цинк, обладающий большей упругостью растворения, чем медь, является анодом (—) элемента, а медь — катодом (+). При замыкании электродов проводником избыточные электроны более электроотрицательной цинковой пластинки (анода) будут двигаться по проводнику к менее электроотрицательной медной пластинке (катоде). Здесь они встречаются с катионами водорода, присутствующими в водном растворе серной кислоты (электролите). При этом катионы водорода присоединяют к себе электроны и превращаются в электрически нейтральные водородные атомы, которые группируются в молекулы, постепенно накапливающиеся в виде пузырьков на медной пластинке (катоде).

Что касается анионов кислотного остатка SO_4 , то они притягиваются к цинковой пластинке, встречаются здесь с катионами цинка, нейтрализуют их и вступают с ними в химическое соединение, образуя сернокислый цинк по уравнению



Образующийся таким образом сернистый окислительный цинк остаётся в растворе. В результате этого процесса количество катионов цинка, расположенных вокруг цинковой пластинки, уменьшается, вследствие чего упругость раствора цинка становится больше осмотического давления его катионов в растворе. Это нарушение равновесия вызывает выделение в электролит новых катионов цинка.

Очевидно, что при замкнутой внешней цепи выделение катионов цинка в раствор происходит непрерывно, следо-



Фиг. 93. Схема прибора для определения электродных потенциалов

вательно, цинковая пластинка (анод) все время разрушается (корродирует), а медная пластинка (катод), на которой выделяется водород, остается целой.

Описанные явления, происходящие в гальваническом элементе, объясняют сущность электрохимической коррозии.

Из всего изложенного можно сделать следующие выводы:

а) Электрохимическая коррозия возникает при погружении в электролит двух разнородных металлов, соединенных накоротко металлическим проводником или имеющих непосредственный контакт.

б) В образующейся гальванической паре разрушается (корродирует) один из металлов, именно тот, который

обладает большей упругостью растворения и вследствие этого является анодом. Другой металл, являющийся катодом, не подвергается разрушению.

Отсюда следует, что возникновение электрохимической коррозии обусловлено тремя факторами: а) наличием двух разнородных металлов, б) наличием контакта между ними и в) присутствием электролита. Исключая какой-либо из этих факторов, можно избежать коррозии.

Для суждения о том, какой из двух данных металлов, образующих гальваническую пару, является анодом, т. е. разрушается, пользуются так называемым «рядом напряжений», в котором металлы располагаются в порядке возрастания их упругости растворения. Ряд напряжений установлен, исходя из величины потенциалов, наблюдаемых при погружении различных металлов в растворы их солей. Для измерения потенциалов необходим второй электрод, который должен иметь совершенно определенный потенциал. В качестве второго электрода применяют «нормальный водородный» электрод, потенциал которого условно принимается равным нулю. Нормальный водородный электрод представляет собой платиновую пластинку, погруженную в раствор соляной кислоты и частично находящуюся в атмосфере водорода. Для измерения напряжений применяется прибор, схема которого изображена на фиг. 93. В результате таких измерений установлен ряд напряжений, указанный в табл. 44.

Т а б л и ц а 44

№ по пор.	Металлы	Потенциал в в	№ по пор.	Металлы	Потенциал в в
1	Золото	+0,99	10	Кобальт	-0,23
2	Платина	+0,86	11	Железо	-0,34
3	Серебро	+0,80	12	Кадмий	-0,42
4	Ртуть	+0,79	13	Хром	-0,56
5	Медь	+0,34	14	Цинк	-0,77
6	Водород	0,00	15	Алюминий	-1,34
7	Свинец	-0,13	16	Магний	-1,80
8	Олово	-0,14	17	Натрий	-2,71
9	Никель	-0,20	18	Калий	-2,92

Этот ряд напряжений справедлив только для металлов, погруженных в растворы их солей определенной концен-

трации. При изменении электролита металлы могут поменять свое место в ряде напряжений. Для сравнения приводим в табл. 45 ряд напряжений, составленный для электролита, представляющего собой 3% раствор поваренной соли в воде.

Таблица 45

№ по пор.	Металл	Потен- циал в в	№ по пор.	Металл	Потен- циал в в
1	Хром	+0,23	8	Железо	-0,50
2	Серебро	+0,20	9	Кадмий	-0,52
3	Медь	+0,05	10	Алюминий	-0,63
4	Никель	-0,02	11	Цинк	-0,83
5	Олово	-0,25	12	Марганец	-0,91
6	Свинец	-0,26	13	Магний	-1,45
7	Кобальт	-0,45			

В любой гальванопаре анодом, подвергающимся разрушению, будет тот металл, который стоит ниже в ряде напряжений. Так, например, в паре медь — алюминий будет разрушаться алюминий, а медь будет оставаться целой. Разрушение анода будет тем интенсивнее, чем дальше друг от друга отстоят металлы в ряде напряжений, так как с увеличением интервала увеличивается разность потенциалов между металлами. Например, в паре медь — алюминий разность потенциалов (по данным табл. 44) равна

$$0,34 - (-1,34) = 1,68 \text{ в,}$$

а в паре железо — алюминий разность потенциалов равна

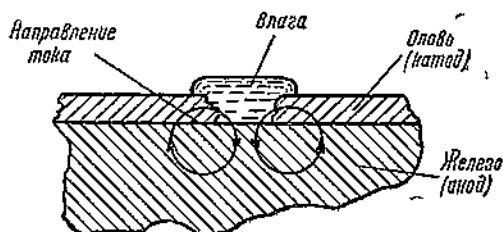
$$-0,34 - (-1,34) = 1,00 \text{ в.}$$

Сравнивая эти величины, мы видим, что алюминий в контакте с медью корродирует сильнее, чем в контакте с железом.

На интенсивность разъедания металлов существенно влияют, кроме того, следующие факторы: присутствие в электролите растворенного воздуха, кислорода и других газов, а также повышенная температура электролита, вызывающая усиленное разъедание анода вследствие увеличения подвижности ионов.

Ряд напряжений оказывает большую помощь при подборе защитного покрытия для предохранения от коррозии металлических изделий. При этом возможны два случая: а) упругость растворения защитного металла больше упругости растворения основного металла и б) упругость растворения защитного металла меньше упругости растворения основного металла. В первом случае защитное покрытие называется анодным, во втором случае — катодным.

В качестве примера рассмотрим покрытие листового железа защитным слоем олова (белая жесть). Полуда, т. е. слой олова, является в данном случае катодным покрытием, так как олово стоит в ряде напряжений выше



Фиг. 94. Разрушение металла при повреждении катодного покрытия

железа. Такое покрытие защищает железо только при том условии, что слой олова не имеет повреждений. Если же полуда в каком-либо месте повреждена, то при смачивании этого места электролитом (хотя бы водой) образуется гальваническая пара, в которой железо, т. е. основной металл, делается анодом и разрушается, а олово, являющееся по отношению к железу катодом, не корродирует (фиг. 94). Отсюда следует, что катодное покрытие негодно, так как при его повреждении защищаемое изделие разрушается от коррозии даже быстрее, чем в случае отсутствия покрытия.

Цинк служит для железа анодным покрытием, так как он стоит в ряде напряжений ниже железа. При повреждении цинкового слоя и попадании на это место электролита коррозии подвергается цинк, а железо остается целым. Таким электрохимическим защитником железа, кроме цинка, является и кадмий. Медь, свинец, олово и никель служат для железа катодными покрытиями, защищающими его только в том случае, если слой покрытия

является совершенно сплошным. К числу катодных покрытий для железа относится и хром, хотя в ряде напряжений он стоит ниже железа (табл. 44). Это объясняется тем, что хром всегда покрыт пленкой окиси хрома, потенциал которой электроположительнее потенциала железа.

При эксплуатации самолета необходимо всячески избегать контакта разнородных металлов. Так, например, совершенно недопустима клепка дуралюминовых листов и труб медными заклепками.

Следует помнить, что коррозия возникает не только при погружении металлов в электролит, но и под влиянием влажного воздуха, когда металл покрывается тонким слоем сконденсировавшейся влаги. Присутствие грязи и пыли, состоящей из мельчайших частиц неорганических соединений, превращает эту влагу в электролит. Что касается поверхностных и грунтовых вод, то они являются природными электролитами.

Особенно вредно действует на металлы морская вода, содержащая большое количество хлористых солей. В морской воде коррозия протекает исключительно быстро и является очень серьезным фактором при эксплуатации морских самолетов.

§ 56. Коррозия сплавов

Когда мы говорили о коррозии металлов, мы считали их химически и физически однородными. В действительности же металлы, а тем более сплавы, никогда не бывают однородными. Так называемые технически чистые металлы (алюминий, железо, медь и т. д.) всегда содержат некоторое количество примесей. Что касается сплавов, состоящих из двух или нескольких компонентов, то структура их состоит в большинстве случаев из разнородных зерен различного химического состава. Поэтому на поверхности любого металла или сплава всегда имеются участки, обладающие различной упругостью растворения. При наличии электролита, смачивающего поверхность сплава, эти участки образуют многоэлектродный элемент (фиг. 95), состоящий из огромного количества микроскопических гальванических пар (микропар). Понятно, что при этом неизбежно возникает электрохимическая коррозия, сопровождаемая разрушением анодных участков.

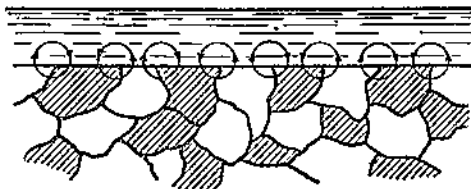
Так, например, потенциал чистого алюминия в 3% растворе поваренной соли равен — 0,63 в, а потенциал химического соединения CuAl_2 , присутствующего почти во всех

алюминиевых сплавах, в том же электролите равен $-0,37$ в. Это значит, что алюминий стоит в ряде напряжений ниже соединения CuAl_2 , следовательно, в медноалюминиевом сплаве разрушаться будут зерна алюминия, являющиеся анодами микропар.

В стали, зерна которой состоят из феррита и цементита, феррит в присутствии влаги становится анодом по отношению к цементиту и разрушается.

Формы коррозионного разрушения сплавов могут быть различны. Рассмотрим три основных вида коррозии сплавов: равномерную, местную и интеркристаллитную.

Равномерная коррозия возникает в том случае, когда потенциалы компонентов сплава примерно одинаковы. Причиной равномерной коррозии является главным образом



Фиг. 95. Микропары на поверхности сплава

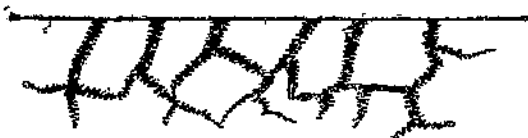
химическое воздействие окружающей среды на сплав. Коррозионное разрушение в этом случае имеет вид налета на поверхности сплава. Этот налет обычно состоит из гидрата окиси металла, как например $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$. Поверхностная коррозия не представляет большой опасности, так как разрушение распространяется в основном по поверхности изделия.

Местная коррозия возникает в тех случаях, когда потенциалы одних участков сплава ниже, чем потенциалы других участков. Разрушение в этом случае происходит на отдельных участках, обладающих более низким потенциалом и являющихся анодами. Местная коррозия выражается в появлении на поверхности сплава язв и раковин, которые легко обнаруживаются, если удалить продукты коррозии. Менее значительные повреждения при местной коррозии обнаруживаются осмотром с помощью лупы.

Наиболее опасной формой коррозионного разрушения является интеркристаллитная коррозия. Эта коррозия возникает в сплавах со сложной структурой, состоящей из зерен, между которыми находятся включения других ве-

иществ. Примером такого сплава является дуралюмин, зерна которого состоят из твердого раствора, а между зернами располагаются включения химических соединений CuAl_2 и Mg_2Si . Если потенциал пограничного слоя зерен ниже потенциала расположенных между ними включений, то коррозия распространяется вдоль границ зерен, проникая в глубь сплава. Такая коррозия нарушает связь между зернами, вследствие чего сплав теряет прочность (фиг. 96).

Если представить себе зернистую структуру сплава в виде, скажем, кирпичной кладки, то местную коррозию можно сравнить с разрушением отдельных кирпичей. Потеря прочности в этом случае будет тем больше, чем



Фиг. 96. Схема интеркристаллитной коррозии

тоньше стенка. Интеркристаллитную коррозию можно уподобить потере связи между кирпичами кладки и цементнующей прослойкой. Естественно, что снижение прочности в этом случае огромно.

Опасность появления интеркристаллитной коррозии усугубляется еще тем обстоятельством, что она не вызывает каких-либо изменений на поверхности сплава. Поэтому для невооруженного глаза интеркристаллитная коррозия может остаться незамеченной и может вызвать внезапное разрушение конструкции. Нужно иметь в виду, что появлению интеркристаллитной коррозии всегда предшествует поверхностная или местная коррозия, поэтому те места, где уже возникли начатки коррозии, должны находиться под постоянным наблюдением.

Заметим, что алюминиевые сплавы и особенно сплавы на основе магния (электронны) подвержены коррозии всех трех видов.

На коррозионную устойчивость сплава большое влияние оказывает характер механической обработки, которой он подвергался. Холодная обработка, связанная с деформацией зерен, понижает электродный потенциал наклепанных участков. Наличие мельчайших трещин, образующихся при холодной обработке, способствует тому, что сплав начинает корродировать интеркристаллитно.

Полтировка металла, устраняющая с его поверхности микроскопические выступы, впадины и царапины, в которых может скапливаться влага, значительно повышает антикоррозийную стойкость металла.

Следует иметь в виду, что продукты коррозии металлов обладают большой гигроскопичностью. Поглощая влагу из воздуха, они усиливают процесс коррозии, поэтому своевременная и тщательная зачистка пораженных мест способствует сохранению металла.

Итак, мы установили, что причиной электрохимической коррозии сплавов является неоднородность структуры, обуславливающая образование микроскопических гальванопар. Отсюда следует, что чистые металлы, а также сплавы, имеющие однородную структуру твердых растворов, должны обладать высокой стойкостью против коррозии. Такими сплавами являются, например, перетавляющие стали аустенитового класса, содержащие в большом количестве хром и никель. Антикоррозийная стойкость нержавеющей сталей объясняется тем, что хром и никель образуют с железом твердый раствор, в котором более стойкие атомы хрома и никеля, расположенные в промежутках между менее стойкими атомами железа, механически загромождают их и не дают им реагировать с электролитом.

Очень большое значение в отношении стойкости против коррозии имеет способность металла окисляться кислородом воздуха с образованием на поверхности сплошной пленки оксид. Защитные свойства этой пленки, называемой пассивирующей пленкой, основано на том, что она служит перегородкой между металлом и внешней средой и тем самым препятствует взаимодействию металла с электролитом. Так, например, постоянно присутствующая на поверхности алюминия пленка его оксида Al_2O_3 обуславливает большую стойкость алюминия в атмосферных условиях. Как мы увидим в дальнейшем, искусственное увеличение толщины и плотности этой пленки дает надежную защиту дуралюмина от коррозии.

§ 57. Коррозия дуралюмина и способы борьбы с ней

Антикоррозийная стойкость сплавов типа дуралюмина имеет для авиации громадное значение, так как эти сплавы являются основными материалами металлического самолетостроения.

В обычных атмосферных условиях дуралюмин довольно стоек против коррозии. Если же он находится в атмосфере, загрязненной всякого рода испарениями (плохо вентилируемые и трудно доступные части самолета, баковые отсеки крыльев, где обычно накапливается атмосферная влага, и т. д.), то коррозия развивается довольно быстро и принимает известные нам характерные формы: поверхностной, местной, или точечной, и интеркристаллитной коррозии.

На фиг. 97 показана микроструктура дуралюмина, пораженного интеркристаллитной коррозией.

При поверхностной коррозии дуралюмин покрывается белым порошкообразным налетом гидрата окиси алюминия $Al(OH)_3$, который легко удаляется с поверхности при зачистке.



× 300

Фиг. 97. Микроструктура дуралюмина после длительной коррозии в атмосферных условиях

Местная коррозия проявляется в виде мелких точек на месте разрушения отдельных зерен дуралюмина. При незначительном поражении местной коррозией механические качества дуралюмина изменяются мало, и деталь после тщательной зачистки может быть допущена к дальнейшей эксплуатации. При более глубоких изъязвлениях, не уничтожаемых зачисткой,

дуралюмин в значительной мере теряет способность сопротивляться действию переменных нагрузок (усталости), вследствие чего деталь необходимо заменить.

Участки, пораженные интеркристаллитной коррозией, подлежат безусловной замене. Если замена целого листа обшивки самолета представляет затруднения, пораженный участок следует вырезать и на его место поставить заплату.

Из компонентов дуралюмина (медь, марганец и магний) отрицательное влияние на его антикоррозийную стойкость оказывает медь, присутствующая в сплаве в виде соединения $CuAl_2$. Весьма вредной примесью дуралюмина является железо, особенно при содержании его выше 0,3%. Присутствие магния и марганца оказывает благоприятное влияние, уменьшая склонность дуралюмина к интеркристаллитной коррозии за счет понижения разности потенциа-

лов между включениями, расположенными по границам зерен, и самими зернами.

В закаленном состоянии дуралюмин обладает более высокой сопротивляемостью коррозии, чем в отожженном. Это объясняется тем, что при закалке структурные составляющие дуралюмина CuAl_2 и Mg_2Si переходят в твердый раствор и в процессе старения выделяются из него в виде мельчайших частичек. В таком состоянии дуралюмин имеет более однородную структуру, чем отожженный дуралюмин, в котором структурные составляющие CuAl_2 и Mg_2Si присутствуют в виде отдельных, более крупных включений.

Заметим, что искусственное старение дуралюмина после закалки придает ему пониженную стойкость против коррозии по сравнению с естественным старением.

Защита дуралюмина от коррозии осуществляется различными способами, главным образом путем ограждения его поверхности от попадания на нее влаги. Рассмотрим наиболее распространенные способы защиты.

1. Плакирование

Этот вид защиты дуралюмина от коррозии заключается в нанесении на поверхность листового дуралюмина защитного слоя чистого алюминия, обладающего значительно более высокой сопротивляемостью коррозии, чем дуралюмин. Способ нанесения плакирующего слоя был описан нами ранее.

Плакирование дуралюмина чистым алюминием дает весьма надежную защиту от коррозии, тем более что алюминиевое покрытие является анодным по отношению к дуралюмину. Такое покрытие защищает дуралюмин не только механически, но и электрохимически. Однако повреждение плакирующего слоя допускать нельзя, так как эффект электрохимической защиты проявляется только при условии постоянного и полного смачивания поврежденного места электролитом. Если это условие не соблюдено, то на обнажившейся поверхности дуралюмина будут неизбежно возникать микропары. Чем чище по своему химическому составу алюминий, тем надежнее защитные свойства плакирующего слоя.

2. Защита лакокрасочными покрытиями

Этот способ защиты применяется очень широко и даже для плакированного дуралюмина, так как лакокрасочная пленка создает дополнительное ограждение дуралюмина от

попадания влаги. Однако эту пленку нельзя считать вполне водонепроницаемой, поэтому часто можно наблюдать возникновение коррозии под слоем краски.

Подбор красок и лаков является очень сложным вопросом, так как при этом приходится учитывать способность некоторых из них действовать на дуралюмин корродирующим образом. Кроме того, лакокрасочная пленка должна быть достаточно эластична, чтобы не давать трещин при деформации дуралюмина и его тепловом расширении. В связи с этим при покраске самолетов и ремонте лакокрасочного покрытия разрешается пользоваться только специальными красками и лаками, принятыми на снабжение ВВС Красной Армии.

3. Защита дуралюмина анодной обработкой или анодной поляризацией

Этот вид защиты заключается в том, что на поверхности дуралюмина создается искусственным путем окисная пленка, значительно более плотная и стойкая, чем естественная.

Анодная поляризация дуралюмина осуществляется путем электролиза. Технологический процесс анодной поляризации сводится к следующему. Дуралюминовые полуфабрикаты (листовой материал, профили, трубы, штампованные детали и т. п.) помещаются в качестве анода в ванну с раствором хромовой кислоты H_2CrO_4 . Катодом служат графитовые или свинцовые пластинки. При пропускании электрического тока кислород диссоциированных молекул хромовой кислоты выделяется на аноде (дуралюмине) и энергично окисляет его поверхность. При этом образуется стекловидная окисная пленка толщиной от 0,002 до 0,005 мм, придающая дуралюмину светлосерую окраску. Защитные свойства этой пленки значительно повышаются после втирания в нее олифы.

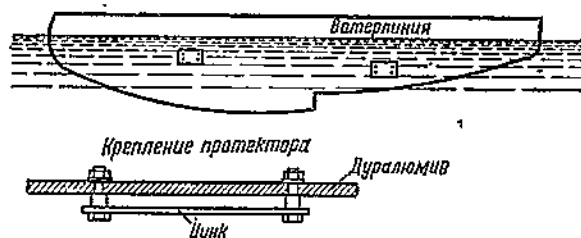
4. Защита при помощи протекторов

Этот способ защиты заключается в том, что к защищаемой конструкции прикрепляются пластинки металла, обладающего более высокой упругостью растворения, чем основной металл. Эти пластинки служат анодами и защищают электрохимически всю конструкцию, являющуюся катодом.

Применение протекторов целесообразно только в случае полного погружения их в электролит.

Защита протекторами широко применяется для дюралюминовых лодок и поплавков гидросамолетов. В качестве протектора берется листовая цинк толщиной 1,0—2,5 мм. В морской воде цинк является анодом, а дуралюмин — катодом, поэтому, когда самолет находится на плаву, разъемно подвергается цинк, основной же металл остается неповрежденным.

Протектор прикрепляется болтами к подводной части поплавка или лодки гидросамолета. Обычно ставят два протектора, располагая их так, как указано на фиг. 98. Общая площадь протекторов должна составлять около 5% от защищаемой поверхности дуралюмина. Если дуралюмин, помимо протекторов, защищен лакокрасочным покры-



Фиг. 98. Крепление цинкового протектора

тием, то площадь протекторов сокращается до 1—2%. Покрытие самого протектора маслом или краской, разумеется, недопустимо.

При уходе за протекторами в условиях эксплуатации требуется внимательно следить за надежным контактом между цинком, стальными болтами и дуралюмином, так как нарушение контакта приводит к размыканию внешней цепи этого своеобразного элемента, вследствие чего защитное действие протектора прекращается.

После выводки самолета на берег протектор необходимо обмывать пресной водой, очищать его поверхность щеткой от налета продуктов коррозии и протирать ветошью. В случае сильного разъедания цинка протектор следует сменить.

5. Уход за дюралюминовыми деталями самолета

Рассмотренные нами основные методы предохранения от коррозии самолетных конструкций из алюминиевых сплавов не являются, однако, вполне надежными. Поэтому для сбережения материальной части самолета необходимо вести

постоянное наблюдение за металлическими деталями, не допуская появления коррозии.

Наиболее уязвимыми в отношении коррозии являются те места самолета, где может конденсироваться влага, а плохая вентиляция способствует ее накоплению. Сюда относятся задние кромки крыльев, стабилизатора и элеронов, задние отсеки фюзеляжа и кабинные отсеки, в которые легко затекает вода и заносится пыль. Конденсация влаги в баковых отсеках крыльев способствует пониженная температура стенок бензиновых баков.

Для предупреждения коррозии этих участков необходимо поддерживать чистоту самолета, удалять полностью пыль и влагу, периодически проветривать самолет и следить за чистотой дренажных отверстий.

Следует вести тщательное наблюдение за местами соприкосновения дуралюмина с деревянными частями, так как дерево, в силу своей гигроскопичности, способствует накоплению влаги.

Необходимо всячески избегать контакта дуралюмина с такими металлами, как медь, олово и свинец, которые являются сильными катодами по отношению к дуралюмину.

Особенно пристального внимания требуют заклепочные швы, которые в условиях эксплуатации легко становятся очагами коррозии. Мы уже указывали, что наклепанный металл имеет пониженную сопротивляемость коррозии. Так как постановка дуралюминовых заклепок производится в холодном состоянии, то материал заклепок получается при этом сильный наклеп, который обуславливает большую разность потенциалов в гальванической паре лист — заклепка. Увеличению этой разности потенциалов способствует и то обстоятельство, что для листов и заклепок применяется дуралюмин неодинакового состава (заклепки содержат меньше меди, чем листовый материал). При попадании влаги на заклепочный шов заклепка становится анодом и разрушается. При наличии на головке заклепки беловатого налета, поддающегося зачистке, заклепка может быть оставлена, если же заметно начало разрушения, то заклепка заменяется.

