

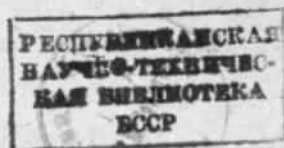
621.9

P 69

И. М. РОМАНОВ

канд. техн. наук

НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКОМ В ЛЕГКИХ СПЛАВАХ



ОБОРОНГИЗ

1940

621.9

р 69

Д Е П

И. М. РОМАНОВ

канд. техн. наук

НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ
МЕТЧИКОМ
В ЛЕГКИХ СПЛАВАХ

~~621.9~~
~~р 69~~

85314

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
БССР

ш. 89, 97, 07

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
БССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

МОСКВА 1940

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
БССР

В книге рассмотрены экспериментальные работы автора по вопросу изучения процесса нарезания резьбы метчиком в легких сплавах. На основе экспериментов автором даны практические указания по вопросу рациональной геометрии метчиков для нарезки резьбы в деталях из силумина, а также в отношении подготовки отверстий под резьбу и выбора оптимальных режимов при работе указанными метчиками.

Книга представляет большой интерес для производственников, а также для лиц, работающих в научно-исследовательских лабораториях по изучению обработки металлов снятием стружки.



Редактор *В. А. Пивовар*

Техн. редактор *А. А. Базанова*

Сдано в набор 31/1 1940 г. Подписано к печ. 29 IV 1940 г. Автор. догов. № 143.
Инд. А-50-5(4)-3 Тираж 5.500. Кол. печ. лист. 5,5. Учетно-авт. лист. 6,13.
Формат бум. 60×94/16. Уполн. Главл. А-27801 Заказ № 39.

Киевская типография Оборонгиза. Крещатик. 42.

ВВЕДЕНИЕ

Резьба, как основной элемент крепления и связи деталей друг с другом, имеет на современных мощных авиадвигателях большое значение.

Особое место занимает нарезание резьбы в деталях из легких сплавов. Обычно в деталях из легких сплавов нарезается внутренняя резьба (гайка). Сделать такую резьбу равнопрочной резьбе болта (шпильки), устойчивой против коррозии и точной, с минимальной затратой времени задача довольно сложная.

В производстве некоторых основных деталей авиационных моторов (особенно моторов водяного охлаждения) нарезание внутренней резьбы в деталях из легких сплавов занимает в общей механической технологии большое место.

Так, например, такие детали, как блок и картер, имеют по 100—150 отверстий с внутренней резьбой разнообразных размеров.

Различное назначение и разнообразие размеров резьб (от 3 до 150 мм в диаметре), а также весьма различные физико-механические свойства легких сплавов, применяемых в авиационной промышленности, требуют от режущих инструментов в каждом случае своих особых свойств как со стороны конструкции (геометрии), так и режимов работы.

Ни у нас в Союзе, ни в известной нам иностранной технической литературе нет опубликованных трудов по исследованию работы резьбонарезных инструментов, с достаточной полнотой освещающих процесс нарезания резьбы в деталях из указанных сплавов. Между тем удельное значение резьбонарезных работ при обработке деталей из легких сплавов в практике наших моторостроительных заводов столь значительно и требования к точности и тщательности изготовления резьбы столь высоки, что вопрос об исследовании режимов работы и рациональной конструкции режущих инструментов является настоятельной задачей сегодняшнего дня, тем более, что режимы резьбонарезных работ, применяемые в практике наших заводов при обработке деталей из легких сплавов, никак не могут считаться удовлетворительными и обеспечивающими практику стахановской работы.

Данный труд является результатом проведения длительных испытаний метчиков, представляющих наиболее распространенный инструмент при нарезании внутренней резьбы. На протяжении всей работы было проведено около 6000 опытов.

Экспериментальная часть исследований проводилась на одном из наших моторостроительных заводов применительно к тем конкретным материалам и условиям, которые имеются на данном заводе.

Данная работа ни в коем случае не исчерпывает полностью вопроса нарезания резьбы метчиком в деталях из легких сплавов и является лишь первым шагом в этом большом вопросе, первой попыткой научного обоснования технических норм и режимов при нарезании внутренней резьбы метчиками в легких сплавах.

Исследованиями были охвачены вопросы, перечисленные ниже:

I. Изучение работы резания и величин крутящих моментов при нарезании резьбы метчиками в легких сплавах. Определены расходы энергии.

В этом разделе велись работы в направлении установления для некоторых алюминиевых сплавов, применяемых на авиазаводах, рациональной конструкции метчика (геометрия режущего лезвия, рабочего конуса) и выявления основных зависимостей между: 1) $M_{кр}$ и диаметром метчика ($M_{кр} = f(d)$); 2) $M_{кр}$ и углом заточки передней грани метчика ($M_{кр} = f(\gamma)$); 3) $M_{кр}$ и шагом резьбы ($M_{кр} = f(s)$).

Кроме того, была проведена работа для установления влияния отношения высоты гайки (l_m) к длине рабочего конуса метчика (l_d) на величину крутящего момента.

Здесь же предполагалось определить влияние различных охлаждающих (смазывающих) жидкостей как на расход энергии при нарезании, так и на качество нарезаемой резьбы.

II. Испытание метчиков на стойкость и вывод основных зависимостей при обработке силумина для скорости резания:

а) $v = f(T)$ — зависимости скорости резания от продолжительности работы метчика до затупления;

б) $v = f(d)$ — зависимости скорости резания от диаметра метчика;

в) $v = f(s)$ — зависимости скорости резания от шага резьбы.

Параллельно с этими основными вопросами изучению подвергались:

а) процесс образования стружки при нарезании резьбы в легких сплавах;

б) качество получаемой нарезки;

в) износ метчиков.

Вся работа по исследованию поставленных вопросов была проведена под общим руководством проф. Кривоухова В. А.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Успех каждой исследовательской работы зависит в большой степени от того, насколько хорошо и рационально выбрана методика исследования.

К сожалению, в области испытаний резбонарезных инструментов (плашки, лерки, метчики) не имеется твердо установленной методики. В работах Куррейна (1925 г.) сделана первая попытка всестороннего исследования работы метчиков и установления методики испытаний последних. Данекайнд (1927 г.), Штавер (1932—1933 гг.), а также ряд наших отечественных исследователей сделали дальнейшие шаги в области изучения работы метчиков при нарезке ими резьбы в черных металлах (стали). В большинстве своем перечисленные выше работы в основном сводились к сравнительным испытаниям метчиков, изготовленных различными фирмами и заводами. На основании этих сравнений делались те или иные заключения о работоспособности либо метчика в целом, либо отдельного его элемента, причем не предпринимались попытки к установлению закономерностей, обобщаемых формулой, как это мы имеем в других областях обработки металлов резанием.

Данная работа имела целью найти хотя бы в первом приближении основные закономерности в отношении нарезания метчиком резьбы в некоторых легких сплавах. Исследование работы метчиков чрезвычайно затруднено как отсутствием необходимых приборов для контроля режущих элементов данного инструмента, так и сложностью соблюдения идентичности конструкции и качества метчиков, подвергаемых испытанию. При проведении испытаний было обращено особое внимание на сохранение постоянства условий режима работы, а также неизменность конструкции инструмента, кроме элементов, специально подвергаемых исследованию. Все метчики, принятые для испытания, тщательно контролировались как в отношении их геометрических размеров, так и в отношении качества их материала. Метчики, предназначенные для скоростных испытаний, подвергались, кроме нормального контроля твердости каждого пера (на приборе Роквелла), также металлографическому исследованию.

Обрабатываемый материал (материал гайки) всесторонне исследовался в заводской лаборатории испытания материалов.

2. СТАНОК, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА И ИНСТРУМЕНТ

Испытания проводились на вертикально-сверлильном станке фирмы „Кольбурн“. Данный станок, благодаря наличию сменной пары шестерен и перебора в коробке скоростей, позволял изменять числа оборотов шпинделя в диапазоне от 40 до 530 об/мин. табл. 1).

Таблица 1

Числа оборотов шпинделя сверлильного станка „Кольбурн“

Числа зубьев сменных шестерен		21 58	21 41	28 34	34 28	41 21	58 21
Число оборотов шпинделя	с перебором	40	57	92	136	210	300
	без перебора	69,5	100	160	240	380	530

Станок снабжен мотором мощностью $N = 2,7$ kW при $n = 950$ об/мин. Обратный ход шпинделя получается переключением мотора на обратный ход.

Крутящие моменты измерялись (фиг. 1) столиком Вебера (изготовлен лабораторией РОМ института им. Баумана).

Метчики для испытаний брались из числа употребляемых на заводе для нарезания резьбы в легких сплавах, причем в конструкцию метчиков по мере необходимости вносились те или иные изменения, выполняемые экспериментальной лабораторией или инструментальным цехом завода.

3. ОБРАБАТЫВАЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

В качестве материала для изготовления гаек было выбрано из спецификации завода несколько легких сплавов различных марок: силумин АС-12, дуралюмин АС-6 и

электрон F-1.

В качестве основного материала гайки, на котором строились все выводы и зависимости, был взят новый для завода алюминиевый сплав — силумин. Остальные сплавы (дуралюмин и электрон) испытывались в целях получения сравнительных данных.

Химический состав и механические качества силумина АС-12 указаны (по спецификации завода) в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав и механические качества силумина АС-12 (по спецификации завода) и французского сплава 26G

Марка сплава	Основные компоненты в %				Примеси в %		Механические качества			Удельный вес	Состояние сплава
	Si	Mg	Co	Al	Fe	Cu	σ кг/мм ²	δ %	HV		
АС-12	8,00— 11,0	0,2— 0,5	0,5— 0,8	Осталь- ное	0,7	0,2	20	3,0	65	2,75	Литье в зем- лю и термооб- работка
26G	8,82	0,36	0,63	"	0,5	0,04	21,5	7,0	65	—	Результаты исследования образца

В этой же таблице приведены для сравнения химический состав и механические качества аналогичного французского сплава 26G, полученные исследованием образца.

Для опытов указанный сплав АС-12 отливался в виде болванок диаметром в 110 мм и длиной в 250—300 мм; болванки подвергались принятой на заводе для данного сплава термической обработке (закалка и отпуск).

После термической обработки болванки разрезались на плитки необходимой толщины, в которых заготавливались отверстия под резьбу. Несколько плиток от каждой болванки посылались для исследования химического состава и механических свойств.

На фиг. 2 показана одна из плиток силумина с отверстиями, в которых нарезана метчиком резьба.

Болванки силумина, отлитые заводом специально для проведения данной работы по изучению работы метчиков, подвергались исследованиям как в отношении химического состава, так и в отношении механических качеств. Химический состав силумина, отлитого в виде болванок, оказался следующим: 9,47% Si;



Фиг. 2. Плитка силумина.

0,2% Mg; 0,5% Co; 0,43% Fe; 0,06% Cu и Al — остальное. Сравнивая эти данные с данными, приведенными в табл. 2, можно сказать, что в отношении основных компонентов материал болванок отвечает требованиям, предъявляемым техническими условиями.

Механические качества образцов, изготовленных из болванок силумина, приведены в табл. 3. Низкие значения удлинения объясняются неудовлетворительной микроструктурой образцов (иглочатое строение эвтектики AlSi). В изломе образцы имели мелкокристалл. структуру с блестящими зернами. Материал имел удовлетворительную плотность (пор не имелось).

Таблица 3

Механические качества образцов, изготовленных из болванок силумина

№ образцов	σ_b кг/мм ²	σ_s кг/мм ²	σ_p кг/мм ²	δ %	Твердость по Бринеллю	
					диаметр отпечатка	H _B
1	23,1	20,6	18,6	2,0	3,99	77
2	21,3	18,4	17,7	1,66	—	—
3	19,9	18,9	16,7	1,0	—	—
4	22,5	19,3	15,6	0,8	—	—
5	22,5	20,0	13,0	1,2	—	—
6	23,4	18,7	14,6	1,2	—	—
По техническим условиям	20	—	—	3,0	—	65

На фиг. 3 приведены фото макро- и микроструктуры болванок.

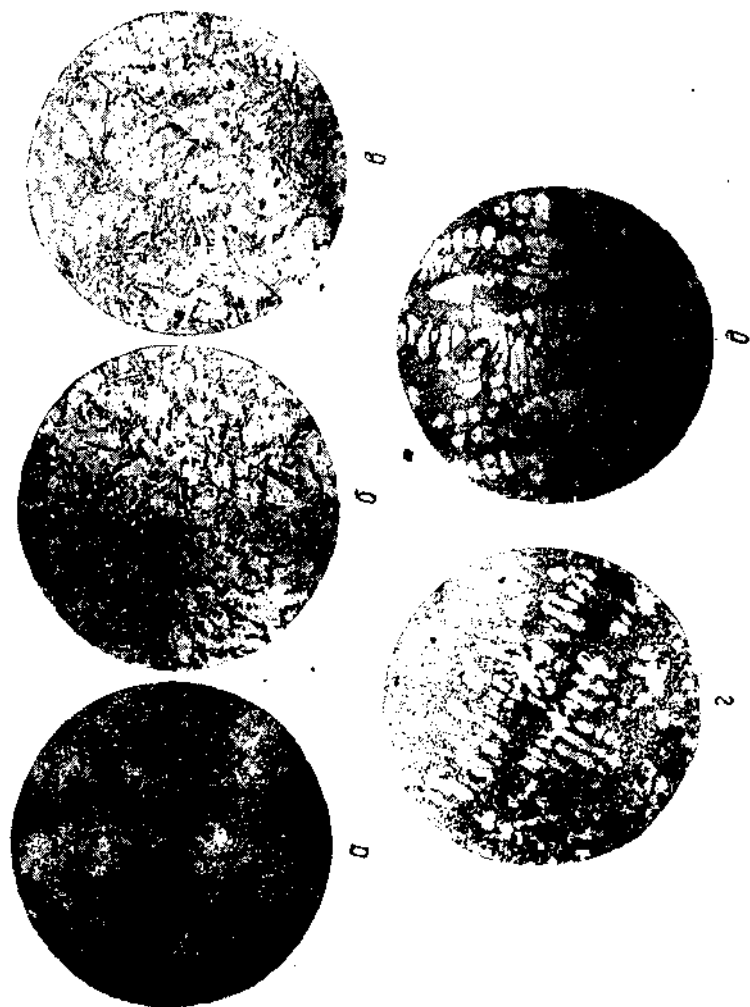
В табл. 4 приведены данные химического состава и механических качеств заготовок дуралюмина АС-6 и электрона F-1,

Таблица 4

Химический состав и механические качества дуралюмина АС-6 и электрона F-1

Сплав	Химический состав в %							Механические качества			Примечания
	Cu	Mg	Mn	Al	Fe	Si	Zn	σ_b кг/мм ²	δ %	H _B	
Дуралюмин АС-6	4,2	0,62	0,53	Остальное	0,43	0,6	—	38,4	11,2	102	Термообработка
Электрон F-1	0,06	Остальное	0,3	6,4	0,38	0,45	3,2	16,4	3,3	62	—

получаемых заводом со стороны. Эти заготовки использовались нами при проведении экспериментов по изучению работы метчиков в легких сплавах.



Фиг. 3. Макро- и микроструктуры болванок из сидумина АС.12.

РАБОТА РЕЗАНИЯ И КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКОМ В ЛЕГКИХ СПЛАВАХ

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Крутящий момент чистого резания

Если разрезать гайку вдоль ее оси, то мы увидим, что профиль резьбового витка представляет собой трапецию. Материал, заполнявший объем резьбового витка, был удален зубьями рабочего конуса метчика, причем зубья этого конуса имели равномерную подачу вдоль оси, а следовательно, и по винтовой линии. Таким образом сечения стружек, снимаемые каждым зубом рабочего конуса, имеют равную толщину, но различную ширину, обусловленную шириной верхнего лезвия самого зуба.

Если обозначить через:

h — высоту профиля резьбы,

s — шаг резьбы;

z — число перьев (канавок) метчика,

l_a — длину рабочего конуса метчика,

φ — угол рабочего конуса метчика,

t — толщину стружки, снимаемую одним зубом, в направлении, перпендикулярном к режущей кромке зуба,

t' — толщину стружки, снимаемую одним зубом, в направлении, перпендикулярном к оси метчика,

то связь между указанными элементами может быть установлена в следующем виде (фиг. 4):

$$t = t' \cos \varphi; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{t' z}{s} = \frac{h}{l_a}; \quad (2)$$

$$t' = \frac{hs}{l_a z}. \quad (3)$$

Рассматривая уравнение (3), мы можем установить целый ряд важных факторов, определяющих работу метчика. Прежде всего данное уравнение показывает, что снимаемая каждым зубом конуса метчика толщина стружки (t') тем больше, чем меньше число канавок и чем короче длина рабочего конуса. Прямо пропорционально увеличению толщины стружки увеличивается сечение стружки, а следовательно, понижается удельное давление резания K_s .

Таким образом на основании уравнения (3) приходим к выводу, что тот метчик будет работать легче, у которого при прочих равных условиях меньше канавок и короче рабочий конус.

Для метчиков, имеющих небольшой угол рабочего конуса (до 10°), можно полагать без большой для практики ошибки (1,0—1,5%), что $t' = t$. Таким образом можно считать, что весь профиль резьбы снимается (фиг. 5) сечениями стружки в виде

элементарных площадок — трапеций — с основаниями, параллельными оси метчика, и толщиной

$$\Delta h = \frac{d_2 - d_1}{2}.$$

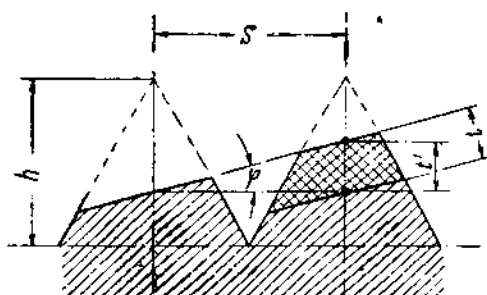
Элементарный крутящий момент резания в данном случае будет равен

$$\Delta M_{\text{рез}} = K_s \Delta F \rho, \quad (4)$$

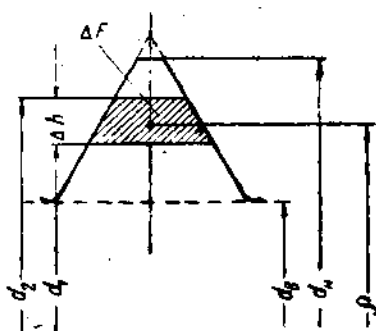
где K_s — удельное давление резания,

ΔF — элементарное сечение стружки и

ρ — расстояние центра тяжести элементарного сечения до оси метчика.



Фиг. 4. К установлению зависимостей между элементами метчика и снимаемой стружкой.



Фиг. 5. Схема снятия стружек при работе метчиком.

Общий же суммарный момент чистого резания выразится, как сумма элементарных моментов, т. е.

$$K_s \sum_{d_n} \Delta F \rho = K_s F \rho. \quad (5)$$

Расход энергии при нарезании резьбы метчиком

Изложенные выше теоретические рассуждения относятся, конечно, целиком к условиям свободного резания, т. е. к таким условиям, когда процесс образования стружки протекает нормально, как это имеет место, например, при работе резца. Но метчик представляет особый вид режущего инструмента, который отличается не только своей геометрией (конструкцией), но и характером работы. Метчик прежде всего является свободно-закрепленным режущим инструментом с большим числом режущих граней (кромки). В процессе работы метчик самоцентрируется и совершает самоподачу. Самоподача осуществляется силами давления (возникающими при вращении метчика) боковых поверхностей гайки на подобные же поверхности метчика.

В результате действия указанных выше сил давления возникают силы от трения профильных поверхностей резьбы метчика и гайки друг о друга. Эти силы трения создают дополнительно к моменту чистого резания момент трения. Назовем его моментом трения подачи ($M_{т.п}$).

Ввиду того что процесс стружкообразования протекает в условиях замкнутого контура канавки метчика в нарезаемой гайке и отделившаяся стружка вынуждена следовать до выхода метчика вместе с ним вдоль оси гайки (по винтовой линии), то безусловно данное явление вызывает дополнительный расход энергии на деформацию стружки и ее трение о стенки резьбы. Появляется новый дополнительный момент — момент трения стружки ($M_{т.с}$).

Кроме того, иногда в процессе работы может появиться и защемляющий момент. Обычно последний момент ($M_{защемл}$) при правильной конструкции метчика и правильном режиме работы отсутствует.

Таким образом суммарный крутящий момент в общем виде можно полагать состоящим из суммы перечисленных выше моментов, а именно:

$$M_{кр} = M_{рез} + M_{т.п} + M_{т.с} + M_{защемл}.$$

При $M_{защемл} = 0$ суммарный крутящий момент можно представить в виде следующего выражения:

$$M_{кр} = M_{рез} + M_{т.п} + M_{т.с}.$$

Удельное значение составляющих суммарный крутящий момент

Каково же удельное значение каждой составляющей момента?