При хранении на складах полуфабрикатов (листов, труб, профилей) и деталей из алюминиевых сплавов их покрывают для защиты от коррозии бесцветным масляным лаком № 17а. Как временная мера (сроком не более одного месяца) допускается смазка техническим вазелином, смешанным в отношении 3:1 с вазелиновым маслом.

Совместное хранение алюминиевых сплавов с другими металлами, а также с различными химическими продуктами не разрешается.

Листовой материал следует хранить установленным на ребро в стойках, обитых материалом того же состава или цинком. Между листами необходимо устанавливать прокладки.

Трубы и профили должны храниться на особых стеллажах. Заклепки следует хранить по сортам в отдельных ящиках, обитых дуралюмином. Смазывать заклепки не следует, но необходимо наблюдать, чтобы они всегда были сухими.

При обнаружении коррозии на деталях или полуфабрикатах из алюминиевых сплавов необходимо стирать продукты коррозии чистой тряпкой, смоченной в керосине. Если таким путем корродирующее место не очищается, следует применять мелкий порошок пемзы, насыпая его на ветошь, смоченную водой. Очищенное место следует промыть бензином и покрыть лаком.

§ 58. Коррозия сталей и способы защиты от нее

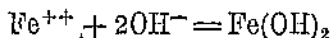
Коррозия (ржавление) стали является смешанным видом коррозии. При ржавлении стали электрохимические процессы идут одновременно с химическими.

Для ржавления железа и стали необходимо и в то же время достаточно совместное присутствие воды и кислорода. Чем больше растворенного кислорода содержит вода, тем интенсивнее идет ржавление (в воде, лишенной кислорода, и в совершенно сухом воздухе ржавление не происходит).

Преобразование железа в ржавчину в присутствии влаги, содержащей в растворенном виде кислород воздуха, совершается следующим образом. Вода, хотя и в незначительной степени, всегда содержит некоторое количество молекул, разложившихся на ионы H^+ и OH^- . Если погрузить в воду пластинку из чистого железа, то атомы железа переходят в раствор в виде катионов Fe^{++} , вследствие чего пластинка заряжается отрицательным электричеством.

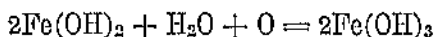
Катионы железа встречаются в растворе с анионами водного остатка OH^- и соединяются с ними, образуя электрически нейтральные молекулы гидрата закиси железа.

Реакция идет по уравнению



Нейтрализация катионов железа, происходящая при их соединении с анионами водного остатка, препятствует установлению равновесия между упругостью растворения железа и осмотическим давлением его катионов, выделившихся в раствор, вследствие чего процесс растворения совершается непрерывно.

Дальнейшее протекание процесса ржавления заключается в том, что гидрат закиси железа соединяется с растворенным в воде кислородом и переходит в гидрат окиси железа по уравнению



Образующийся таким образом гидрат окиси железа представляет собой всем известную рыжую ржавчину. Слой ржавчины на поверхности железа держится неплотно и не защищает его от дальнейшего разрушения.

Ржавление сталей всегда сопровождается электрохимической коррозией, возникающей вследствие неоднородности зерен стали, содержащих феррит и цементит. В присутствии влаги феррит становится анодом по отношению к цементиту и разрушается.

Наименее стойка против коррозии эвтектоидная сталь (0,9% C), имеющая перлитовую структуру. Закаленная сталь сопротивляется коррозии лучше, чем отожженная, вследствие большей однородности структуры.

Предохранение стальных изделий от коррозии достигается следующими способами:

- а) покрытием масляной краской или лаком,
- б) нанесением металлических покрытий,
- в) химическим изменением поверхностного слоя стали путем окисления, травления и т. п.

Широкое применение лакокрасочных покрытий объясняется тем, что они во много раз дешевле металлических покрытий. Однако окраска не дает вполне надежной защиты от ржавления, так как воздух и влага могут проникать через слой краски. В результате этого под слоем краски начинается коррозия, которая обычно сопровождается разрушением самой краски.

Наиболее совершенное защитное действие оказывают металлические покрытия. Для защиты железных и стальных изделий от коррозии применяются главным образом следующие металлы: цинк, кадмий, олово, никель, медь и хром.

Металлические покрытия наносятся одним из следующих способов:

- а) погружением в расплавленный металл;
- б) нанесением металлического слоя электролизом;
- в) пульверизацией, т. е. набрызгиванием расплавленного защитного металла на поверхность защищаемого.

1. Покрытие расплавленным металлом

Железные или стальные изделия, предварительно очищенные и протравленные, погружают в ванну с расплавленным металлом, затем вынимают и разравнивают приставший слой паклей. Такое «горячее покрытие» применяется главным образом для нанесения цинка и олова, так как эти металлы имеют низкую температуру плавления. Горячему цинкованию подвергается преимущественно листовое железо, требующее толстого цинкового покрова.

Цинк в ряде напряжений стоит ниже железа, поэтому при повреждении покрытия, когда между цинком и железом образуется гальваническая пара, цинк электрохимически защищает железо от ржавления. Такое покрытие, как мы уже указывали, называется анодным.

Олово, в отличие от цинка, является для железа катодным покрытием и может защищать его только при условии полной непроницаемости и цельности оловянного слоя. Горячее покрытие оловом (лужение) применяется главным образом для посуды и тары в пищевой промышленности, так как олово нейдовито.

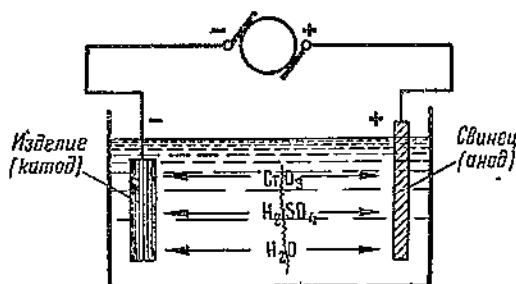
2. Покрытие методом электролиза

Защищаемое изделие помещается в качестве катода в ванну, наполненную раствором соли или окисла защитного металла, а анодом служит обычно защитный металл. При пропускании через ванну электрического тока от динамомашины или аккумуляторной батареи на защищаемом изделии (катоде) осаждается тонкий слой защитного металла, в то время как анод, растворяясь в электролите, отдает ему свои катионы и тем самым пополняет в ванне убыль защитного металла, уходящего на катод.

Рассмотрим схему электролитической ванны для хромирования стали (фиг. 99).

Ванну, обложенную изнутри свинцом, наполняют электролитом, состоящим из дистиллированной воды, хромового ангидрида CrO_3 и небольшого количества серной кислоты. Катодом служит защищаемое изделие, предварительно

обезжиренное. В качестве анода применяются свинцовые пластинки, не растворяющиеся в серной кислоте («нерастворимый анод»).



Фиг. 99. Схема электролитической ванны для хромирования

Молекулы CrO_3 , H_2SO_4 и H_2O диссоциируют в растворе, образуя катионы хрома и водорода и анионы кислотного остатка SO_4 и кислорода. При прохождении электрического тока катионы хрома и водорода направляются к катоду, где хром осаждается в виде ровного тонкого слоя на поверхности защищаемого изделия. Водород частично выделяется из ванны, частично же осаждается вместе с хромом, ухудшая качество покрытия (придает ему хрупкость).

Аналогичным способом производится покрытие стали и других металлов — цинком, кадмием, никелем и медью.

Электролитическое цинкование применяется очень широко, так как имеет большие преимущества перед горячей оцинковкой. Оно дает более ровное и плотное покрытие при значительно меньшем расходе цинка. Электролитической оцинковке подвергаются, например, стальные проволоки для тросов.

Кроме цинка, к числу анодных покрытий для стали относится кадмий, прекрасно защищающий стальные изделия от коррозии. Кадмирование широко применяется для защиты стальных деталей авиамоторов и самолетов. Преимущество кадмирования заключается в том, что осажденный электролитически слой кадмия отличается большой плотностью и отсутствием пор. Исследования показали, что для достижения одинаковых защитных свойств слой цинка должен быть в 2—3 раза толще слоя кадмия, а слой никеля — в 10 раз.

Покрyтия хромом, никелем и медью являются для стали катодными покрытиями, поэтому в случае их повреждeния возникает опасность усиления местного разрушения стали. Кроме того, при электролитическом осаждении хрома и никеля защитный слой получается пористым. Поэтому хром и никель могут служить как антикоррозионные покрытия только при условии предварительного нанесения подслоя меди.

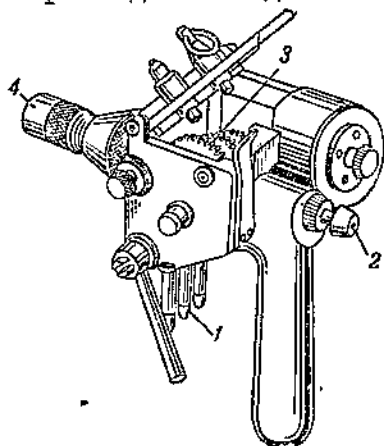
Хромирование и никелирование применяются чаще всего для декоративных целей: оба эти металла после полировки дают блестящую поверхность, украшающую изделие.

Хромирование находит широкое применение для уменьшения изнашивания точных измерительных инструментов, так как хром обладает большой твердостью. Наконец, хромирование применяется при ремонте изношенных деталей для доведения их до нормальных размеров путем наращивания слоем хрома.

Недостатком электролитических покрытий является трудность нанесения ровного слоя защитного металла на деталях сложной формы (вогнутые поверхности покрываются хуже выпуклых). Метод электролитического покрытия не применим для крупных деталей, для которых требуются ванны очень больших размеров. В этих случаях нанесение защитного металла производится методом Шоопа.

3. Шоопирование

Металл, расплавленный газовым пламенем или электрическим способом в аппарате («пистолете») Шоопа, выбрасывается в виде мелких брызг струей сжатого воздуха (фиг. 100). При этом капельки металла плотно пристаюТ к поверхности изделия, покрывая его ровным слоем. Шоопированию подвергаются обычно узлы со сложными профилями и целые конструкции. Для покрытия стали этим способом применяются цинк и кадмий.



Фиг. 100. Пистолет Шоопа:

1 — сопло для присоединения трубопроводов кислорода, ацетилена и сжатого воздуха; 2 — отверстие для подачи кадмевой или цинковой проволоки; 3 — механизм подачи проволоки; 4 — разбрызгивающее сопло

Защита стальных изделий путем химической обработки поверхностного слоя осуществляется весьма разнообразными методами. Все они основаны на том, что на поверхности стали создается пассивирующая пленка, защищающая металл от воздействия внешней среды. Наиболее распространенными методами нанесения химических покрытий являются фосфатирование и воронение.

4. Фосфатирование (паркеризация)

Стальные изделия с тщательно очищенной поверхностью погружаются в кипящий раствор, содержащий смесь фосфорнокислых солей железа и марганца, и выдерживаются в этом растворе примерно в течение часа. При этом на поверхности стали происходит химическая реакция, в результате которой сталь покрывается тонким слоем фосфорнокислого железа.

После фосфатирования изделия натирают машинным маслом или специальной смазкой, в результате чего они приобретают черную бархатную окраску. Фосфатирование дает хорошую защиту от коррозии стальных изделий, находящихся в обычных атмосферных условиях.

5. Воронение

Воронение стальных изделий производится различными способами, но принцип их один и тот же. Изделие, подлежащее воронению, подвергается нагреванию для образования на его поверхности сплошной пленки окислов железа, в которую затем втирается масло. Слой окислов может быть получен также путем погружения изделия в жидкость, легко отдающую кислород, например в расплавленную селитру.

Окисный слой, полученный при воронении, не дает эффективной защиты стали от коррозии, так как он очень хрупок и легко растрескивается. Воронение применяется главным образом для предметов широкого потребления с целью их украшения, детали же самолетов и моторов воронению не подвергаются.

6. Уход за стальными деталями самолета и мотора

Для уменьшения коррозии зарубашечных пространств авиамоторов к охлаждающей воде всегда прибавляется хромпик ($K_2Cr_2O_7$) в количестве 2—3 г на 1 л воды. Хромпик окисляет поверхность металла и вызывает обра-

зование пассивирующей пленки, предохраняющей металл от коррозии.

Стальные детали авиамоторов работают большей частью в условиях обильной смазки. Коррозия этих деталей имеет место, если смазочное масло содержит воду или обладает щелочностью или кислотностью. Поэтому для смазки моторов можно применять только нейтральное масло, не содержащее воды.

Касторовое масло вследствие повышенной кислотности оказывает на стальные детали мотора значительно более сильное корродирующее действие, чем минеральные масла. Поэтому мотор, работающий на касторовом масле, перед длительной остановкой должен быть переведен на минеральное масло.

При работе мотора на свинцовом бензине выхлопные газы вызывают сильную коррозию клапанных механизмов.

Кроме того, зеркало цилиндра и шток клапана при длительной остановке или хранении мотора корродируют под действием продуктов распада тетраэтилового свинца («холодная коррозия»).

Основным способом борьбы с коррозией клапанов и зеркала цилиндра является заливка цилиндров минеральным маслом после работы мотора на свинцовом бензине. В условиях хранения цилиндры мотора также должны заливаться минеральным маслом. Коленчатый вал необходимо проворачивать регулярно через 7—10 суток.

Детали авиамоторов, наиболее подверженные коррозии, в зависимости от назначения, выполняются из нержавеющей стали (клапаны), нитрируются (цилиндры) и кадмируются (болты, шпильки, пружины и т. д.). Наружные детали моторов защищаются от коррозии окраской.

Стальные детали самолетов обычно окрашиваются. При эксплуатации необходимо вести постоянное наблюдение за целостностью окраски, возобновляя ее в случае повреждения. При обнаружении ржавчины ее необходимо удалить, протирая деталь тряпкой, смоченной в керосине. В случае более глубоких поражений деталь следует очистить мелкой наждачной шкуркой, промыть керосином, после чего снова окрасить или, в качестве временной меры, смазать техническим вазелином.

При длительной эксплуатации самолетных конструкций, сваренных из стальных труб, наблюдается ржавление труб изнутри. Для предупреждения этого трубы в процессе сварки промазываются изнутри льняным маслом. При ремонте сварных конструкций, если части труб вырезаются,

необходимо убедиться в отсутствии ржавчины внутри. Одновременно следует промерить толщину стенок труб, чтобы убедиться в отсутствии разъедания их ржавчиной.

При обмотке трубы лентой, способной впитывать влагу, необходимо предварительно покрыть трубу по окраске тонким слоем парафина. Этот слой будет служить дополнительной защитой трубы от коррозии.

Стальные детали самолетов и моторов при хранении на складе должны быть хорошо смазаны пупечной смазкой, предварительно проверенной на нейтральность. Смазку необходимо периодически обновлять. Целесообразно также смазанные детали завертывать в вошевую бумагу.

Применение касторового масла и солидола (тавота) в качестве предохранительных смазок запрещено. Касторовое масло быстро окисляется в тонком слое. Солидол содержит до 2% воды, поэтому он тоже способствует коррозии.

Все складские помещения должны содержаться в чистоте и периодически проветриваться. Необходимые температура и влажность в складских помещениях указываются в специальных инструкциях.

ЛИТЕРАТУРА

Акимов Г. В., проф., Металлы и сплавы в химическом аппаростроении.

Крейнг В. О., проф., Коррозия металлов.

Крейнг В. О., проф., и Бобовников Н. Д., инж., Исследование коррозии прокатанных алюминиевых сплавов.

Крейнг В. О., проф., Костылев Г. А., инж., Коррозия магниевых сплавов, ч. I, II, III и IV.

Эванс, Коррозия металлов, 1933.

Акимов Г. В. и Крейнг В. О., Защита алюминиевых сплавов от коррозии металлизацией.

Акимов Г. В., Коррозия швов в дуралюминиевых конструкциях.



ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ КРАСКИ И ЛАКИ

§ 59. Масляные краски

Масляные краски находят применение в авиатехнике для окраски металлических и деревянных деталей.

Покрытие масляными красками является наиболее дешевым и легко выполняемым способом защиты металлов от коррозии.

Однако покрытия масляной краской практически не создают полной непроницаемости. Влага все же проникает через слой краски и зачастую вызывает коррозию металла под краской.

К масляным краскам предъявляются следующие основные требования:

а) краска должна создавать достаточно надежную защиту металла от действия влаги и воздуха;

б) покрытие (пленка) из масляной краски должно быть прочным на разрыв и эластичным;

в) краска должна обладать способностью быстро высыхать и крепко приставать к металлу;

г) краска должна быть стойкой к атмосферным влияниям;

д) краска не должна быть засоренной механическими примесями.

В состав готовой масляной краски входят: сухая краска в порошке (красящий пигмент), олифа (специально обработанное быстро высыхающее масло) и разбавитель (скипидар или уайт-спирит).

1. Красящие пигменты

Назначение пигментов заключается в том, чтобы придать покрытию ту или другую расцветку, повысить стойкость покрытия и улучшить его защитные свойства. В ка-

честве красящих пигментов для изготовления масляных красок применяются порошкообразные цветные соли и оксиды различных металлов, а также и органические красители.

Чаще всего применяются следующие пигменты:

а) для белой краски: белила свинцовые, цинковые, титановые, литановые, алюминиевый порошок;

б) для желтой краски: охра, свинцовый крок и цинковый крок;

в) для красной краски: железный сурик, свинцовый сурик, мумия, киноварь, литоль шарлах, пара тонер и крокус;

г) для синей краски: ультрамарин, малярная лазурь и мпльорь;

д) для зеленой краски: зеленый крок (ярь-медянка);

е) для черной краски: сажа, графит, древесный и костяной уголь, нигрозин.

Для получения промежуточных расцветок составляют смеси из различных пигментов.

Пигменты могут оказывать сильное влияние на процесс коррозии металлов, замедляя или ускоряя его. С этой точки зрения различают три группы пигментов: предохраняющие от коррозии, безразличные, или нейтральные, и способствующие коррозии. Те пигменты, которые способствуют возникновению коррозии, образуют с защищаемым металлом гальваническую пару, где пигмент становится катодом, а защищаемый металл — анодом. Во многих случаях корродирующее действие пигмента обуславливается не основным пигментом, а сопутствующими ему примесями.

Если в пигментах оказываются примеси растворимых в воде солей, кислот или щелочей, влага, проникающая в слой краски, становится электролитом, под влиянием которого возникает коррозия.

По отношению к железу и стали пигментами, предохраняющими от коррозии, являются свинцовый крок ($PbCrO_4$) и цинковый крок $[3(ZnCrO_4)K_2Cr_2O_7]$, представляющие собой соли хромовой кислоты. Они способны окислять железо и тем самым создавать пассивирующую пленку, защищающую металл от ржавления.

Свинцовый сурик (закись-окись свинца $PbO.PbO_2$) и свинцовые белила также предохраняют железо и сталь от коррозии. Эти вещества вступают с высыхающим маслом в химическое соединение, образуя металлические мыла, которые повышают водонепроницаемость красочной пленки. Поэтому свинцовый сурик и свинцовые белила являются лучшими предохранителями железа от ржавления. Недо-

статком этих пигментов является то, что при наличии в воздухе сероводорода они оказываются недостаточно светостойкими. Красочные пленки, содержащие свинцовые белила, под действием сероводорода желтеют, а содержащие свинцовый сурик — чернеют. Вследствие сильной ядовитости свинцовые белила в настоящее время не применяются и заменяются цинковыми белилами.

К пигментам, нейтральным по отношению к железу и стали, относятся: мумия, железный сурик, лазурь, ультрамарин. Эти пигменты защищают металл только механически, способствуя образованию на его поверхности стойкой красочной пленки.

Сажа, графит, охра являются пигментами, способствующими коррозии железа и стали.

По отношению к дуралюмину и другим алюминиевым сплавам защитными пигментами являются: цинковый крош, вызывающий пассивирование металла, и до некоторой степени цинковые белила.

На качество красочной пленки большое влияние оказывает тонкость размолла пигмента. Для получения при растирании с маслом однородной массы, дающей равномерный слой окраски, необходимо сильное измельчение крупинок пигмента. Чем сильнее измельчен пигмент, тем больше его кроющая способность (укрывистость), т. е. способность настолько скрывать цвет окрашиваемой поверхности, чтобы она не просвечивала через слой краски. Оценкой кроющей способности служит расход краски на единицу поверхности. От величины крупинок пигмента зависит склонность масляной краски к преждевременному растрескиванию.

2. Масла и олифы (специально обработанные быстро высыхающие масла)

Масла являются необходимой составной частью масляных красок.

Различают масла высыхающие и не высыхающие.

К числу высыхающих масел относятся: льняное, конопляное и древесное (тунговое или китайское).

К числу не высыхающих масел относятся касторовое и минеральные масла.

Льняное масло вырабатывается из семян льна горячим или холодным прессованием и экстракцией (действием специальных растворителей). Лучший по цвету и другим показателям сорт льняного масла получается при холодном прессовании.

Конопляное масло получается из семян конопля горячим прессованием.

Древесное, или тунговое, масло извлекается из семян лакового дерева. Родиной лакового дерева являются Китай и Япония. Тунговое масло сохнет скорее всех других масел (2—3 суток) и дает наиболее прочную и эластичную пленку.

При высушивании сырого тунгового масла его пленка мутнеет и покрывается рисунками, напоминающими узор от мороза. При нагревании до 300° оно свертывается. Во избежание загустевания при нагревании и образования узоров в процессе высушивания тунговое масло смешивают с льняным маслом, обычно в отношении 1:1.

В свежем виде тунговое масло очень ядовито и, попадая на кожу, вызывает глубокие, медленно заживающие язвы.

Невысыхающее касторовое масло становится высыхающим после обработки его нагреванием до 225—250° в течение 12—13 час. в присутствии катализатора (каолина). Обработанное этим способом касторовое масло в последнее время широко применяется взамен льняного для производства красок.

В сырых маслах обычно содержатся различные слизистые и белковые вещества. При нагревании масел до 220—240° эти вещества выпадают. Масла, применяемые для приготовления красок и лаков, подвергаются очистке от слизистых и белковых веществ, во избежание загрязнения лакокрасочной продукции. Наиболее распространенным способом очистки масел от слизей и белков является обработка их при температуре 130—140° отбеливающими землями (гумином, каолином и др.). После очистки масло приобретает светложелтую окраску и становится прозрачным. Очищенные отбеливающей землей масла называются лаковыми маслами.

В сыром виде высыхающие масла обычно не употребляются в лакокрасочном производстве вследствие очень длительного срока их высыхания (5—7 суток) при нанесении тонким слоем на какой-либо предмет. Для сокращения времени высыхания сырые масла подвергаются специальной обработке, состоящей в нагреве масла до 120—140° для полного удаления влаги, о чем судят по исчезновению пены с его поверхности. Затем в нагретое масло вводят особые растворимые вещества, называемые сиккативами (сушками).

Обработанные таким образом масла называются олифами. Время высыхания олиф значительно меньше, чем

сырых масел; при высыхании они образуют твердую пленку.

Влияние сиккативов на скорость высыхания олифы заключается в том, что они являются катализаторами — ускорителями процесса высыхания.

В качестве сиккативов применяются различные окислы металлов. Из них наиболее употребительны окиси и перекиси кобальта, свинца, цинка, марганца. Эти сиккативы растворяются в масле при температурах порядка 200—250°, ввиду чего и варка олифы с этими окислами производится примерно при тех же температурах (210—230°).

Кроме металлических окислов, в качестве сиккативов применяются кобальтовые, марганцовые, свинцовые, цинковые и кальциевые соли жирных кислот, являющиеся продуктами химической реакции между окислами указанных металлов и жирными кислотами льняного масла или кислотой из камфоли. В зависимости от взятых кислот эти сиккативы называются линолеатами и резинатами.

Преимуществом линолеатов и резинатов является то, что они растворяются в масле при более низких температурах (60—140°). Это дает возможность вести варку олифы при температуре порядка 120—140°. Для ускорения варки наряду с нагреванием применяют продувку масла воздухом. Такая «холодная» варка дает более высококачественную олифу, чем варка при высокой температуре, необходимая в случае применения металлических окислов в качестве сиккативов. Олифа холодной варки с течением времени меньше теряет свой цвет.

Наиболее сильно действующими сиккативами являются кобальтовые и марганцовые. Скорость высыхания олифы увеличивается, если применять смесь двух или трех различных сиккативов.

Способность высыхания олифы возрастает с увеличением содержания сиккатива, однако лишь до некоторого предела: при дальнейшем добавлении сиккатива скорость высыхания остается постоянной или даже уменьшается. Количество сиккативов в олифе берется от 0,5 до 3% к весу масла.

Наилучшая олифа, называемая натуральной олифой, вырабатывается из льняного масла. Взамен дефицитной натуральной олифы в лакокрасочном производстве широко применяются так называемые экономичные олифы, изготавливаемые из уплотненных (полимеризованных) масел с последующим разбавлением их уайт-спиритом.

Уайт-спирит представляет собой тяжелую фракцию бензина, выкипающую в пределах температур 140—200°.

Полимеризованные масла получают путем длительного нагрева масла (в течение 8—15 час.) при температуре 250—280°. При такой обработке масло сильно густеет и приобретает значительную вязкость, что является результатом процесса полимеризации молекул масла. Этот процесс состоит в уплотнении и соединении между собой отдельных молекул с образованием более крупных.

Полимеризованные масла готовятся из льняного, конопляного и касторового масел, рыбьего (пшасевого) жира и т. д.

Приготовление олифы на полимеризованном масле дает значительную экономию масла. Экономичная олифа содержит около 55% полимеризованного масла и 45% растворителя — уайт-спирита, в натуральной же олифе содержится около 100% масла.

О качестве олифы можно судить по следующим показателям:

а) цвет олифы должен быть от светложелтого до вишневого;

б) олифа должна быть прозрачной;

в) нанесенная тонким слоем на стеклянную пластинку олифа через 12 час. при температуре 15—20° должна дать твердую пленку, на которой при легком прикосновении пальца не остается следа.

Масляные краски получают размешиванием сухих пигментов и олифы в специальных мешалках до образования густой пасты, которая затем поступает на краскотерки, где она перемешивается до полной однородности.

Для применения краска разводится скипидаром или уайт-спиритом.

§ 60. Лаки

Лаками называются растворы твердых лаковых веществ (смол, асфальтов и эфиров целлюлозы) в растворителях органического происхождения.

В зависимости от состава и свойств различают два типа лаков: а) летучие лаки, в которых твердое лаковое вещество растворено в летучей жидкости, и б) масляные лаки, в состав которых, помимо твердого лакового вещества и летучего растворителя, входит высыхающее масло (олифа),

1. Масляные лаки

Масляным лаком называется сплав смолы или асфальта с высыхающим маслом, растворенный в летучей жидкости, чаще всего в скипидаре, бензине или уайт-спирите.

При изготовлении масляного лака в расплавленную смолу или асфальт добавляют небольшими порциями нагретое высыхающее масло (обычно льняное или смесь льняного с тунговым), поднимают температуру до 250—320°, затем нагрев прекращают, прибавляют сиккатив и после некоторого остывания вводят растворитель.

Пленкообразующими веществами в масляных лаках являются как твердое лаковое вещество (смола или асфальт), так и высыхающее масло — льняное или тунговое. Лаки, приготовленные на основе природных или искусственных смол, — прозрачные, светлые, а лаки, приготовленные на основе природных или искусственных асфальтов, — непрозрачные, черные.

Из природных смол в производстве прозрачных авиационных лаков находят применение копалы и химически обработанная канифоль (гарпиус).

Копалами называются ископаемые смолы тропических растений, пролежавшие много веков в земле. Свежее смолы этих растений не имеют тех ценных свойств, какими обладают ископаемые смолы. По месту добывания различают следующие сорта высокоценных копалов: занзибарский, конго, сиерра-леоне, каури, манильский и др. Копалы являются наиболее ценными лаковыми смолами, так как благодаря высокой температуре плавления и большой твердости они дают прочную блестящую пленку, устойчивую против атмосферных влияний.

Большое применение в производстве прозрачных масляных лаков имеет канифоль или гарпиус. Канифоль добывается путем перегонки сока хвойных деревьев, называемого живицей. В натуральном виде канифоль мало пригодна для производства лаков, так как она имеет низкую температуру плавления (48—65°) и дает хрупкую пленку.

Для получения лаковой смолы высокого качества канифоль подвергают «облагораживанию» обработкой глицерином. Эта операция состоит в том, что канифоль вместе с глицерином подвергается продолжительному нагреву при высокой температуре. Полученный продукт называется эфир-гарпиусом. Эфир-гарпиус широко применяется в производстве авиационных масляных лаков.

В качестве растворителей при изготовлении масляных лаков применяются, как было сказано выше, скипидар, бензин и уайт-спирит.

Скипидар вырабатывается из смолы хвойных деревьев. Смолу подвергают очистке и перегонке, получая в отгоне скипидар, а в остатке — канифоль. Скипидар представляет собой прозрачную жидкость от светложелтого до красноватого цвета с характерным запахом. Под действием кислорода воздуха скипидар в тонком слое легко окисляется и густеет. Благодаря этому свойству скипидар ускоряет высыхание лака и способствует образованию прочной лаковой пленки.

В зависимости от содержания смолы и масла лаки делятся на жирные и тощие. Чем меньше масла и больше смолы, тем более тощим является лак. Тощие лаки дают более твердую, но менее эластичную пленку, чем жирные.

В самолетостроении бесцветные масляные лаки применяются для защиты внутренних сварных и деревянных деталей самолетов.

Светлые масляные лаки выпускаются лакокрасочной промышленностью под марками № 17, № 17а и № 22. Преимущественное применение в самолетостроении находит лак № 17а следующего состава:

Эфир-гарапуца	10,4%
Масла полимеризованного (50% льняного + 50% тутового)	44,0%
Сиккативов	0,7%
Скипидара	38,3%

Для получения цветных лаков прозрачные масляные лаки смешиваются и растираются с красящими пигментами с добавлением соответствующего разбавителя (скипидара, уайт-спирита и бензина). Цветные масляные лаки принято называть эмалевыми красками или эмалями.

Эмалевые краски широко применяются для окраски металлических самолетов.

Черные, непрозрачные масляные лаки изготовляются, как указано выше, на основе природных и искусственных асфальтов. Природный асфальт, или горная смола, представляет собой продукт, образовавшийся из нефти в результате многолетнего ее выветривания. Наиболее ценной

составной частью асфальта является вещество, называемое битумом. Кроме битума, природный асфальт содержит минеральные примеси (глину, кремнезем и др.) и некоторое количество серы.

В лаковом производстве находят применение асфальты, добываемые из земной коры путем горных разработок. Эти асфальты содержат очень незначительное количество минеральных примесей и являются почти чистыми битумами. К числу их относятся гильсонит, добываемый в Колорадо, сирийский асфальт и др. В СССР, в Чкаловской области, найдено жильное месторождение природного асфальта типа гильсонита — так называемый «саткинский асфальт».

Искусственные асфальты (пек), приближающиеся по внешнему виду и свойствам к природным асфальтам, добываются из каменного угля и нефти. Каменноугольный пек получается при коксовании каменного угля в процессе добывания светильного газа и кокса. Нефтяной пек получается в остатке при деструктивной переработке нефтепродуктов — крекинге и пиролизе, а также добывается из кислого гудрона, являющегося продуктом сернокислотной очистки нефтяных топлив и минеральных масел. Для получения пека кислый гудрон обрабатывают паром, причем пек отделяется от кислоты и осаждается в виде черной массы. Пек из кислого гудрона — весьма хороший заменитель природного асфальта в производстве лаков.

В состав асфальтовых лаков, кроме асфальта или пека, входят льняное масло, скипидар и скинпидар или уайт-спирит в качестве растворителя.

Асфальтовые лаки отличаются большой устойчивостью против морской воды и имеют широкое применение для лакировки подводных частей судов.

Хорошими защитными свойствами обладает так называемый «кузбасский лак». Этот лак представляет собой раствор пека, получаемого при коксовании кузнецкого каменного угля, в каменноугольном масле (солвент-нафте).

2. Летучие лаки

Летучие лаки представляют собой раствор твердых пленкообразующих веществ (смола, эфиры целлюлозы и др.) в летучих органических растворителях.

В зависимости от состава летучие лаки можно разделить на две основные группы: а) лаки на смолах, рас-

творителем которых является почти исключительно спирт, и б) лаки на эфирах целлюлозы. В качестве растворителей для лаков второй группы служат: ацетон, ампилацетат, бутилацетат и др.

Из лаков на смолах весьма широкое распространение имеет спиртовой шеллачный лак, применяемый для покрытия изделий из дерева, требующих особо тщательной отделки, и в качестве изолирующего материала для электрооборудования.

Шеллачный лак содержит около 25% шеллака и 8% канифоли. Шеллак представляет собой смолу, образующуюся на ветвях хвойных тропических растений от укуса насекомых. Он добывается в Ост-Индии, Спаме и на острове Суматра. В продажу шеллак поступает в виде тонких пластинок от бледножелтого до красноватого цвета. Растворителем его является спирт-сырец, имеющий крепость 88—90°.

Шеллачный лак с меньшим содержанием смол (10—20%), растворенных в более слабом спирте, называется политурой. Политура применяется самостоятельно для покрытия по дереву или в качестве отделочного слоя по шеллачному лаку.

Особенно широкое применение в самолетостроении имеют летучие лаки, изготавливаемые на основе нитроцеллюлозы. Эти лаки быстро высыхают и после высыхания дают зеркально гладкую пленку при сравнительно малом приросте веса лакируемого изделия.

Под названием аэролаков или эмалитов они широко используются для покрытия полотняной обтяжки несущих поверхностей самолета. Для окраски наружных поверхностей металлических самолетов эти лаки не нашли применения вследствие слабой сцепляемости их с дуралюмином. В редких случаях пользуются ими для окраски бензо- и масляных баков и некоторых других деталей, скрытых внутри самолета.

Твердым пленкообразующим веществом в аэролаках является нитроцеллюлоза.

Нитроцеллюлоза, или нитроклетчатка, представляет собой продукт, получающийся в результате обработки клетчатки (целлюлозы) древесины или низкосортного хлопка смесью азотной и серной кислот.

В зависимости от интенсивности действия азотной кислоты нитроцеллюлоза получается с различным содержанием азота и в связи с этим имеет весьма различное применение. Нитроцеллюлоза с содержанием азота от 10,7 до

11,2% употребляется для приготовления целлулоида. Для производства нитролаков, кинопленки и искусственного шелка применяется нитроцеллюлоза с содержанием от 11,2 до 12,5% азота, называемая колоксилином. Нитроцеллюлоза с еще более высоким содержанием азота употребляется как взрывчатое вещество, называемое пироксилином.

Готовая нитроцеллюлоза имеет белый цвет и похожа на хлопок.

Нитроцеллюлоза является высококачественным пленкообразующим веществом, дающим блестящую, прочную и водонепроницаемую пленку. Недостатком ее является большая огнеопасность. Вследствие высокого содержания кислорода в молекулах нитроцеллюлозы она может гореть даже без доступа воздуха.

Значительно меньшую огнеопасность представляют лаки на основе ацетилцеллюлозы.

Ацетилцеллюлоза является продуктом обработки хлопка или древесной клетчатки уксусным ангидридом в присутствии катализатора — хлористого цинка или серной кислоты. Ацетилцеллюлозные лаки по своим свойствам приближаются к нитролакам, однако в значительной степени уступают им в отношении влагостойкости. По этой причине ацетилцеллюлозные лаки не нашли столь широкого применения в качестве наружного покрытия, как нитролаки.

Летучими растворителями в нитроцеллюлозных лаках служат, как было указано выше, ацетон, ампилацетат, бутилацетат и некоторые другие легко испаряющиеся жидкости. Кроме этого, в состав этих лаков вводятся смягчители (пластификаторы) и разбавители.

Смягчители вместе с нитроцеллюлозой составляют нелетучую часть лака, остающуюся в лаковой пленке. Назначение их заключается в том, чтобы придать эластичность пленке. В качестве смягчителей применяются касторовое масло и фосфаты, получающиеся действием фосфорной кислоты на крезол или фенол. В первом случае образуется трикрезилфосфат, во втором — трифенилфосфат. Последний является одним из лучших смягчителей, понижающим одновременно воспламеняемость лака.

Разбавители добавляются в нитроцеллюлозные лаки, чтобы придать им определенную вязкость. К числу разбавителей относятся этиловый спирт, бензол и толуол.

Аэролаки (эмалиты) делятся на бесцветные аэролаки первого покрытия и цветные аэролаки второго покрытия. Для придания необходимой расцветки в аэролаки второго покрытия вводятся красящие пигменты или алюминиевый порошок. Аэролак первого покрытия наносится непосредственно на полотнояную обшивку самолета для повышения ее крепости и натяжения. Назначение цветного аэролака второго покрытия заключается в том, чтобы предохранить полотно от атмосферных влияний и создать маскирующую окраску самолета.

Нитроцеллюлозные лаки имеют громадное применение не только в самолетостроении, но и для покраски автомобилей, сельскохозяйственных орудий, железнодорожного подвижного состава и т. д. Цветные нитролаки, применяемые для этих целей, принято называть нитроэмалями.

3. Грунтовки и шпатлевы

Для создания большей сцепляемости между лакокрасочным покрытием и окрашиваемой поверхностью применяются специальные пигментированные лаки, называемые грунтовками.

Грунтовка наносится первым слоем и образует пленку, обладающую высокой сцепляемостью как с поверхностью окрашиваемого изделия, так и с наружным лакокрасочным слоем. Вместе с тем грунтовка служит дополнительным средством защиты металла от коррозии, а дерева — от гниения.

Правильный подбор компонентов грунтовки имеет большое значение, так как грунтовка должна быть возможно более эластичной, чтобы не давать трещин при деформациях окрашенного изделия под влиянием температурных факторов и нагрузок.

Красящие пигменты являются обязательной составной частью всех грунтовок, так как они создают шероховатую поверхность, необходимую для крепкого прилипания последующих слоев лакокрасочного покрытия.

Разница между грунтовками по металлу и дереву заключается в том, что в состав грунтовок по дереву вводится меньшее количество пигментов, чтобы обеспечить лучшее проникновение грунтовки в поры древесины.

В авиастроении применяются грунты на лакомасяльной и на нитроцеллюлозной основе как для металлических, так и для деревянных поверхностей.

В состав лакомасляной грунтовки входят красящий пигмент, масляный лак на эфир-гаршпуге и разбавитель (скипидар, уайт-спирит или бензин). Эта грунтовка может применяться как под лакомасляные, так и под нитролаковые покрытия при условии горячей сушки грунта.

Грунтовки на нитроцеллюлозной основе содержат красящие пигменты, нитроцеллюлозный лак и разбавители (спирт, бензол). Эти грунтовки могут применяться в качестве первого слоя под покрытия нитро- и масляными лаками.

Нитрогрунтовки, по сравнению с масляными, имеют ряд преимуществ: быстрая высыхаемость (1—1½ часа вместо 18—20 час. для масляной грунтовки) и большая водопорность (примерно в 1½—2 раза в зависимости от состава грунта). Наряду с этим они имеют и недостатки, главные из них — значительно меньшая сцепляемость с поверхностью металла и дерева и большая вредность работы с ними.

Вследствие этого масляные грунтовки имеют значительно большее распространение, чем нитрогрунтовки.

Шпатлевки (подмазки) по металлу и дереву предназначаются для сглаживания всех неровностей на защищаемой поверхности. Шпатлевание производится только после нанесения грунтовки.

В состав шпатлевки входит большое количество пигментов и других порошкообразных наполнителей: мел, костяной уголь, тальк, тяжелый шпат и т. п. По своей консистенции шпатлевки бывают густые и жидкие. Густые шпатлевки, с высоким содержанием пигментов и наполнителей, применяются для сглаживания больших углублений и неровностей на защищаемой поверхности, жидкие — для заполнения небольших углублений и царапин.

По составу шпатлевки делятся на лакомасляные и нитроцеллюлозные. Лакомасляные шпатлевки состоят из лаковой и масляной основы, пигментов и наполнителей. В нитроцеллюлозных шпатлевках связывающей основой является нитролак.

Вместо нитролаковой шпатлевки для покрытий по дереву часто берут так называемую клеевую шпатлевку. Эта шпатлевка состоит из столярного клея, разведенного в воде и замешанного с мелом до нужной густоты. Для ускорения высыхания в клеевую шпатлевку подбавляют небольшое количество олифы.

4. СМЫВКА

Прежде чем приступить к нанесению лакокрасочного покрытия, поверхность металлической детали должна быть тщательно очищена от пыли, грязи, жировых пятен и старой разрушившейся краски. Последняя удаляется при помощи специальных смывок, состоящих из органических растворителей. В состав смывок входят ацетон, этилацетат, бензин, скипидар и этиловый спирт. Кроме того, в смывку обычно добавляют парафин и нафталин для уменьшения летучести.

Смывка указанного состава при температуре 35° имеет вид однородной, прозрачной, подвижной жидкости. С понижением температуры до 20° она образует два слоя: верхний — прозрачный, нижний — в виде хлопьевидного осадка. При 5° смывка представляет собой сплошную кашеобразную массу.

Эта смывка перед употреблением требует подогрева до 35—40°. Подогрев производится в сосуде, опущенном в горячую воду. При нанесении щетинной кистью на поверхность металла смывка быстро застывает в кашицу, не растекаясь по поверхности. При наличии старой краски действие смывки наступает через 25—30 мин., при свежей краске — через 10 мин. Лакокрасочная пленка под влиянием смывки набухает, сморщивается и отстает от поверхности. В таком виде она легко снимается тряпкой или кистью.

Для удаления свежей краски обычно применяется специальная смывка, не содержащая парафина и нафталина. Такая смывка не загустевает при понижении температуры и не требует предварительного подогрева. Этой смывкой можно пользоваться и для удаления старой краски. В этом случае ее необходимо наносить на очищаемую поверхность при помощи древесных опилок. Опилки, смоченные в смывке, препятствуют растеканию смывки по поверхности и замедляют ее испарение.

После удаления старой краски поверхность должна быть тщательно очищена от остатков смывки, которые в дальнейшем могут вызвать коррозию металла под слоем краски. Для этого поверхность протирается чистыми тряпками, смоченными в бензине.

Для удаления аэролакового покрытия с полотняной обшивки самолета в качестве растворителя применяется аэролак первого покрытия, разбавленный на 25% ацетоном.

5. Техника окраски металлических и деревянных деталей самолетов

Процесс окраски самолетных деталей в основном состоит из следующих четырех операций:

- а) подготовка поверхности под окраску;
- б) подготовка лакокрасочных материалов и инструментов;
- в) нанесение покрытий и
- г) окончательная отделка.

Подготовка поверхности металла под окраску состоит из очистки ее от пыли, грязи, жировых пятен, продуктов коррозии и из удаления старой краски (если покрытие возобновляется). Для этого поверхность протирают чистыми тряпками, смоченными в авиабензине, и вытирают насухо замшей или фланелью. Для удаления старой краски применяются смывки.

Подготовка к окраске деревянных деталей заключается в зачистке их стеклом или шкуркой, в удалении пыли сухой кистью и жировых пятен тряпками, смоченными в бензине.

Подготовка лакокрасочных материалов (красок, эмалей и цветных нитролаков) сводится к размешиванию и процеживанию их.

Размешивание в бидонах производится при помощи деревянной палки или веселки до полного удаления осадка на дне бидона. При размешивании лакокрасочных материалов в мелкой таре необходимо прокатывать тару вперед и назад до полного размешивания. Отсутствие осадка проверяется деревянной палочкой, опускаемой до дна тары.

Все лакокрасочные материалы поставляются в готовом к употреблению виде и разбавлению не подлежат, за исключением тех случаев, когда масляный лак или краска загустевает от долгого стояния. В этих случаях допускается разжижение их чистым скипидаром до рабочей консистенции.

Разжижение можно производить только после размешивания осадка.

Перед нанесением покрытия краски и лаки должны быть обязательно процежены. Процеживание производится через густую металлическую сетку или через марлю, сложенную вдвое или втрое.

Производить окраску следует только чистыми, хорошо подвязанными кистями. Перед работой кисти должны быть обязательно промыты в бензине.

Процесс нанесения покрытий состоит в основном из следующих операций:

- а) загрузка поверхности;
- б) шпатлевание ее при помощи плоской лопатки, называемой шпателем;
- в) шлифовка зашпатлеванного слоя мокрым куском пемзы или стеклянной шкуркой;
- г) нанесение промежуточного и окончательного лакокрасочных слоев с последующей полировкой наружного слоя, если это предусмотрено инструкцией на окраску данной самолетной детали; полировка обычно производится тампоном, смоченным спиртом с небольшим добавлением масла, или с помощью специальной полировочной пасты.

Нанесение слоев грунта, шпатлевки и лакокрасочных слоев производится только после полного высыхания предыдущего слоя. Для этого детали подвергаются естественной сушке (при комнатной температуре) или искусственной сушке в сушильной камере при температуре 60—70°. Естественная сушка промежуточного слоя продолжается не менее 24 час., искусственная — не менее 4—5 час. Для полной готовности окрашенной поверхности требуется выдержка не менее 48 час. при комнатной температуре и не менее 7 час. при температуре 50°.

Для получения прочной лакировки и покраски необходимо, чтобы лакокрасочные материалы при их употреблении имели температуру помещения, в котором производится окраска. Окраска должна производиться в светлом, чистом, свободном от пыли помещении, при температуре 15—20°. В помещении должна быть обеспечена хорошая вентиляция.

Тару с лакокрасочными материалами необходимо содержать в полной исправности и хранить в закрытом виде во избежание образования пленок в масляных красках и лаках и улетучивания жидкой части из нитролаков.

§ 61. Уход за лакокрасочным покрытием самолета

Сохранность лакокрасочного покрытия самолета имеет громадное значение, так как всякое повреждение окраски вызывает интенсивную коррозию металла или гнивание дерева.

Уход за окраской самолета заключается в следующем:
а) Лакокрасочный слой необходимо оберегать от механических повреждений. Нельзя класть на поверхность

крыльев, фюзеляжа и хвостового оперения инструментов, запасные части, сырые чехлы и т. п. Для хождения внутри фюзеляжа и по крыльям необходимо укладывать предохранительные фанерные щитки или коврики из резины или брезента.

б) При заправке самолета нужно тщательно следить, чтобы на лакокрасочное покрытие не попали горючее, масло и вода, а в случае, если они будут пролиты, немедленно вытереть насухо чистыми тряпками или концами.

в) Необходимо тщательно очищать самолет от пыли, грязи и масляных пятен. Пыль удаляется с поверхности самолета мягкими волосяными щетками или чистыми тряпками. Очистка от грязи и масляных пятен производится при помощи резиновых губок или чистых концов и тряпок, смоченных в теплой воде с температурой не выше 30°. Если загрязнения и пятна не поддаются удалению чистой водой, то загрязненные места протираются тряпками, смоченными в теплой мыльной воде. Для этого 300—400 г хозяйственного или зеленого мыла растворяются в 10 л воды.

Мыльной водой промывают только те места обшивки, которые покрыты грязными или масляными пятнами. После удаления пятен очищенное место протирают тряпками, смоченными в чистой воде, а затем вытирают насухо.

Категорически воспрещается применять для очистки самолета от грязи и масляных пятен бензин, ацетон и смывки, которые легко растворяют лакокрасочную пленку. Керосином запрещено пользоваться потому, что он оставляет на лакокрасочном покрытии жирные пятна, на которых может скапливаться пыль.

Применение керосина для удаления масляных пятен допускается, как исключение, только в жарком климате, где масляные пятна настолько сильно въедаются в лакокрасочную пленку, что отмывка их мыльной водой не достигает цели, а сухость климата обеспечивает полное испарение керосина. Очищенную керосином поверхность необходимо тщательно протереть чистой сухой тряпкой.