На этот вопрос имеются различные противоречивые суждения отдельных исследователей. Так, например, проф. Куррейн определяет $M_{рез}$ в 75% общего суммарного момента. По исследованиям Штевера, $M_{рез}$ равен только 35% суммарного момента. Совершенно ясно, что то или иное соотношение между указанными моментами зависит от целого ряда факторов, действующих в процессе нарезания резьбы, основными из которых являются: материал гайки, материал метчика, качество изготовления метчика, его заточка, конструкция и смазка (охлаждение).

В зависимости от того, что мы будем иметь в данном конкретном случае из указанных факторов, можно будет наблюдать то или иное соотношение между составляющими моментами.

Факторы, определяющие величину $M_{кр}$

С точки зрения обеспечения правильной работы метчика, а вместе с тем и получения резьбы хорошего качества, для нас не безразлично, каково указанное выше соотношение между составляющими $M_{кр}$.

Для получения желательного соотношения мы должны знать те факторы, которые влияют на величину каждого из соответствующих моментов. Отметим главные из них. Крутящий момент чистого резания $M_{рез}$ находится в прямой зависимости от удельного давления резания K_z , которое в свою очередь определяется целым рядом факторов, как то: 1) сечением стружки, приходящимся на один зуб рабочего конуса; 2) механическими и структурными качествами обрабатываемого материала; 3) углом резания; 4) количеством и качеством смазывающей жидкости при работе метчика; 5) материалом метчика и качеством его изготовления, обеспечивающим необходимую степень чистоты отделки передней грани режущего пера.

Крутящий момент трения подачи $M_{т.п}$ зависит: 1) от качества изготовления метчика, обеспечивающего необходимую степень чистоты отделки боковых (профильных) поверхностей резьбы; 2) от угла затыловки рабочего конуса; 3) от угла затыловки профильных плоскостей резьбы; 4) от угла обратного конуса; 5) от скорости резания; 6) от качества и количества смазывающей жидкости при работе метчика и 7) от качества материала (коэффициент трения) гайки и метчика.

Крутящий момент трения стружки $M_{т.с}$ зависит: 1) от качества отделки стенок канавки; 2) от формы и размеров канавки; 3) от качества обрабатываемого материала; 4) от скорости резания и 5) от угла заточки передней грани метчика.

Таким образом, если обозначить через:

K_m — качество обрабатываемого материала,

$K_{из}$ — качество изготовления метчика,

F_z — сечение стружки на один зуб конуса,

γ — угол заточки передней грани,

ω — качество и количество смазки,

α — угол затыловки рабочего конуса,

α_1 — угол затыловки боковой поверхности,

ψ — угол обратного конуса,

v — скорость резания,

Φ_k — форму и размеры канавки,

то можно написать

$$1) M_{рез} = f(F_z, K_m, \gamma, \omega, K_{из});$$

$$2) M_{т.п} = f(K_{из}, \alpha, \alpha_1, \psi, v, \omega, K_m);$$

$$3) M_{т.с} = f(K_{из}, K_m, \Phi_k, \gamma, \omega, v).$$

Желательное соотношение между составляющими $M_{кр}$

Полезную работу совершает $M_{рез}$ и отчасти $M_{т.п}$. Если вообще мы должны стремиться к возможно максимальному уменьшению $M_{кр. сумм}$ и тем самым к уменьшению удельного расхода энергии при нарезании резьбы, то это уменьшение должно идти

прежде всего за счет доведения до минимума составляющих моментов трения: $M_{т.с}$ и $M_{т.п}$. Правильно работающий метчик, гарантирующий получение высококачественной резьбы, характеризуется тем, что на работу резания затрачивается не менее 70 — 80% общего количества расходуемой энергии.

Некоторые из рассмотренных выше факторов, определяющих величину суммарного крутящего момента, мы можем отнести к группе не зависящих от технолога факторов. Таковы, например, материал гайки, материал метчика и в некоторых случаях качество изготовления метчика (резьба шлифованная и нешлифованная).

Целый же ряд факторов, определяющих конструкцию метчика, геометрию режущего лезвия (углы заточки, углы конуса, формы и размеры канавки и пр.), смазку и пр., мы вольны при конструировании метчиков менять по своему усмотрению, и задача технолога-конструктора заключается в необходимости такого подбора указанных выше факторов, при котором достигается оптимальное действие их на суммарный крутящий момент при условии получения при этом нарезаемой резьбы высокого качества.

Значение отдельных элементов конструкции метчика

Метчик, как указывалось уже выше, является весьма сложным резбонарезным инструментом, состоящим из целого ряда элементов, определяющих качество работы метчика.

Для правильной оценки влияния каждого элемента на качественную работу метчика, необходимо изучить влияние каждого из этих элементов на работоспособность метчика.

Основными элементами конструкции всякого метчика являются:

- 1) длина и угол рабочего конуса * (l_a, φ);
- 2) угол заточки передней грани (γ);
- 3) число канавок, форма и направление их;
- 4) угол затыловки рабочего конуса (α);
- 5) угол обратного конуса (ψ).

Значения всех указанных элементов для нормальных метчиков, предназначенных для нарезки резьбы в черных металлах, даны в стандартах ОСТ. Для метчиков, предназначенных для нарезки резьбы в легких сплавах, никаких конкретных величин указанных элементов ни в стандартах, ни в справочниках не дается. Это вполне понятно, если учесть чрезвычайное разнообразие легких сплавов.

* Рабочий конус иначе называется „заборным“ или „приемным“ конусом. Считая, что название „рабочий конус“ лучше выражает назначение данной части конструкции метчика, автор везде в дальнейшем употребляет это название.

Угол заточки передней грани метчика

Угол передней заточки γ является одним из важнейших элементов метчика. Этот угол обуславливает характер процесса стружкообразования и тем самым оказывает непосредственно влияние на чистоту обрабатываемой поверхности. Помещаемые ниже фиг. 6—8 дают возможность судить о влиянии величины переднего угла на характер получаемой стружки и чистоту поверхности резьбы.

В данном случае, как и при работе токарного резца, стружка с увеличением угла передней заточки метчика получается более сливного характера, локонообразная, с блестящей затылочной стороной.

Угол заточки передней грани метчика оказывает также весьма значительное влияние на величину крутящего момента. По данным опытов Штевера*, при увеличении переднего угла метчика с 0 до 18° крутящий момент при обработке стали снижается на 25 ÷ 30%. В наших опытах при обработке силумина (смазка — керосин) при увеличении угла γ с 12 до 20° крутящий момент (максимум) снижался со 130 до 90 кгсм, т. е. примерно на 30%.

Необходимо также отметить то обстоятельство, что угол заточки передней грани метчиков, предназначенных для обработки даже одного и того же материала, не имеет в настоящее время одного определенного значения. Различные фирмы и авторы рекомендуют весьма различные значения. Некоторые фирмы рекомендуют для метчиков, служащих для нарезки резьбы в алюминии, электроле и дуралюмине, угол заточки передней грани в 40°; другие дают для него более низкие значения. В „Справочнике металлста“ рекомендуется угол заточки передней грани метчиков для алюминиевых сплавов брать в пределах 10 ÷ 18°. В целях установления значений углов заточки передней грани метчиков для обработки силумина, дуралюмина и электрона нами были произведены соответствующие испытания метчиков с различными углами. Результаты испытаний приводятся ниже.

2. РАБОТА РЕЗАНИЯ И КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ КАК ФУНКЦИИ УГЛА ЗАТОЧКИ ПЕРЕДНЕЙ ГРАНИ МЕТЧИКА

Задачей настоящих испытаний было: 1) определение функциональной зависимости между крутящим моментом и углом заточки передней грани при обработке метчиком силумина, дуралюмина и электрона; 2) определение оптимального значения угла заточки передней грани метчиков при обработке указанных сплавов.

Для испытаний были взяты трехканавочные метчики ТМ18/200, употребляемые заводом при нарезании тугой метрической резьбы в картере из алюминиевого сплава** (фиг. 9 и 10).

* Stock — Zeitschrift, 1932.

** Обозначение ТМ18/200 расшифровывается так: метчик для нарезки тугой метрической резьбы с диаметром 18 мм и шагом в 2 мм.



Фиг. 6. Метчик
1-Y; $\gamma = 12^\circ$.



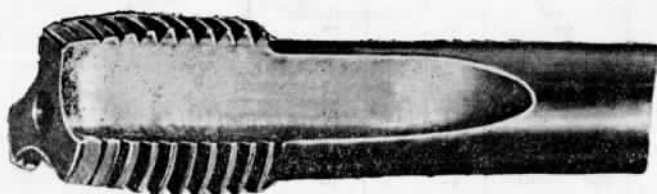
Фиг. 7. Метчик
3-Y; $\gamma = 20^\circ$.



Фиг. 8. Метчик
5-Y; $\gamma = 30^\circ$.

Фиг. 6—8. Вид стружек, полученных при нарезании резьбы в силумине трехканавочными метчиками ТМ18/200, в зависимости от величины углов заточки передних граней γ метчиков.

После тщательного отбора метчиков. (обращалось особое внимание на качество изготовления, на идентичность профиля канавок, на биение по образующей как рабочего конуса, так и калибрующей части) передняя грань их затачивалась на универсально-заточном станке Шютте на требуемый угол.

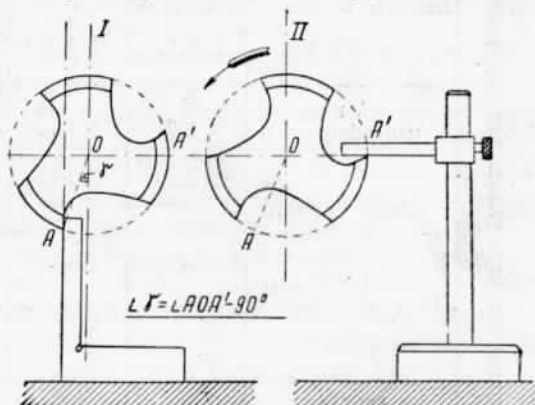


Фиг. 9. Рабочая часть метчика TM18/200.

После заточки угол передней грани метчиков контролировался (фиг. 11) оптической делительной головкой „Фриц Вернер“ и индикаторами, а также универсальным инструментальным микроскопом Цейса способом, описанным ниже (см. главу IV „Контроль режущих элементов рабочего конуса метчика“).



Фиг. 10. Профиль торца метчика TM18/200.



Фиг. 11. Установка метчика при измерении угла заточки передней грани метчика при помощи оптической делительной головки.

Нарезка резьбы проводилась на сверлильном станке „Кольбурн“, описанном выше. Суммарные крутящие моменты $M_{кр}$ фиксировались столиком Вебера на индикаторных диаграммах, причем при работе каждым метчиком снималось не менее десяти индикаторных диаграмм. Плитки, в которых сверлились отверстия под резьбу, подбирались идентичными по твердости и по макроструктуре.

Во избежание влияния факторов (отклонения от размера, конусность и пр.), искажающих результаты испытаний, отверстия под резьбу после сверления развертывались до нужного размера соответствующими развертками. При работе метчик смачивался керосином. Данные метчиков, использованных в этом случае, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Протокол контроля метчиков, подлежащих испытанию для определения усилий при нарезании резьбы

№ метчиков	Обозначение резьбы	Диаметры			Шаг		Угол профиля	Число и номер канавок	Ширина перьев, мм	Угол передних заточек γ	Угол заточки α	Твердость, Rc	Рабочий конус		Число на-резок		Бенне	
		d_n , мм	d_{cp} , мм	d_a , мм	размер, мм	отклонение на длине в 10 ниток, мм							Угол φ	длина, мм	всего	конуса	по наружному диаметру, мм	по конусу, мм
1-У	ТМ18 200	18,12	16,576	15,013	2	0	59°40'	1 2 3	6,1 6,1 6,3	12° 11°30' 12°	7° 7° 7°	61,5 62,0 62,0	9°20'	7,6	10	4	0, 0, +0,04	0 +0,01 -0,03
		18,09	16,575	15,113	2	0	59°40'	1 2 3	5,9 6,1 5,9	15° 15° 13°20'	7° 7° 7°	63,0 62,5 62,0	9°30'	7,6	10	4	0 +0,01 +0,03	0 +0,01 +0,04
		18,15	16,581	15,070	2	-0,004	59°45'	1 2 3	6,0 6,2 6,0	21° 19°30' 19°	7° 7° 7°	61,0 59,5 62,0	9°15'	8,1	10	4	0 0 +0,01	0 0 +0,02
4-У	ТМ18 200	18,11	16,549	15,029	2	-0,007	59°50'	1 2 3	6,3 6,3 6,1	25° 25° 25°30'	7° 7° 7°	63,0 63,0 60,5	9°10'	8,2	10	4	0 0 +0,04	0 -0,05 -0,05
		18,07	16,558	15,123	2	0	60°	1 2 3	5,9 6,0 6,1	30°30' 30° 32°	7° 7° 7°	62,5 64,0 63,5	9°20'	7,8	10	4	0 -0,02 +0,01	0 0 +0,03

Результаты испытаний, полученные обработкой индикаторных диаграмм, сведены в табл. 6. (стр. 20).

Как видно из табл. 6, максимальный крутящий момент $M_{кр. \max}$ уменьшается с увеличением угла заточки передней грани метчика (угла поднутрения).

Зависимость $M_{кр. \max}$ от величины угла γ можно написать в виде уравнения

$$M_{кр. \max} = \frac{C}{\gamma^x}.$$

В логарифмических координатах данное уравнение примет вид уравнения прямой

$$\lg M_{кр. \max} = \lg C - x \lg \gamma,$$

где показатель степени x является тангенсом угла наклона данной прямой, а $\lg C$ представляет отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат.

Построив данное уравнение в логарифмических координатах, мы можем графически определить величины x и C .

При графическом методе определения неизвестных задача ввиду разбросанности точек становится несколько неопределенной, так как при проведении прямой возможен известный произвол. Чтобы избежать этого и определить с максимально возможной точностью для данного уравнения величины x и C , производим математическую обработку полученных данных способом „наименьших квадратов“ (метод Гаусса). Указанный метод определения неизвестных применялся в данной работе во всех аналогичных случаях.

В результате обработки указанным выше способом экспериментальных данных, полученных при нарезке резьбы в силумине, мы для уравнения $M_{кр} = f(\gamma)$ получили следующие значения:

$$x = 0,67 \text{ и } C = 697.$$

Подобным же образом были произведены испытания для определения зависимости $M_{кр} = f(\gamma)$ при обработке дуралюмина АС-6 и электрона.

Соответственно были получены: для дуралюмина $x_1 = 0,70$ и $C_1 = 1155$, а для электрона $x_2 = 0,78$ и $C_2 = 557$.

Таким образом влияние величины угла заточки передней грани на максимальный крутящий момент может быть выражено следующими уравнениями:

$$1) \text{ для силумина } M_{кр. \max} = \frac{697}{\gamma^{0,67}}; \quad (6)$$

$$2) \text{ для дуралюмина } M_{кр. \max} = \frac{1155}{\gamma^{0,70}}; \quad (7)$$

$$3) \text{ для электрона } M_{кр. \max} = \frac{557}{\gamma^{0,78}}. \quad (8)$$

Таблица 6

Результаты испытаний трехканавочных метчиков ТМ18/200 с различными углами передней грани

№ по пор.	№ метчика	Углы заточки передних граней метчика γ°	Гайка			Режим работы			$M_{кр}$, кгсм		Работа нарезания кгсм
			Материал	Высота l_m , мм	Диаметр отверстия под резьбу $d_{отв}$, мм	Число оборотов шпинделя n в мин.	Скорость резания v , м/сек	Смазка	максимальный	средний	
1	1-У	12° 12° 11°30'	Силумин	20	15,5	100	5,65	Керосин	130	51,2	6340
2	2-У	15° 15° 13°20'		20	15,5	100	5,65		118	42,2	5230
3	3-У	21° 19° 19°30'		20	15,5	100	5,65		90	31,5	3900
4	4-У	25° 25° 25°30'		20	15,5	100	5,65		80	28,0	3450
5	5-У	30°30' 30° 32°		20	15,5	100	5,65		71	26,0	3170
6	1-У	Те же, что и для силумина	Дуралюмин	20	15,5	100	5,65	Керосин	200	64,5	8000
7	2-У			20	15,5	100	5,65		180	60,4	7500
8	3-У			20	15,5	100	5,65		137	45,3	5620
9	4-У			20	15,5	100	5,65		125	38,5	4780
10	5-У			20	15,5	100	5,65		106	33,5	4160
11	1-У	Те же, что и для силумина	Электрон	20	15,5	100	5,65	Керосин	80,0	25,0	3100
12	2-У			20	15,5	100	5,65		70,0	22,5	2800
13	3-У			20	15,5	100	5,65		55,0	18,0	2230
14	4-У			20	15,5	100	5,65		48,0	12,5	1550
15	5-У			20	15,5	100	5,65		35,0	8,0	990

Примечание. Значения крутящих моментов и работы нарезания указаны в таблице средние из ряда замеров (не менее десяти на каждый опыт).

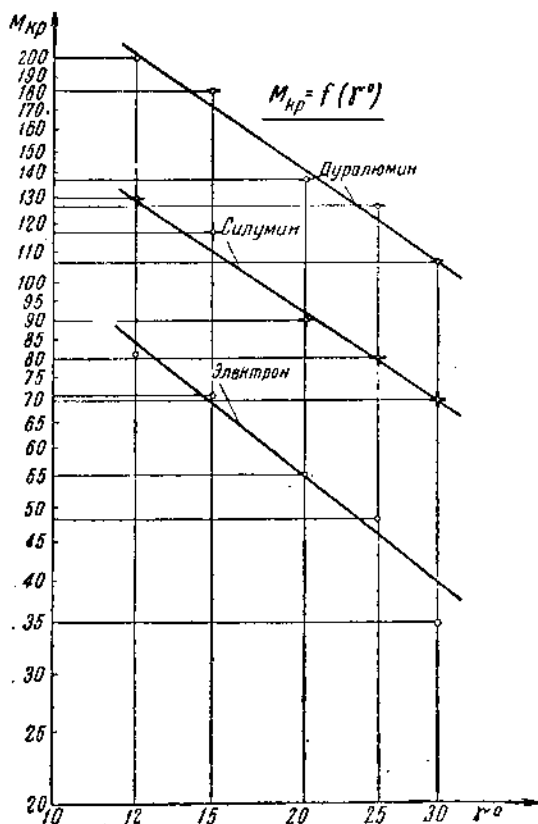
Как видно из уравнений (6), (7) и (8) и диаграммы, представленной на фиг. 12, угол заточки передней грани метчика оказывает большее влияние на величину $M_{кр}$ при обработке дуралюмина и электрона, чем при обработке силумина.

Планиметрированием площадей индикаторных диаграмм был определен расход энергии (работа), затрачиваемой на нарезание резьбы вышеуказанными метчиками в силумине, дуралюмине и электроде (табл. 6).

Затрачиваемая работа при нарезании резьбы метчиками с различными углами заточки передней грани метчика изображена в виде графика на фиг. 13.

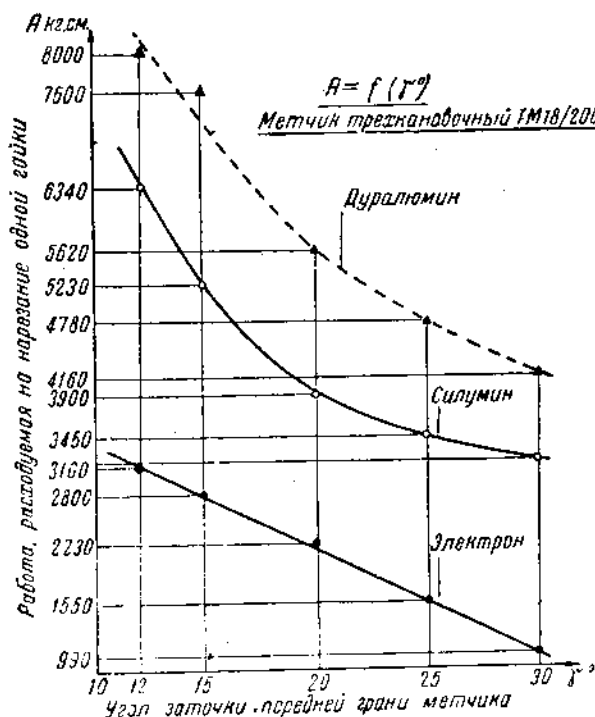
Кривые, показывающие изменение расхода энергии при нарезании резьбы, при обработке силумина, дуралюмина и электрона, носят различный характер. Если при обработке электрона работа, затрачиваемая при нарезании резьбы, уменьшается примерно прямо пропорционально увеличению угла заточки метчика, то при обработке силумина и дуралюмина наблюдается более интенсивное уменьшение расходуемой энергии по мере увеличения угла γ до 20° ; с увеличением же угла γ свыше 20° изменение затрачиваемой работы идет медленнее.

Таким образом, рассматривая влияние угла заточки передней грани метчика на расход энергии и качество нарезаемой резьбы при обработке силумина АС-12, дуралюмина и электрона (табл. 6), можно заключить, что выбор угла γ свыше 30° вряд ли целесообразен, так как дальнейшее уменьшение расхода энергии не оправдывается заметным уменьшением сопротивления режущей крошки метчика износу.