В зимнее время мыть обшивку самолета воспрещается. Снег, иней и влагу необходимо удалять мягкими щетками и сухими тряпками. Масляные и грязные пятна допускается протирать зимой денатурированным спиртом или лигроином (легким керосином), наблюдая за целостностью окраски в этих местах.

г) Самолеты, бывшие под дождем, необходимо тщательно вытирать сухими тряпками и окончательно просушивать, оставляя их на несколько часов в сухую погоду со снятыми чехлами и открытыми люками и дверцами. Лучшим способом просушки самолета является полет в сухую погоду.

ЛИТЕРАТУРА

Лахтин Ю. М., инж.-доц., Чулицкий Н. Н., проф.-докт., и др., Авиационное материаловедение, ч. III, 1938.

Дмитров В. В., Производство масляных лаков и олиф.

Бородулин М. В., Защита металла лаками, смазками и другими органическими веществами, 1930.

Якубович С. В., Физико-механические методы испытаний лакокрасочных материалов и покрытий, 1938.

Архангельский Б. А., Нитролаки и нитроокраски, 1932.

Киселев В. С., проф., Олифа и лаки, 1935.



ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

АВИАДРЕВЕСИНА И КЛЕЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 62. Значение древесины в самолетостроении

Несмотря на все расширяющееся применение в авиапромышленности металлов, качество которых непрерывно повышается, древесина продолжает играть значительную роль в современном самолетостроении.

Достоинства древесины, обуславливающие ее широкое применение в строительстве самолетов малого и среднего веса, сводятся в основном к следующим:

а) сравнительно высокая крепость при малом объемном весе;

б) простота обработки, не требующая применения сложного оборудования;

в) относительная дешевизна и широкая сырьевая база (СССР является страной огромных лесных массивов и располагает неисчерпаемыми запасами высококачественной авиационной древесины).

Наряду с высокими качествами древесины как авиаматериала приходится учитывать и ее отрицательные свойства, а именно:

а) неоднородность строения, которая обуславливает неодинаковую крепость древесины по различным направлениям (вдоль и поперек волокон);

б) формопластичность под влиянием атмосферных условий (усыхание, разбухание, коробление);

в) склонность к загниванию;

г) горючесть.

Некоторые из этих недостатков могут быть сведены до минимума соответствующей обработкой древесины. Так, например, неоднородность механических свойств древесины по различным направлениям устраняется изготовлением деревянных деталей не из целых брусков, а скле-

енными из тонких планок и реек, а также путем применения клееного шпона.

Предварительное высушивание и применение защитных лакокрасочных покрытий значительно снижают склонность древесины к разбуханию, усушке и короблению под действием атмосферной влаги и солнечных лучей. Кроме того, высушивание древесины и окрашивание готовых деталей с применением в некоторых случаях антисептиков (обеззараживающих веществ) препятствуют загниванию древесины и удлиняют срок службы деревянных конструкций.

Авиапромышленность предъявляет очень жесткие требования к древесине в отношении ее физических и механических свойств. Этим требованиям удовлетворяют лишь немногие из распространенных пород деревьев. Наиболее ценной породой для деревянного самолетостроения является сосна. Кроме сосны, применяются ель, липа, ясень, пихта и лиственница. Береза имеет применение в самолетостроении в виде фанеры и шпона. На изготовление воздушных винтов идут твердые породы — ясень, дуб, орех и др. Однако за последние годы, в связи с изысканием твердых покрытий для винтов, весьма широкое применение для их изготовления получили сосна, ель и другие мягкие породы.

Поступающий на самолетостроительные заводы лесоматериал подвергается тщательному контролю. В производство допускается только вполне здоровая, доброкачественная древесина без повреждений и пороков.

§ 63. Строение древесины

Растущее дерево состоит из трех основных частей: корней, ствола и кроны.

Корни служат для всасывания из почвы воды с растворенными в ней минеральными солями и для придания устойчивости дереву.

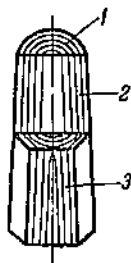
Назначение ствола состоит в том, чтобы проводить впитываемую корнями воду и сохранять запасы питательных веществ, вырабатываемых кроной.

Крона состоит из ветвей с листьями или хвоей. Листья и хвоя под действием солнечных лучей поглощают углерод из углекислоты воздуха и путем соединения его с водой, подводимой стволом, вырабатывают органические вещества (углеводы), необходимые для питания и роста дерева.

Для правильного и ясного представления о строении дерева ствол его разрезают по трем направлениям: в тор-

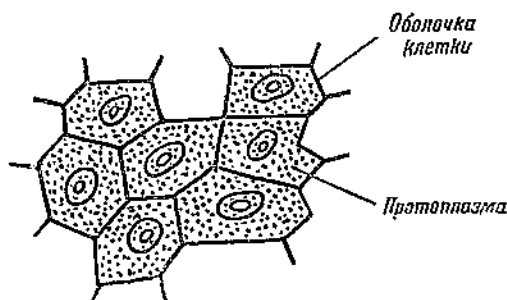
повом, или поперечном (перпендикулярно к оси ствола), в радиальном (вдоль оси ствола) и тангенциальном (параллельно оси ствола, на некотором расстоянии от нее). Такой разрез представлен на фиг. 101.

Ствол дерева состоит в основном из большого числа живых и отмерших клеток, имеющих вытянутую веретенообразную форму и располагающихся в виде волокон вдоль оси ствола. Сочетания этих клеток образуют наслоения, которые на торцовом разрезе ствола имеют вид колец неправильной формы со стенками различной толщины, а на



Фиг. 101. Основные разрезы ствола:

1 — торцовый; 2 — радиальный; 3 — тангенциальный



Фиг. 102. Растительные клетки

радиальном и тангенциальном разрезах — вид прямолинейных полос.

Кроме волокон, расположенных вдоль оси ствола, имеются еще волокна, которые идут по направлению радиусов от сердцевины к коре. Эти волокна называются сердцевинными лучами.

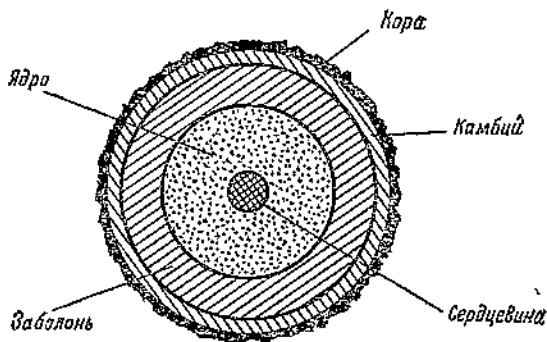
Живая клетка состоит из тонкой оболочки, целиком заполненной клеточным соком и зернистым бесцветным веществом — протоплазмой, в которой находится клеточное ядро (фиг. 102). Протоплазма и ядро состоят преимущественно из органических (белковых) веществ. Оболочка клетки состоит из вещества, называемого целлюлозой или клетчаткой.

С увеличением возраста клеток оболочки их претерпевают химические изменения, в результате чего они деревенеют и пробковеют. В старых клетках протоплазма высыхает, вследствие чего клетка отмирает.

На торцовом сечении ствола различают следующие основные части, считая от периферии к центру (фиг. 103):

кора, камбий, древесина, состоящая из заболони и ядра, и сердцевина.

Кора представляет собой наружный покров, защищающий дерево от атмосферных влияний. Она состоит из наружного пробкового слоя и внутреннего лубяного слоя, или луба. Пробковый слой образуется из отмерших заполненных воздухом клеток, обладающих очень незначительной теплопроводностью. Лубяной слой состоит преимущественно из живых клеток с толстой оболочкой, очень длинных и гибких.



Фиг. 103. Схема поперечного сечения ствола

Камбий располагается между лубом и древесной и представляет собой мягкую сочную ткань, образованную молодыми тонкостенными клетками, способными к росту и делению. В процессе роста и деления клетки камбия откладываются как по направлению к коре, так и по направлению к древесине, причем в значительно большей мере к древесине (примерно в 10 раз).

Собственно древесиной называются годовичные наслоения, расположенные концентрическими кругами между камбием и сердцевинной. Чем ближе к сердцевине, тем более старыми являются эти наслоения. В связи с этим в древесине различают два слоя — молодой и более светлый, называемый заболонью, и старый, более темный, называемый ядром. Следует, однако, отметить, что не все древесные породы имеют ядро (например клен, ольха).

Таким образом, заболонь представляет собой древесину более позднего образования, состоящую из живых и отмирающих клеток. Она содержит в себе значительно больше влаги, чем ядро, так как по заболони происходит движение воды от корней к кроне.

Ядро, расположенное ближе к сердцевине, состоит исключительно из отмерших толстостенных клеток. Ядро не принимает участия в продвижении влаги от корней к кроне. Оно служит основным каркасом ствола, несущим собственный вес дерева и воспринимающим все усилия, действующие на растущее дерево. Более темная окраска ядра по сравнению с заболонью объясняется наличием в нем смол, дубильных и других веществ.

Сердцевина помещается в центре ствола. Она представляет собою рыхлую ткань из мертвых тонкостенных клеток первичного образования, слабо связанных между собой и, следовательно, механически непрочных. Кроме того, сердцевина подвержена заболеваниям (дуплеватости). Ввиду этого сердцевина непригодна в качестве полноценного материала и обычно отбрасывается.

У многих пород деревьев и особенно у хвойных на поперечном сечении ствола можно легко различить так называемые годовые кольца, расположенные концентрическими кругами. Эти кольца образуются благодаря ежегодному приросту клеток камбияльного слоя. По числу годовых колец на торце ствола можно приблизительно определить возраст дерева.

Кроме годовых колец, на торцевом сечении ствола заметны сердцевинные лучи, которые имеют вид блестящих ленточек, идущих по радиусам от сердцевины к коре.

Древесина ядра является самой ценной частью ствола, так как она обладает наибольшей твердостью, крепостью и стойкостью против загнивания. Что касается заболони, то она уступает по своим механическим качествам ядровой части и легче подвергается гниению. Отношение между заболонной и ядровой частями древесины в стволе зависит от возраста дерева и от его породы. У молодых деревьев большую часть древесины составляет заболонь, у старых — ядро.

В самолетостроении применение заболони ограничено, и в производство допускается заболонь только некоторых пород деревьев. Заболонь сибирской лиственницы, дуба и маньчжурского ясеня в самолетостроении не допускается. Для изготовления нижних скуловых, килевых и донных стрингеров и реданного набора в лодках и поплавках гидросамолетов заболонь совершенно не допускается, независимо от породы. Заболонь сосны для сухопутных самолетов применяется без всяких ограничений. Применение заболони других пород для изготовления самолетных де-

тапей обычно отмечается в формулярах самолетов. При эксплуатации необходимо вести тщательное наблюдение за этими деталями.

§ 64. Физические свойства древесины

К физическим свойствам древесины относятся: объемный вес, влажность и формоизменяемость (коробление).

1. Объемный вес древесины

Под объемным весом понимают вес единицы объема древесины в природном состоянии. Объемный вес при влажности w определяется по формуле

$$\gamma = \frac{G_w}{V_w},$$

где G_w — вес, V_w — объем древесины при влажности w .

Объемный вес древесины одной и той же породы изменяется в весьма широких пределах в зависимости от возраста дерева и особенно от его влажности.

Для удобства сравнения объемных весов древесины разных пород условились приводить значения объемного веса к 15% влажности, что примерно соответствует нормальной влажности древесины в изделиях.

В табл. 46 указан средний объемный вес древесины главных пород, применяемых в авиастроении.

Таблица 46

П о р о д а	Объемный вес	
	в естественном состоянии (средние данные)	при влажности 15%
Сосна	0,91	0,48—0,55
Бук	0,93	0,58—0,68
Листовенница сибирская	—	0,66—0,70
Ель обыкновенная	0,85	0,39—0,47
Липа	0,77	0,48
Ясень обыкновенный	0,85	0,71—0,74
Береза	0,92	0,65—0,75
Дуб	0,93	0,80—0,73
Пихта кавказская	—	0,39—0,47

Примечание. Нижний предел относится к древесине с пониженными механическими свойствами, верхний — с повышенными.

Подавляющее большинство пород древесины имеет объемный вес меньше единицы, и только незначительная часть имеет объемный вес больше единицы (например самшит). Между тем самое вещество древесины (целлюлоза) имеет удельный вес около 1,5. Понижение объемного веса древесины объясняется наличием в ней многочисленных пор, заполненных воздухом.

Определение объемного веса древесины в авиатехнике производится преимущественно методом взвешивания. Этот метод заключается в точном взвешивании (с точностью до 0,001 г) образца древесины в виде кубика или прямоугольной призмы и точном определении его объема путем линейных измерений с точностью до 0,1 мм.

2. Влажность древесины

Влажность древесины зависит от количества содержащейся в ней воды и древесных соков, находящихся в живых клеточках.

Влажность древесины определяется в процентах или по отношению к общему весу образца (относительная влажность), или по отношению к весу образца, высушенного при 100° до постоянного веса (абсолютная влажность). В СССР, по техническим условиям на приемку авиалеся, принято определять абсолютную влажность.

Абсолютная влажность древесины вычисляется по формуле

$$W = \frac{G_w - G_0}{G_0} \cdot 100 \text{ (в процентах)},$$

где G_w — вес исследуемого образца древесины,

G_0 — вес того же образца, высушенного до постоянного веса.

Наибольшее количество влаги находится в свежесрубленном дереве. Относительная влажность у хвойных деревьев свежей рубки составляет в среднем 58%, у лиственных пород — от 37 до 55%.

Влажность в ядровой части дерева примерно в два раза меньше, чем в заболони.

Влажную древесину нельзя применять в производстве, так как влага способствует развитию грибковых заболеваний дерева (гниению). Кроме того, дерево при высыхании изменяет свою форму, поэтому детали, изготовленные из влажной древесины, неизбежно будут коробиться и растрескиваться.

На воздухе свежесрубленное дерево постепенно теряет влагу. Однако естественная сушка древесины на воздухе протекает чрезвычайно медленно. Древесина в небольших кусках высыхает в течение $1\frac{1}{2}$ лет, в бревнах — в 3—4 года. Минимальная влажность, которую можно получить путем естественной сушки древесины, составляет 15—16%.

Древесина, высушенная на воздухе в естественных условиях, называется воздушно-сухой.

Техническими условиями на древесину, поступающую в цех для изготовления самолетных деталей, установлена влажность в пределах 7—10%. Высушить авиадеревину естественным путем до этой влажности невозможно, поэтому она подвергается искусственной сушке.

Искусственная сушка производится в сушильных камерах с принудительной циркуляцией горячего воздуха. Древесина в брусках, досках или рейках укладывается в камеру штабелями. Поступающий в камеру воздух нагревается калорифером до температуры от 50 до 80° в зависимости от породы леса и степени его влажности. Чем выше начальная влажность древесины, тем ниже должна быть температура сушки, во избежание коробления дерева и образования в нем трещин. Хвойные породы допускают сушку при более высоких температурах, чем лиственные.

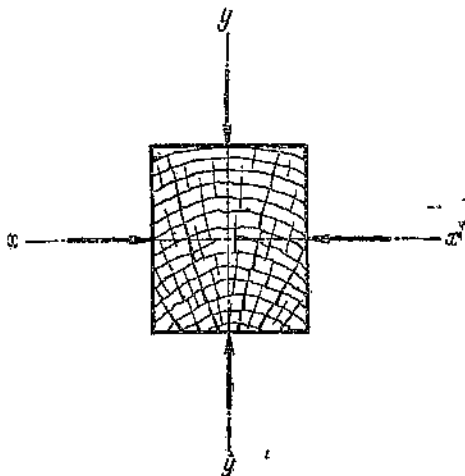
Продолжительность сушки авиационной сосны в брусках с начальной влажностью в 30—40% до требуемой влажности в 7—10% составляет от 12 до 14 суток.

3. Формоизменяемость древесины при высыхании и увлажнении

В зависимости от тех или иных атмосферных условий древесина способна или впитывать в себя влагу, или, наоборот, терять ее. Высыхание древесины сопровождается усушкой, т. е. уменьшением объема. При увлажнении древесина набухает, т. е. увеличивается в объеме.

Изменение размеров при усушке и набухании древесины неодинаково в различных направлениях. Это свойство древесины объясняется ее волокнистым строением. Выше было указано, что волокна древесины, расположенные вдоль оси ствола, состоят из длинных клеток, заполненных жидкостью. При высыхании эти клетки сжимаются по толщине, длина же их остается почти без изменения. Поэтому дерево сильно усыхает поперек волокон и очень мало — по длине их.

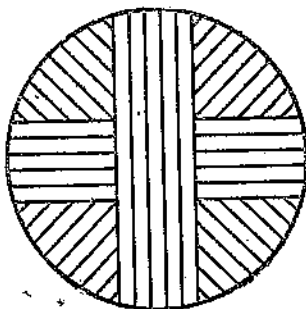
Наиболее сильно размеры деревянного бруска при высыхании сокращаются по направлению годовых колец (вдоль оси xx на фиг. 104) и менее сильно — по направлению радиусов (вдоль оси yy). Усушку по годовым кольцам принято называть тангенциальной, а по радиусам — радиальной. Радиальная усушка в 1,5—2 раза меньше тангенциальной. Это объясняется наличием сердцевинных лучей, которые препятствуют изменению размеров по направлению радиусов.



Фиг. 104. Тангенциальная и радиальная усушка древесины



Фиг. 105. Коробление доски



Фиг. 106. Радиальная распиловка кряжа

Таким образом, наиболее сильное искажение размеров древесины при усушке и набухании происходит по направлению годовых колец, более слабое — по радиусам и совсем незначительное — по направлению оси ствола.

Указанная неравномерность усушки и набухания приводит к тому, что деревянные детали при высыхании или увлажнении изменяют не только свои размеры, но и форму (коробятся). При этом возникают внутренние напряжения, которые могут вызвать образование трещин.

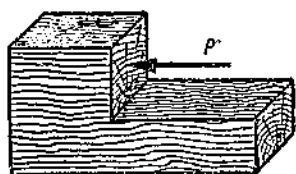
Склонность к короблению лесоматериала, получаемого при распиловке древесных стволов (кряжей), зависит от способа распиловки. Так, например, доска, вырезанная из сырого кряжа на некотором расстоянии от его оси (по хорде), искривляется при высыхании так, как показано на фиг. 105, вследствие наибольшей усушки по на-

направлению годовых колец. Чем дальше от оси ствола вырезана доска, тем сильнее она коробится. Наименьшему короблению подвержены доски, выпиленные по направлению радиусов, следовательно, радиальная распиловка (фиг. 106) обеспечивает наименьшую формонаменяемость пиломатериала.

§ 65. Механические свойства древесины

Характерным свойством древесины является неодинаковая крепость по различным направлениям. Это свойство, обусловленное волокнистым строением древесины, значительно снижает ее ценность как конструкционного материала.

Наиболее сильное сопротивление древесины оказывает растягивающим и сжимающим нагрузкам, действующим по



Фиг. 107. Срез (скалывание) вдоль волокон

направлению волокон. Если же нагрузка направлена так, что она стремится нарушить связь между волокнами, то такой нагрузке древесина оказывает очень слабое сопротивление, так как сила сцепления волокон незначительна. К нагрузкам этого рода относятся растягивающие силы, действующие поперек волокон, и срезывающие (скалывающие) силы, направленные вдоль волокон (фиг. 107).

Крепость древесины зависит в большой степени от ее влажности. Соки, наполняющие живые древесные клетки, понижают силу сопротивления волокон. При высыхании крепость древесины увеличивается, так как при этом стенки клеток затвердевают и утолщаются за счет отложения на них загустевших клеточных соков.

В самолетостроении принято считать, что у сосны с влажностью в пределах от 8 до 20% изменение влажности на 1% влечет за собой изменение крепости на 5%. Следовательно, если древесину сосны высушить с 15 до 8% влажности, то ее сопротивление на сжатие увеличивается на 35%. Эти цифры показывают, какое огромное значение для прочности конструкции имеет правильно проведенная сушка древесины.

Важнейшими показателями механических качеств древесины являются крепость на растяжение, сжатие, изгиб (статический и ударный), срез (скалывание), раскалыва-

ние и способность держать шурупы и гвозди. Из них сопротивление сжатию и изгибу — основные показатели.

Сопротивление древесины растягивающим и сжимающим нагрузкам оценивается временным сопротивлением или коэффициентом крепости, представляющим собой отношение величины нагрузки, вызвавшей разрушение образца, к площади его поперечного сечения.

Временное сопротивление древесины принято выражать в кг/см².

В табл. 47 приведены механические свойства некоторых пород древесины, находящих применение в самолетостроении.

Таблица 47

Порода	Районы	Объемный вес γ в г/см ³	Временное сопротивление в кг/см ²				
			сжатие по оси воло- кон	растяжение по оси воло- кон	сжатие поперек волокон	сжатие по оси воло- кон	кручение по оси
Осина	Европейская часть СССР	0,52	350	830	650	50	80
Ель обыкновенная	То же	0,47	320	750	600	50	80
Пихта кавказская	Кавказ	0,44	340	720	580	50	75
Листовенница сибирская	Свердловская обл., Восточная Сибирь	0,68	420	930	750	70	100
Ясень обыкновенный	Европейская часть СССР	0,71	400	1 100	820	85	120
Ясень маньчжурский	Дальний Восток .	0,68	350	1 000	750	80	110
Дуб	Европейская часть СССР	0,70	400	1 000	740	70	100
Бук	Кавказ	0,65	390	980	730	75	120
Береза черная и желтая	Дальний Восток .	0,73	450	1 200	850	80	130
Липа	Европейская часть СССР	0,48	270	600	470	50	75

1. Крепость древесины на растяжение

Сопротивление древесины растягивающим нагрузкам, действующим вдоль волокон, значительно больше всех других видов сопротивления. Так, например, у хвойных деревьев временное сопротивление при растяжении вдоль волокон в 2—2,5 раза больше, чем при сжатии вдоль волокон, и в 15—17 раз больше, чем при скалывании.

Однако использовать в полной мере это качество древесины не представляется возможным, так как для передачи деревянному стержню растягивающего усилия необходимо очень сильно сдавить концы стержня. Сильное сдавливание концов приводит к перерезыванию волокон древесины. Практически же разрушение древесины наступает в результате скалывания и смятия раньше, чем волокна успеют быть перерезанными.

Совсем слабое сопротивление оказывает древесина растягивающим нагрузкам, действующим поперек волокон, вследствие того что сила сцепления между волокнами очень незначительна. Временное сопротивление древесины при таком нагружении в 10—20 раз меньше, чем при растяжении вдоль волокон.

2. Крепость древесины на сжатие

Сжатие и изгиб являются наиболее часто встречающимися случаями нагружения элементов деревянных конструкций. Отсюда следует, что временное сопротивление на сжатие служит очень важным показателем механических качеств древесины.

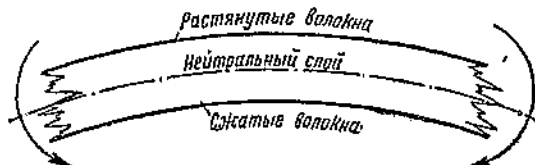
Типичным примером работы на сжатие является работа самолетных стоек. Вследствие того что длина стойки во много раз превышает размеры ее поперечного сечения, стойка под действием сжимающей силы стремится выгнуться и переломиться. Такая деформация, в отличие от чистого сжатия (сплющивания) коротких брусков, называется продольным изгибом.

При сжатии, так же как и при растяжении, древесина оказывает значительно меньшее сопротивление сжимающей нагрузке, действующей поперек волокон, чем нагрузке, направленной вдоль волокон. В первом случае крепость на сжатие в 5—10 раз меньше, чем во втором.

Испытания на сжатие производятся при помощи специальных прессов. Испытуемым образцам придают призматическую форму с размерами $20 \times 20 \times 30$ мм. Стандартная влажность образцов установлена в 15%.