Фиг. 12. Влияние величины угла заточки передней грани метчика на величину крутящего момента при нарезании резьбы в дуралюмине, силумине и электроде.

Для нарезки резьбы в силумине наиболее рациональным углом заточки передней грани метчиков следует признать угол в 25—30°.



Фиг. 13. Влияние величины угла заточки передней грани метчика на величину работы, затрачиваемой при нарезании резьбы в дуралюмине, силумине и электроле.

3. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СМАЗОК НА УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ В ЛЕГКИХ СПЛАВАХ

При тех же условиях и режимах и при пользовании теми же метчиками, что употреблялись для выявления зависимости $M_{кр} = f(\gamma)$, были произведены исследования, имевшие целью выяснить влияние различных смазывающих жидкостей на величину усилия резания (на $M_{кр}$) при обработке силумина АС-12.

Жидкость, применяемая для смазки режущих инструментов, должна отвечать следующим требованиям: 1) она должна обладать хорошими смазывающими свойствами, что необходимо для уменьшения силы трения; 2) она должна хорошо отводить тепло от режущих лезвий инструмента; 3) она не должна оказывать вредного действия на обрабатываемый металл и станок и 4) она должна быть безвредной для здоровья рабочего.

Каждый металл, в силу специфики своего химического состава, а также структурных и механических свойств, требует

для получения обрабатываемой поверхности хорошего качества и достижения низких усилий резания применения специальной смазки. Условия и режимы работы также накладывают определенные требования на качество смазывающей (охлаждающей) жидкости; так, например, там, где в процессе резания развиваются высокие температуры (обдирочные работы), основным требованием к жидкости, превалирующим над всеми остальными, будет наличие особо хороших охлаждающих свойств. При нарезании резьбы метчиком в силумине высоких температур не наблюдается (об этом см. ниже, раздел скоростных испытаний), а поэтому главное требование, которое предъявляется к смазке в данном случае, заключается в наличии высоких смазывающих свойств, обеспечивающих получение низких усилий резания и высокой чистоты поверхностей резьбы.

Но, как показывают работы проф. Ребиндера, влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на процесс резания далеко не исчерпывается только охлаждающим и смазывающим свойствами этих жидкостей. Оказывается, здесь мы имеем дело с комплексом физико-химических явлений, способствующих или, наоборот, препятствующих процессу резания. Работы проф. Ребиндера отмечают совершенно новую сторону действия смазочно-охлаждающих жидкостей, заключающуюся в адсорбционном понижении твердости срезаемого слоя металла. Поэтому при выборе смазочно-охлаждающей жидкости указанное необходимо учитывать, так как в некоторых случаях (чистовая обработка поверхностей) адсорбирующее действие смазочно-охлаждающей жидкости имеет преобладающее влияние на процесс резания. Установить влияние той или иной смазочно-охлаждающей жидкости на процесс резания возможно только соответствующими испытаниями. Такие испытания четырех смазочно-охлаждающих жидкостей при нарезании резьбы в легких сплавах описаны ниже.

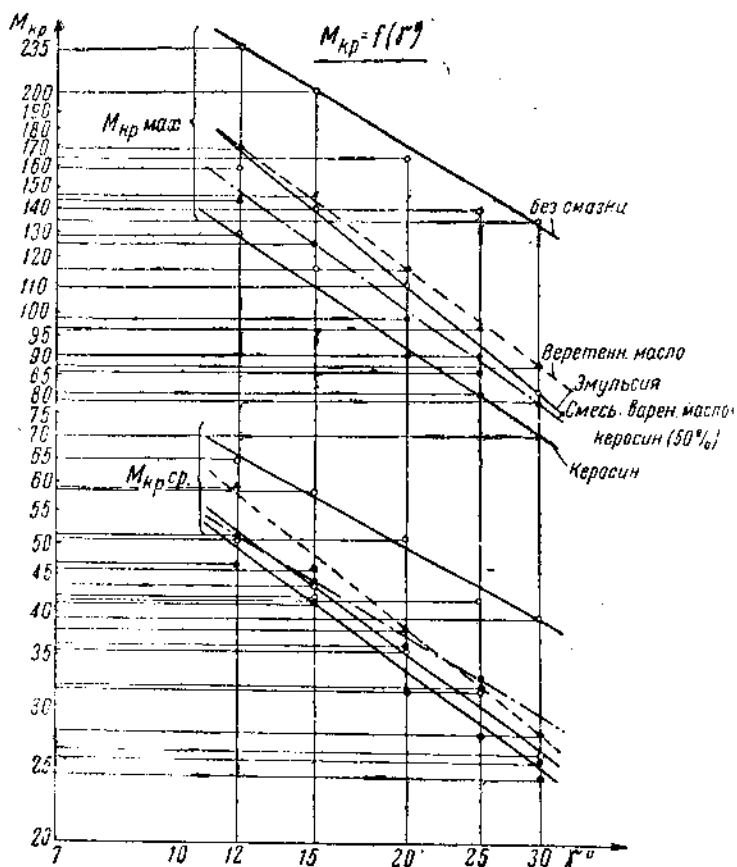
В качестве опытных смазок были взяты: 1) керосин, 2) эмульсия (10₀%), 3) веретенное масло и 4) смесь — вареное масло с керосином (50%). В целях получения сравнительных данных резьба нарезалась также и всухую.

В качестве материала для гаек был взят силумин АС-12. Подготовка отверстий под резьбу, диаметр отверстий и режимы работы были выбраны те же, что и при испытаниях, проведенных для выявления зависимости $M_{кр} = f(\gamma)$. Смазывание производилось обильно при помощи волосяной кисти.

Результаты испытаний даны в табл. 7. По средним данным этой таблицы построены в логарифмической сетке кривые $M_{кр} = f(\gamma)$ для случаев применения различных смазок.

Анализ графика, приведенного на фиг. 14, и данных испытаний показывает, что лучшей смазочно-охлаждающей жидкостью для метчиков при нарезании резьбы в силумине АС-12 является керосин. При применении керосина более значительно, чем при других испытываемых смазках, уменьшаются крутящий момент и работа нарезания. Чистота поверхности резьбы полу-

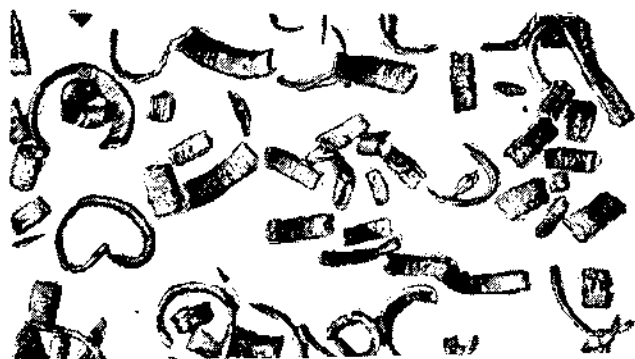
чается также лучшей, чем при других смазках. Лучшее протекание процесса резания при смазывании метчика керосином подтверждается видом (характером) стружек, полученных при нарезании резьбы в силумине метчиком З-У ($\gamma=20^\circ$) с применением различных смазок (фиг. 15—17).



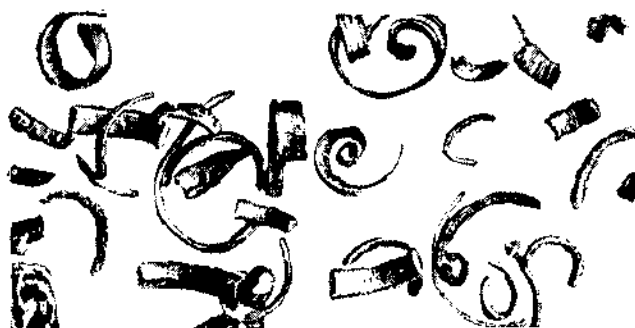
Фиг. 14. Зависимости величин максимального и среднего крутящих моментов от различных смазок при нарезании резьбы в силумине.

Обращает на себя внимание совершенно различный характер стружек, полученных при одних и тех же условиях обработки дуралюмина, силумина и электрона (фиг. 15—20), что объясняется исключительно различными качествами самих сплавов. Лучшим сплавом с точки зрения обрабатываемости надо признать дуралюмин, который дает ровную сливную стружку (в виде локонов).

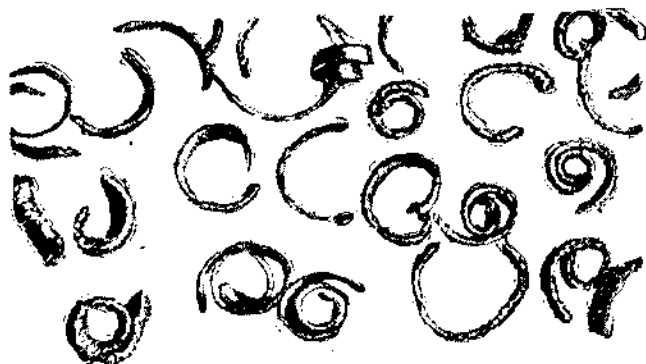
Дополнительная деформация стружки дуралюмина требует затраты лишней энергии, что видно из диаграммы расхода энергии.



Фиг. 15.
Метчик 3-У;
смазка—эмульсия.



Фиг. 16.
Метчик 3-У;
смазка—смесь
вареного масла
с керосином (50%).



Фиг. 17.
Метчик 3-У;
смазка—веретен-
ное масло.

Фиг. 15—17. Вид стружек, полученных при нарезании резьбы в силумине трехканавочными метчиками ТМ18/200, в зависимости от различных смазок при угле заточки передней грани метчиков $\gamma = 20^\circ$ и при числе оборотов шпинделя $n = 100$ в минуту.

Таблица 7

Результаты испытаний трехканавочных метчиков ТМ18/200 с различными углами заточки и при применении различных смазок

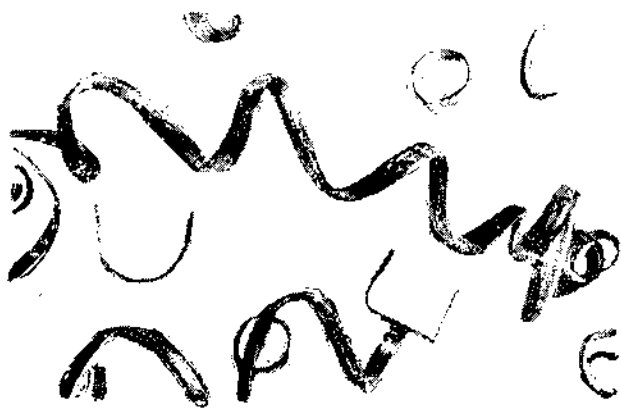
Материал гайки—силумин (данные силумина см. в табл. 2)

№ по пор.	№ метчиков	1-У		2-У		3-У		4-У		5-У	
	Углы передней заточки γ	12°		15°		20°		25°		30°	
	Смазка	Крутящие моменты, кгсм									
Максимальные		Средние	Максимальные	Средние	Максимальные	Средние	Максимальные	Средние	Максимальные	Средние	
1	Керосин	135	52,7	120	41,0	80	29,2	65	25,6	70	28,4
2	То же	125	50,4	120	46,0	80	30,7	75	29,7	75	25,6
3	"	125	41,0	115	42,3	95	30,7	105	28,6	75	25,6
4	"	130	55,7	120	41,0	90	33,2	80	28,2	60	23,0
5	"	135	56,2	115	41,0	105	32,8	75	28,2	73	24,8
6	Эмульсия	165	51,2	150	46,0	110	35,8	95	30,8	60	25,6
7	То же	150	41,0	140	44,8	110	36,2	85	31,0	85	28,4
8	"	155	46,0	150	51,2	105	34,0	80	32,8	90	28,4
9	"	170	51,2	120	41,0	115	37,6	80	32,0	85	20,5
10	Веретенное масло	155	56,3	135	43,5	115	36,0	90	31,8	75	29,0
11	То же	155	49,2	150	43,5	105	37,2	105	32,8	90	28,6
12	"	180	65,5	150	48,2	120	36,2	95	33,6	100	32,8
13	"	190	71,5	135	49,5	125	41,0	95	31,0	75	28,8
14	Смесь — вареное масло и керосин (50%)	150	58,0	125	45,0	100	35,8	80	30,2	80	26,6
15	То же	150	53,5	115	43,0	100	36,9	85	29,2	75	20,8
16	"	145	46,0	135	46,0	90	35,8	90	36,0	75	25,6
17	"	135	51,0	120	47,2	100	40,9	105	39,0	75	25,6
18	Без смазки (всухую)	235	65,5	195	54,3	160	51,0	135	41,5	125	39,2
19	То же	235	65,0	200	59,0	175	56,0	130	41,5	135	40,0
20	"	235	65,5	200	59,0	160	51,2	145	43,0	130	41,0
21	"	240	67,2	205	64,0	150	46,0	140	44,2	135	39,5

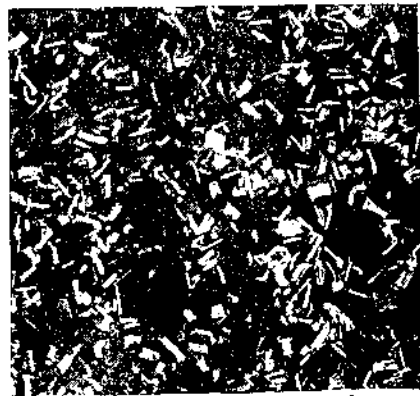
Примечания. 1. Углы заточки передней грани даны округленно для всех трех перьев каждого метчика.

2. Размеры гаек: высота гайки $l_m = 20$ мм; отверстие под резьбу $d_{отв} = 15,5$ мм.

3. Режим обработки: число оборотов шпинделя $n = 100$ в мин.; окружная скорость $v = 5,65$ м/мин.



Фиг. 18. Вид стружек, полученных при нарезании резьбы в дуралюмине трехканавочным метчиком TM18/200, при смазке керосином, при угле заточки передней грани метчика $\gamma = 20^\circ$ и при числе оборотов шпинделя $n = 100$ в минуту. Метчик 3-У.

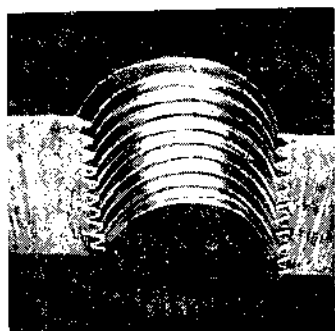


Фиг. 19. Метчик 1-У; $\gamma = 12^\circ$.

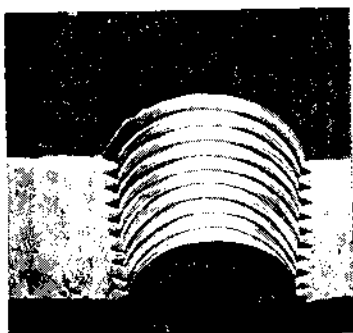


Фиг. 20. Метчик 3-У; $\gamma = 20^\circ$.

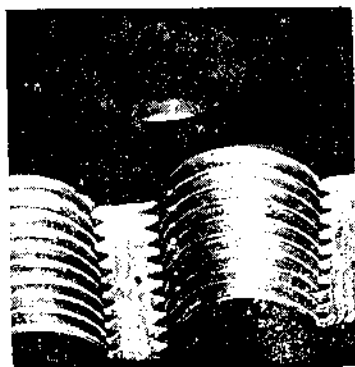
Фиг. 19—20. Вид стружек, полученных при нарезании резьбы в электролите трехканавочным метчиком TM18/200, в зависимости от различных величин углов заточки передней грани метчика. Число оборотов шпинделя $n = 100$ в минуту. Смазка—керосин.



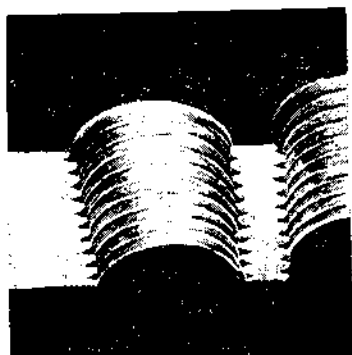
Фиг. 21. Смазка—керосин.



Фиг. 22. Смазка—смесь на-
ре-ного масла с керосином (50%).

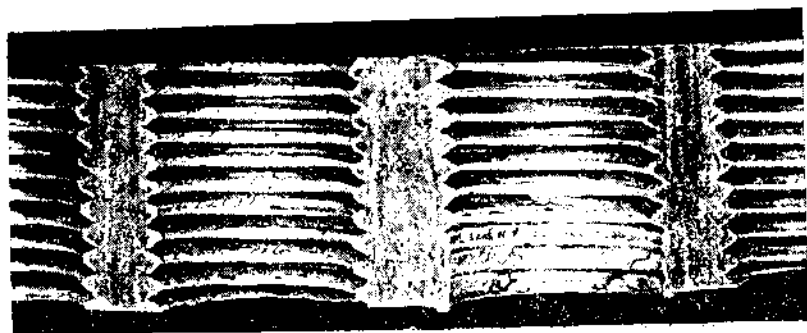


Фиг. 23. Смазка—веретенное
масло.



Фиг. 24. Смазка—эмульсия.

Фиг. 21—24. Качество поверхности резьбы, нарезанной трехканавочным метчиком ТМ18/200 в алюминии, в зависимости от различных смазок.



Фиг. 25. Качество поверхности резьбы, нарезанной трехканавочным метчиком ТМ18/200 в алюминии без смазки (всухую).

На фиг. 21—24 приведены фото, дающие возможность судить о влиянии различных смазок (керосин, смесь вареного масла с керосином, веретенное масло, эмульсия) на качество поверхности резьбы при нарезании в силумине трехканавочным метчиком ТМ18/200.

На фиг. 25 показан вид резьбы, полученной при нарезании ее в силумине трехканавочным метчиком ТМ18/200 без смазки (всухую).

4. ЗАВИСИМОСТЬ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА И РАБОТЫ РЕЗАНИЯ ОТ ОТНОШЕНИЯ ВЫСОТЫ НАРЕЗАЕМОЙ ГАЙКИ К ДЛИНЕ РАБОЧЕГО КОНУСА МЕТЧИКА

Рабочий конус является наиболее ответственной частью метчика. От того, насколько правильно подобраны отдельные элементы рабочего конуса для данного конкретного случая работы, зависят качество нарезаемой резьбы, величина расхода энергии и время, затрачиваемое на нарезание гайки (при постоянстве режима работы). Выше мы уже рассмотрели один из существенных элементов рабочего конуса — угол заточки передней грани γ .

Следующим наиболее важным элементом рабочего конуса является его длина или угол конуса. Как было уже указано выше, длина рабочего конуса определяет толщину стружки, приходящуюся на один зуб, а тем самым и величину удельного давления резания K_s . С увеличением длины конуса уменьшается сечение стружки, приходящееся на один зуб, уменьшается нагрузка на зуб и вместе с тем получается более точная и чистая резьба.

С другой стороны, увеличение длины рабочего конуса вызывает увеличение машинного времени работы, увеличение удельного давления резания K_s , а также увеличение расхода материала и времени на изготовление метчика. Кроме того, создаются дополнительные трудности при термической обработке длинных метчиков. Задача конструктора-технолога сводится к выбору оптимального значения длины конуса (угла конуса) для каждого конкретного случая.

Обыкновенно длина рабочего конуса l_a определяется по уравнению, выведенному нами выше:

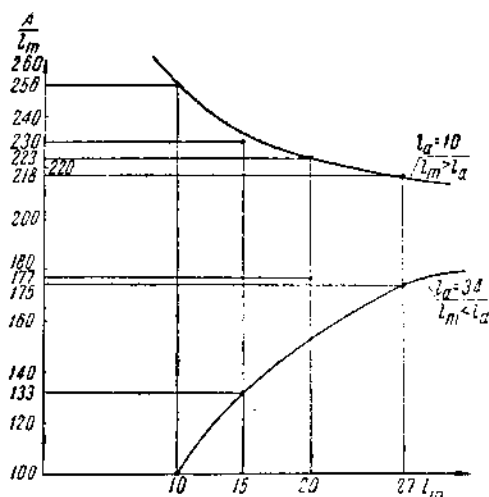
$$l_a = \frac{hs}{zt}$$

или, заменив $\frac{t}{s}$ через z , получим

$$l_a = \frac{h}{zz'} \quad (9)$$

В справочниках даются значения z только для метчиков, работающих по стали, причем для метчиков различного назна-

чения его величина колеблется в этом случае в пределах от 0,01 до 0,002. Для метчиков, предназначенных для обработки лёгких сплавов, указанный коэффициент в зарубежной и отечественной технической литературе не приводится.



Фиг. 26. Диаграмма изменения удельной работы $\left(\frac{A}{l_m}\right)$ с изменением высоты (l_m) гайки.

Длина рабочего конуса метчика оказывает значительное влияние на величину его крутящего момента. Работы Штевера, Шредера и других исследователей, занимавшихся изучением работы метчиков по стали, показали, что влияние длины конуса метчика на величины крутящих моментов совершенно различно при нарезании резьбы в гайках с высотой l_m , большей длины конуса l_a метчика, и в гайках с высотой l_m , меньшей длины конуса l_a метчика (фиг. 26 и табл. 8).

С момента начала резания и до конца его резцы метчика, находящиеся на рабочем конусе, постепенно формируют профиль резьбы, врезающейся последовательно (один за другим) в материал гайки (фиг. 27).

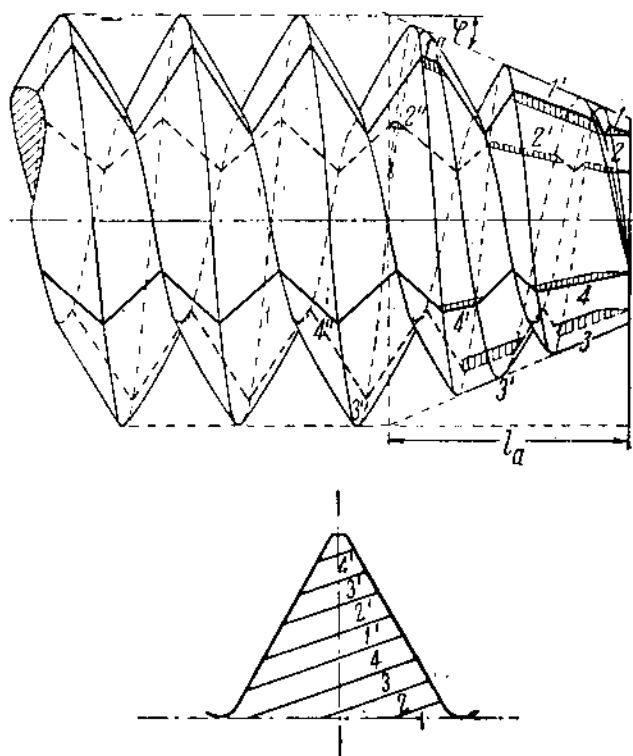
Параллельно с увеличением количества зубьев (резцов) рабочего конуса метчика, врезающихся в тело гайки, растет суммарное сечение стружки, а вместе с этим растет и величина крутящего момента. У метчиков, имеющих длину рабочего конуса больше высоты гайки, после захода рабочего конуса в гайку на всю ее высоту вырезается только часть профиля резьбы, причем эта часть тем меньше, чем больше длина конуса. По заходе же рабочего конуса метчика в гайку на всю ее высоту крутящий момент достигает своего максимума, причем этот максимум тем меньше, чем больше длина конуса метчика.

Таблица 8

Работа нарезания A гайки в зависимости от отношения высоты гайки l_m к длине рабочего конуса l_a метчика

$\frac{l_m}{l_a}$	$l_m > l_a$				$l_m < l_a$			
	$\frac{10}{10}$	$\frac{15}{10}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{27}{10}$	$\frac{10}{34}$	$\frac{15}{34}$	$\frac{20}{34}$	$\frac{27}{34}$
Работа нарезания A в кгсм	2560	3400	4460	5900	1000	2000	3540	4670
Изменение l_m в % . . .	100	150	200	270	100	150	200	270
Рост A в %	100	133	174	230	100	200	354	467
Удельная работа $\frac{A}{l_m}$	256	227	223	218	100	133	177	173

Примечание. Высота гайки l_m в 10 мм и работа при нарезании резьбы в этой гайке приняты за 100%.



Фиг. 27. Схематический процесс образования профиля резьбы гайки метчиком.

Таблица 9

Протокол контроля метчиков, подлежащих испытанию для определения усилий при нарезании резьбы

№ метчика	Обозначение резьбы	Диаметры мет- чиков			Шаг		Угол профиля	№ нареза	Ширина пера, мм	Угол заточки перед- ней грани	Угол заточки	Твердость Rc	Рабочий конус		Число шлиц		Ближе		Обратный конус мет- чика (уклон) φ
		d_H мм	d_{cp} мм	d_B мм	размер, мм	отклонения на длине в 10 мм тор, мм							Угол φ	длины l_a , мм	всего	на конусе	по наружному диаметру, мм	по конусу, мм	
К-1	ТМ18/200	18,16	16,58	15,02	2	-0,007	59°45'	1	6,0	18°30'	5°30'	62,5	3°20'	33,8	22	17	0,0	0,0	0,001
								2	6,1	19°		63,0	3°20'				0,0	0,02	
								3	6,0	19°		64,0	3°20'				+0,02	+0,03	
К-3	ТМ18/200	18,14	16,56	15,06	2	-0,008	59°45'	1	5,9	19°30'	5°20'	63,5	9°20'	10,2	22	5	0,0	0,0	0,001
								2	6,0	18°		63,0	9°20'				-0,03	+0,04	
								3	6,0	20°		63,0	9°20'				0,0	-0,01	
К-2	ТМ18/200	18,10	16,57	15,04	2	-0,010	59°50'	1	6,2	19°	5°20'	62,5	4°05'	17,3	22	8,5	0,0	0,0	0,001
								2	6,0	19°		61,0	4°05'				0,0	-0,04	
								3	6,0	19°20'		62,0	4°05'				+0,01	0,0	

При работе метчика, длина рабочего конуса которого меньше высоты гайки l_m , зубцы метчика после захода конуса полностью в гайку снимают суммарное сечение стружки, равное полному профилю резьбы.

Крутящий момент достигает в этом случае максимума, равного полному крутящему моменту, в то время как в первом случае (при $l_a > l_m$) крутящий момент никогда не будет равен полному крутящему моменту, т. е. моменту, получаемому при суммарном сечении стружки, равном полному профилю резьбы.

Таким образом при работе метчиками с конусом больше высоты гайки крутящий момент тем больше, чем меньше длина рабочего конуса.

Помещаемые ниже диаграммы и таблицы, составленные при проведении опытов по обработке дуралюмина АС-6, полностью подтверждают правильность наших выводов.

Для определения влияния отношения высоты гайки к длине рабочего конуса метчика на расход энергии и величину $M_{кр}$ были взяты дуралюминовые плитки толщиной в 10, 15, 20 и 27 мм. Отверстия под резьбу, как и в предыдущих опытах, сперва сверлились, а затем развешивались до диаметра 15,5 мм. Метчики размером ТМ18/200 были специально изготовлены в инструментальном цехе завода. Данные метчиков приведены в табл. 9. В процессе работы метчик смачивался керосином. Метчики обратного хода не имели. Работа проводилась при 100 оборотах шпинделя в минуту ($v = 5,65$ м/мин). Каждым из трех метчиков нарезалось в каждой плитке не менее десяти отверстий; работа, затрачиваемая на нарезание каждой гайки, и величина $M_{кр}$ фиксировались в виде индикаторных диаграмм, записываемых при помощи столика Вебера.

Результаты записей приведены в табл. 10.

Таблица 10

Результаты испытаний трехканавочных метчиков ТМ18/200 с различным соотношением высоты гайки к длине рабочего конуса метчика

$$\left(\frac{l_m}{l_a} \right)$$

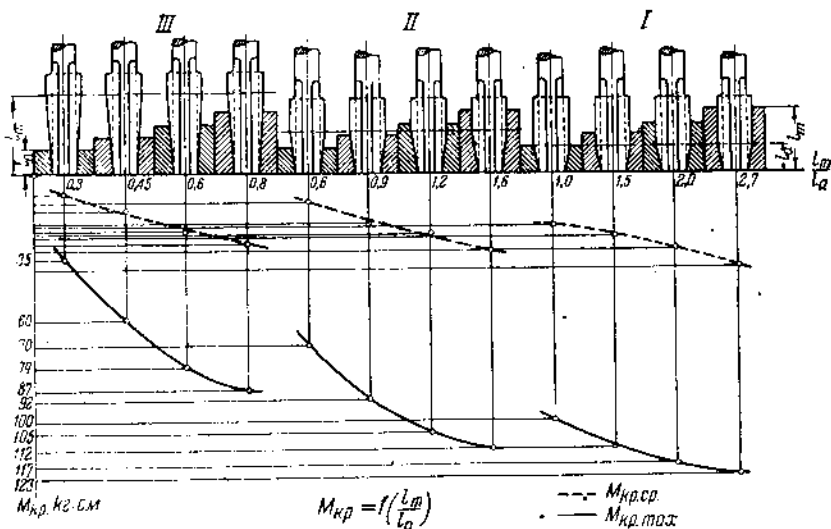
Объект измерения	Отношение высоты гайки к длине рабочего конуса										
	2,70	2,00	1,60	1,50	1,20	1,00	0,90	0,80	0,60	0,45	0,30
$M_{кр. \max}$	123	117	112	112	105	100	92	87	79	60	35
$M_{кр. \text{ ср}}$	35,8	30,2	30,2	25,0	24,0	21,1	20,5	28,4	24,0	14,8	8,1
Работа нарезания A в $к\text{с}м$	5900	4460	5150	3400	3540	2560	2800	4670	3540	2000	1000

Примечания. 1. В таблице указаны данные средних значений ряда опытов.

2. Режим обработки: число оборотов шпинделя $n = 100$ в минуту; смазка — керосин.

На основании указанных данных составлены: а) для каждого метчика в отдельности диаграммы (фиг. 28) изменения крутящих моментов (максимального и среднего) при нарезании гаек различной высоты и б) диаграмма (фиг. 29) $M_{кр} = f\left(\frac{l_m}{l_a}\right)$ в общем виде.

Диаграмма $M_{кр} = f\left(\frac{l_m}{l_a}\right)$ показывает быстрое возрастание величины $M_{кр}$ с возрастанием отношения $\frac{l_m}{l_a}$ до единицы; при дальнейшем возрастании отношения $\frac{l_m}{l_a}$ величина $M_{кр}$ продолжает расти,



Фиг. 28. Кривые изменения величин максимальных и средних крутящих моментов при нарезании резьбы в гайках различной высоты. Материал гаек—дуралюмин.

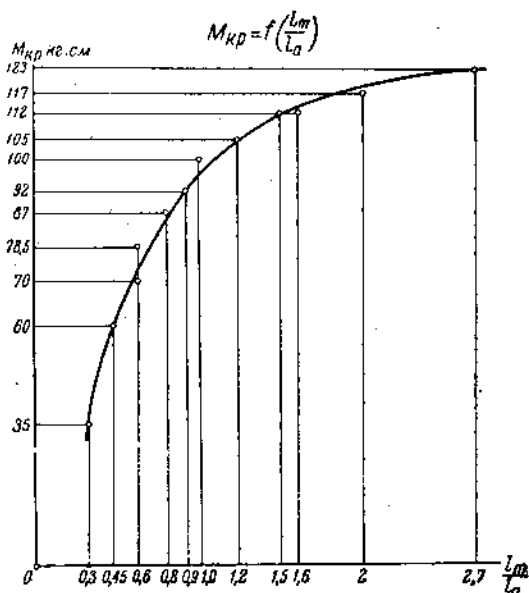
но уже значительно медленнее. Так, например, при увеличении отношения $\frac{l_m}{l_a}$ с 0,3 до 0,6 величина $M_{кр. \max}$ увеличивается с 35 до 79 кгс_м, т. е. возрастет на 125%, в то время как при увеличении отношения $\frac{l_m}{l_a}$ с 1,0 до 2,0 величина $M_{кр. \max}$ вырастает только на 17%. Указанные цифры подтверждают выводы, сделанные Штевером и другими исследователями, о том, что с увеличением длины рабочего конуса метчика (при нарезании резьбы в гайках с высотой, меньшей длины конуса) величина крутящего момента значительно уменьшается.

Другой сделанный Штевером вывод относительно характера изменения величины $M_{кр}$ при нарезании резьбы метчиками, имеющими различную длину конуса, в гайках, высота которых больше длины конуса, в наших опытах не подтверждается. Так, например, при нарезании резьбы в гайке высотой в 27 мм метчиками,

имеющими рабочие конусы в 10 мм ($\frac{l_m}{l_a} = 2,7$) и в 17 мм ($\frac{l_m}{l_a} = 1,6$), получились соответственно крутящие моменты: 123 кгс·см и 112 кгс·см. Эти данные показывают, что крутящий момент с увеличением длины рабочего конуса метчика уменьшился, в то время когда следовало ожидать увеличения его вследствие роста удельного давления резания K_s .

Этот факт следует, по видимому, объяснить тем, что силы трения, создавая в процессе работы дополнительный момент на калибрующей части у первого метчика ($l_a = 10$ мм), возросли настолько, что перекрывали эффект, обусловленный снижением сил чистого резания.

Работа, затрачиваемая на нарезание одной гайки (А кгс·см), как установлено опытом, также уменьшается с увеличением длины рабочего конуса (при $l_m = \text{const}$). Объясняется это тем же явлением, что и в случае с крутящим моментом. Если рассмотреть данные, определяющие рост затрачиваемой работы на нарезание одной гайки различной высоты метчиком с $l_a = \text{const}$, то можно увидеть, что указан-



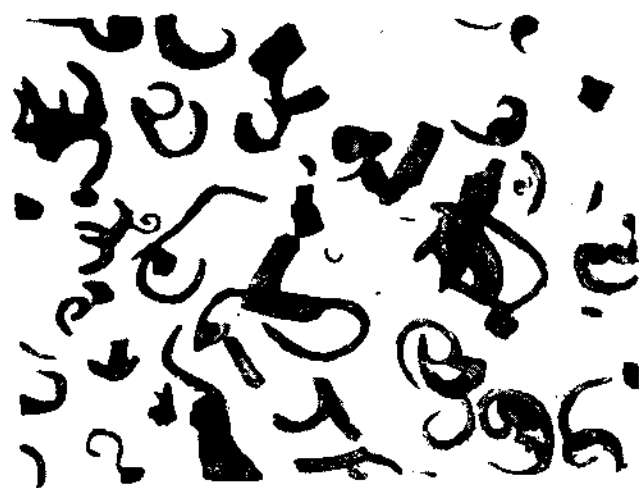
Фиг. 29. Кривая изменения величины максимального крутящего момента в зависимости от отношения $\frac{l_m}{l_a}$. Материал гаек — дуралюмин.

ный рост в случае $l_m > l_a$ и в случае $l_m < l_a$ носит различный характер (фиг. 26). В табл. 8 и на фиг. 26 показан характер изменения удельного расхода энергии (работы), т. е. работы, приходящейся на 1 мм высоты нарезаемой гайки при $l_m > l_a$ и при $l_m < l_a$. В первом случае мы видим постепенное снижение удельного расхода работы с увеличением высоты гайки (при $l_a = \text{const}$), а во втором случае, наоборот, — рост удельного расхода работы с увеличением высоты гайки. Данное явление, нужно полагать, было бы еще резче выражено, если бы размер калибрующей части метчиков был пропорционален размерам рабочего конуса.

Ниже на фиг. 30 и 31 показана стружка, полученная при нарезании резьбы в силумине метчиками с различной длиной рабочего конуса.



Фиг. 30. Метчик К-1 с $l_a \approx 34$ мм.



Фиг. 31. Метчик К-3 с $l_a \approx 10$ мм.

Фиг. 30—31. Вид стружек, полученных при нарезании резьбы в силумине метчиком с различной длиной рабочего конуса l_a .

Результаты данных испытаний позволяют сделать следующие выводы относительно выбора длины рабочего конуса метчиков, предназначенных для обработки легких сплавов:

1. При нарезании сквозных неглубоких отверстий желательно применение метчиков с длинными рабочими конусами (работа в пределах $l_m < l_a$). В этом случае получается более чистая и точная резьба.

2. При нарезании резьбы в сквозных глубоких отверстиях целесообразно применение метчиков с короткими конусами (работа в пределах $l_m > l_a$).

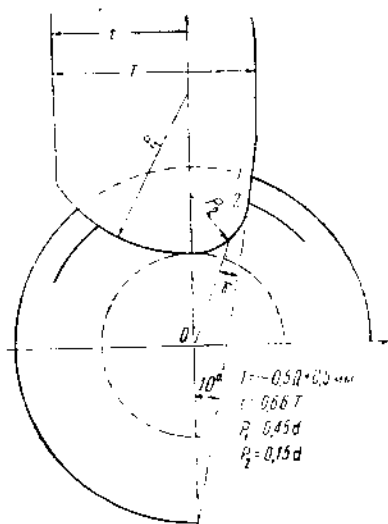
3. При определении рациональной длины рабочего конуса метчика как для первого случая (неглубокие отверстия), так и для второго (глубокие отверстия) можно пользоваться уравнением $l_a = \frac{h}{2\sigma}$, причем σ следует брать в следующих пределах:

- а) для нарезки резьбы в сквозных неглубоких отверстиях от 0,03 до 0,035;
- б) для нарезки резьбы в сквозных глубоких отверстиях от 0,04 до 0,05

5. ФОРМА И НАПРАВЛЕНИЕ КАНАВОК МЕТЧИКА

Канавки являются весьма важной частью конструкции метчика. От профиля (формы) и числа канавок зависит целый ряд элементов конструкции рабочего конуса. В зависимости от профиля канавок и их числа изменяются: 1) угол передней заточки, 2) ширина пера и 3) угол затыловки. Никаких стандартных данных для этой важной части конструкции метчика не существует, и конструктору-технологу предоставляется здесь широкий выбор.

На практике встречаются канавки самых разнообразных форм. В нашу задачу не входят разбор и оценка всех существующих форм канавок. Ограничимся лишь рассмотрением формы канавки, с которой производились наши испытания и которая принята для метчиков, изготавливаемых заводом. Канавки (профиль), изображенные на фиг. 32, применяются заводом как для метчиков, работающих по стали, так и для метчиков, работающих по легким сплавам. Рассматривая данный тип канавки с точки зрения общих основных требований, предъявляемых к ней, мы должны сказать, что канавка в основном отвечает этим требо-



Фиг. 32. Профиль канавки метчика.

ваниям, а именно: 1) канавка по своим размерам обеспечивает вмещение образующейся при резании стружки; 2) затылочная грань канавки при обратном ходе метчика не захватывает (не защемляет) стружку и не врежется в гайку (тупой угол); 3) передняя грань режущих резцов по всей длине режущей части метчика обеспечивает получение положительного угла резания (меньше 90°) и 4) криволинейная плавная линия профиля канавки способствует хорошему образованию и отводу стружки.

Единственным недостатком указанного профиля канавки для метчиков, работающих в легких сплавах, является небольшая величина угла заточки передней грани γ .

Как мы видели выше, для обработки силумина, например, требуется угол заточки передней грани в пределах от 25 до 30° ; при заточке передней грани на указанный угол приходится при данном профиле канавки снимать много металла и затрачивать много времени для того, чтобы сохранить при заточке плавный переход прямолинейной части передней грани к радиусной части канавки.

Для устранения этого недостатка необходимо профиль канавки для метчиков, работающих в легких сплавах, несколько изменить в этой части: перенести несколько выше точку сопряжения криволинейной части профиля (радиус R_2) с прямой (точка 2).

В нашей работе мы ограничились определением влияния на величину $M_{кр}$, на характер стружкообразования и качество нарезаемой резьбы двух факторов: 1) направления канавки (прямая, спиральная) и 2) числа канавок (трехканавочные и четырехканавочные метчики).

Для испытания были взяты метчики ТМ18/200, указанные в табл. 11.

Метчики Ф-5 и Ф-6 отличались от нормальных метчиков ТМ18/200 только тем, что у них канавка (передняя грань) была заточена под углом к оси метчика: у метчика Ф-5 под углом 8° (только на длине рабочего конуса), а у метчика Ф-6 под углом 2° , т. е. перпендикулярно к виткам резьбы по всей длине резьбы.

Метчик Ф-5 представлял таким образом после указанной заточки тип, так называемого, пушечного метчика (gun tap).

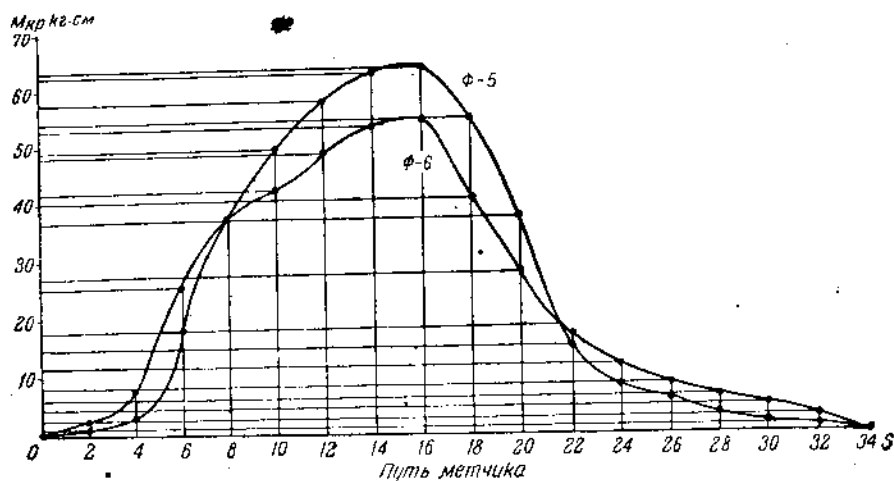
Метчики со спиральными канавками, направленными под прямыми углами к виткам резьбы (метчик Ф-6), имеют заметное преимущество перед метчиками с прямой канавкой, заключающееся в том, что они гарантируют получение одинаковых условий работы режущих кромок обеих сторон профиля нарезки. При работе метчиков со спиральными канавками процесс стружкообразования будет протекать в лучших условиях, чем у метчиков с прямыми канавками. Это должно дать резьбу лучшего качества, снизить усилия резания и, кроме того, при нарезании сквозных отверстий улучшить отвод стружки.