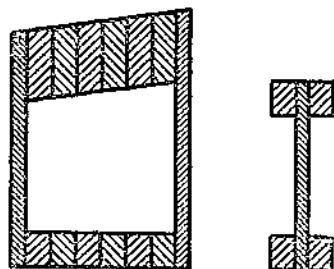
3. Крепость древесины на изгиб

Многие детали самолета подвергаются изгибу, как например лонжероны крыльев и фюзеляжа, нервюры и т. д.

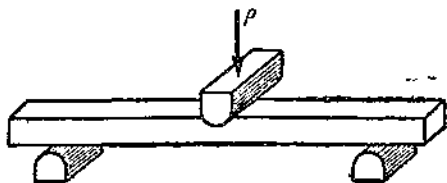


Фиг. 108. Напряжения в изогнутой балке

Всякий призматический стержень, работающий на изгиб, принято называть балкой. При изгибе часть волокон балки испытывает растяжение, а другая часть — сжатие (фиг. 108). Растянутыми являются те волокна, которые прилегают к выпуклой стороне изогнутой балки. Волокна, расположенные в вогнутой части балки, испытывают сжатие. Область растянутых волокон отделяется от области сжатых волокон так называемым нейтральным слоем, в котором лежат волокна, не испытывающие ни растяжения, ни сжатия. Более других растянуты и сжаты те волокна, которые наиболее удалены от нейтрального слоя.



Фиг. 109. Коробчатые и двутавровые профили



Фиг. 110. Схема испытания древесины на изгиб

Волокна, расположенные вблизи нейтрального слоя, работают очень мало, поэтому, если удалить часть материала у нейтрального слоя, то этим достигается значительное облегчение веса балки при очень малом уменьшении ее прочности на изгиб. На этом основании древеси-

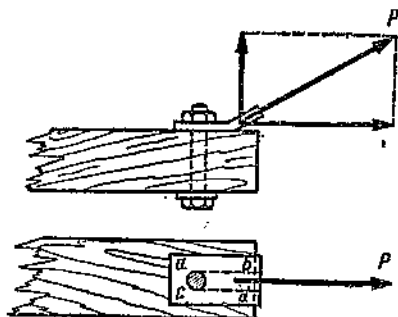
ным балочным лонжеронам и нервюрам самолета придают коробчатые и двутавровые профили (фиг. 109), которые более выгодны с точки зрения использования материала, чем сплошные круглые, квадратные и прямоугольные профили.

Испытание древесины на изгиб заключается в том, что призматический образец размером $20 \times 20 \times 300$ мм кладется на две опоры и нагружается посередине между опорами (фиг. 110). Постепенно увеличивая нагрузку, образец доводят до излома. При этом разрушение начинается или в крайних сжатых волокнах образца в виде отслаивания и переламывания волокон, или в крайних растянутых волокнах, в результате их разрыва.

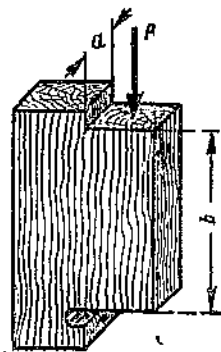
Авиадревесина хорошего качества, без сучков и повреждений, работает на изгиб лучше, чем на сжатие. Ее временное сопротивление при изгибе примерно в 2 раза больше, чем при сжатии.

4. Крепость древесины на скалывание

В авиационных конструкциях деревянные элементы очень часто работают на скалывание (срез) вдоль волокон, как например в болтовых соединениях деревянных



Фиг. 111. Болтовое соединение



Фиг. 112. Образец для испытания древесины на скалывание

и металлических деталей (фиг. 111). В таких соединениях напряжение скалывания возникает по двум плоскостям — ab и cd , на участке от отверстия болта до торца деревянного бруска.

Испытание древесины на скалывание производится над образцами ступенчатой формы (фиг. 112). Временное со-

противление при скалывании определяется как частное от деления разрушающей нагрузки P в килограммах на площадь скалывания в квадратных сантиметрах. Эта площадь представляет собой прямоугольник с размерами $a \times b$.

Прочность древесины на скалывание вдоль волокон сравнительно невелика. Так, например, у сосны временное сопротивление на скалывание в 7 раз меньше, чем на сжатие вдоль волокон.

5. Способность древесины держать шурупы и гвозди

Соединение деревянных деталей самолетов производится как склеиванием, так и с помощью гвоздей и медных шурупов. Для большей прочности соединения и для предохранения от коррозии гвозди применяются омедненные, луженые или оцинкованные.

Способность древесины держать шурупы и гвозди характеризуется величиной силы, необходимой для их выдергивания. У твердых пород эта способность выше, чем у мягких.

§ 66. Дефекты древесины

Авиационная промышленность предъявляет к древесине весьма жесткие требования в отношении различного рода дефектов, понижающих ее качество. Если размеры дефектов входят за пределы, предусмотренные техническими условиями, то древесина в производство не допускается.

Все многочисленные дефекты, свойственные древесине, можно разделить на три группы: а) дефекты строения, образующиеся в процессе роста дерева, б) дефекты гнилостного характера, вызванные грибковым поражением древесины, и в) дефекты, причиняемые насекомыми.

1. Дефекты строения древесины

Основными дефектами этой группы являются косослой, свилеватость, волнистость и сучковатость.

Косослоем называется расположение древесных волокон не параллельно оси ствола, а по винтовым линиям (фиг. 113). Причины образования косослоя в растущем дереве в точности не установлены. Косослой встречается у деревьев всех пород, но чаще всего у дуба и сосны. При распиловке косослойных стволов неизбежно происходит перерезывание волокон, вследствие чего пиломатериал получается с пониженными механическими свойствами.

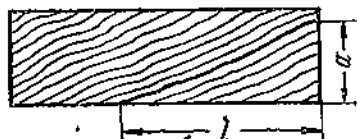
Величина косослоя оценивается процентным отношением отклонения волокон от прямого направления (размер a на фиг. 113) к длине, соответствующей этому отклонению (размер l).

Процент косослоя подсчитывается по формуле

$$\frac{a}{l} \cdot 100 \text{ (в процентах).}$$

В мелких клееных самолетных деталях допускается косослой не выше 3%, во всех прочих авиадеталях — не выше 5%.

Свилеватость характеризуется путанным расположением волокон (фиг. 114). Свилеватость встречается у деревьев всех пород и является следствием механических повреждений или заболеваний дерева. Пиломатериал, полученный



Фиг. 113. Косослой



Фиг. 114. Свилеватость

из свилеватого дерева, имеет низкие механические свойства вследствие перерезывания волокон при распиловке. Свилеватая древесина в авиастроении не допускается.

Волнистость характеризуется волнообразным (ступенчатым) расположением волокон по годовым кольцам. Волнистость допускается в самолетостроении с ограничениями. У граба волнистость не считается пороком и является природным нормальным фактором роста.

Сучковатость является наиболее распространенным дефектом древесины.

Сучки вызывают искривление волокон древесины и сильно уменьшают ее крепость. Пониженная крепость сучковатой древесины по сравнению с бессучковой особенно сильно сказывается при работе деревянных деталей на сжатие вдоль волокон и на изгиб. Большое значение при изгибе имеет не только количество и размеры сучков, но и расположение их. Балка может оказаться чрезвычайно непрочной, если сучки находятся вблизи ее «опасного» сечения, в котором напряжение от изгиба достигает максимальной величины.

Сучки разделяются на здоровые, вполне сросшиеся с окружающей древесной, и на сучки, пораженные гнилью. Последние в зависимости от степени загнивания называются ивлевыми, крапивыми и табачными сучками.

Большое количество сучков в кряже сильно уменьшает выход бессучковых пиломатериалов. В авиационных досках допускаются только вполне здоровые, т. е. вполне сросшиеся сучки, в очень ограниченном количестве. В готовых самолетных деталях присутствие сучков, хотя бы и здоровых, совершенно не допускается.

2. Дефекты древесины гнилостного характера

Гниение древесины происходит вследствие поражения ее различными грибами. Питательной средой для грибов являются вещества, находящиеся в клетках древесины, причем пораженные грибами клетки теряют связь с соседними клетками. Гриб состоит из очень тонких бесцветных нитей — гиф, образующих своим сплетением мицелий (или грибницу) войлочного или паутинного строения.

При температуре воздуха выше 40—50° и ниже 2° грибки развиваться не могут. При наличии влажного застойного воздуха гниение протекает чрезвычайно быстро.

Для предохранения деревянных самолетных конструкций от загнивания огромное значение имеет предварительное высушивание дерева, так как при влажности ниже 20% древесина гниению не подвержена. При увлажнении стойкость древесины против загнивания резко понижается, поэтому в процессе эксплуатации самолета необходим тщательный уход за деревянными деталями, чтобы предупредить поражение их грибами. Особенно внимательное наблюдение необходимо вести за деталями, изготовленными с применением заболони, так как заболонная древесина подвержена действию грибов в большей степени, чем ядровая.

Разновидности грибов, вызывающих разрушение дерева, чрезвычайно многочисленны. Особенно распространенным грибковым заболеванием является так называемая синева, которая появляется на поверхности древесины в виде серо-синих пятен. Синева поражает главным образом древесину хвойных пород и сравнительно редко — лиственных.

Распространение синева вглубь происходит чрезвычайно быстро и сопровождается понижением механических

свойств древесины. Лучшим средством борьбы с синевой является быстрая сушка материала.

Древесина с признаками синевы в производство самолетных деталей не допускается. В условиях эксплуатации самолетов случаи поражения деревянных деталей синевой наблюдаются очень часто.

Наиболее опасен для древесины так называемый домовый грибок, который может поражать все хвойные и лиственные породы, но в особенности ель и сосну. Он появляется в виде белых хлопьевидных пятен с капельками жидкости на них. Заболевшая домовым грибком древесина приобретает бурый цвет, растрескивается и распадается на небольшие куски.

Поверхность древесины часто поражается плесенью, имеющей вид серого, зеленого или розового налета. Плесень не распространяется в глубь древесины, поэтому она не понижает ее крепости. Появление плесени указывает на неблагоприятное состояние древесины и на возможность легкого поражения ее более опасными вредителями.

3. Дефекты древесины, причиняемые насекомыми

Древесина может подвергаться нападению жучков и их личинок, которые прокладывают в древесине свои ходы, делая ее непригодной для целей авиастроения. Разнообразностей таких жучков существует очень много (короед, жулки-дровосеки и др.).

Деревянные подводные части морских судов и гидросамолетов обрастают раковинами и подвергаются нападению особых червей, называемых шапелами. Шапелы протачивают в древесине глубокие ходы и быстро разрушают ее.

§ 67. Породы авиадревесины

Наибольшее применение в авиастроении имеют следующие породы деревьев: из хвойных пород — сосна, пихта, ель и лиственница, из лиственных пород — липа, ясень, береза (в виде шпона и фанеры), дуб, бук и др.

Сосна. Сосна является основным материалом в деревянном самолетостроении. Она идет на изготовление наиболее ответственных деталей самолета: полок лонжеронов крыльев и оперения, полок нервюр, лонжеронов и стрингеров фюзеляжа, стоек, разных планок и бобышек. Детали самолетов деревянной конструкции изготавливаются на 70—75% из сосны.

Сосна имеет крепкую, легкую, но мало гибкую древесину. Сосновая древесина мало сучковата и очень смолиста. Лучший возраст сосны для самолетостроения — 120—180 лет для средней полосы и 150—250 лет для северной.

Ель. По сравнению с сосной ель обладает пониженными механическими качествами, поэтому она применяется для менее ответственных деталей (полки нервюр и разные подделки).

Ель имеет древесину мягкую, сучковатую, легко колющуюся и мало смолистую. В атмосферных условиях она сохраняется хуже, чем сосна.

Пихта. Кавказская пихта представляет собой очень ценный материал для производства деревянных частей самолета. Она может идти на те же детали, что сосна и ель. Обладая теми же механическими показателями, что и сосна, пихта имеет меньший объемный вес и дает более высокий выход пиломатериалов.

Лиственница. Лиственница обладает высокой прочностью и является наиболее влагонепроницаемой породой. Она очень тверда и в воде мало намокает. С успехом применяется для обшивки поплавков и лодок гидросамолетов.

Липа. Липа является одной из наиболее мягких и легких пород. Применяется для неответственных деталей, а также в тех случаях, когда требуется сопротивление раскалыванию от гвоздей, например для угольников крепления нервюр к лонжеронам, вертикальных и наклонных диафрагм лонжеронов, внутренних планов рам и т. д.

Ясень. Ясень принадлежит к числу твердых пород. Его древесина обладает большой упругостью и гибкостью. Ясень применяется главным образом для гнутых (после распаривания) деталей, например для ободков и дужек шпангоутов фюзеляжей, для ободков крыльев, стабилизатора и турельных колец, полоза лыж и т. д.

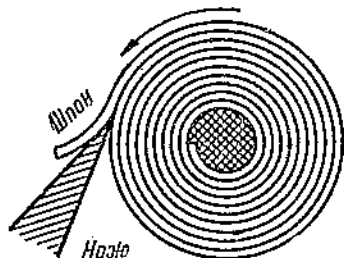
§ 68. Шпон и фанера

Шпон, или однослойная фанера, представляет собой тонкий лист древесины, полученный срезанием с кряжа на лущильном станке (фиг. 115). Перед лущением кряж пропаривается.

В авиастроении применяется только березовый шпон толщиной от 0,4 до 1,5 мм. Он идет на обшивку фюзеляжей типа монокок, имеющих поверхность двоякой кривизны, и на фанеру.

Фанера, или переклейка, представляет собой листы, склеенные из нечетного числа слоев шпона. Направления волокон в двух смежных слоях шпона взаимно перпендикулярны.

Фанера имеет обширное применение в деревянном самолетостроении. Она идет на обшивку фюзеляжей, крыльев, хвостового оперения, лодок, поплавков и лыж, на изготовление стенок лопастей пропеллеров и перьев, склеенных силовых рам, шпангоутов и т. д.



Фиг. 115. Лущение шпона

Авиафанера готовится толщиной от 1 до 10 мм и более с числом слоев шпона от 3 до 9. Внешние слои шпона называются рубашкой фанеры. Размеры листов авиафанеры колеблются в пределах от $1\,000 \times 800$ мм до $1\,524 \times 1\,524$ мм.

Число слоев шпона в березовой фанере, в зависимости от ее толщины, и временное сопротивление ее на растяжение вдоль и поперек волокон указаны в табл. 48.

Таблица 48

Толщина фанеры в мм	Число слоев шпона	Временное сопротивление в кг/см ²	
		вдоль волокон рубашки	поперек волокон рубашки
1—3	3	680	350
4	3	650	350
5	3	620	350
5—6	5	620	450
8	5	610	450
8—10	7	610	450
10	9	610	450

Из этой таблицы видно, что по мере увеличения числа слоев шпона разница между прочностью фанеры на разрыв вдоль и поперек волокон рубашки уменьшается. Таким образом, фанера обладает значительно большей однородностью механических свойств по различным направле-

ниям, чем древесина, у которой крепость на растяжение вдоль волокон в 10—20 раз больше, чем поперек волокон. Это свойство фанеры, обусловленное взаимно перпендикулярным расположением волокон в чередующихся слоях шпона, является основным ее преимуществом по сравнению с древесиной.

В авиастроении применяется главным образом березовая фанера, так как из березы, благодаря большой однородности ее структуры, шпон и фанера получают наиболее высокого качества. Указанная однородность обусловлена отсутствием у березы резкого разделения годовых слоев ствола на зоны весенней и летней древесины.

Листы шпона при изготовлении авиафанеры склеиваются преимущественно казеиновым клеем. Этот клей готовится на основе казеина (творога), получаемого из коровьего молока. Казеиновый клей отличается большой водонепроницаемостью и крепостью.

Для авиафанеры толщиной в 1 и 1,5 мм допускается склейка альбуминовым клеем,готавливаемым из крови животных. Более толстая фанера склеивается исключительно казеиновым клеем.

Применение альбуминового клея требует горячей склейки листов шпона с нагревом их до 120—130°. При этой температуре происходит полное свертывание белковых веществ, из которых состоит альбуминовый клей. Горячая склейка заключается в том, что промазанные клеем листы шпона прессуются между плитами прессы, обогреваемыми паром.

Альбуминовый клей обладает высокой водостойкостью и крепостью. Однако под влиянием сырости в условиях переменной температуры он может загнивать.

Склейка фанеры казеиновым клеем производится холодным способом.

Авиафанера в зависимости от качества шпона и наличия дефектов склейки и отделки делится на три сорта: «Прима», сорт А и сорт А-1. Сорт «Прима» должен удовлетворять наиболее высоким техническим требованиям, для сортов А и А-1 требования несколько снижаются.

За последние годы широкое применение в самолетостроении получила облагороженная древесина, например фанера, склеенная бакелитовым клеем. Бакелит представляет собой искусственную смолу, получаемую в виде полужидкой массы при взаимодействии карболовой кислоты (фенола) с формалином. При растворении этой массы в этиловом спирте получается бакелитовый клей (спирто-

вой бакелитовый лак). Бакелитовый клей отличается высокой прочностью и антисептическими свойствами, т. е. он не подвержен разрушению грибками.

Склейка фанеры бакелитовым клеем может производиться двумя способами.

Первый способ состоит в том, что между листами шпона прокладываются листы бумаги, пропитанные бакелитовым клеем. Склейка производится запрессовкой шпона между плитами гидравлического пресса, нагретыми до $140-150^{\circ}$. При этой температуре бакелит сначала расплавляется, а затем переходит в твердое состояние, одновременно склеивая листы шпона.

Второй способ склеивания осуществляется без применения бумажных прокладок. По этому способу листы шпона предварительно пропитываются бакелитовым клеем, а затем прессуются между горячими плитами пресса. При этом фанера получается с блестящей ровной поверхностью, не требующей дополнительной лакировки.

Так называемая армированная фанера представляет собой лист обыкновенной фанеры, покрытый на клею тонким металлическим листом с одной или с двух сторон. Армированная фанера отличается высокой прочностью и стойкостью против атмосферных влияний, однако широкого применения в самолетостроении она еще не получила.

Облагороженная древесина изготавливается не только в виде листов (фанеры), но и в виде плит, из которых могут нарезаться заготовки всевозможной формы.

В СССР вырабатываются три типа облагороженной древесины: аксид (расшифровка: авиационная клееная смолой листовая древесина), боллит и дельта-древесина. Эти материалы получают путем склеивания и пропитки листов шпона смолами.

Дельта-древесина выполняется из чередующихся слоев: 10 листов шпона толщиной $0,5-0,7$ мм, расположенных волокнами вдоль рубашки (наружных листов шпона), и одного листа, располагаемого волокнами поперек рубашки. Пропитанный бакелитом древесина склеивается под давлением $100-170$ кг/см² в течение некоторого времени (7 мин. на каждый миллиметр толщины материала).

Все поры и клетки древесины заполняются бакелитом; в связи с этим прочность и объемный вес древесины увеличиваются. Дельта-древесина имеет объемный вес $1,30-1,35$ кг/см³, временное сопротивление разрыву $3400-3480$ кг/см², сжатю — $2100-2200$ кг/см².

Дельта-древесина находит применение в производстве силовых элементов конструкции самолета и открывает широкие перспективы для замены цветных металлов деревом в производстве винтов.

§ 69. Клеящие материалы

Соединение деревянных элементов при помощи склейки имеет огромное значение в самолетостроении. Склейка дает возможность получать деревянные детали с более равномерными механическими свойствами по различным направлениям. Кроме того, целесообразное расположение волокон в склеенных элементах уменьшает склонность деревянных деталей к короблению при увлажнении и высыхании. Наконец, при изготовлении деталей не из целых брусков, а из отдельных частей, склеенных из тонких планок или реек, облегчается подбор наиболее доброкачественного материала, без пороков и повреждений.

В качестве клеящих материалов в столярном деле применяются кожный (столярный) клей и казеиновый клей.

1. Столярный клей

Сырьем для приготовления столярного клея служат обрезки шкур и сыромятных кож, мездра и другие отходы кожевенного производства и боев. Для получения клея это сырье вываривается, полученный клеевой раствор сгущается путем выпаривания остатков воды, разрезается на плитки и высушивается. Готовый столярный клей имеет вид пластин от светложелтого до коричневого цвета.

Столярный клей обладает очень высокой склеивающей способностью. Прочность клевого соединения может быть даже больше прочности целой древесины. Отрицательными свойствами этого клея являются очень малая водостойкость и склонность к быстрому загниванию. По этой причине столярный клей в самолетостроении применяется только для склеивания неответственных деталей, не подвергающихся действию влаги и атмосферным влияниям.

Для приготовления клевого раствора столярный клей сначала размачивается в холодной воде до полного размягчения. При этом берут на 1 часть клея от 1,5 до 2 частей воды. Затем клеевой раствор нагревается в водяной бане (клеянке) до температуры не выше 75—80°. Нагре-

вание производится до тех пор, пока клей полностью не растворится.

Температура клевого раствора при склеивании должна быть около 70°. Запрессовка склеиваемых деталей струбцинками или другими приспособлениями после нанесения клея должна производиться без промедления, так как столлярный клей быстро застывает. Склеенные детали выдерживаются под прессом около 24 час.

2. Казеиновый клей

Казеиновый клей обладает большой водоупорностью и крепостью, поэтому является наилучшим клеевым материалом для деревянных деталей самолета. Казеиновый клей изготавливается в виде порошка, главной составной частью которого является казеин. Казеин получается из обезжиренного (снятого) коровьего молока действием слабого раствора уксусной, серной или соляной кислоты. При этом из молока осаждается казеин (творог), который затем высушивается и размельчается.

В состав казеинового клея, помимо казеина, входят гашеная известь, сода и некоторые специальные добавки. Авиационный казеиновый клей в порошке состоит из следующих компонентов:

Казеина	100 частей
Гашеной извести	22—25 >
Соды	18—20 >
Специальных добавок (медного купороса и др.)	4—6 >
Керосина	1 часть

Назначение гашеной извести заключается в том, что она придает клею водоупорность. Сода способствует растворению казеина в воде при приготовлении клевого раствора.

Для увеличения стойкости против загнивания в казеиновый клей вводят антисептические вещества.

Клеевой раствор готовится путем размешивания порошкообразного клея в воде комнатной температуры до консистенции сметаны.

Приготовленный клеевой раствор пригоден к употреблению только в течение 4 час., после чего он густеет и теряет склеивающую способность. Загустевший клей не поддается разжижению водой, поэтому неиспользованный клей приходится выбрасывать.

до
не
по
пр
ты
ре
де

кл
ск
кл
та
пр

осн
стр
ляе
ков
Е
час
за
соб
вла
у
жен
ват
стал
отн
кром
лон
Е
чере
ную
нер
был
кры
Вс
самс
как
откр
накр

Деревянные детали склеиваются казеиновым клеем холодным способом. Для получения прочного соединения из клеевой раствор, при склеиваемые детали не должны подогреваться. После склейки детали выдерживаются под прессом в течение 4—6 час. Обработка на станках вынутых из-под пресса деталей начинается не раньше чем через 24 часа. Для гнутых незамкнутых деталей срок выдержки под прессом несколько увеличивается.

Применяемые в производстве авиафанеры альбуминовый клей и бакелитовый клей не могут быть использованы для склейки деревянных деталей самолета, так как эти сорта клея требуют горячей склейки с подогревом до 120—150°. Такая высокая температура нагрева в данном случае неприемлема.

§ 70. Уход за деревянными деталями самолетов

Дерево, фанера, казеиновый клей и полотно служат основными материалами для самолетов деревянной конструкции. Крупнейшим недостатком этих материалов является их недолговечность вследствие склонности к грибковым заболеваниям (гниению).

Возможность разрушения в эксплуатации деревянных частей самолета грибами зависит от тщательности ухода за самолетом и от условий его хранения. Факторами, способствующими интенсивному развитию грибов, являются влага, тепло и застойный воздух.

У деревянных самолетов загниванию наиболее подвержены те внутренние части, на которых может накапливаться влага, а естественная циркуляция воздуха недостаточна для быстрой просушки увлажненных мест. Сюда относятся в первую очередь задние лонжероны и задние кромки крыльев и центроплана, консоли нервюр, нижние лонжероны фюзеляжа в хвостовой части и под полом кабины.