Преимущества второго типа канавки со специальным скосом перьев рабочего конуса (метчик Ф-5) определяются, главным об-

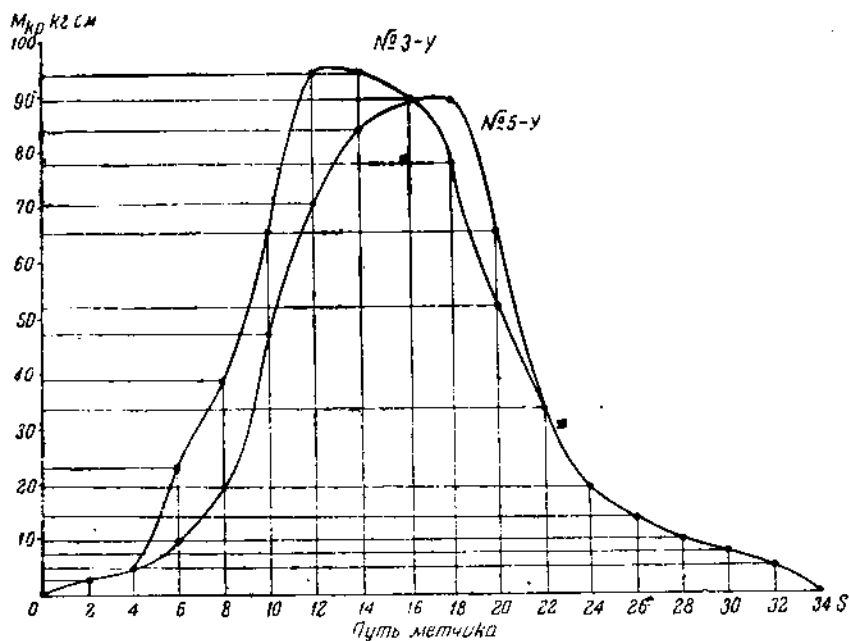
Таблица 11

Протокол контроля метчиков, подлежащих испытанию для определения усилий, действующих при нарезании резьбы

№ метчиков	Размер резьбы	Диаметры			Рабочий конус		Число нарезаемых		Угол заточки передней грани пера γ				Угол заточки конуса α				Примечания	
		d_H мм	d_{cp} мм	d_H мм	угол	длина, мм	число ниток	Общее число ниток	резьбы	I	II	III	IV	I	II	III		IV
Ф-5	TM18 200	18,126	16,670	15,067	9°10'	7,8	4	10	3	18°30'	20°	19°30'	—	6°50'	7°	7°05'	—	Каждое перо рабочего конуса метчика имеет специальный скос (8° к оси)
Ф-6	TM18 200	18,102	16,605	15,100	9°05'	8,0	4	10	3	32°	33°15'	30°30'	—	7°	7°	7°	—	Заточка передней грани метчиков производилась под углом 2° к оси (перпендикулярно к виткам резьбы)
Ф-8	TM18 200	18,140	16,605	15,126	9°20'	8,0	4	10	3	20°	19°30'	19°30'	—	7°15'	7°	7°	—	Заточка передней грани велась параллельно оси метчика
Ф-10	TM18 200	18,150	16,580	15,075	9°15'	8,2	4	10	4	19°	19°15'	19°	19°30'	6°50'	6°40'	6°30'	6°50'	Четырехканавочный метчик. Заточка передней грани выполнена параллельно оси метчика



Фиг. 33. Изменение величины крутящих моментов при нарезании резьбы в силумине метчиками ТМ18/200 со спиральными канавками (метчики $\Phi-5$ и $\Phi-6$).



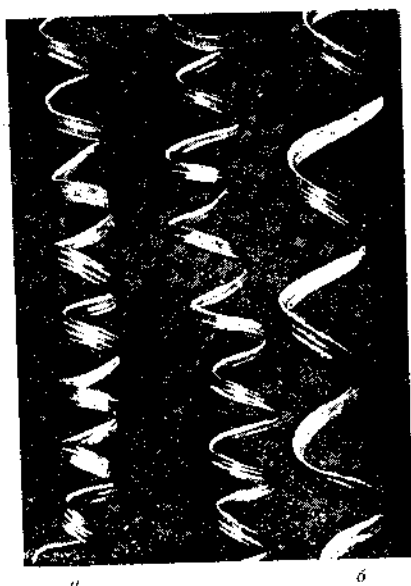
Фиг. 34. Изменение величин крутящих моментов при нарезании резьбы в силумине метчиками ТМ18/200 с прямыми канавками (метчики 3-У и 5-У).

разом, лучшим отводом стружки при нарезании сквозных отверстий.

Результаты испытания метчиков Ф-5 и Ф-6 приведены в табл. 12 (на стр. 42), в которой для сравнения приведены данные испытаний метчиков с прямой канавкой (метчики 3-У и 5-У). На диаграмме, приведенной на фиг. 33 и 34, представлена динамика процесса резания у метчиков с прямой канавкой (5-У и 3-У) и метчиков, имеющих спиральные канавки (метчики Ф-5 и Ф-6).

Рассмотрение представленных материалов полностью подтверждает предположения, сделанные нами выше. Метчик Ф-5 в сравнении с метчиком 5-У (прямые канавки) дает уменьшение крутящего момента в среднем на 20—22% и снижение расхода энергии на 46—47%. Метчик Ф-6 также в сравнении с метчиком 3-У дал уменьшение значений крутящих моментов и работы резания.

Процесс стружкообразования при работе метчиков со спиральными канавками протекает в лучших условиях, так как направление схода стружки совпадает с направлением движения метчика. Это резко отразилось и на самом характере стружки. На фиг. 35 показана стружка, полученная при нарезании резьбы в алюминии метчиками Ф-5 (фиг. 35, а) и Ф-6 (фиг. 35, б).



Фиг. 35. Стружка, полученная при нарезании резьбы в алюминии метчиками ТМ18, 200 со спиральными канавками.

а — стружка, полученная при применении метчика Ф-5; б — стружка, полученная при применении метчика Ф-6.

В то время как при работе метчиками с прямыми канавками получается стружка в виде отдельных довольно коротких завитков, при работе метчиками со спиральными канавками стружка получается в виде длинных выходящих локонов. Даже при нарезании резьбы такими метчиками в электроде стружка имеет форму блестящих спиральных витков (фиг. 36). Поверхность резьбы гаск получается значительно чище также при работе метчиками со спиральными канавками.

Валентин*, сравнивая работу метчиков с прямыми и спиральными канавками, говорит: „Метчики с прямыми и спиральными канавками дают приблизительно одинаковое сопротивление резанию — со спиральными канавками немного меньше“... и дальше: „таким образом спиральные канавки не дают серьезных

* „Machinery“. 1927. № 8 - 12.

Таблица 12

Крутящий момент и работа резания трехканавочных метчиков ТМ18/200 с прямыми и наклонными (спиральными) канавками

№ по порядку	№ метчиков	Угол заточки передней грани γ	Заточка канавки	$M_{кр}$, кгсм		Работа резания A , кгсм
				максимальный	средний	
1	Ф-5	I 18°30'	Скос передней грани конуса на 8°	60	19,4	• 2400
		II 20°		58	17,1	2160
		III 19°30'		65	21,1	2620
				60	17,4	2160
				60	16,1	2000
			Средние значения	61	18,3	2268
2	Ф-6	I 32°	Передняя грань перпендикулярна к виткам резьбы (наклон 2°)	50	13,1	1630
		II 33°15'		50	11,9	1480
		III 30°30'		55	14,9	1850
				70	15,6	1940
				50	13,1	1630
			Средние значения	55	13,7	1706
3	З-У	I 21°30'	Прямые канавки	85	28,6	3420
		II 19°		80	28,6	3420
		III 18°30'		75	25,6	3170
				90	30,7	3800
				105	35,8	4440
			Средние значения	87	29,0	3650
4	З-У	I 30°30'	Прямые канавки	75	30,7	3300
		II 30°		70	25,6	3170
		III 32°		75	25,6	3170
				60	24,8	3040
			Средние значения	70	25,6	3170

Примечания. 1. Материал гайки—силумин АС-12; высота гайки $l_m = 20$ мм.

2. Режим обработки: число оборотов шпинделя $n=100$ в минуту; $v=5,65$ м/мин; смазка—керосин.

преимуществ перед прямыми, за исключением только метчиков для грубой резьбы, т. е. резьбы с большим шагом".

Наши опыты при нарезании резьбы в силумине показывают большие преимущества метчиков со спиральными канавками по сравнению с работой метчиков с прямыми канавками. К сожалению, нам не удалось проверить действия спиральных канавок на метчиках меньшего размера и с меньшим шагом нарезки. Можно предполагать, что у метчиков меньшего размера, как это и говорит Валентин, влияние канавок будет не столь значительным.

6. ЧИСЛО КАНАВОК МЕТЧИКА

В практике наших заводов чаще всего применяются метчики с четырьмя канавками, реже — с тремя. Трудности контроля трехканавочных метчиков часто заставляют отказываться от их употребления даже в случаях, когда они имеют явное преимущество по сравнению с четырехканавочными метчиками, например при метчиках небольших диаметров. С точки зрения экономии расходов на изготовление трехканавочный метчик по сравнению с



Фиг. 36. Стружка, полученная при нарезании резьбы в алюмине метчиком TM18/200 со спиральными канавками.

четыреканавочным имеет явные преимущества, так как изготовление лишней (четвертой) канавки у четырехканавочного метчика требует больше времени, большего расхода инструмента и т. д. С появлением специальных приборов для контроля метчиков с нечетным числом канавок в практику заводов все больше и больше внедряются трехканавочные метчики, которые наряду с меньшими расходами на изготовление обладают по сравнению с четырехканавочными и некоторыми другими преимуществами.

А. Пампель (A. Pampel*) на основании своих опытов утверждает, что трехканавочные метчики изнашиваются меньше четырехканавочных.

Валентин** высказывает противоположное мнение. Он говорит, что износ четырехканавочного метчика несомненно меньше трехканавочного и что при применении метчиков с тремя канав-

* A. Pampel, Untersuchungen der Zerspanungs- und Abnutzungsvorgänge an Muttergewindebohrern bei 1₂" Durchmesser, 1931.

** „Machinery“, 1927, № 8—12.

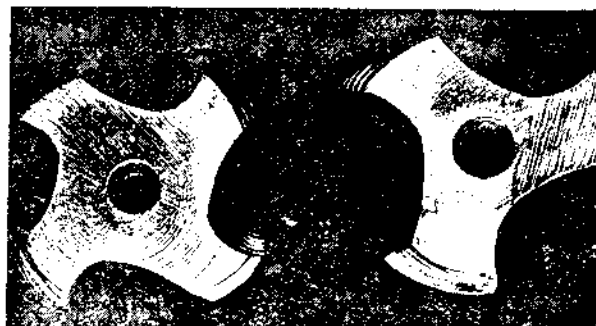
ками получается меньшее сопротивление резанию, чем при пользовании метчиками с четырьмя канавками. Последнее замечание Валентине подтверждает и Штеверс*.

Вообще говоря, до последнего времени нет еще твердого мнения о рациональном числе канавок метчиков.

Известная американская фирма „Bath“ по изготовлению метчиков рекомендует при обработке алюминия следующие числа канавок в зависимости от диаметра метчиков:

для метчиков диаметром	от $\frac{1}{4}$	до $\frac{5}{16}$ "	— 2 канавки
то же	» $\frac{3}{8}$	до $\frac{1}{2}$ "	— 3 "
»	» $\frac{5}{8}$ "	и выше	— 4 "

Для определения влияния числа канавок на усилия резания ($M_{кр}$) были взяты метчики ТМ18/200 с тремя (Ф-8) и четырьмя (Ф-10) канавками (см. табл. 10). Испытания проводились при тех же условиях и режиме, что и в предыдущих опытах: $n = 100$ об/мин., $v = 5,65$ м/мин., смазка керосин. Резьба нареза-



Фиг. 37. Профили торцевых частей трехканавочных (Ф-8) и четырехканавочных (Ф-10) метчиков ТМ18/200.

лась в плитках из силумина АС-12 толщиной $L_m = 20$ мм. На фиг. 37 изображены профили торцевых частей метчиков с тремя (Ф-8) и с четырьмя (Ф-10) канавками. Результаты испытаний, полученные путем обработки индикаторных диаграмм, помещены в табл. 13.

На фиг. 38 представлена динамика процесса резания метчиками с тремя и четырьмя канавками.

На основании проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. С уменьшением числа канавок величина $M_{кр}$ понижается (в нашем случае на 10,9%). Понижение идет как за счет уменьшения удельного давления резания (K_s), так и за счет уменьше-

* „Stock Zeitschrift“, 1932.

Крутящие моменты и работа нарезания при применении трех- и четырехканавочных метчиков ТМ18/200

№ по пор.	Типы метчиков	Размер резьбы	Угол заточки	$M_{кр}, кг\cdot см$		Работа нарезания $A, кг\cdot см$
				максимальный	средний	
1	Ф-8 трехканавочный	ТМ18/200	I - 20°	80	22,8	2830
			II - 19°30'	95	27,3	3390
			III - 19°30'	95	24,8	3080
				95	24,3	3020
				105	32,3	4000
				103	26,0	3230
				103	27,8	3450
				97	26,0	3230
				100	27,3	3390
				103	24,8	3080
			Средние значения	98	26,4	3280
2	Ф-10 четырехканавочный	ТМ18/200	I - 19°	97	28,6	3540
			II - 19°15'	115	27,3	3390
			III - 19°	95	26,0	3230
				120	29,8	3700
				105	32,2	4000
				105	31,0	3850
				112	34,8	4300
				113	38,5	4780
				130	31,4	5080
			Средние значения	110	32,0	3980

Примечания. 1. Материал гайки—сплав АС-12; высота гайки $l_m = 20$ мм.

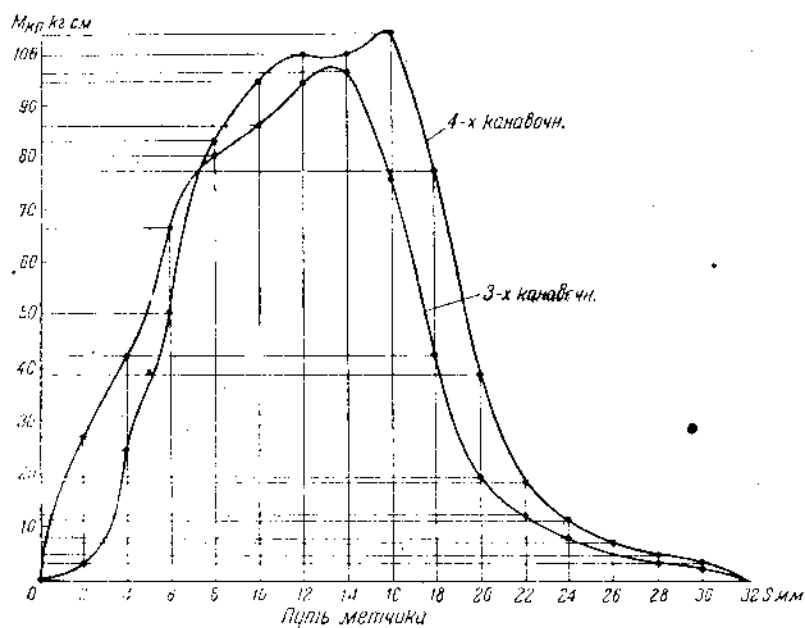
2. Диаметр отверстия под резьбу $d_{отв} = 15,5$ мм.

3. Режим обработки: число оборотов шпинделя $n = 100$ в минуту; $v = 5,65$ м/мин; смазка—керосин.

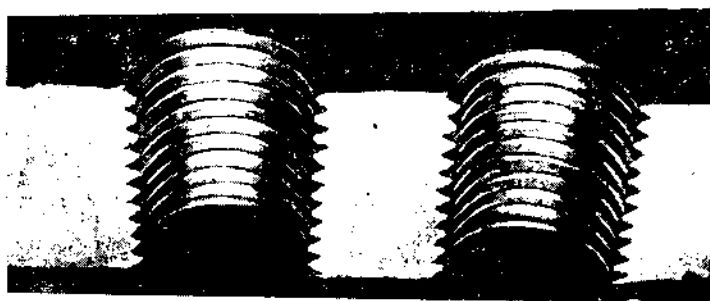
ния сил трения, что особенно заметно на понижении расхода работы на 17,6%.

2. При применении четырехканавочных метчиков резьба получается несколько чище и лучше обеспечивается направление метчика.

На фиг. 39 показаны в разрезе гайки, нарезанные четырехканавочным метчиком Ф-10 при $n = 100$ об/мин. и при смазке керосином.



Фиг. 38. Изменение величин крутящих моментов при парезании резьбы в силумине трехканавочным (Ф-8) и четырехканавочным (Ф-10) метчиками ТМ18/200.



Фиг. 39. Разрезы гаск, парезанных в силумине четырехканавочным метчиком ТМ18/200 (Ф-10) при числе оборотов шпинделя $n = 100$ в минуту и при смазке керосином.

7. КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ КАК ФУНКЦИЯ ШАГА НАРЕЗАЕМОЙ РЕЗЬБЫ И ДИАМЕТРА МЕТЧИКА

Можно утверждать а priori, что с увеличением диаметра, а также и шага резьбы метчика крутящий момент, необходимый для преодоления сил сопротивления при нарезании резьбы, будет возрастать. Для получения необходимых расчетных данных конструктору-технологу необходимо знать, в какой степени это возрастание будет происходить, т. е. необходимо знать функциональную зависимость между крутящим моментом, с одной стороны, и диаметром и шагом нарезки метчика — с другой стороны. В общем виде эту зависимость можно выразить уравнением

$$M_{кр} = C d^{\alpha} s^{\beta}.$$

Для выяснения указанной зависимости при нарезании резьбы метчиками в силумине АС-12 были взяты четырехканавочные метчики, специально изготовленные заводом для нарезания резьбы в легких сплавах. Метчики имели шлифованную резьбу. Размеры метчиков указаны в табл. 14 (на стр. 48).

Резьба нарезалась в плитках силумина АС-12 толщиной $l_m = 1,5d_n$. Отверстия под резьбу, как и в предыдущих случаях, после их сверловки разворачивались развертками до заданного размера. При определении влияния диаметра метчика на величину крутящего момента скорость резания, поскольку это было возможно из условий кинематики станка, выравнивалась соответствующим изменением числа оборотов. Метчики во время работы смазывались керосином.

В табл. 15 приведены средние значения $M_{кр}$ (кгс·м), полученные из целого ряда замеров при испытаниях метчиков.

На основании этих данных построены (фиг. 40 и 41) кривые изменения $M_{кр} = f(d)$ и $M_{кр} = f(s)$.