Если вода попадает внутрь крыла, то часть ее стекает через шпетоны, большая же часть впитывается в полотняную обшивку и прокладочные ленты, наклеенные на полки нервюр. В этом случае развитие грибов идет особенно быстро благодаря наличию застойного воздуха внутри крыла.

Во избежание проникновения влаги во внутренние части самолета необходимо плотно закрывать все заслонки в люках плоскостей и фюзеляжа. При хранении самолета под открытым небом центроплан, хвостовое оперение и кабины накрываются специальными чехлами.

При попадании влаги внутрь самолета нужно протереть насухо влажные места чистыми тряпками и просушить самолет, сняв все чехлы и открыв люки. Просушка самолета на солнце не допускается.

Для предохранения от загнивания внутренние деревянные детали самолета лакируются лаком № 17а с добавлением антисептика. Исправное содержание защитного лакового слоя и своевременное его подновление в процессе эксплуатации обеспечивают максимальный срок службы самолета. При повреждении лаковой пленки обнаженную поверхность древесины пропитывают 5% раствором формалина в спирте, после чего просушивают и дважды покрывают лаком.

Деревянные части самолета наиболее часто поражаются грибами, вызывающими синеву. Посинению особенно подвержены детали, изготовленные из заболонной древесины.

При обнаружении синевы нужно немедленно принять меры к ее удалению. Если пятно синевы не превышает в длину 100 мм и не проникает в глубину больше чем на 0,5 мм, допускается протравка пораженного места антисептиком. В случае более сильного посинения деталь подлежит замене.

В качестве антисептика применяется 0,5% раствор динитрофенола в ацетоне или бензоле (1 г динитрофенола на 200 г ацетона или бензола). Этот раствор убивает грибки и не влияет на механическую прочность древесины. В качестве антисептика при устранении синевы может применяться также 10% спиртовой раствор формалина.

Перед протравкой антисептиком лаковая пленка зачищается стеклянной шкуркой на площади, вдвое большей участка синевы. После этого деталь нужно хорошо просушить, выдерживая ее в течение 5—7 суток в сухом помещении. Протравку следует обязательно производить в закрытом помещении. На зачищенную поверхность накладывается смоченный антисептиком слой ваты, к которому подводится фитиль от сосуда с антисептиком. Вата покрывается клеенкой для предохранения от испарения. Протравка длится в течение 4—5 час. После протравки деталь высушивается в течение 12 час. и покрывается одним слоем масляного лака № 17а.

Березовая фанера и шпон еще более подвержены загниванию, чем древесина заболони. Это объясняется тем, что края, которые идут на лущение шпона, не подвергаются

искусственной сушке, применяемой для древесины в брусках, досках и рейках. При изготовлении фанеры шпон склеивается казенным клеем в холодном состоянии. Таким образом, шпон и фанера холодной клежки в процессе изготовления не подвергаются действию высоких температур, следовательно, находящиеся в них грибки не уничтожаются и могут развиваться под слоем лака. Что касается фанеры, склеенной альбуминовым клеем, то она подвержена сильному разрушению по причине малой стойкости самого альбуминового клея против загнивания. Внешним признаком загнивания фанеры под слоем лака является вспучивание лаковой пленки на пораженном месте.

Несмотря на защитные покрытия, влажность деревянных деталей самолета подвержена колебаниям в зависимости от внешних атмосферных условий. Резкое изменение влажности может вызвать настолько сильное коробление древесины, что в ней образуются трещины. Появление трещин в деревянных частях самолета является фактом не менее серьезным, чем загнивание.

Трещины образуются очень часто в местах склейки. При длительном намокании клееной детали клей набухает и вымывается. Таким образом, в местах склейки появляются щели, в которых может застывать влага, в результате чего деталь поражается гнилью.

Появление трещин наиболее часто наблюдается в лонжеронах фюзеляжа. Мелкие несквозные трещины, имеющие в ширину не более 0,1 мм и в длину не более 100 мм, можно заделывать, заполняя их казенным клеем. В верхних лонжеронах фюзеляжа никакие трещины не допускаются. В случае их появления самолет надлежит отправить в ремонт.

Большую опасность представляют трещины в лонжеронах крыльев. Эти трещины можно обнаружить по складкам полотняной обтяжки. При малейшем подозрении обтяжку нужно вскрыть и тщательно осмотреть лонжероны.

Деревянные лыжи самолетов в значительной степени подвержены атмосферным влияниям. Загнивание полоза и внутреннего набора лыжи вызывает потерю прочности, в результате чего полоз может быть продавлен козелком.

Для защиты от впитывания влаги и для предохранения от примерзания к снегу полоз лыжи покрывается бесцветным нитролаком. Однако это покрытие быстро стирается

и требует восстановления через 4—6 час. руления. В настоящее время начинает применяться новое специальное покрытие для полоза лыж, называемое «Лир».

Хранить лыжи в летнее время необходимо в сухом, прохладном, хорошо вентилируемом помещении.

ЛИТЕРАТУРА

Ляхтин Ю. М., инж.-доц., Чулпцкий Н. Н., проф.-доцт., и др., Автационное материаловедение, ч. II, 1938.

Перелыгин Л. М., доц., и Певцов А. К., проф., Механические свойства и испытание древесины.

Информационный сборник ВИАМ, 7 (Август).

Валин С. И., Древесиноведение, 1934.

Пороки древесины, ОСТ 8719, 1934.

Селюгин Н. С., Сушка древесины, 1936.



Т
кр
лы
Д
льн
П
кам
нан
обт
пре
про
П
пос
сфе
аэро
В
пит
или
утк
П
цес
а)
и х
б)
на
Д
вид
ваем
теп

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

САМОЛЕТНЫЕ ТКАНИ

§ 71. Назначение авиатканей и их характеристики

Ткани применяются в самолетостроении для обтяжки крыльев и хвостового оперения и для оклейки фюзеляжей, лыж, винтов и лодок гидросамолетов.

Для обтяжки и оклейки самолетов применяются как льняные ткани (полотно), так и хлопчатобумажные.

По сравнению с фанерными и металлическими обшивками крыльев и оперения полотняная обшивка является наиболее легкой. Вместе с тем применение полотна для обтяжки несущих поверхностей представляет большие преимущества в отношении простоты производственного процесса и легкости ремонта в эксплуатации.

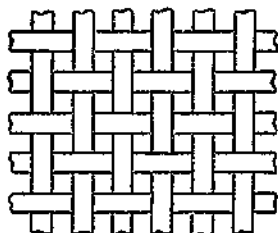
Полотняная обшивка не обладает достаточной прочностью, влагонепроницаемостью и стойкостью против атмосферных влияний, поэтому ее пропитывают и покрывают аэролаками (эмальтами).

Все ткани изготавливаются из продольных и поперечных ниток. Продольные нитки называются основными нитками или основой, а поперечные — уточными нитками или утком.

Производство тканей состоит из двух основных процессов:

- а) пряжи, или приготовления из волокон (льняных и хлопчатобумажных) основной и уточной пряжи, и
- б) ткачества, т. е. переплетения основных и уточных ниток на ткацких станках для получения ткани.

Для авиационных тканей применяется наиболее простой вид переплетения основных и уточных ниток — так называемое полотняное, или гарнитуровое, переплетение (фиг. 116). Это переплетение обеспечивает наиболь-



Фиг. 116. Полотняное, или гарзитутовое, переплетение

шую однородность ткани в отношении крепости на разрыв по основе и по утку.

Нанесение так называемых аппретирующих веществ на авиационные ткани для придания им блеска не допускается, так как эти вещества понижают прочность ткани, способствуют ее загниванию и препятствуют пропитке аэролаком.

Качество авиатканей характеризуется следующими физико-механическими свойствами:

а) крепостью на разрыв по основе и по утку;

б) удлинением при разрыве;

в) плотностью переплетения основных и уточных ниток;

г) весом единицы площади ткани (1 м²).

Физико-механические свойства льняных авиатканей указаны в табл. 49.

Таблица 49

Марка ткани	Крепость на разрыв по основе и утку в кг/м (не менее)	Удлинение при разрыве по основе и утку в % (не более)	Вес 1 м ² в авиатканей 8,5% (не более)	Плотность ткани (число ниток на 5 см)			
				по основе		по утку	
				максимум	минимум	максимум	минимум
АЛЛ	1 200	10	165	123	117	135	120
АЛВК	1 800	10	220	105	95	120	108
АЛР	800	—	125	100	80	95	85

Ткани марки АЛЛ (авиационная льняная легкая) и марки АЛВК (авиационная льняная высшей крепости) применяются для обтяжки самолетов.

Ткань АЛР (авиационная льняная разреженная) предназначена для оклейки деревянных деталей самолета (фюзеляжей, лыж, винтов и т. д.).

Кроме льняных авиатканей, наша текстильная промышленность выпускает авиационные хлопчатобумажные ткани из высококачественного египетского хлопка, культивируемого на юге СССР.

Физико-механические свойства этих тканей приведены в табл. 50.

Таблица 50

Марка ткани	Крепость на разрыв в кг/м		Удлинение при разрыве в %		Вес 1 м ² в 2 при влажност- и 6,5% (не более)	Плотность ткани (число ниток на 5 см)			
	основа	уток	основа	уток		по основе		по утку	
						макс- мум	мин- мум	макс- мум	мин- мум
	не менее		не более						
АМ 100	1 250	1 150	13	13	127	168	160	164	150
АМ 93	1 500	1 400	14	14	153	168	160	164	150
АСТ 100	1 800	1 750	16	19	195	113	108	114	106

Крепость ткани на разрыв выражается в килограммах на 1 м ширины (кг/м). Наиболее важное требование, предъявляемое к авиационному полотну, заключается в том, что крепость его по основе должна быть равна крепости по утку.

Это требование обусловлено тем, что при обтяжке крыла основные нитки принято располагать не параллельно хорде крыла, а под углом в 45°. Такое расположение ниток выгодно в том отношении, что оно обеспечивает наименьшее провисание ткани между первурами. Очевидно, что основа и уток работают в этом случае в условиях одинакового нагружения, поэтому крепость ткани по основе должна быть равна крепости по утку.

Испытания тканей на крепость производятся на разрывной машине Шоппера. Испытуемым образцам придают вид полосок шириной 50 мм. Расстояние между зажимами разрывной машины устанавливается в 200 мм. Крепость полоски шириной в 50 мм пересчитывается на ширину 1 м. Одновременно с испытанием образца на крепость определяется его разрывное удлинение в процентах.

Удлинение авиаткани при разрыве должно быть минимальным как по основе, так и по утку. Для льняных тканей разрывное удлинение не должно превышать 10%. Это требование обусловлено тем, что ткань, обладающая большим удлинением, способна давать значительное провисание на остовах самолета. Кроме того, большое удлинение ткани в условиях полета создает возможность растрескивания аэролаковой пленки, нанесенной на ее поверхность. Пленка имеет разрывное удлинение порядка 10—12%.

Вес 1 м² ткани определяется при стандартной влажности в 8,5% для льняных тканей и 6,5% для хлопчатобумажных точным взвешиванием образца или целого куска.

Плотность ткани характеризуется числом ниток основы и утка на длине 5 см в том и другом направлении. Подсчет ниток производится с помощью специальной лупы.

Пришивку полотна к нервюрам крыльев и оперения производится льняными нитками «Моккей» в 8 сложении с крепостью на разрыв в 20,5 кг.

Для оклейки или обмотки полок нервюр перед пришивкой к ним полотна применяется хлопчатобумажная лента, называемая клеперной лентой. Неровности шва на наружной поверхности полотна сглаживаются наклеиванием полотняной ленты. В качестве клеящего вещества при наклеивке лент применяется аэролак первого покрытия.

§ 72. Лакировка полотняной обшивки самолета

Покрытие аэролаками полотняной обшивки самолета производится с целью:

- а) повысить крепость и натяжение полотна;
- б) создать защитную пленку, предохраняющую полотно от разрушающего влияния влаги, воздуха и солнечных лучей;
- в) повысить аэродинамические свойства обшивки путем создания гладкой глянцевиной поверхности;
- г) придать поверхности крыльев и оперения необходимую для маскировки самолета расцветку.

Для лакировки полотняной обшивки крыльев и оперения применяются нитроцеллюлозные лаки (см. главу тринадцатую, § 60). Эти лаки делятся на бесцветные аэролаки первого покрытия и цветные лаки второго покрытия.

Аэролак первого покрытия наносится на полотняную обшивку для того, чтобы повысить крепость полотна и увеличить его натяжение. Крепость повышается благодаря тому, что лаковое вещество пропитывает нитки ткани и тем самым упрочняет их.

Пропитка аэролаком первого покрытия производится в четыре слоя для льняных тканей и в пять слоев для хлопчатобумажных. Наибольший прирост крепости получается при нанесении первого лакового слоя, а каждый последующий слой дает менее значительное повышение крепости (фиг. 117). При четырехслойном покрытии прирост крепости у льняных тканей достигает 35—40%.

У хлопчатобумажных тканей пятислойное покрытие дает увеличение крепости на 15—20%. Нанесение дальнейших слоев аэролака первого покрытия не только не увеличивает, но даже уменьшает крепость ткани.

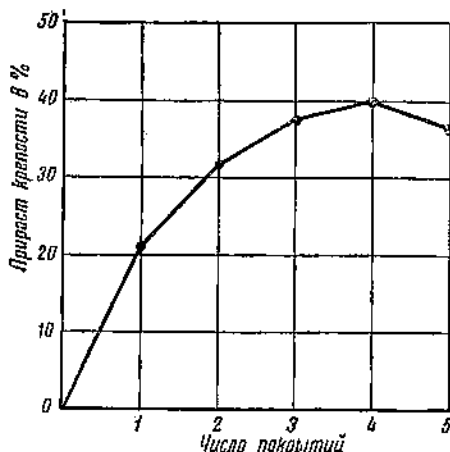
Одновременно с повышением крепости пропитка аэролаком первого покрытия сообщает полотну необходимое натяжение благодаря тому, что нитки полотна при высыхании лака дают усадку.

Полотно, пропитанное одним аэролаком первого покрытия, не обладает достаточной водонепроницаемостью и стойкостью против атмосферных влияний. Необходимая защитная пленка, предохраняющая полотняную обшивку от действия влаги, воздуха и солнечных лучей, создается нанесением цветного аэролака второго покрытия. Эта пленка не способствует повышению крепости полотна, поэтому число слоев аэролака второго покрытия, во избежание излишнего прироста веса, должно быть минимальным (не более двух). При хорошей укрывистости цветного аэролака достаточно нанести два слоя его, чтобы создать ровную маскировочную окраску, из-под которой не просвечивает аэролак первого покрытия.

Аэролаки, как правило, поставляются в готовом к употреблению виде и не подлежат разбавлению на месте.

Процесс лакировки полотна, припущенного к нервюрам крыла или оперения, идет следующим образом.

Аэролак первого покрытия наносится кистью: его втирают в полотно легким нажатием на кисть. Между нанесением двух последовательных слоев лака первого покрытия должно пройти не меньше 45 мин. За это время лаковый слой успевает полностью высохнуть. После нанесения последнего слоя бесцветного лака сушка продолжается от 16 до 18 час. Затем производится покрытие двумя слоями



Фиг. 117. Прирост крепости полотна в зависимости от числа покрытий аэролаком первого покрытия

цветного аэролака второго покрытия. Промежуток времени между нанесением первого и второго слоев — 3 часа. Оба слоя аэролака второго покрытия наносятся кистями или пульверизатором. Окончательная сушка лакированной поверхности продолжается 24 часа.

Для защиты от атмосферных влияний фюзеляжи, обшивке шпоном или фанерой, обтекатели лыж и т. п. оклеиваются полотном АЛР или миткалем (типа мадаполам). Оклеивка производится на нитроклее, представляющем собой аэролак первого покрытия с добавкой эфир-гаришуса и пигмента. На приклеенное полотно или миткаль наносятся три слоя аэролака первого покрытия и два слоя аэролака второго покрытия.

§ 73. Уход за аэролаковым покрытием обшивки самолета

В процессе эксплуатации самолета необходимо тщательно оберегать аэролаковое покрытие полотняной обшивки от попадания на него бензина, смазочного масла, аккумуляторной жидкости и других веществ, действующих разрушающим образом на лаковую пленку. Пыль, грязь и масляные пятна необходимо удалять чистыми сухими или влажными тряпками. Если грязные и масляные пятна не поддаются удалению тряпками, смоченными в чистой теплой воде, то допускается применение мыльной воды. После протирки тряпками, смоченными в мыльной воде, обшивку необходимо вытереть насухо старой замшей или мягкой ветошью.

Под влиянием неблагоприятных атмосферных условий аэролаковое покрытие может с течением времени потускнеть, покрыться трещинами или облупиться.

Чтобы освежить потускневшую аэролаковую пленку, достаточно нанести на нее кистью слой аэролака второго покрытия соответствующего цвета. Предварительно необходимо тщательно промыть это место от следов грязи и масляных пятен.

Если аэролаковое покрытие имеет повреждения (трещины, облупившиеся участки и т. п.), необходимо удалить в этом месте старую лаковую пленку при помощи растворителя. В качестве растворителя применяется аэролак первого покрытия, разбавленный на 25% ацетоном. Очищенный таким образом участок полотна необходимо просушить и покрыть вновь аэролаками. Наносить аэролаки следует в том же порядке, как было указано в пре-

дыдущем параграфе, при описании лакировки полотняной обшивки самолета.

Необходимо иметь в виду, что температура и влажность окружающего воздуха оказывают большое влияние на качество аэролакового покрытия. Лакировку можно производить только при температуре воздуха не ниже 15° и влажности не выше 85%. Если эти условия не соблюдены, то на лакированных плоскостях образуется белый налет в виде пятен и полос. Появление этого дефекта объясняется тем, что летучие компоненты аэролака (ацетон, грушевая эссенция и др.) при нанесении лакового слоя испаряются настолько быстро, что температура пленки сильно понижается. При большой влажности окружающего воздуха низкая температура лакируемой поверхности вызывает конденсацию на ней атмосферной влаги, в результате чего на лаковой пленке появляется белый налет.

ЛИТЕРАТУРА

Санков Е. А., Прядильные волокнистые материалы.

Лбов, Прядение льна.

Бергман, Руководство по отделке тканей.

Геерман, Механические и физико-технические текстильные исследования.

Пинес С. И., Справочник по текстильному материаловедению.



ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ

РЕЗИНА, ПЛАСТМАССЫ, ИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ПРОКЛАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 74. Резина

Резиновые изделия играют большую роль в современном машиностроении, в том числе и в авиатехнике, благодаря весьма ценным свойствам резины. Главнейшими из этих свойств являются эластичность и упругость.

Эластичностью называется способность материала значительно изменять свою форму под действием внешних сил. В отношении эластичности ни один материал не может сравниться с резиной. Она может быть растянута без разрыва в 5—10 раз.

Другим важным свойством резины является упругость, т. е. способность принимать первоначальную форму после снятия нагрузки, вызвавшей деформацию.

Благодаря эластичности и упругости резина применяется в авиатехнике для различных амортизирующих приспособлений, предназначенных для смягчения толчков и ударов.

Непроницаемость резины для жидкостей и газов позволяет применять ее для изготовления пневматиков (покрышек и камер), планов и всякого рода прокладок и уплотнителей.

Резина обладает хорошими электроизоляционными свойствами, благодаря чему она имеет широкое применение для изоляции электропроводов и для изготовления различных деталей динамомашин и магнето.

1. Исходное сырье для приготовления резины

Основным сырьем в резиновой промышленности является натуральный или синтетический (искусственный) каучук,

который придает резине ее отличительные свойства — эластичность и упругость.

Натуральный каучук добывается главным образом из сока дерева, называемого «гевея». Самым лучшим сортом натурального каучука считается так называемый *пара-каучук*, добываемый из диких деревьев гевея, произрастающих на берегах реки Амазонки и ее притоков (Бразилия). Однако дикий каучук добывается в очень незначительном количестве по сравнению с каучуком плантационным, получаемым из сока специально посаженных деревьев породы гевея. Плантации гевей имеются на Малайских островах, в Голландской Ост-Индии, на островах Зондского архипелага, в Африке и Австралии.

При надсечке коры гевей выделяется густой белый сок, называемый млечным соком или «латексом». Латекс состоит из мельчайших шариков каучука, плавающих в сыворотке. Содержание каучука в млечном соке составляет в среднем около 35%. Каучук выделяют из латекса обработкой его уксусной кислотой. При этом каучук свертывается (створаживается) и отделяется от сыворотки. Полученный таким образом каучук обрабатывается на промывных вальцах для удаления остатков сыворотки. После этого он высушивается в специальных сушильных камерах или на открытом воздухе. Так получается каучук в виде листов от светложелтого до темнокоричневого цвета. Эти сорта каучука называются «кренами». Лучшим из них является «светлый креп».

Другой сорт натурального каучука, называемый «копченый шит» или «смокед-шит», получается следующим образом. Выделенный из латекса каучук обрабатывается на сухих вальцах без промывки водой. После этого он подвергается копчению в камере, отапливаемой дымовыми газами от сжигания дров или торфа. Полученный таким способом копченый каучук отличается устойчивостью против атмосферных влияний и допускает длительное хранение без ухудшения качества.

В СССР имеются плантации каучуконосных растений, главнейшими из которых являются «тау-сагыз» и «кок-сагыз», культивируемые в Казахстане. Каучук этих растений находится в корнях в виде шнителей и составляет в среднем 20% от веса корня. По своему качеству каучук, получаемый из тау-сагыз и кок-сагыз, не уступает лучшим сортам импортного каучука.

К числу корневых каучуконосов относится также крымский одуванчик, содержащий большое количество

каучука. Массовое распространение в Средней Азии и на Кавказе имеет каучуконос хондрилл, который дает одновременно каучук и смолу, применяемую в лакокрасочном производстве. Смола и каучук находятся у него в стеблях в виде млечного сока.

Наряду с решением задачи по созданию собственных плантаций каучуконосных растений, работой наших ученых академика С. В. Лебедева и проф. Б. В. Вызова была успешно разрешена труднейшая проблема получения в промышленном масштабе синтетического каучука.

Сырьем для выработки синтетического каучука по способу академика Лебедева является винный спирт. Получение каучука из винного спирта заключается в том, что пары спирта подвергаются разложению в особой печи при высокой температуре в присутствии катализатора. При этом образуется родственный каучуку газообразный углеводород, называемый бутадиеном. Полученный бутадиен сначала очищается от побочных продуктов, а затем направляется в холодильники, где он переходит в жидкое состояние под влиянием низкой температуры и повышенного давления. Жидкий бутадиен превращается в каучук путем полимеризации при определенной температуре и давлении в присутствии катализатора.

Исходным сырьем для производства синтетического каучука по методу проф. Вызова является нефть. Процесс получения каучука из нефти в основном заключается в разложении паров одного из погонов нефти в стальной реторте, нагретой до очень высокой температуры. Разложение нефтяного погона сопровождается образованием бутадиена и других побочных продуктов. В дальнейшем бутадиен освобождается от его спутников и переводится в жидкое состояние при помощи сильного охлаждения и сжатия. Затем он подвергается полимеризации для превращения в каучук.

Как натуральный, так и синтетический каучук характеризуются следующими физическими и химическими свойствами.

Удельный вес каучука близок к единице (0,915—0,930). При нормальной температуре (5—15°) каучук чрезвычайно эластичен и упруг. С повышением температуры он постепенно теряет эластичность и становится мягким и липким. При температуре 50—70° каучук теряет упругость и приобретает способность принимать любую форму. При охлаждении упругость каучука постепенно восстанавливается. Если каучук нагреть до 150—180°, он начи-

нает размягчаться и при дальнейшем увеличении температуры (примерно до 200—230°) плавится в смолоподобную массу, не затвердевающую при последующем охлаждении.

Под влиянием лучей света каучук становится смолистым и постепенно теряет свою эластичность. Потеря эластичности имеет место и при замораживании каучука.

Каучук отличается большой стойкостью против действия щелочей и слабых кислот. Крепкие кислоты его разрушают.

Каучук растворяется в бензине, бензоле, минеральном масле и четыреххлористом углероде. Растворению каучука предшествует его набухание.

Под действием солнечных лучей, кислорода воздуха и тепла каучук с течением времени твердеет и становится хрупким. Этот процесс постепенного ослабления механических свойств каучука под влиянием атмосферных условий называется «старением».

Вследствие большой чувствительности к перемене температуры, склонности к старению и недостаточной прочности каучук в чистом виде почти не применяется.

Изделия из синтетического каучука по некоторым свойствам не уступают резиновым изделиям из натурального каучука, превосходя их, в частности, в отношении электроизоляционных свойств и стойкости против разрушающего действия нефтепродуктов.

Исключительно стойкими к действию бензина и масла являются совпрен и тиокол, оба отечественного производства. Совпрен получается путем полимеризации сложного химического соединения — хлоропрена; тиокол — продукт химического взаимодействия хлористого этилена ($C_2H_4Cl_2$) и многосернистого натрия (Na_2S_x).

Совпрен и тиокол применяются, например, для проклеивания клепаных или сварных швов бензобаков с целью придания швам полной непроницаемости; совпрен обладает очень низкой морозоустойчивостью: при температуре ниже -25° он теряет свою эластичность и становится твердым и хрупким. Для изготовления морозоустойчивых и бензостойких плангов применяется так называемая фригитовая резина, получаемая из синтетического каучука. Для улучшения морозоустойчивости в эту резину вводится специальный наполнитель — фригит.

Таким образом, синтетические каучуки следует рассматривать не только как заменители натурального

каучука, а как ряд материалов, имеющих самостоятельное применение. Изделия из синтетических каучуков в большинстве случаев отличаются свойственным этим материалам очень резким, неприятным запахом.

2. Приготовление резиновых смесей и изделий из них

Производство резиновых изделий состоит из следующих основных операций:

а) приготовление резиновой смеси, для чего каучук смешивают с серой и другими веществами (наполнителями), придающими резине определенные свойства в зависимости от ее назначения;

б) изготовление из резиновой смеси изделий тем или иным методом (формовкой, каландрированием, шприцеванием и др.);

в) вулканизация изделий.

Сера является одним из важнейших компонентов резиновой смеси. Наличие ее в смеси обуславливает процесс вулканизации и оказывает большое влияние на твердость резины. Для получения мягкой резины в состав смеси вводят от 1,5 до 6 % серы. При содержании серы до 30 % получается так называемый эбонит, или роговая резина. Эбонит представляет собой твердый материал, применяемый главным образом как электроизолятор в виде пластины, прутков и трубок.

Помимо серы, в резиновые смеси вводят различные наполнители (ингредиенты) для улучшения различных свойств этих смесей и изделий из них. Так, например, сажа, ухудшая несколько эластичность резины, увеличивает ее крепость на разрыв и сопротивление истиранию, что имеет большое значение для авто- и авиационных покрышек.

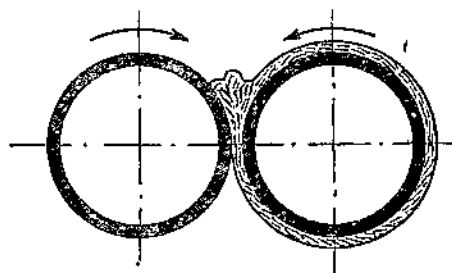
Введение в резиновую смесь окиси цинка также увеличивает прочность резины, не ухудшая ее эластичности. Окись цинка вводится в резину для камер, покрышек, нитей шнуровых амортизаторов и т. д.

Для уменьшения стоимости резины в смесь добавляют различные вещества, называемые удешевителями. Наибольшее применение в качестве удешевителей имеют мел и регенерат. Последний представляет собой продукт переработки старых резиновых изделий и отходов резинового производства. Применение регенерата дает большую экономию в каучуке. Кроме того, регенерат смягчает резину и тем самым облегчает ее обработку каландрированием и шприцеванием. Регенерат различного происхождения при-

меняется обычно для одноименных изделий: шинный регенерат идет в покрышки, камерный — в камеры и т. д.

Большое значение имеет добавление в резиновые смеси специальных веществ, ускоряющих процесс горячей вулканизации. Эти вещества, называемые ускорителями, не только сокращают время, потребное для вулканизации, но и увеличивают крепость и эластичность резиновых изделий. Наибольшей способностью ускорять вулканизацию и улучшать механические свойства резины имеют органические ускорители — тпурам, кантакс, дифенил-гуанидин и др.

Резиновые смеси изготавливаются на специальных смешительных вальцах, снабженных двумя горизонтальными валками, вращающимися с различной окружной скоростью навстречу друг другу (фиг. 118). Через зазор между валками сначала пропускается каучук с целью его размягчения (пластикация), затем вводятся наполнители и под конец смешения добавляется сера.



Фиг. 118. Приготовление резиновой смеси на смешительных вальцах

После смешения резина поступает на каландры, представляющие собой многовальцовые машины, из которых резина выходит в виде листов той или иной толщины.

Резиновые изделия изготавливаются различными способами: формовкой в стальных формах, склейкой, шприцеванием и т. д. Резиновые трубки изготавливаются методом шприцевания на шприцмашине, состоящей из горизонтального цилиндра, внутри которого помещен червяк. При вращении червяка резина затягивается в цилиндр, спрессовывается и продавливается через мундштук, из которого она выходит в виде трубки.

Вулканизация является важнейшим процессом в резиновом производстве, сообщающим окончательные свойства резиновым изделиям.

В результате вулканизации прочность и упругость резины повышаются и она приобретает способность лучше противостоять изменениям температуры, чем чистый каучук.

Существуют два способа вулканизации: горячий и холодный. Процесс горячей вулканизации состоит в том, что изделия, изготовленные из резиновой смеси, подвергаются нагреву до температуры $135-150^{\circ}$. При этой температуре порошкообразная сера, введенная в резиновую смесь, вступает в химическое соединение с каучуком. Нагрев производится паром в специальных вулканизационных котлах (автоклавах) или в прессах. Пар подается под давлением в $4-5$ ат. Горячей вулканизации подвергается большинство резиновых изделий.

Для тонкостенных изделий, как например шаров-шлютов, горячая вулканизация заменяется холодной, при которой изделие погружается на несколько минут в хлористую серу (S_2Cl_2), растворенную в сероуглероде, бензине или четыреххлористом углероде. Существенным недостатком холодной вулканизации является вредность производства.

Вулканизованная резина обладает значительно большей стойкостью к воздействию температуры, чем чистый каучук. Однако при низких температурах (порядка $30-35^{\circ}$ ниже нуля) эластичность резиновых изделий сильно понижается, причем в большей мере у изделий из синтетического каучука, чем из натурального. Это свойство является наиболее существенным недостатком резиновых изделий.

Резиновые изделия, как и каучук в чистом виде, подвержены старению под влиянием солнечных лучей и повышенных температур. Старение резины выражается в том, что она становится сухой и хрупкой. Это обстоятельство необходимо иметь в виду при хранении резиновых изделий и уходе за ними в процессе эксплуатации.

3. Изделия из резины, применяемые в авиации

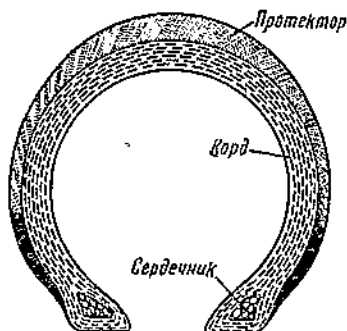
Пневматика. Назначение пневматиков заключается в том, чтобы поглощать толчки и удары, возникающие при посадке и рулежке самолета.

Пневматик состоит из камеры, являющейся резервуаром для сжатого воздуха, и покрышки, которая служит прочной оболочкой для камеры.

Камеры изготавливаются из высокоэластичной резины с прочностью на разрыв не менее 170 кг/см² и разрывным удлинением не менее 600% . По своей конструкции камера представляет собой тонкостенную резиновую трубку, оба конца которой склеены внахлестку. Трубки для камер изготавливаются на шприц-машинах. При шприцевании

внутри трубки вдувается тальк, для предупреждения сгибания ее стенок. Концы трубки склеиваются после ее вулканизации. После склейки место стыка вулканизуется вторично. Для накачивания воздуха камера имеет специальный вентиль на прокладках из прорезиненной материи. Вентиль вставляется в камеру после вулканизации стыка. Размеры камеры рассчитываются так, чтобы в надутом виде она могла плотно и без складок прилегать ко внутренней поверхности покрышки и к ободу колеса.

Покрышки выполняются из нескольких слоев специальной «кордовой» ткани (фиг. 119). Полученный таким образом тканевый каркас (корд) покрывается снаружи слоем резины, более тонким на боковинах покрышки и утолщенным на ее беговой части. Корд придает покрышке необходимую крепость, от которой зависит способность пневматика выдерживать нагрузку и определенное внутреннее давление. Утолщенная часть внешнего резинового покрова называется протектором. Назначение протектора заключается в том, чтобы защищать кордовый каркас от истирания, порезов и проколов. Всякое повреждение корда служит основанием для немедленной замены покрышки. При наличии же незначительных повреждений протектора (царапин и порезов) покрышка может быть допущена к дальнейшей эксплуатации.



Фиг. 119. Сечение покрышки

Кордовая ткань изготавливается с очень редким и тонким утком, во избежание перетирания нитей основы. Каждый слой ткани располагается так, что его нити направлены под углом к оси покрышки и перекрещиваются с нитями соседних слоев. Такое расположение кордовых нитей обеспечивает наибольшую равномерность их натяжения и повышает упругие свойства корда.

В борта покрышки заделываются металлические сердечники, которые препятствуют растягиванию бортов и ссаживанию покрышки с обода. В качестве сердечников применяются стальные тросы или пучки проволоки.

Рабочее давление в камере зависит от типа пневматика и изменяется в пределах от 2,5 до 5 ат. По типу пнев-

Матки разделяются на пневматики высокого давления, полубаллоны и баллоны.

Пневматики высокого давления имеют наименьшие размеры профиля покрышки, дают малое обжатие при ударе и обладают меньшей способностью поглощать толчки и удары при посадках и рулежках самолета. Эти недостатки пневматиков высокого давления обусловлены малым объемом воздуха в камере.

В полубаллонных и баллонных пневматиках увеличение объема воздуха достигается за счет увеличения профиля покрышки и уменьшения диаметра обода. Наличие большого объема воздуха дает возможность понизить рабочее давление в камере, благодаря чему пневматики этого типа дают значительное обжатие при ударах, что равносильно увеличению поглощаемой работы.

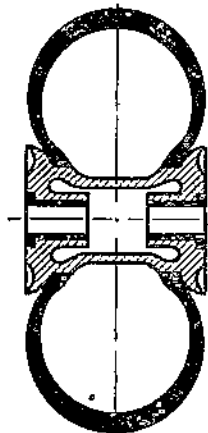
Полубаллоны монтируются на глубокие ободы небольшого диаметра. Пневматики баллонного типа («воздушные колеса»), имеющие наибольшие размеры профиля по сравнению с другими пневматиками, надеваются непосредственно на втулку колеса (фиг. 120).

Воздух нагнетается в камеру ручным насосом или из баллона со сжатым воздухом. При высотных полетах, а также в жаркое летнее время давление в пневматиках должно быть понижено во избежание раздутья камеры, что может повести к сползанию борта покрышки с колеса и к разрыву камеры.

При уходе за пневматиками самолета в эксплуатации необходимо защищать их при помощи чехлов от непосредственного действия солнечных лучей и оберегать от попадания бензина и масла. Обмывать пневматики нужно смоченными в воде тряпками.

Особое внимание обращается на исправное состояние протектора и боковин покрышки.

Так как с течением времени резина утрачивает свои упругие свойства, годность пневматиков к эксплуатации ограничивается временем их хранения. Независимо от срока работы покрышки на самолете, она пригодна к эксплуатации в течение не более 5 лет с момента выпуска ее заводом; камера годна в течение не более 3 лет.



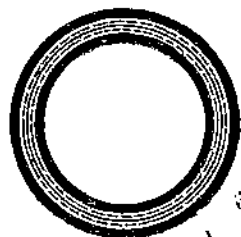
Фиг. 120. Пневматик баллонного типа

Дата выпуска покрышек заводом указывается на штампе, который имеется у борта покрышки и содержит три цифры: первая обозначает месяц изготовления, вторая (двухзначная) — год и третья — серийный номер покрышки. Например, штамп [8—40—991607] означает, что покрышка изготовлена в августе 1940 г.

Нормальным сроком службы пневматиков на самолете считается 1 год. Но при появлении на протекторе трещин и порезов, обнажающих кордовый каркас, а также при облупливании резины на боковинах покрышки последняя должна быть заменена до истечения этого срока.

Ремонт покрышек с поврежденным кордом производится только в заводских условиях. Незначительные повреждения протектора и проколы камер устраняются в ремонтных мастерских.

Заплаты, наклеенные на камеру, вулканизуются при помощи специального вулканизационного аппарата. При этом заплата благодаря нагреву и давлению пресса как бы приваривается к стенке камеры. Постановка заплат на резиновом клею без вулканизации не даст гарантии в отношении прочности, но в неотложных случаях допускается применять и этот способ ремонта камер.



Фиг. 121. Сечение дюритового шланга

Дюритовые шланги. Дюритовые шланги применяются в качестве гибких соединений трубопроводов в системах смазки и охлаждения мотора.

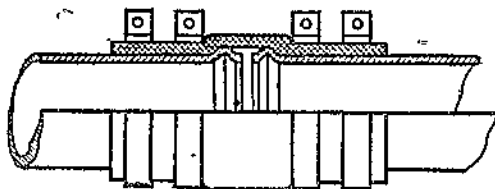
Дюритовый шланг представляет собой резиновую трубку, имеющую прослойку из двух или трех рядов ткани (фиг. 121).

Шланг изготовляется путем накатывания роликом резиновых полос на стальной сердечник (дорн), диаметр которого равен внутреннему диаметру шланга. Резиновые полосы располагаются на дорне по винтовым линиям. Края полос предварительно смазываются резиновым клеем. Затем накатываются слои ткани, пропитанной резиной, после чего накладывается наружный резиновый слой.

Собранный таким образом шланг плотно бинтуется влажной тканью и вулканизуется в автоклаве. После вулканизации шланг освобождается от бинта и снимается с дорна при помощи сжатого воздуха.

Соединение трубопроводов дюритовым шлангом (фиг. 122) производится при помощи двух или четырех хомутиков (латунных или железных). На концах соединяемых трубок делаются бортики для предотвращения сползания шланга. Соединение делается так, чтобы расстояние между концами трубок было не более 10 мм и не менее 2 мм, для обеспечения необходимой гибкости трубопровода. Шланг должен перекрывать каждую из двух соединяемых трубок на длине не менее 50 мм.

Внутренний диаметр шланга должен быть равен наружному диаметру трубопровода. Как крайний случай, допускается постановка дюритового шланга с припуском до 1 мм по диаметру в большую, но не в меньшую сторону.



Фиг. 122. Соединение трубопроводов на дюритовом шланге

Применение проволоки вместо хомутиков для крепления шлангов на трубопроводах воспрещается.

Крупным недостатком соединений трубопроводов с помощью дюритовых шлангов является незначительная прочность и недолговечность последних. Шланги, поставленные в системах бензо- и маслопитания, с течением времени набухают и разрушаются изнутри под действием бензина и масла. При этом куски резины отрываются от тканевой прокладки и засоряют трубопровод.

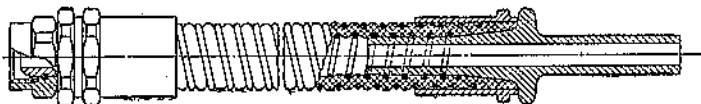
Необходимо внимательно следить за состоянием дюритовых соединений и поддерживать их в постоянной чистоте. При обнаружении трещины или отставания резины шланг должен быть немедленно заменен.

Все дюритовые соединения на магистралях мотора должны периодически, не реже одного раза в год, заменяться новыми. Постановка дюритового шланга, бывшего в употреблении, не допускается.

Дюритовые шланги изготовляются в отдельности для системы бензо- и маслопитания и отдельно для соединения водяных трубопроводов. Первые — черного цвета с бе-

лой полостной или серые трехслойные — обладают повышенной стойкостью к действию нефтепродуктов. Для воды выпускаются планги черного цвета или серые двухслойные. Постановка плангов, предназначенных для воды, в системе питания мотора топливом и маслом безусловно недопустима.

Ввиду незначительной стойкости резины к набуханию в нефтепродуктах, дюритовые планги в системах бензо- и маслопитания могут применяться только в виде коротких муфт для соединения трубопроводов (фиг. 122), но отнюдь не в виде длинных трубок. Длинные гибкие соединения в бензо- и маслопроводах осуществляются с помощью специальных гибких плангов, называемых «Петрофлексамп». Эти планги состоят из двух проволоочных спиралей (наружной и внутренней), свитых из стальной



Фиг. 123. Разрез трубки „Петрофлекс“

оцинкованной проволоки, и последовательных слоев — первый внутренний слой дерматина, несколько слоев целлофана, прокладка из миткаля, слой резины и наружный слой дерматина. Разрез трубки «Петрофлекс» с заделкой наконечников показан на фиг. 123.

Если монтаж трубок «Петрофлекс» производится при температуре ниже -30° , они должны быть подогреты, так как в условиях низких температур внутренние слои резины и целлофана становятся настолько хрупкими, что могут легко сломаться при изгибании.

Резиновые амортизаторы. Резина для амортизаторов применяется в виде шнуров или пластин.

Шнуровой амортизатор изготовляется из большого количества резиновых нитей, нарезанных из высочайшей листовой резины. Каждая нить в поперечном сечении представляет собой квадрат со стороной 0,8—1,15 мм. Резиновые нити собираются в жгуты, которые затем оплетаются в два слоя хлопчатобумажными нитками. Внутренняя оплетка делается из белых ниток, наружная — из черных. В наружную черную оплетку вплетаются цветные нитки, указывающие год и квартал изготовления шнура.

Например:

1-й квартал — 1 нить красная и 1 голубая,

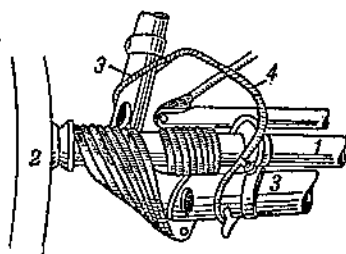
2-й квартал — 1 нить красная и 2 голубые,

3-й квартал — 1 нить красная и 3 голубые,

4-й квартал — 1 нить красная и 4 голубые.

Возможность устанавливать время изготовления шнура по его расцветке имеет большое значение, так как при длительном хранении шнура резина теряет свои упругие свойства вследствие старения. Нормальным сроком хранения шнура следует считать полгода.

Конструкция шнуровой амортизации самолета изображена на фиг. 124. Шнур наматывается петлей между



Фиг. 124. Конструкция шнуровой амортизации:

1 — ось колеса; 2 — колесо; 3 — подкос шасси; 4 — предохранительный трос

осью 1 колеса 2 и подкосами шасси 3. При ударе колеса о землю шнур растягивается, поглощая работу удара, затем быстро сокращается и таким образом возвращает ось в ее первоначальное положение относительно подкосов шасси. Во избежание аварии в случае разрыва шнура ставится предохранительный трос 4.

В настоящее время шнуровая амортизация сохранилась только на самолетах старых типов. На современных само-

летах резиновая амортизация заменена на масляно-пневматическую и гидро-пневматическую.

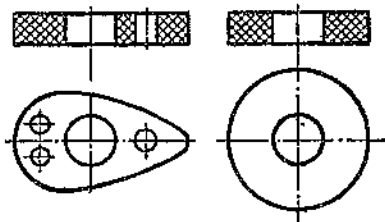
Амортизационные шнуры находят широкое применение для крепления и амортизации самолетных лыж.

Шнуровой амортизатор, как и все резиновые изделия, сильно изменяет свои свойства при изменении температуры. От мороза он смерзается и теряет эластичность. В зимнее время затяжка амортизатора должна быть уменьшена во избежание обрыва шнура.

При эксплуатации необходимо тщательно следить за целостностью шнура. Просвечивание сквозь черную оплетку внутренней, белой, оплетки свидетельствует о начавшемся износе шнура или чрезмерном его растяжении. Образование местного сужения («шейки») и выпучивание шнура около шейки указывают на обрыв нитей. В этом случае амортизатор должен быть немедленно заменен.

Пластинчатые амортизаторы, в отличие от шнуровых, работают не на растяжение, а на сжатие, поэтому они

являются более надежными. Пластинчатая резина выполняется круглой или обтекаемой формы (фиг. 125). На фиг. 126 показана конструкция пластинчатого амортизатора. Стойка шасси состоит из двух труб, из которых одна телескопически входит в другую. Верхняя труба 1 жестко связана с фюзеляжем самолета и составляет одно целое с буферной опорой 2. Нижняя труба 4 связана с осью колеса и несет на себе буферную опору 3. Между буферами на направляющих стержнях 5 закладывается ряд резиновых колец, отделенных друг от друга дуралюминовыми прокладками.



Фиг. 125. Пластинчатые амортизаторы

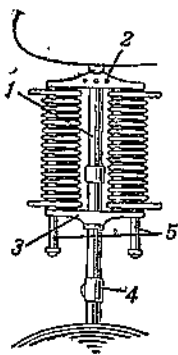
В настоящее время пластинчатые амортизаторы, как и шнуровые, встречаются только на самолетах старых типов и на самолетах спортивной авиации.

Протекторы для бензиновых баков. Под термином «протектирование» понимают покрытие бака специальными обтяжками, предотвращающими вытекание топлива из пробитого бака через пулевые пробойны или защищающими его от пробивания пулями.

В зависимости от способа защиты бака рассматривают два типа протекторов, действие которых различно.

Первая группа протекторов предотвращает вытекание топлива затягиванием пулевой пробойны плотной массой резины. Протекторы этого типа представляют собой специальную оболочку, плотно обтягивающую бак и состоящую из чередующихся между собой слоев: резины, набухающей под действием бензина, вытекающего из бака, и резины, стойкой к действию нефтепродуктов. Когда бензин начинает вытекать из поврежденного бака и попадает на слой набухающей резины, последняя увеличивается в объеме и плотно перекрывает собой пробойну. Течь бензина прекращается.

Часть протекторов выполняется несколько иначе: между слоями бензостойкой ре-



Фиг. 126. Конструкция пластинчатого амортизатора:

1 — верхняя труба; 2 — верхняя буферная опора; 3 — нижняя буферная опора; 4 — нижняя труба; 5 — направляющие стержни

зины располагается резина, способная растворяться в бензине, образуя при этом клейкую массу. Как только в баке появляется течь бензина, протектор немедленно заклепывает отверстие.

Действие второй группы протекторов основано на погашении живой силы пули. Протектор в этом случае представляет собой комбинацию брони с набухающей резиной. При ударе о броню пуля теряет свою живую силу и либо застревает в протекторе, либо улавливается внутри бака. В последнем случае пробитое пулей входное отверстие быстро затягивается резиной протектора, а выходное отверстие — наиболее опасное, так как оно имеет всегда большой диаметр и рваные края, — отсутствует вовсе. К бакам, защищенным на этом принципе, относятся, например, английские баки Хендерсона, имеющие две стенки из листовой меди; пространство между стенками заполнено набухающей резиной.

Значительное распространение получили протекторы первого типа, действующие на основе растворения резины и заклепывания отверстия. Бензостойкие слои протекторов изготавливаются из синтетических каучуков, клеящие слои — из натурального вальцованного каучука. Для придания протектору прочности между слоями резины располагается тканевый корд.

Вытекающий из пробитого бака бензин задерживается протектором и скопится между стенкой бака и протектирующей оболочкой; при этом резина оттягивается, образуя как бы мешки, наполненные топливом. Это приводит к разрушению протектора как вследствие растворения клеящей прослойки, так и в результате разрыва бензостойких слоев. Чтобы предотвратить подобные случаи, протектор в процессе изготовления приклеивается к стенкам бака, а после этого подвергается вулканизации. Резина при вулканизации садится и плотно обтягивает бак; склейка оказывается весьма надежной.