Путем обработки полученных при испытаниях данных методом наименьших квадратов (Гаусса) были найдены частные зависимости величины крутящего момента от диаметра метчика и от шага резьбы при нарезке резьбы метчиком в силумине:

$$1) M_{кр} = C_1 d^{\alpha}; \quad C_1 = 0,357; \quad \alpha = 1,835 \approx 1,84;$$

$$2) M_{кр} = C_2 s^{\beta}; \quad C_2 = 19,65; \quad \beta = 1,46.$$

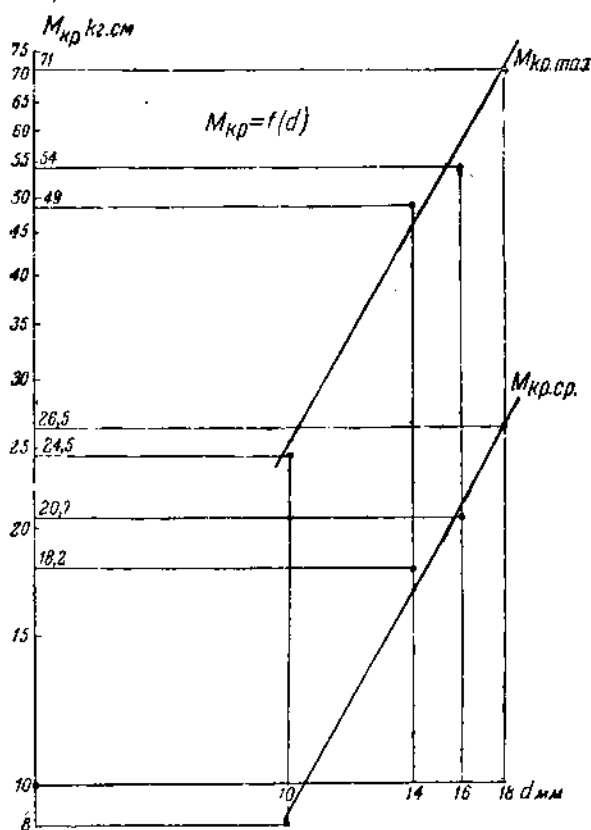
Путем дальнейшей обработки (методом Гаусса) полученных данных определена постоянная C в общем уравнении:

$$3) M_{кр} = C d^{\alpha} s^{\beta}; \quad C = 0,195.$$

Таблица 1А

Метчики, подлежащие испытанию для определения зависимости величины крутящего момента от диаметра и шага
нарезки метчика

№ метчиков	Размеры резьбы	Диаметры метчиков			Рабочий конус			Общее число витков метчика	Число канавок метчика	Угол заточки передней грани γ				Угол заточки конуса α			
		d_n мм	d_{cp} мм	d_b мм	угол φ	длина l_a мм	число на- резок			I	II	III	IV	I	II	III	IV
1-ДМ	M10/150	10,126	8,938	7,920	5°30'	12,15	8	16	4	18°	18°30'	18°	19°	5°10'	5°	5°15'	5°
2-ДМ	M14/150	14,205	13,040	11,920	6°15'	11,95	8	16	4	19°15'	18°30'	18°	18°	5°30'	5°45'	5°30'	5°30'
3-ДМ	M18/150	18,220	17,040	15,960	6°50'	12,25	8	16	4	20°	18°30'	18°30'	19°	6°	6°15'	6°15'	6°
1-ШМ	M18/100	18,080	17,374	16,580	6°	8,20	8	16	4	18°30'	18°15'	19°	18°	5°	5°10'	5°15'	5°
2-ШМ	M18/150	18,210	17,050	15,930	6°45'	12,30	8	16	4	18°	18°20'	19°30'	19°	5°30'	5°45'	5°50'	5°50'
3-ШМ	M18/200	18,245	16,753	15,320	5°20'	15,40	8	16	4	19°30'	19°	18°45'	19°	5°10'	5°15'	5°10'	5°



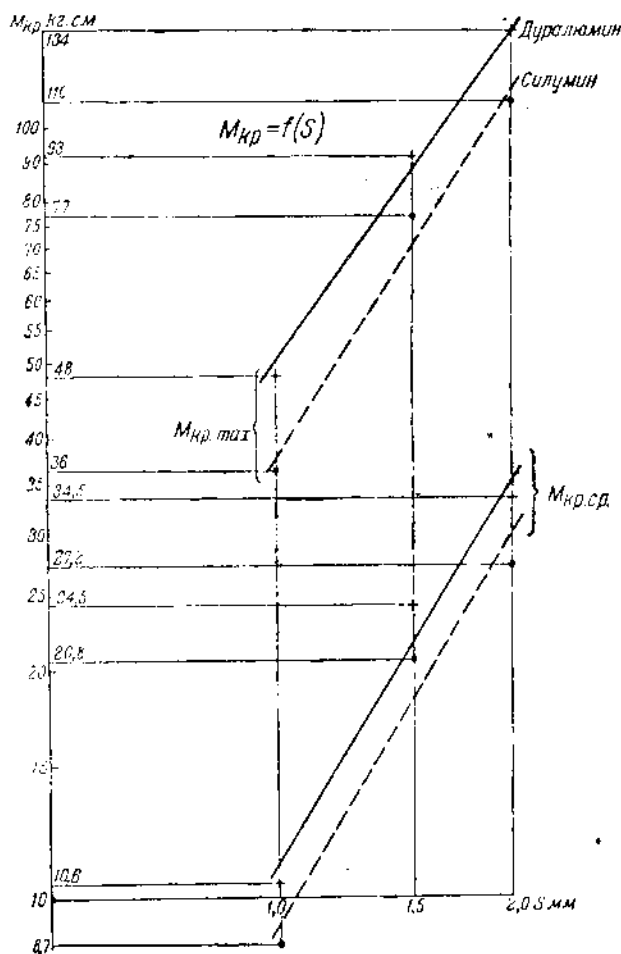
Фиг. 40. Диаграмма изменения величин максимального и среднего крутящих моментов в зависимости от диаметра метчиков при нарезании резьбы метчиком в силумине.

Таблица 15
Результаты испытаний метчиков при определении зависимости $M_{кр} = f(d)$ и $M_{кр} = f(s)$

№ по порядку	№ метчиков	Диаметр метчика, мм	Шаг резьбы, мм	Гайка		Режим работы			$M_{кр}$, кгсм	
				высота l_m , мм	диаметр отверстия под резьбу, мм	число оборотов шпинделя в мин.	скорость резания, м/мин	смазка	максимальный	средний
1	1-ДМ	10	1,50	15	8,10	210	6,5	керосин	24,5	8,0
2	2-ДМ	14	1,50	21	12,10	136	6,0		49,0	18,2
3	3-ДМ	18	1,50	27	16,10	100	5,65		71,0	26,5
4	1-ШМ	18	1,00	27	16,70	100	5,65		36,0	8,7
5	2-ШМ	18	1,50	27	16,10	100	5,65		78,0	20,8
6	3-ШМ	18	2,00	27	15,50	100	5,65		110,0	27,2

Примечание. Указанные в таблице значения величины $M_{кр}$ являются средними значениями целого ряда замеров (не менее десяти).

Таким образом при нарезании резьбы метчиками в силумине потребный крутящий момент, идущий на преодоление суммар-



Фиг. 41. Диаграмма изменения величин максимального и среднего крутящих моментов в зависимости от шага резьбы при нарезании последней метчиком в силумине и дуралюмине.

ного действия сил резания и сил трения, можно определить, решая уравнение

$$M_{кр} = 0,195 d^{1,61} s^{1,46},$$

где d — диаметр метчика в мм;

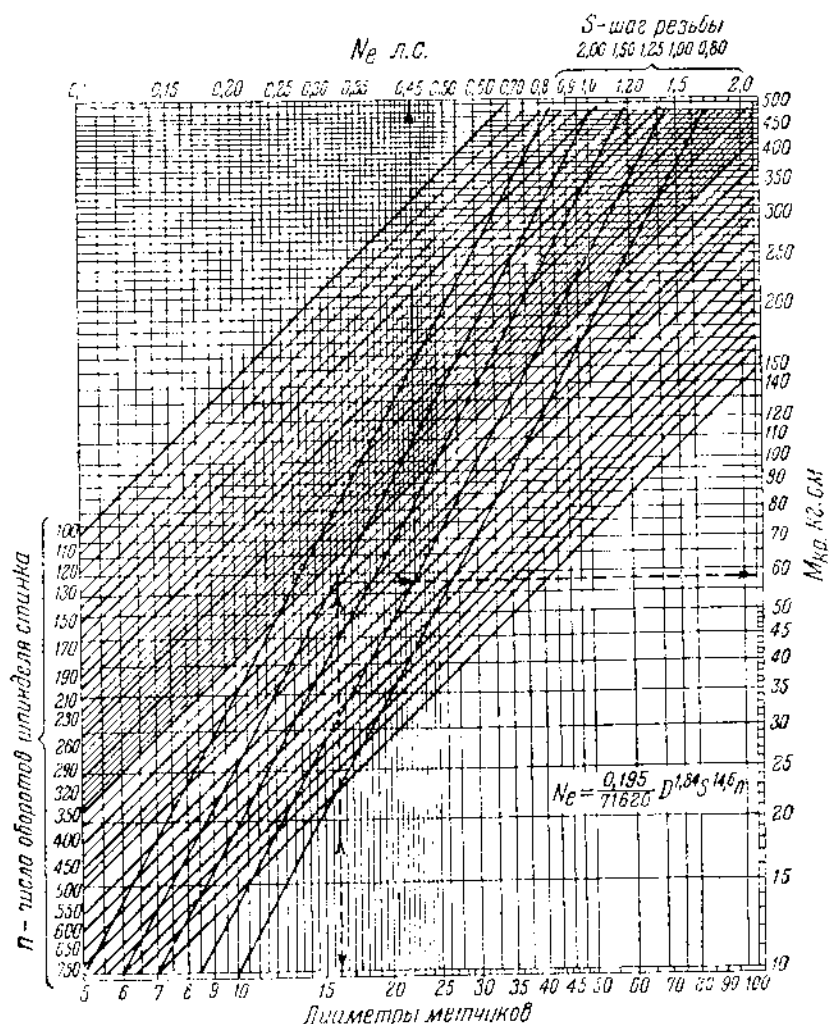
s — шаг резьбы в мм и

$M_{кр}$ — крутящий момент в кгсм.

В практике работы технолога часто необходимо бывает определить при этом и мощность, затрачиваемую при нарезании

резьбы (N_e). Мощность определяется известным уравнением

$$N_e = \frac{Mn}{71\,620}.$$



Фиг. 42. Номограмма для определения величины затрачиваемой мощности при нарезании резьбы метчиком в силумине.

Подставив в данное уравнение значение $M_{кр}$ (кгс·см), получим

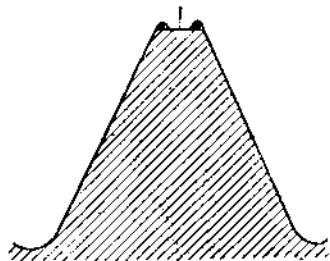
$$N_e = \frac{0,195 d^{1,84} s^{1,46} n}{71\,620} = A d^{1,84} s^{1,46} n.$$

Для графического решения данного уравнения нами составлена номограмма, приведенная на фиг. 42.

Порядок пользования номограммой весьма прост; он ясен из примера, показанного на номограмме пунктирной линией.

8. ПОДГОТОВКА ОТВЕРСТИЯ ПОД РЕЗЬБУ. ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ОТ ДИАМЕТРА ОТВЕРСТИЯ ПОД РЕЗЬБУ

В процессе нарезания резьбы метчиком материал гайки слегка выдавливается внутрь, т. е. в направлении к внутреннему диаметру метчика. В результате указанной высота резьбы увеличивается (фиг. 43). Размеры выдавливания зависят от качества материала гайки и от степени остроты режущих зубьев метчика. Чем вязче материал и чем тупее резцы метчика, тем больше будет выдавливание. Если при подготовке отверстия под резьбу не будет учтено указанное явление, то при работе метчика материал гайки будет давить на внутренний диаметр метчика, что приведет к защемлению последнего, к срыву резьбы и, возможно, к поломке метчика.



Фиг. 43. Схема выдавливания материала гайки в процессе нарезания в последней резьбы метчиком.

Во избежание защемления и поломки метчика диаметр отверстия под резьбу делают обычно несколько большим по сравнению с внутренним диаметром метчика. Этим самым создается преднамеренно зазор между отверстием под резьбу и внутренним диаметром метчика. Этот зазор предусматривается для помещения материала гайки, выдавливаемого в процессе нарезания резьбы метчиком.

Вообще говоря, с точки зрения улучшения условий работы метчика желателен выбор возможно большего зазора между внутренним диаметром метчика и отверстием под резьбу, так как при этом получается более спокойная работа метчика. Внутренний диаметр метчика не участвует при этом в работе; вследствие уменьшения сил трения метчик требует меньших усилий для своей работы. Однако увеличение диаметра отверстия под резьбу влечет за собой уменьшение высоты резьбы и тем самым снижение прочности резьбового соединения.

Таким образом в каждом случае необходимо выбирать оптимальный диаметр отверстия под резьбу. Установление диаметров отверстий под резьбу для всех материалов, применяемых в машиностроении, представляет весьма сложную задачу. На сегодняшний день подобного стандарта не существует, если не считать ОСТ 440—442, предусматривающего диаметры сверл под резьбу для нормальной резьбы по стали для обычного „рыночного“ качества резьбового соединения.

При нарезании резьбы метчиком в легких сплавах проблема выбора величины диаметра отверстия под резьбу имеет еще большее

значение, чем при обработке, например, стали, так как допустимое уменьшение высоты (полноты) резьбы здесь в большей степени лимитируется прочностью резьбового соединения и большими колебаниями физико-механических качеств материала гайки (легких сплавов).

Для определения степени выдавливания материала гайки, а также для определения влияния размера диаметра отверстия под резьбу на величину $M_{кр}$ и расход энергии при нарезании резьбы метчиком в силумине были проведены испытания, результаты которых позволили сделать соответствующие выводы.

Отверстия под резьбу брались различного диаметра, так что полнота резьбы (высота профиля) колебалась после прохода гайки метчиком от 67 до 93% полной возможной высоты. Полной резьбой гайки мы считаем резьбу, внутренний диаметр которой у гайки равен внутреннему диаметру метчика.

Отверстия под резьбу в плитках силумина ($l_m = 20 \text{ мм}$)

после их сверловки развертывались до нужного размера развертками. После развертывания все отверстия контролировались микрометром-нутромером с точностью до 0,01 мм.

Нарезание резьбы производилось трехканавочным метчиком ТМ18/200 (№ 2 и 4) при скорости резания $v = 5,65 \text{ м/мин}$. Метчик во время работы смазывался керосином.

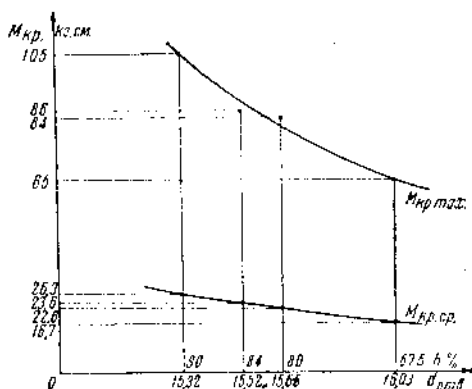
Результаты испытаний приведены в табл. 16 и 17 (см. стр. 54, 55) и на графике, представленном на фиг. 44.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы относительно подготовки отверстий под резьбу в силумине АС-12:

1. Выпучивание материала гайки (витков резьбы) происходит в сравнительно небольших размерах, а именно: в пределах $0,02 \div 0,04 \text{ мм}$ (резьба ТМ18/200). При нарезке резьб меньших размерностей величина выпучивания будет, очевидно, еще меньше.

2. С увеличением диаметра отверстия под резьбу замечается значительное снижение величин максимальных крутящих моментов. Так, например, с увеличением диаметра отверстия с 15,32 мм (90% полной) до 16,03 мм (67,5% полной) величина $M_{кр}$ уменьшилась на 38%.

Средние крутящие моменты и работа резания дают примерно такое же снижение.



Фиг. 44. Диаграмма изменения величин максимального и среднего крутящих моментов в зависимости от диаметра отверстия под резьбу при нарезании резьбы метчиком ТМ18/200 в силумине.

Таблица 16

**Зависимость величин крутящих моментов и работы нарезания резьбы
метчиком в силумине от величины диаметра отверстия на резьбу**

№ по порядку	№ метчиков	Размеры резьбы	Диаметр отверстия под резьбу, мм	% полноты резьбы	$M_{кр}$, кгс·м		Работа нарезания А, кгс·м
					максимальный	средний	
1	14М120	М18/200	15,32	90,0	95	24,3	3380
					120	29,8	3700
					100	23,6	2920
					108	24,3	3380
					Средние значения . .		3260
2	14М120	М18/200	15,52	84,0	90	23,6	2920
					65	21,1	2620
					80	23,6	2920
					100	24,3	3380
					80	22,3	2770
3	14М120	М18/200	15,65	80,0	Средние значения . .		2920
					85	22,3	2770
					85	22,3	2770
					80	23,6	2920
					85	22,3	2770
4	14М120	М18/200	16,03	67,5	Средние значения . .		2800
					84	22,6	2800
					55	13,6	1690
					70	17,4	2150
					75	21,1	2620
					70	19,4	2400
					55	12,4	1540
					Средние значения . .		2080
					65	16,7	2080

Примечание: Режим обработки: число оборотов шпинделя $n=100$ в минуту; $v=5,65$ м/мин; смазка—керосин.

Изменение внутреннего диаметра гайки (материал—силумин) в зависимости от величины диаметра отверстия под резьбу

№ по пор.	Отверстие под резьбу			Данные метчиков					Внутренний диаметр гайки d_v мм	Уменьшение d_v гайки по сравнению с диаметром отверстия под резьбу мм	Плотность резьбы в %	Характеристика резьбы гайки
	диаметр сверла, мм	диаметр развёртки, мм	диаметр развёрнутого отверстия, мм	размеры метчиков	угол заточки передней грани γ	d_n мм	d_{cp} мм	d_v мм				
Метчик № 2												
1	15,2	15,5	15,52	18/200	17°30'	18,12	16,575	15,113	15,48	0,04	86,5	В верхней части гайки имеется небольшое разбоявание (качка резьбового калибра на первых 2—3 нитках). Внизу гайки на гребнях резьбы заметны надирья (заусенцы)
2	15,2	15,5	15,52	18/200	17°30'	18,12	16,575	15,113	15,48	0,04		
3	15,2	15,5	15,52	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,50	0,02		
4	15,2	15,5	15,52	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,50	0,02		
5	15,2	15,5	15,52	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,48	0,04		
6	15,2	15,5	15,52	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,48	0,04	92,5	То же
7	15,0	15,3	15,33	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,32	0,01		
8	15,0	15,3	15,33	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,32	0,01		
9	15,0	15,3	15,37	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,35	0,02		
10	15,0	15,3	15,38	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,35	0,02		
11	15,0	15,3	15,38	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,35	0,03	82,0	Резьба плотная (калибр идет без качки, ровно). Поверхность резьбы чистая, без надиров
12	15,4	15,6	15,65	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,63	0,02		
13	15,4	15,6	15,63	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,63	0,02		
14	15,4	15,6	15,63	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,58	0,05		
15	15,4	15,6	15,63	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,58	0,05		
16	15,4	15,6	15,65	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,60	0,03	89,5	Калибр идет плотно, без качки. Имеется незначительный увод метчика. Поверхность резьбы чистая
17	15,4	15,6	15,65	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,60	0,03		
18	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,63	0,02		
19	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,60	0,05		
20	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	16,00	0,03		
21	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	16,00	0,03		
22	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	16,08	0,05		
23	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	16,98	0,05		
24	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,97	0,06		
25	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	16,97	0,06		
26	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,98	0,05		
27	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	15,98	0,05		
28	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	16,00	0,03		
29	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	16,00	0,03		
30	15,7	16,0	16,03	18/200	18°15'	18,12	16,575	15,113	16,00	0,03		

№ по пор.	Отверстие под резьбу			Данные метчиков					Внутренний диаметр d_v , мм	Уменьшение d_v резьбы по сравнению с диаметром отверстия под резьбу, мм	Полнота резьбы в %	Характеристика резьбы гайки	
	диаметр сверла, мм	диаметр развёртки, мм	диаметр развёрнутого отверстия, мм	размеры метчиков	угол заточки передней грани γ	d_n мм	d_{cp} мм	d_v мм					
Метчик № 4													
25	15,2	15,5	15,52	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,49	0,03	84	Калибр идет туго. Имеется небольшой увод метчика. Резьба чистая, без надиров	
26	15,2	15,5	15,52	18/200	20°	18,11	16,549	15,029	15,49	0,03			
27	15,2	15,5	15,52	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,50	0,02			
28	15,2	15,5	15,52	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,50	0,02			
29	15,2	15,5	15,52	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,49	0,02	90	То же	
30	15,0	15,3	15,32	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,32	0,00			
31	15,0	15,3	15,32	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,30	0,02			
32	15,0	15,3	15,32	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,29	0,03			
33	15,0	15,3	15,32	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,29	0,03	80	То же	
34	15,0	15,3	15,32	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,29	0,03			
35	15,4	15,6	15,63	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,61	0,02			
36	15,4	15,6	15,63	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,61	0,02			
37	15,4	15,6	15,63	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,62	0,03	67,5	То же	
38	15,4	15,6	15,63	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,62	0,03			
39	15,4	15,6	15,63	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	15,62	0,03			
40	15,7	16,0	16,03	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	16,00	0,03			
41	15,7	16,0	16,03	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	16,00	0,03			
42	15,7	16,0	16,03	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	16,00	0,03			
43	15,7	16,0	16,03	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	16,00	0,03			
44	15,7	16,0	16,03	18/200	19°30'	18,11	16,549	15,029	16,00	0,03			

Примечание. Режим обработки: число оборотов шпинделя $n = 100$ в минуту; смазка—керосин.

3. При сверлении отверстия под резьбу в силумине рекомендуется употреблять в качестве охлаждающей и смазывающей жидкости керосин. Этим обеспечивается получение более чистых и точных (меньшее разбивание) отверстий.

4. Диаметр отверстия под резьбу необходимо выбирать с таким расчетом, чтобы зазор между стенками отверстия и внутренним диаметром метчика был не менее 0,1 мм.

ГЛАВА III

ИСПЫТАНИЯ МЕТЧИКОВ НА СТОЙКОСТЬ И ВЫВОД ОСНОВНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ $v = f(T, d, s)$ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ В СИЛУМИНЕ

1. ХАРАКТЕР ИЗНОСА И ВЫБОР КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАТУПЛЕНИЯ МЕТЧИКОВ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Успех скоростных испытаний в громадной степени зависит от того, насколько удачно выбран критерий для оценки затупления метчика, насколько данный критерий объективен и устойчив.