Ремонт протектированного бака довольно несложен. Часть протектора с пробитой стенки бака вырезается в форме квадрата, размеры которого должны позволить заделку пробоины в самом баке. Вырезанный участок протектора аккуратно снимают; края пробоины в баке выравниваются, обнаженный участок стенки бака тщательно промывают бензином. После этого на пробойну принашивается заплата. Пайка бака должна производиться с соблюдением всех мер предосторожности против взрыва бака. Протектор восстанавливается путем наклепки на место

вырезанного квадрата заплаты из специальной протекторной резины; можно воспользоваться и куском протектора какого-либо негодного бака. Заплата приклеивается к баку и к основному протектору специальным совпеновым клеем.

Протектированный бак не требует особого ухода. При выполнении обычных правил ухода за баками необходимо проверять состояние протектора, не допуская разрушения его, местных вздутий и выпучивания. Нельзя допускать также попадания бензина и масла на протектор.

Касаясь вопроса о защите бензиновых баков, нельзя обойти молчанием применение фибровых протектированных баков. Пуля, пробившая насквозь металлический бак, очень сильно деформирует стенку бака у выходного отверстия: металл, а вместе с ним и протектор разрываются при ударе пули, траектория которой искажена ударом о стенку бака при входе; край пробойны отгибается в стороны, и пробойна оказывается настолько большой, что протектор не в состоянии затянуть ее. Фибра же, пробитая пулей, дает трещины и ломается, не прогибаясь. Таким образом, отверстие в протекторе получается небольшим (равным площади проекции пули) и легко затягивается растворяющейся или набухающей резиной.

4. Хранение резиновых изделий

На качество резины вредно влияют солнечные лучи, чрезмерная сухость и повышенная влажность воздуха, значительные колебания температуры и длительное хранение в одном положении.

Резиновые изделия должны храниться в специальном хорошо вентилируемом помещении при температуре 5—15° и влажности воздуха 40—60%. При излишней сухости воздуха следует поливать полы или вешивать мокрые полотенца. Для защиты от солнечных лучей окна должны быть закрашены желтой или красной краской.

Изделия помещаются на деревянных стеллажах, удаленных от отопительных приборов не менее чем на 1 м. Камеры и покрышки протираются тальком и хранятся в заводской упаковке, причем покрышки ставятся на протекторную часть с небольшим уклоном. Рекомендуется периодически повертывать их.

Шнуровые амортизаторы хранятся завернутыми в бумагу в бухтах по 30 м. Концы их завязываются шнуром.

Пластинчатые амортизаторы при хранении пересыпаются тальком и укладываются в стопки до 20 штук в каждой.

Дюритовые планги протираются тальком и укладываются на стеллажи в растянутом виде.

§ 75. Пластические массы

Пластическими массами или пластиками называются такие материалы, которые при нагревании переходят в пластическое состояние и принимают определенную форму, сохраняя ее при последующем охлаждении.

Имеется большое количество разновидностей пластиков: битуминозные пластики, пластики из природных или искусственных смол, целлюлозные пластики и многие другие.

В настоящем труде будут рассмотрены только те пластики, которые находят применение в авиационной технике.

1. Пластики на основе искусственных смол

Искусственные смолы, являющиеся главнейшей составной частью пластиков, получают из различных органических соединений. В той или иной мере в авиатехнике находят применение фенольные, карбамидные и глифталевые смолы. Последние применяются преимущественно в производстве электроизоляции.

Наиболее широкое применение в производстве пластиков получила фенольная смола, известная под названием бакелита.

Бакелит получается при взаимодействии фенола (карболовой кислоты) с формалином в присутствии водного раствора аммиака в качестве катализатора. Для приготовления бакелита смесь этих продуктов нагревают в котле до кипения. При этом смесь разделяется на два слоя: в нижнем слое получается смола, в верхнем собирается вода. После этого смолу отделяют от водного слоя и подсушивают. Полученная таким способом смола называется резолом или бакелитом А и представляет собой твердую и хрупкую массу.

Бакелит А легко растворяется в этиловом спирте, ацетоне и в щелочах. Если его растворить в спирте, то получается бакелитовый лак, применяемый в качестве клеящего материала при изготовлении бакелитовой фанеры и в качестве пропиточного раствора в производстве слоистых пластиков (текстолита и гетинакса).

При нагревании бакелит А (резол) имеет две стадии превращения. При температуре 90—100° он размягчается и переходит в резинообразное состояние. Бакелит в этой стадии превращения называется резитолом или бакелитом В. Бакелит В не растворяется в спирте и ацетоне, а только набухает в них. Дальнейшее повышение температуры до 150—160° вызывает переход бакелита в конечную стадию превращения, называемую резитом или бакелитом С. В этом состоянии бакелит представляет собой прочное и твердое вещество, стойкое к воздействию бензина, масла, соляной и серной кислот и разрушающееся лишь под влиянием щелочей и крепкой азотной кислоты. Бакелит С выдерживает нагрев до 300° и обладает хорошими электроизоляционными свойствами.

Способность бакелита переходить из одного состояния в другое (А—В—С) при нагревании широко используется для изготовления из него различных изделий методом горячего прессования. При этом бакелит в чистом виде обычно не применяется вследствие его недостаточной прочности. Необходимая прочность изделий достигается путем введения различных наполнителей.

В зависимости от наполнителей пластички на основе бакелита делятся на волокнистые и слоистые. Наполнителями в волокнистых пластичках служат волокна древесины (древесная мука), хлопчатобумажные и льняные волокна, асбест и мелко нарезанная ткань. В слоистых пластичках наполнителями являются ткани и бумага.

Для изготовления волокнистых пластиков резол (бакелит А) растворяют в денатурированном спирте в отношении 1:1 и этим раствором пропитывают древесную муку или другой наполнитель, при непрерывном его помешивании. Полученную таким образом однородную пасту подсушивают, пока не испарится весь спирт, в результате чего смесь делается твердой. Для применения ее в прессованных изделиях она дробится до порошкообразного состояния на специальных мельницах. Кроме бакелита и наполнителя, в состав прессовочного порошка вводятся различные красители.

Формовка изделий из прессовочного порошка производится в стальных прессформах, нагреваемых электрическим током до 160—165°. При этом порошок расплавляется, вследствие перехода бакелита А в промежуточную стадию В, и заполняет загрузочное пространство прессформы под давлением пресса. При дальнейшем повышении тем-

температуры совершается переход бакелита В в стадию С, вследствие чего отформованное изделие переходит в твердое состояние, свойственное бакелиту С.

Детали, изготовленные из волокнистых пластиков путем прессования порошка в прессформах, имеют прекрасный внешний вид и дешевы при массовом производстве. На одной прессформе можно изготовить до 100 000 совершенно одинаковых изделий. Этим способом изготавливаются многочисленные детали оборудования самолетов: корпуса приборов, детали радиостанций и электрической сети, штурвалы и т. д.

Для изготовления деталей, требующих повышенной прочности, применяются слоистые пластики. Пластики с наполнителями из ткани называются текстолитами, а из бумаги — гетинаксами.

Производство изделий из слоистых пластиков состоит в том, что листы ткани или бумаги пропитывают спиртовым раствором бакелита А, высушивают и свертывают в рулоны. В дальнейшем эти листы раскраивают для придания им очертания изделия и укладывают слоями в прессформу. При нагревании прессформы бакелит сначала размягчается, переходя в промежуточное состояние В, и растекается вдоль слоев наполнителя под давлением пресса, затем затвердевает в процессе превращения в бакелит С.

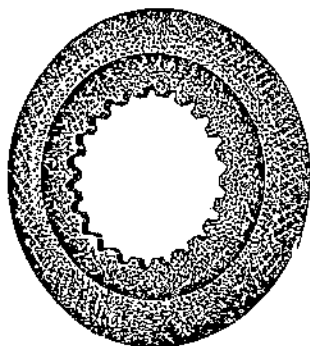
Высокие механические качества текстолита и гетинакса дают возможность использовать их как конструкционный материал в авиатехнике. Текстолит является отличным материалом для изготовления роликов тросов управления. При работе на этих роликах трос изнашивается значительно меньше, чем на роликах из дюралюмина или алюминия.

2. Фрикционные пластики

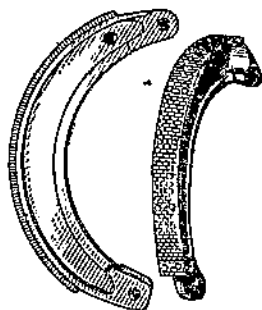
Фрикционные пластики применяются в тех механизмах самолета и мотора, где передача усилия от одного элемента к другому осуществляется посредством трения. К таким механизмам относятся тормозы самолета и диски сцепления передачи двухскоростного нагнетателя мотора. Так как сцепление элементов этих механизмов происходит при больших скоростях, необходимо иметь плавное включение, допускающее скольжение (пробуксовывание) одного элемента по другому. Для этого между металлическими частями механизма помещают диски (в передачах нагнетателя) или ленты (в тормозах самолета) из специальных

фрикционных материалов с большим коэффициентом трения и малым износом при буксовании.

В качестве материала для дисков сцепления двухскоростной передачи пилотажеля (фиг. 127) применяется специальный слоистый пластик, называемый асботекстолитом, или «райбестом». Этот пластик представляет собой асбестовую ткань (об асбесте см. § 77), пропитанную фенольными смолами. Сочетание этих материалов обеспечивает диску из асботекстолита высокий коэффициент трения и способность выдерживать большие динамические нагрузки на зубцах шлицевого соединения.



Фиг. 127. Фрикционный диск из асботекстолита



Фиг. 128. Тормозная лента, наклеиваемая на колодку

Для обеспечения трения между тормозным барабаном колеса самолета и колодками тормоза к последним приклеивается фрикционная лента из ферродо (фиг. 128), сплетенная из асбестовых нитей, имеющих сердечники из тонкой латуники или медной проволоки. Лента пропитывается одной из фенольных смол.

3. Прозрачные пластики

Особую группу пластических масс, имеющих большое значение в авиации, составляют прозрачные пластики, применяемые для остекления штурманских рубок самолетов, фонарей и т. п. По сравнению со стеклом прозрачные пластики имеют то преимущество, что они обладают меньшим весом, легко принимают требуемую форму и не бьются, следовательно, не представляют опасности для экипажа самолета. К прозрачным пластикам относятся целлюлоид, целлон и плексиглас.

Целлюлоид получается путем сплавления нитроцеллюлозы с камфарой. Крупным недостатком целлюлоида является его большая огнеопасность: он воспламеняется при нагреве до $120-180^{\circ}$ и горит с большой скоростью. Под действием света целлюлоид постепенно желтеет и со временем становится непрозрачным. Ввиду этих недостатков применение целлюлоида в авиации все более сокращается.

Целлон готовится из ацетилцеллюлозы и соответствующего пластификатора. По сравнению с целлюлоидом целлон обладает меньшей воспламеняемостью и горит очень медленно. Под действием солнечных лучей он не теряет прозрачности и не изменяет цвета. При замораживании целлон становится хрупким и трескается. Вследствие малой морозоустойчивости целлон имеет ограниченное применение в авиатехнике.

Целлюлоид и целлон используются для изготовления безосколочных стекол «триплекс», получаемых путем склейки и спрессовки стеклянных пластин с целлюлоидной или целлонной прокладкой между ними. Триплекс не может быть согнут в виде поверхности двойной кривизны, поэтому он применяется только для боковых стекол самолета.

Прекрасным материалом для остекления самолетов и изготовления пилетных очков является органическое стекло — плексигласс. Плексигласс представляет собой продукт полимеризации эфиров акриловой кислоты. Плексигласс негорюч, морозоустойчив, совершенно прозрачен даже в толстом слое и не теряет прозрачности со временем.

При нагревании до $100-110^{\circ}$ плексигласс размягчается и становится пластичным. Это дает возможность штамповать из плексигласса детали с криволинейной поверхностью любой формы.

§ 76. Электроизоляторы

К числу электроизолирующих материалов, применяемых в авиации, относятся фарфор, слюда, резина, эбонит и пластические массы на основе бакелита и других искусственных смол.

Фарфор представляет собой спрессованную и обожженную смесь, состоящую из белой глины (каолина), полевого шпата и кварца.

Фарфор отличается большой твердостью и высокими электроизолирующими свойствами. Фарфоровые ролики, втулки и трубки широко применяются в качестве изолирующих деталей осветительных и силовых сетей. Недостатком всех изделий из фарфора является то, что они непрочны в отношении ударов и резких изменений температуры.

Слюда представляет собой минерал чешуйчатого строения, допускающий расслаивание на тонкие, прозрачные с желтым оттенком пластины.

Богатые месторождения слюды имеются у нас на побережье Белого моря, на Урале и в Сибири.

Удельный вес слюды 2,6—3,2, температура плавления около 1300°.

Слюда является весьма ценным изолирующим материалом. Тончайший листок слюды может выдержать напряжение в несколько тысяч вольт и нагрев до 300—400°. При более высокой температуре электроизоляционные свойства слюды понижаются, она делается хрупкой и легко крошится.

Основное применение слюды имеет в качестве изоляции для авиационных свечей и диэлектрика в конденсаторах магнето.

Резина и эбонит являются изолирующими материалами, широко применяемыми в электротехнике.

Резина в комбинации с хлопчатобумажной оплеткой служит наиболее подходящим материалом для изоляции проводов. Она гибка и не теряет своих изоляционных свойств под действием влаги. Недостатком резины является то, что она не переносит нагрева. Уже при температуре 60—70° резина теряет упругость, сохнет и трескается («стареет»).

Эбонит (роговая или твердая резина) применяется в виде втулок, трубок и различного рода фасонных деталей. Как материал стойкий к действию кислот эбонит идет на изготовление банок для свинцовых аккумуляторов.

Пластические массы на основе бакелита являются отличными электроизоляционными материалами.

Для изготовления изолирующих деталей электроаппаратуры широкое применение имеет гетинакс, обладающий высокой пробивной прочностью. Листовой гетинакс идет на изготовление панелей и щитков, на которых монтируются приборы пилота.

Для изготовления изолирующих деталей самолетных радиостанций, находящихся под действием токов высокой частоты, текстолит и гетинакс не применяются, так как эти пластмассы под влиянием токов высокой частоты перегреваются и вспучиваются. В этих случаях применяется пластик под названием микалекс, обладающий высоким пробивным сопротивлением. Наполнителем этого пластика является измельченная слюда, склеивающим веществом служит борат свинца (соединение борной кислоты и свинца).

§ 77. Тепло- и звукоизоляционные материалы

К числу теплоизоляторов относятся асбест, пробка, шерстяной войлок и виамиз.

Асбест, или горный лен, представляет собой вещество минерального происхождения, имеющее характерное волокнистое строение. Месторождения высококачественного асбеста имеются на Урале и в Сибири.

Волокна асбеста очень гибки, эластичны и огнестойки. Спекание волокон происходит только при 1500°, вследствие чего асбест может применяться в условиях очень высоких температур. Наибольшая длина волокон — около 3 см.

Волокна асбеста могут быть свиты в шнуры. Наиболее длинные волокна идут на пряжение нитей и приготовление асбестовых тканей. Из коротких волокон асбеста путем прибавления к ним каолина и других связующих веществ готовится асбестовый картон.

Применение асбеста чрезвычайно разнообразно. Он используется преимущественно как жаростойкий прокладочный и уплотнительный материал в фланцевых соединениях и сальниках трубопроводов и как наполнитель для изготовления пластических масс.

Пробка, шерстяной войлок и виамиз служат для тепловой и звуковой изоляции кабин самолетов и для отопления бензиновых и масляных баков. Из этих материалов наименьшей теплопроводностью и наилучшей способностью поглощать звук обладает войлок, но он слишком тяжел.

Хорошим звуко- и теплоизолирующим материалом является виамиз, представляющий собой застывшую пену желатина, подвергнутого специальной обработке. При очень незначительной проводимости тепла и звука виамиз в 10 раз легче войлока.

§ 78. Прокладочные и уплотнительные материалы

В качестве прокладочных и уплотнительных материалов для авиамоторов применяются фибра, паронит, резина, асбест в комбинации с медной фольгой, слонистые пластики, бумага, пробка, уплотнительные пасты (герметики).

Фибра является широко распространенным прокладочным и электроизолирующим материалом. Она изготовляется путем пропитки тряпичной бумажной массы крепким раствором хлористого цинка с последующим прессованием этой массы под большим давлением.

Фибра выпускается в виде листов, прутков и трубок черного или коричнево-красного цвета. Существенным ее недостатком является гигроскопичность. Под влиянием воды и бензина фибра набухает, при высыхании коробится и дает усадку. Ввиду этих недостатков фибровые прокладки имеют в авиамоторостроении ограниченное применение и заменяются прокладками из паронита.

Паронит представляет собой прокладочный листовый материал, состоящий из асбеста и резины. Производство паронита состоит в том, что в резиновую смесь вводят асбестовое волокно, пропускают через каландры для получения листов различной толщины и вулканизуют. Прокладки из паронита устойчивы против действия бензина и масла, поэтому они применяются для уплотнения соединений в системах питания мотора горючим и смазкой.

Медно-асбестовые прокладки, стойкие против высоких температур, ставятся под свечи и выпускные патрубки цилиндров авиамоторов. Эти прокладки состоят из асбестового картона, обложенного с двух сторон фольгой из красной меди.

Широкое применение в качестве прокладочного материала имеет асбо-металлическое армированное полотно, состоящее из ткани с основой и утком в виде стальных или латунных проволок, оплетенных асбестовой пряжей. Эта ткань подвергается специальной отделке резиной с асбестом, пропитывается графитом и вулканизуется. Армированное полотно изготавливается толщиной от 0,6 до 1,5 мм. Прокладки из асбо-металлического армированного полотна выдерживают нагрев до 150° и внутреннее давление до 10 ат. Они применяются для уплотнения соединений в системе водо-, масло- и бензопитания моторов.

Пробковые прокладки из мелкой прессованной пробки предназначаются для уплотнения различных со-

единений в авиамоторах и их агрегатах во избежание подтекания бензина, масла, воды и утечки воздуха. Для устранения выкрашивания эти прокладки оклеиваются с двух сторон картоном или шлифованной фанерой при помощи бакелитовой пленки.

Резиновые прокладки ставятся главным образом для предупреждения протекания воды, например в стыке между гильзой цилиндра и рубашкой блока. В арматуре типа АМ, применяемой для соединения концов трубок бензопроводов, непроницаемость соединения создается при помощи уплотняющих резиновых колец с внутренней развальцованной свинцовой втулкой, предохраняющей резину от действия топлива. Применять резину в тех местах, где температура превышает 100—150°, нельзя.

Уплотнительные пасты (герметики) применяются для уплотнения резьбы в головках цилиндров, для создания непроницаемости в стыках между верхней и нижней половинами картера и т. п. Для повышения стойкости против действия топлива, масла и рабочих температур мотора в состав герметиков вводятся фенольная смола или шеллак в спиртовом растворе, графит и красящие пигменты, примерно по следующей рецептуре:

Шеллака	36%
Денатурата	55%
Графита	7%
Охры	1%
Касторового масла	1%

Смывкой для этого герметика служит смесь, состоящая из 90% ацетона, 7% нафталина и 3% парафина. Герметики очень часто применяются в комбинации с бумажными прокладками.

Для набивки сальников бензиновых помп обычно применяется пробка. Сальники водяных помп снабжаются набивкой из хлопчатобумажных и асбестовых волокон, пропитанных салом с графитом.

ЛИТЕРАТУРА

- Козлов П., Слоистые пластики и их применение в машиностроении.
Кардашев Д., пняж., Применение прозрачных пластинок в авиации (статья в журнале «Авиапромышленность», № 1, 1937).
Буштуев, Технология каучука.
Тидеман, Синтетический каучук.
ОСТехнические условия на резиновые материалы, 1938—1939.



ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Глава первая. Общие сведения о металлах и сплавах	3
§ 1. Общие свойства металлов	—
§ 2. Строение металлов	4
§ 3. Механические испытания металлов	7
Глава вторая. Железоуглеродистые сплавы	23
§ 4. Классификация и свойства железоуглеродистых сплавов	—
§ 5. Структуры медленно охлажденных углеродистых сталей	28
§ 6. Превращения, происходящие в стали при нагреве	29
§ 7. Структуры закаленной и отпущенной стали	33
§ 8. Перекристаллизация стали	36
Глава третья. Термическая обработка стали	38
§ 9. Общие сведения о термической обработке стали	—
§ 10. Закалка стали	—
§ 11. Отпуск закаленной стали	45
§ 12. Отжиг стали	46
§ 13. Нормализация стали	55
Глава четвертая. Химико-термическая обработка стали	57
§ 14. Общие сведения	—
§ 15. Цементация стали	—
§ 16. Нитрирование стали	64
§ 17. Цианирование стали	66
§ 18. Поверхностная закалка стали	67
Глава пятая. Специальные стали	70
§ 19. Общие сведения	—
§ 20. Классификация специальных сталей по назначению и микроструктуре	71
§ 21. Никелевые, хромистые и хромоникелевые стали	73
Глава шестая. Стали и чугуны, применяемые в авиамоторостроении	78
§ 22. Стали для коленчатых валов и шатунов	—
§ 23. Стали для цилиндров	81
§ 24. Стали для клапанов	82

25. Стали для клапанных пружин	85
26. Чугун для поршневых колец	86
27. Стали для магнитов	88
Глава седьмая. Стали, применяемые в самолетостроении . .	90
28. Стали для сварных самолетных конструкций . .	—
29. Нержавеющие стали	94
30. Авиационные тросы	97
31. Ленты-расчалки	102
Глава восьмая. Медные и антифрикционные сплавы . .	105
32. Медь	—
33. Латунь	106
34. Отжиг латунных и медных трубопроводов . .	107
35. Бронзы	109
36. Антифрикционные сплавы	111
Глава девятая. Алюминий и его сплавы	118
37. Алюминий	—
38. Дуралюмин	118
39. Поршневые алюминиевые сплавы	130
40. Алюминиевые сплавы для кованых и штампованных картеров звездообразных моторов	132
41. Алюминиевые сплавы для литых деталей авиамоторов	—
Глава десятая. Магний и его сплавы	137
42. Магний	—
43. Электрон	—
Глава одиннадцатая. Сварка и пайка	141
44. Значение сварки и пайки в самолетостроении . .	—
45. Материалы и аппаратура для ацетилено-кислородной сварки	144
46. Сварочное пламя	158
47. Электродуговая сварка	161
48. Присадочные материалы и флюсы	183
49. Структура сварного шва, напряжения и деформации при сварке	167
50. Сварка сталей и цветных металлов	170
51. Уход за сварными деталями самолета и ремонт их	177
52. Пайка	181
Глава двенадцатая. Коррозия металлов и сплавов . .	188
53. Общее понятие о коррозии и ее значение в авиации	—
54. Разновидности коррозии	189
55. Процесс электрохимической коррозии	190
56. Коррозия сплавов	198
57. Коррозия дуралюмина и способы борьбы с ней	201
58. Коррозия сталей и способы защиты от нее	207

	Стр.
Глава тринадцатая. Краски и лаки	215
§ 59. Масляные краски	—
§ 60. Лаки	220
§ 61. Уход за лакокрасочным покрытием самолета	230
Глава четырнадцатая. Авиадревесина и клеящие материалы	233
§ 62. Значение древесины в самолетостроении	—
§ 63. Строение древесины	234
§ 64. Физические свойства древесины	238
§ 65. Механические свойства древесины	242
§ 66. Дефекты древесины	247
§ 67. Породы авиадревесины	250
§ 68. Шпон и фанера	251
§ 69. Клеящие материалы	255
§ 70. Уход за деревянными деталями самолетов	257
Глава пятнадцатая. Самолетные ткани	261
§ 71. Назначение авиатканей и их характеристики	—
§ 72. Лакировка полотняной обшивки самолета	284
§ 73. Уход за аэролаковым покрытием обшивки самолета	268
Глава шестнадцатая. Резина, пластмассы, изоляционные и прокладочные материалы	268
§ 74. Резина	—
§ 75. Пластические массы	284
§ 76. Электроизоляторы	289
§ 77. Тепло- и звукоизоляционные материалы	290
§ 78. Прокладочные и уплотнительные материалы	291



0-33
Hana 11-11-11

- 65427 - ✓

RLST



0000000365978

1941