По данному вопросу в технической литературе (иностранной и отечественной) материалов не имеется. В тех немногих работах различных исследователей, которые известны нам по испытаниям стойкости метчиков (Куррейн, Штевер и др.), принимался в виде критерия для оценки затупления износ метчиков, причем обычно испытания проводились до полного износа, т. е. до окончательного выхода метчика из строя, так что последующая их заточка была вообще затруднена. Кроме того, нужно отметить и то обстоятельство, что все вышеуказанные испытания ограничивались простым сравнением стойкости различных метчиков, причем стойкость измерялась либо количеством нарезанных гаек, либо длиной нарезанной резьбы.

Большие трудности получения строго идентичных метчиков заставляют с большой осмотрительностью и осторожностью подходить как к выбору критерия для оценки затупления, так и к самому контролю подлежащих испытанию метчиков.

Из числа факторов, которые свидетельствуют о затуплении метчика в процессе работы и которые возможно принять в виде критерия для оценки затупления его, назовем следующие:

1) износ метчика по среднему и наружному диаметрам, износ затылка рабочего конуса (затылочной грани) и затупление лезвий (в виде закругления) резцов рабочего конуса;

2) увеличение крутящих моментов выше определенного предела;

3) повышение температуры при резании;

4) изменение размеров нарезаемой гайки по среднему и наружному диаметрам;

5) чистота резьбовой поверхности гайки;

6) вид (характер) стружки.

Для выбора из перечисленного ряда факторов наиболее устойчивого и объективного, а также для определения ориентировочного диапазона скоростей резания, на которых следует вести исследования, были проведены предварительные испытания метчиков на стойкость.



Фиг. 45. Профиль режущих зубьев рабочего конуса метчика.
а—профиль до начала работы метчиком; б—профиль по наступлении затупления метчика.

Данные предварительных испытаний относительно выбора критерия для оценки затупления метчика позволили сделать следующие выводы:

1. Износ по среднему и наружному диаметрам первых ниток



Фиг. 46. Износ затылочной грани метчика и наличие материала гайки.

калибрующей части метчика не всегда отвечает моменту затупления метчика (фиг. 45). Часто, особенно при высоких скоростях резания, диаметры (как средний, так и наружный) имели (фиг. 46) вместо износа наращение (износ с обратным знаком), в то время как другие сопровождающие затупление метчика факторы указывали на полное затупление метчика (увеличение $M_{кр}$, неудовлетворительная чистота поверхности резьбы и пр.).

Ниже в табл. 18 приведены данные метчиков из стали ЭУ-12, полученные обмером метчиков до начала испытаний, а в табл. 19 даны величины износов диаметров этих метчиков по наступлении затупления последних.

2. Износ затылочной грани (задней) рабочего конуса метчика всегда соответствовал моменту затупления метчика, причем ширина фаски на задней (затылочной) грани резца колебалась в пределах от 0,2 до 0,5 мм.

3. Крутящий момент с небольшой величины в начале работы (фиг. 47 и табл. 20) через непродолжительное время (после нарезки 10—15 гаек) начинает быстро расти и по нарезании 50—60 гаек достигает двух- и трехкратной величины от первоначального момента. Затем крутящий момент стабилизируется на некоторой величине и с затуплением метчика начинает быстро расти дальше.

Протокол контрольных обмеров метчиков (из стали ЭУ-12), подлежащих испытанию на стойкость

№ метчиков	Размер резьбы	Диаметры			Рабочий конус метчиков		Угол заточки передних граней метчиков					Угол заточки конуса метчиков				Твердость торца на пера Rc	
		d_n мм	d_{cp} мм	d_b мм	Угол α	длина l_a мм	Число витков	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II
							Общее число витков										
1-С	M16/150	16,240	15,060	14,02	6°10'	12,00	8	4	24°15'	24°	24°	5°15'	5°10'	5°15'	5°	66	67
2-С	M16/150	16,198	15,070	13,95	6°10'	12,30	8	4	25°	24°	24°30'	5°25'	5°	5°30'	5°20'	65	67
3-С	M16/150	16,238	15,040	13,94	6°20'	12,30	8	4	23°30'	24°	24°15'	5°15'	5°5'	5°15'	5°5'	63	65
4-С	M16/150	16,245	15,070	13,91	6°50'	11,80	8	16	4	24°15'	24°	6°5'	6°15'	7°30'	6°15'	65	67
5-С	M16/150	16,242	15,070	13,95	6°40'	11,80	8	16	4	23°	22°30'	6°15'	6°	6°30'	6°15'	67	68
6-С	M16/150	16,228	15,040	13,93	6°30'	12,10	8	16	4	24°	25°	6°10'	6°	6°10'	6°	64	65
7-С	M16/150	16,221	15,060	13,93	6°45'	12,40	8	16	4	23°30'	24°	5°30'	5°15'	5°20'	5°30'	61	60
8-С	M16/150	16,224	15,042	13,95	6°45'	12,20	8	16	4	24°	25°	6°	6°	6°15'	6°	60	62
9-С	M16/150	16,224	15,040	13,89	7°05'	11,95	8	16	4	23°30'	24°	5°45'	5°50'	5°20'	5°10'	61	62
10-С	M16/150	16,203	15,035	14,01	6°40'	11,85	8	16	4	22°30'	23°	5°30'	5°30'	5°45'	5°45'	62	61
11-С	M16/150	16,194	15,055	13,92	6°50'	12,15	8	16	4	23°	24°	5°30'	5°30'	5°	5°15'	61	63
12-С	M16/150	16,136	15,050	14,03	7°10'	11,80	8	16	4	23°30'	24°	6°15'	6°	6°15'	6°20'	65	66
13-С	M16/150	16,222	15,040	13,99	7°15'	11,85	8	16	4	24°	24°	5°15'	5°20'	5°30'	5°15'	65	66
14-С	M16/150	16,180	15,055	13,96	7°20'	11,82	8	16	4	25°	25°30'	6°	6°15'	6°20'	6°30'	65	66
15-С	M16/150	16,253	15,045	13,95	7°15'	11,85	8	16	4	26°	24°	5°30'	5°30'	5°45'	5°45'	66	65
16-С	M16/150	16,254	15,040	13,92	7°15'	11,90	8	16	4	25°	25°30'	5°10'	5°10'	5°30'	5°15'	65	65
17-С	M16/150	16,226	15,062	14,10	6°45'	12,40	8	16	4	24°	24°15'	5°10'	5°10'	5°30'	5°30'	62	62,5
18-С	M16/150	16,210	15,040	13,98	6°45'	12,0	8	16	4	24°30'	24°	5°30'	5°30'	6°10'	6°	61,5	61
19-С	M16/150	16,223	15,035	13,90	7°0'	11,92	8	16	4	23°30'	24°	5°50'	5°50'	6°	5°50'	61	62
20-С	M16/150	16,205	15,045	14,02	6°50'	11,85	8	16	4	22°30'	24°	5°30'	5°25'	5°15'	5°30'	61	60

Примечание. Резьба метчиков шлифована. Обратный конус у всех метчиков не более 1:1000. Боковые грани зубьев калибрующей части метчиков задней заточки не имеют.

Рост величины крутящего момента в зависимости от скорости резания идет с различной интенсивностью.

Таблица 19

Износ метчиков (из стали ЭУ-12) при нарезании резьбы в силумине

№ метчиков	Размеры резьбы	Размеры метчиков до работы, мм		Размеры метчиков после работы, мм		Износ метчиков, м		Количество нарезанных гаек	Скорость резания в м/мин
		d_n	d_{cp}	d_n	d_{cp}	d_n	d_{cp}		
8-С	M16/150	16,213	15,042	16,225	15,045	+12	+13	192	8,0
9-С	M16/150	16,224	15,040	16,234	15,045	+10	+5	173	12,0
17-С	M16/150	16,221	15,062	16,210	15,055	-11	-7	200	5,0
12-С	M16/150	16,136	15,050	16,219	15,061	+23	+11	135	26,6
13-С	M16/150	16,222	15,040	16,219	15,020	-3	-20	220	6,0
14-С	M16/150	16,180	15,055	16,173	15,075	-7	+20	172	19,1
15-С	M16/150	16,253	15,045	16,238	15,037	-15	-8	216	8,0
16-С	M16/150	16,254	15,040	16,431	15,038	-23	-2	180	26,6

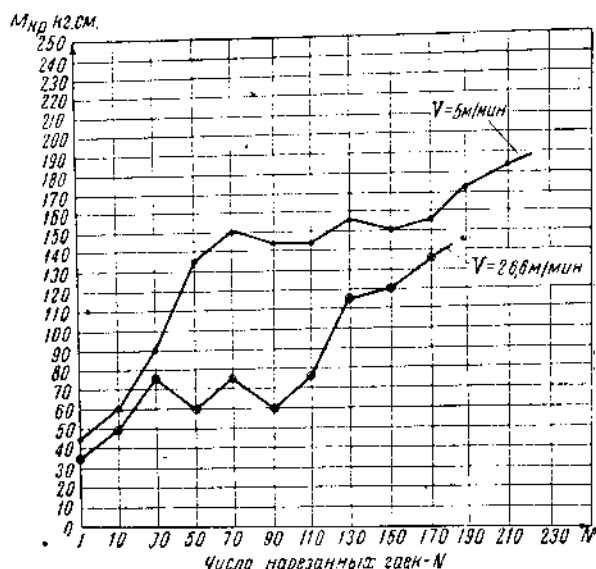
Увеличение крутящего момента на $150 \div 200\%$ от начального (установившегося) можно принять за признак полного притупления резцов рабочего конуса метчика.

Таблица 20

Изменение величины $M_{кр}$ (кгс·м) при нарезании резьбы метчиком M16/150 (из стали ЭУ-12) в силумине с увеличением количества нарезанных гаек

№ по пор.	№ метчиков	Скорость резания, м/мин	Количество нарезанных гаек											Общее количество нарезанных гаек
			1—10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	
1	13-С	5	60	90	135	150	143	143	156	150	156	172	183	220
2	15-С	8	45	—	60	90	123	125	130	107	143	150	175	216
3	19-С	12	60	75	108	125	143	150	172	172	175	—	—	173
4	14-С	19,1	45	75	95	150	200	220	250	235	210	—	—	172
5	16-С	26,6	35	50	75	60	75	60	95	115	120	135	—	190

4. Измерение температуры резания при помощи замера термо-токов показало, что температура резания при обильном смазывании метчика керосином во время работы увеличивается к моменту начала затупления метчика примерно в два раза, достигая максимума в $100-120^{\circ}$.



Фиг. 47. Изменение $M_{кр}$ в зависимости от числа нарезов гайки.

5. Замером размеров средних диаметров гаек набором резьбовых калибров с диаметрами, отличными друг от друга на $0,01$ мм (в пределах допуска на средний диаметр), не удалось обнаружить изменений среднего диаметра гаек, нарезанных метчиком с затупившимися лезвиями.

6. С наступлением затупления метчика поверхность резьбовых витков гайки получает как бы нагартовку—уплотнение, что заметно по блеску поверхности резьбы и изменению цвета этой поверхности. Поверхность резьбы вместо белого серебристого принимает светложелтый, соломенный оттенок. Кроме того, местами на витках резьбы можно видеть в лупу царапины.

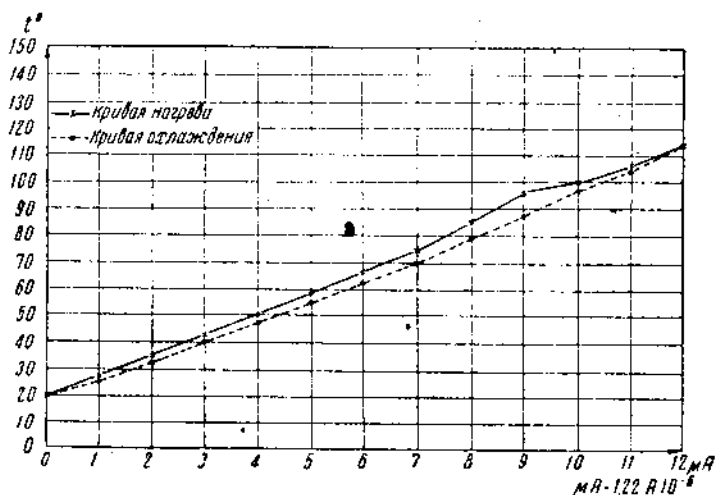
Таким образом, рассматривая в свете изложенных факторов вопрос о выборе критерия для оценки затупления метчика при работе в силумине, приходится признать, что износ—истирание задней затылочной грани рабочего конуса метчика до определенного предела может служить наиболее явным и объективным признаком затупления данного метчика. Увеличение крутящего момента и повышение температуры резания должны быть приняты в виде вторичных признаков затупления метчика. То же самое относится и к чистоте поверхности резьбы.

Предварительные испытания диапазона скоростей резания, допустимого кинематикой станка ($5 \div 27$ м/мин), показали, что скорость резания, обуславливая процесс стружкообразования, тем самым определенным образом влияет на получаемую чистоту поверхности резьбы. Было замечено, что с увеличением скорости резания поверхность резьбы получается несколько чище и из матовой превращается в блестящую. В то же время на высоких скоростях резания заметнее налипание материала гайки как на переднюю, так и на заднюю (затылочную) грани рабочего конуса метчика.

Кинематика станка не позволяла взять скорость выше $26,6$ м/мин (530 об/мин.), но в исследованном диапазоне скоростей ($5 \div 26,6$ м/мин), как показали контрольные обмеры, гайки по своим размерам не выходили из пределов допуска, заданного на их изготовление.

2. ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ РАБОТЕ МЕТЧИКОВ В СИЛУМИНЕ

Для определения температурных изменений на лезвиях рабочего конуса метчика в процессе работы нами были использованы термопары: метчик-гайка (сталь ЭУ-12—силумин).



Фиг. 48. Тарировочная кривая термопары сталь ЭУ-12—силумин.

Для регистрации колебаний силы термопары применялся стрелочный „нуль-гальванометр“ изготовления Ленинградского физического института. Для определения абсолютного значения температур был изготовлен эталон термопары; сталь ЭУ-12—силумин, по которому и был протарирован гальванометр (фиг. 48).

На фиг. 49 показана схема установки для определения температуры резания при нарезании резьбы метчиками. Плитка силумина, в которой нарезалась резьба, изолировалась вместе со столиком Вебера от станины станка (стола); вначале, при первых

опытах, производилась изоляция и метчика в патроне при помощи плотного картона, но потом, как показал опыт, достаточно было одной изоляции стола (гайки). Один провод от гальванометра присоединялся непосредственно к плитке или к тискам, зажимающим плитку (неподвижный контакт). Другой контакт был скользящим; на хвостовую часть метчика (около резьбы) крепился диск из алюминия, который во время рабочего хода метчика скользил по неподвижной планке, изготовленной также из алюминия.

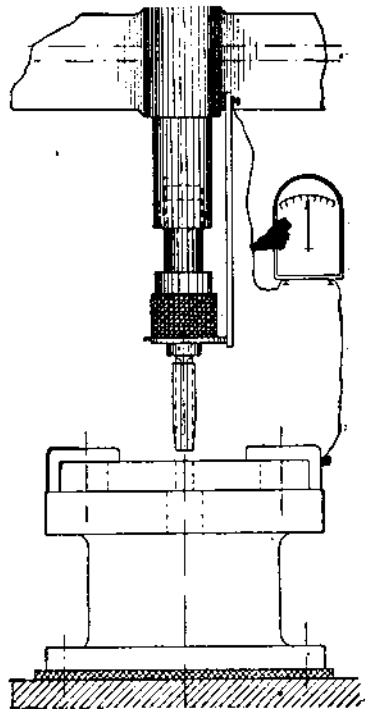
Как показали опыты, данная термоустановка с достаточной для практики точностью фиксировала изменения температуры резания, причем отклонения стрелки гальванометра всегда были идентичными при повторных проверочных опытах.

Из полученных термограмм, подобно изображенным на фиг. 50 и 51 (стр. 64), можно установить характер тепловых изменений в процессе работы метчика. При скоростных испытаниях (испытаниях на стойкость метчиков) термограммы облегчали определение момента наступления полного затупления метчика.

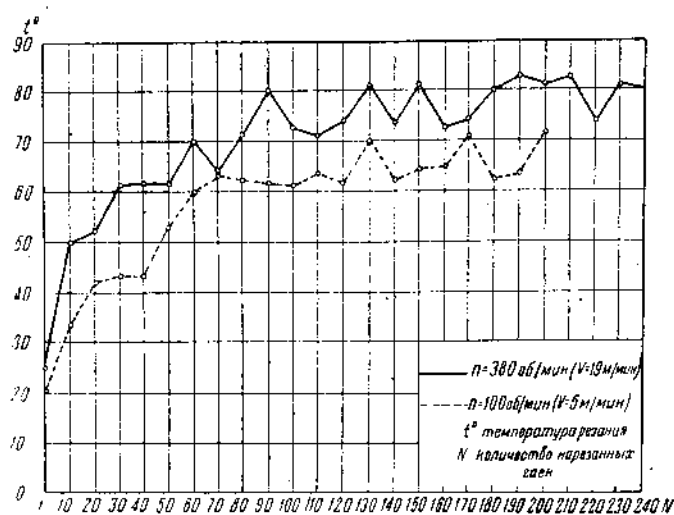
Как показывает термограмма, изображенная на фиг. 50, динамику теплового процесса при нарезании резьбы можно разбить на три этапа: а) начало работы (нарезка первых 10—15 гаек), б) середина работы и в) конец работы — момент окончательного затупления метчика. В первой части процесс идет весьма интенсивно, причем температура быстро возрастает до определенного предела, затем — на втором этапе — возрастание температуры протекает медленно и в конце работы — на третьем этапе — температура вновь быстро поднимается до максимума.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ МЕТЧИКА БЕЗ ПЕРЕТОЧКИ

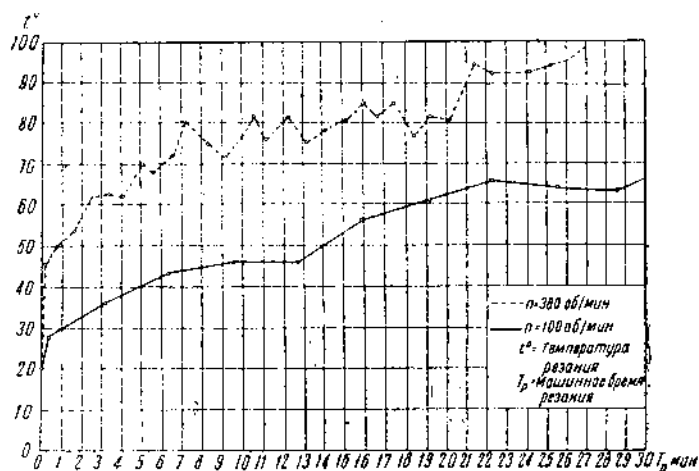
Как было упомянуто выше, данная работа имела целью не только определение сравнительной стойкости метчиков при нарезании резьбы в силумине, но также и определение зависимости продолжительности работы метчика без переточки от скорости резания, т. е. нахождение зависимости $v = f(T_p)$.



Фиг. 49. Схема установки для определения величин температур резания при нарезании резьбы метчиками.



Фиг. 50. Изменение температуры в процессе нарезания резьбы метчиком в зависимости от числа нарезанных гаек.



Фиг. 51. Изменение температуры резания в зависимости от продолжительности работы метчика T_p до переточки.

Данная зависимость, выведенная Тейлором для токарной обработки и в дальнейшем подтвержденная целым рядом других исследователей, изображается уравнением вида

$$v = \frac{\text{const}}{T^m}.$$

Никаких принципиальных возражений против изображения зависимости скорости резания от продолжительности работы в таком же виде и для метчиков не имеется. Конечно, условия и характер работы токарного резца во многом и значительно отличаются от условий и характера работы метчика. Однако, если представить себе метчик как режущий инструмент, состоящий из отдельных резцов, то для каждого отдельного из этих резцов мы можем найти много общего с работой токарного резцового резца.

Так же как и в случае работы токарного резца, мы можем определить время чистого резания (T_p) для каждого резца испытываемого метчика до его затупления. Зная количество (N) нарезанных гаек до затупления метчика, высоту гайки (l_m), шаг резьбы (s) и число оборотов (n) шпинделя станка, мы можем время чистого резания метчика определить из уравнения

$$T = \frac{l_m N}{sn}$$

Для испытания стойкости метчиков при нарезании резьбы в силумине АС-12 были взяты метчики размером М16/150 из углеродистой инструментальной стали ЭУ-12 и из легированной инструментальной стали ЭФ. Резьба у всех метчиков была шлифованная. Передняя грань (угол γ) метчиков затачивалась перпендикулярно виткам резьбы по всей ее длине. Все данные о геометрии испытываемых метчиков из стали ЭУ-12 приведены в табл. 18 (стр. 59).

Резьба нарезалась в плитках силумина высотой в 24 мм ($l_m = 1,5D$). Во время работы метчик смачивался керосином. Обрати метчик выводился из гайки с той же скоростью, что и при прямом ходе.

Отверстия под резьбу свердились в плитках сверлом диаметром в 14,2 мм при смачивании его керосином, после чего контролировались предельным калибром 14,2 + 0,2 мм.

Момент окончательного затупления метчиков определялся по совпадению трех факторов:

1) роста крутящих моментов до трехкратного начального значения;

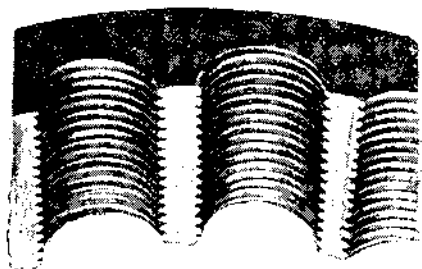
2) увеличения температуры резания до 90—100° и

3) образования на затылке резцов рабочего конуса метчика фаски шириной в 0,2—0,3 мм и округления углов режущих кромок резцов метчиков.

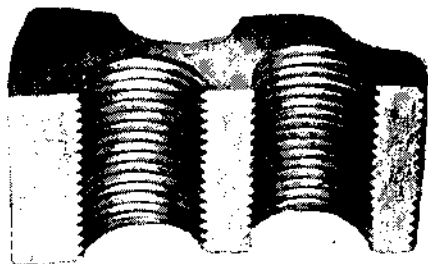
Обычно эти факторы затупления, за исключением случаев катастрофического износа метчиков, сопровождали друг друга.

В общем при проведении этих испытаний наблюдались те же явления, что и при предварительных опытах.

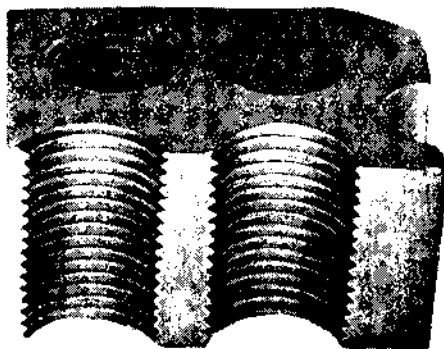
Здесь необходимо еще отметить влияние скорости резания на чистоту нарезаемой резьбы и на величину крутящего момента.



Фиг. 52. Метчик 7-С. Скорость резания $v = 8$ м/мин.



Фиг. 53. Метчик 9 С. Скорость резания $v = 12$ м/мин.



Фиг. 54. Метчик 10-С. Скорость резания $v = 19,1$ м/мин.

Фиг. 52—54. Качество поверхности резьбы М16/150 при нарезании ее метчиком в слесушне в зависимости от величины скорости резания. Смазка — керосин.

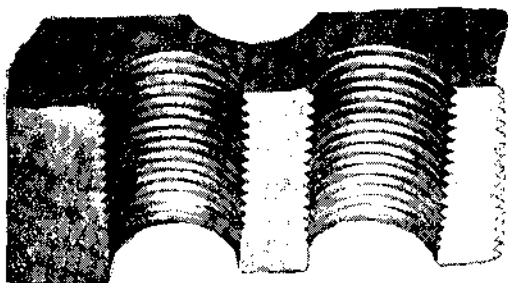
Как видно из рассмотрения фиг. 52—54, чистота поверхности резьбы несколько улучшается с ростом скорости резания. Это явление еще реже обнаруживается при работе метчика только в одном направлении (без обратного хода), так как при обратном ходе метчика полученный эффект часто уничтожается трением защемленной стружки о резьбу гайки.

С увеличением скорости резания наблюдается также некоторое понижение величин крутящих моментов. К сожалению, проследить влияние скорости резания на чистоту и точность резьбы, а также на величину $M_{кр}$ при скорости резания выше 27 м/мин не

представлялось возможным из условий кинематики станка. Следует предполагать, что в случае нарезания резьбы существует, как и в токарной работе, скорость резания, определяющая оптимальный процесс образования стружки (при постоянстве других факторов: шаг, диаметр), и что такая скорость резания для слесушны лежит выше взятых нами скоростей.

Обращает на себя внимание также весьма интересный, даже несколько парадоксальный факт, который нам пришлось наблюдать при испытаниях: по мере притупления режущих кромок метчика

все сильнее и сильнее сказывается на росте величины крутящего момента количество подаваемой смазки (керосина); к концу работы метчика подача обильной смазки создает зацемяляющий момент (буксует ремень станка). Природу данного явления, видимо, нужно объяснить следующим. При затуплении резцов метчика, как мы уже видели, на затылочной его части образуется фаска, причем последняя увеличивается с увеличением затупления метчика; при обильной подаче керосина он как бы вклинивается между фаской метчика и гайкой, в результате чего метчик скользит по материалу, а не врежется в него. Это соображение подтверждается и тем фактом, что с увеличением количества подаваемой смазки метчик начинает „свистеть“; стоит только уменьшить количество подаваемой смазки, как „свист“ прекращается и крутящий момент по своей величине уменьшается. Поверхность резьбы гайки получает после этого как бы нагартовку (блеск) от трения. На фиг. 55 показана в разрезе гайка, нарезанная затупившимся метчиком.



Фиг. 55. Качество поверхности резьбы, нарезанной в силумине затупившимся метчиком. Метчик 10-С. Скорость резания $v = 19,1 \text{ м/мин}$. Смазка—керосин.



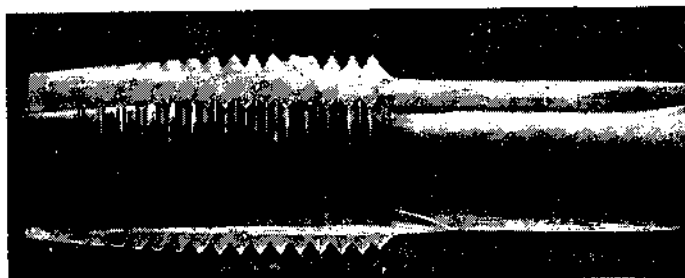
Фиг. 56. Метчик 6-С А16/150 после нарезания резьбы в силумине. Калибрующие штишки метчика сняты при обратном его ходе.

Вследствие наличия зацемяляющего момента метчик пришлось вывести обратно (гайка недорезана). Необходимо также отметить при нарезке резьбы в силумине сравнительно низкую стойкость метчиков, изготовленных как из стали ЭУ-12, так и из стали ЭФ (фиг. 56 и 57).

Метчик 15-С после испытания на силумине был в целях получения сравнительных данных переточен (передний угол $\gamma = 12^\circ$) и испробован при нарезке гаек из стали У-4 ($H_B = 180 - 185$). Метчик при скорости резания в 8 м/мин и смазке смесью скипидара с нагретым маслом (50%) нарезал 300 гаек и оказался после этого годным для дальнейшей работы. Признаков износа задней грани у этого метчика обнаружено не было, имела лишь небольшая округленность режущих кромок зубьев конуса

и следы налипания материала гайки на задние грани метчика. Указанный метчик изображен на фиг. 58.

При нарезке резьбы в силумине метчиком 15-С при скорости резания в 8 м/мин удалось нарезать до полного его затупления (износ задней грани, высокая величина $M_{кр}$ и пр.) всего 216 гаек.



Фиг. 57. Фаска на затылочной грани метчика, получившаяся вследствие износа в процессе нарезания резьбы в силумине.

Данный эксперимент показывает, что процесс истирания задних граней метчиков о силумин протекает гораздо быстрее, чем процесс истирания о сталь У-4.

Объясняется это, конечно, главным образом природой самого силумина. Существенное значение в данном случае имеет и то обстоятельство, насколько силумин свободен от окислов алюминия и других включений подобного рода.



Фиг. 58. Метчик 15-С после нарезки 300 гаек из стали У-4.

Результаты проведенных испытаний метчиков ЭУ-12 и ЭФ даны в табл. 21 и 22.

В этих таблицах указаны режимы работы метчиков, количество гаек, нарезанных до затупления метчиков, и время обратного хода), подсчитанное по формуле

$$T_p = \frac{l_m N}{sn}.$$

Всего подверглось испытанию при разных скоростях резания 20 метчиков из стали ЭУ-12 и 9 метчиков из стали ЭФ.

Результаты испытаний метчиков М16/150 из стали ЭФ на стойкость при нарезании резьбы в силумине АС-12

№ по пор.	№ метчиков	Режим работы			Количество нарезанных гаек N	Время чистого резания T _р в мин.	Характер работы и износа метчиков
		число оборотов шпинделя в минуту	скорость резания, м/мин	смазка			
1	1-ЭФ	380	19,1		186	15,70	Работа ровная. В конце работы — нагревание и «свист» метчика. Износ задних граней конуса метчика
2	2-ЭФ	240	12,0		46	—	Заедание и срыв резьбы при обратном ходе метчика. Снят до затупления
3	3-ЭФ	240	12,0		158	21,10	Работа ровная. Снят с увеличением M _{кр} выше принятого критерия. Износ задних граней конуса метчика
4	4-ЭФ	530	26,6		110	6,60	В конце работы обнаружены налипание материала гайки на задние грани метчика и надрыв на резьбе гайки. Износ задних граней конуса метчика
5	10-ЭФ	530	26,6	Керосин	140	8,50	То же
6	5-ЭФ	300	15,0		160	17,10	Работа ровная. Снят с увеличением M _{кр} выше принятого критерия. Износ задних граней конуса метчика
7	6-ЭФ	240	12,0		190	25,30	То же
8	7-ЭФ	380	19,1		130	11,00	В конце работы — сильное нагревание и «свист» метчика. Износ задних граней конуса метчика
9	8-ЭФ	340	15,0		62	—	При нарезке резьбы в 62-й гайке при обратном ходе метчика произошло срыв резьбы. На метчике сильное налипание материала гайки. Метчик снят до затупления

Результаты испытаний метчиков М 16/150 из инструментальной стали ЭУ-12 на стойкость при нарезании резьбы в силумине

№ по пор.	№ мет- чиков	Режим работы			Количество нарезанных гаек по за- туплению	Время ре- зания в минутах	Характер работы и износа метчиков
		число оборотов шпинделя в минуту	скорость резания в м/мин	смазка			
1	1-С	240	12,00		26	—	При нарезке резьбы 26-й гайкой метчик „заел“ и выкрошился
2	2-С	240	12,00		210	28,0	Метчик работал до появления защемляющего момента. Истирание задних граней конуса метчика
3	3-С	380	19,10	и	134	11,3	К концу работы метчик начал „свистеть“ и сильно нагреваться. Износ задних граней конуса метчика
4	5-С	160	8,00	и	35	—	При нарезке резьбы в 35-й гайке метчик выкрошился (выкрошились два зуба на конусе)
5	6-С	160	8,00	о	100	—	С самого начала работы метчик давал высокий крутящий момент, сильно на- гревался и „свистел“. Налипание материала гайки на задней грани зубьев. Срыв резьбы
6	7-С	160	8,00	р	132	27,0	В конце работы метчик начал „свистеть“ и сильно нагреваться. Износ задних граней конуса метчика
7	4-С	160	8,00	е	120	—	При нарезке резьбы в 120-й гайке метчик „заел“, и при обратном ходе выкро- шились два зуба
8	9-С	240	12,00	К	173	23,0	Метчик работал до появления защемляющего момента. Износ задних граней конуса метчика

9	8-С	160	8,00	192	39,0	В конце работы метчик начал „свистеть“ и нагреваться. Износ задних граней конуса метчика
10	10-С	380	19,10	45	—	Неровное резание. Большие величины Мкр. Налипание материала гайки на задних гранях и между зубьями метчика. Износа не обнаружено
11	18-С	380	19,10	100	8,4	Налипание материала гайки на передней и задней гранях зубьев метчика. Износ задних граней конуса метчика
12	19-С	240	12,00	173	23,0	В конце работы сильное нагревание и „свист“ метчика. Износ задних граней конуса метчика
13	17-С	100	5,00	200	64,0	То же
14	11-С	100	5,00	180	57,6	»
15	13-С	100	5,00	220	70,4	После нарезания 195 гаек на индикаторной диаграмме появились „пикси“. Износ задних граней конуса метчика
16	14-С	380	19,10	172	14,5	В конце работы сильное нагревание и „свист“ метчика. Износ задних граней конуса метчика
17	15-С	160	8,00	216	44,0	Работа ровная. В конце работы сильное нагревание метчика. Износ задних граней конуса метчика
18	16-С	530	26,60	180	10,9	Работа ровная. В конце работы сильное нагревание и „свист“ метчика. Износ задних граней конуса метчика
19	12-С	530	26,60	135	8,2	То же
20	20-С	530	26,60	140	8,4	»

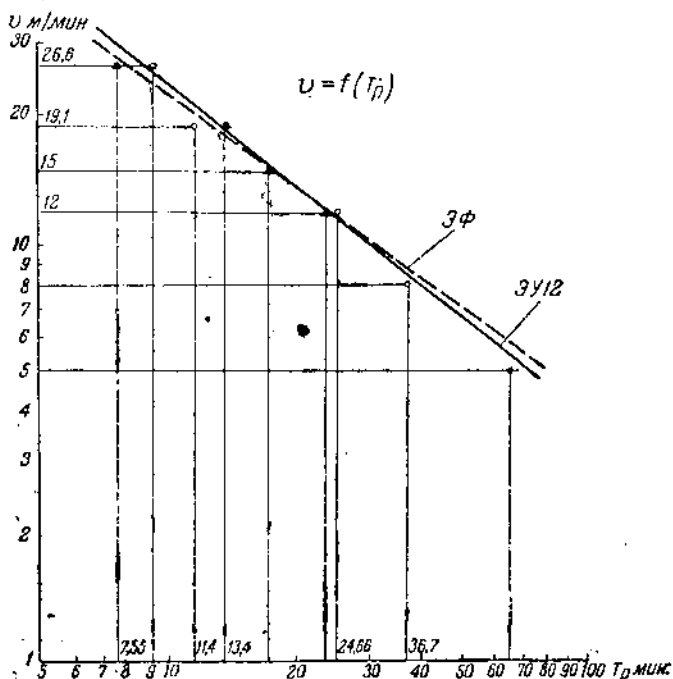
Если уравнение

$$v = \frac{C}{T_p^m},$$

связывающее скорость резания v со временем работы метчика до затупления T_p , изобразить в логарифмических координатах, то мы получим уравнение прямой

$$\lg v = \lg C - m \lg T_p.$$

В данном уравнении нам необходимо определить значения постоянной C и показателя степени m .



Фиг. 59. Диаграмма (в логарифмических координатах) изменения величины скорости резания (для метчиков из сталей ЭУ-12 и ЭФ) в зависимости от продолжительности работы метчика без переточки.

Определить значения указанных величин возможно построением по полученным точкам (v , T_p) указанной прямой, где m будет равно тангенсу угла наклона прямой и C определится, как отрезок прямой на оси ординат при $T_p = 1$.

Такой графический метод определения неизвестных имеет существенный недостаток — он весьма субъективен, так как прямая проводится на основании зрительного впечатления „охвата“ данной прямой всех, иногда широко разбросанных точек. Поэтому для определения значений неизвестных m и C был использован в нашем случае метод „наименьших квадратов“ Гаусса.

В результате обработки полученных данных методом наименьших квадратов мы получили:

- а) для метчиков из стали ЭУ-12 — $m = 0,784$, $C = 134$;
 б) ЭФ — $m = 0,732$, $C = 120$.

Таким образом искомая зависимость $v = f(T_p)$ может быть написана в виде уравнений:

- а) $v = \frac{134}{T_p^{0,784}}$ для метчиков ЭУ-12 и
 б) $v = \frac{120}{T_p^{0,732}}$ для метчиков ЭФ.

На фиг. 59 изображена диаграмма, построенная в логарифмических координатах по данным проведенных испытаний.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ МЕТЧИКА ОТ ДИАМЕТРА И ШАГА РЕЗЬБЫ

Можно заранее сказать, что с увеличением шага резьбы стойкость метчика при прочих равных условиях будет уменьшаться, так как толщина стружки, приходящаяся на один резец рабочего конуса метчика (t_z), будет увеличиваться.

Изменение же диаметра метчика в сторону его увеличения должно при сохранении прочих условий неизменными увеличить стойкость метчика (продолжительность работы без переточки), так как в этом случае, благодаря увеличению массы метчика и дуги соприкосновения метчика с нарезаемой гайкой, улучшится отвод тепла, образующегося при резании. Кроме того, благодаря уменьшению числа оборотов метчика также улучшится и отход стружки.

Таким образом, если указанную зависимость стойкости метчика от шага и диаметра резьбы выразить через скорость (v) при постоянстве продолжительности работы без переточки, то на основе вышесказанного мы получим следующие уравнения:

$$v = \frac{C}{s^x} \text{ и } v = C_1 d^y.$$

В общем виде уравнение зависимости скорости резания от шага (s) и диаметра (d) метчика можно будет написать так:

$$v = \frac{C_v}{s^x} d^y.$$

Наша задача состоит в том, чтобы опытным путем определить эту зависимость, т. е. найти значения C_v , x и y .

Для определения указанных зависимостей при нарезании резьбы метчиками в силумине АС-12 были произведены две группы испытаний:

- 1) при постоянном диаметре метчика с переменным шагом резьбы при $v = \text{const}$ и
- 2) при постоянном шаге резьбы с переменным диаметром метчика.

Протокол контрольных обмеров метчиков из стали ЭУ-12, подде

№ метчиков	Размер резьбы	Диаметры метчиков			Рабочий конус метчиков			Общее число ниток метчиков	Число канавок метчиков
		d_n мм	d_{cp} мм	d_b мм	угол φ	длина l_a , мм	число ниток резьбы		
1-ШС	M14/150	14.216	13.010	11.862	7°20'	8,99	6	20	4
2-ШС	M14/150	14.206	13.045	11.985	7°30'	9,07	6	20	4
3-ШС	M14/150	14.218	13.050	11.920	7°20'	8,98	6	20	4
4-ШС	M14/150	14.220	13.045	11.930	7°25'	8,86	6	20	4
5-ШС	M14/100	14.138	13.347	12.695	7°20'	6,30	6	30	4
6-ШС	M14/100	14.152	13.352	12.677	7°20'	5,99	6	30	4
7-ШС	M14/100	14.157	13.333	12.703	7°15'	6,02	6	30	4
8-ШС	M14/200	14.208	12.755	11.292	7°10'	10,99	6	15	4
9-ШС	M14/200	14.240	12.738	11.167	7°20'	10,93	6	15	4
10-ШС	M14/200	14.234	12.750	11.191	7°20'	10,85	6	15	4

Протокол контрольных обмеров метчиков из стали ЭУ-12, подлежащих испыта

№ метчиков	Размер резьбы	Диаметры метчиков			Рабочий конус метчиков			Общее число ниток метчиков	Число канавок метчиков
		d_n мм	d_{cp} мм	d_b мм	угол φ	длина l_a , мм	число ниток резьбы		
1-ДС	M10/150	10.125	8,94	7,83	5°45'	12.15	8	16	4
2-ДС	M10/150	10.130	8.935	7,96	5°30'	12.23	8	16	4
3-ДС	M10/150	10.120	8.932	7,87	5°30'	12.18	8	16	4
4-ДС	M14/150	14.220	13.045	11.93	6°	11.93	8	16	4
5-ДС	M14/150	14.215	13.215	11.95	6°15'	11.98	8	16	4
6-ДС	M14/150	14.218	13.04	11.89	6°10'	11.90	8	16	4
7-ДС	M16/150	16.220	15.05	13.93	6°15'	12.10	8	16	4
8-ДС	M16/150	16.210	15.06	13.95	6°45'	12.40	8	16	4
9-ДС	M16/150	16.245	15.06	14.00	6°30'	11.98	8	16	4
10-ДС	M18/150	18.225	17.02	15.98	6°45'	12.35	8	16	4
11-ДС	M18/150	18.205	17.05	16.10	6°50'	12.20	8	16	4
12-ДС	M18/150	18.230	17.03	15.95	6°50'	12.12	8	16	4

Таблица 23

жащих испытанию на стойкость в зависимости от шага резьбы

Угол заточки передних граней метчиков				Угол затыловки метчиков				Твердость торца пера метчиков R_C			
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
26°	24°30'	24°	24°	5°10'	5°	5°15'	5°	62,5	63,5	64,5	63,5
23°30'	24°	24°	23°	5°	5°15'	5°20'	5°	64,5	65,5	64,5	64,5
24°	25°	26°	24°	5°15'	5°	5°10'	5°	63,0	63,0	62,5	63,5
25°15'	23°30'	24°	24°30'	5°	5°	5°	5°	65,0	63,5	63,0	64,0
23°30'	26°	24°30'	24°30'	5°20'	5°20'	5°15'	5°	64,5	64,5	64,5	66,0
26°	25°	24°	24°	5°15'	5°20'	5°30'	5°	64,5	63,5	65,5	64,0
24°	24°	24°30'	24°15'	5°	5°	5°10'	5°15'	65,5	64,5	64,5	65,5
23°	26°	22°30'	24°	5°10'	5°15'	5°20'	5°20'	60,0	60,5	62,5	60,0
24°	24°	24°	23°	5°20'	5°	5°	5°10'	62,5	62,5	60,5	61,5
23°15'	24°	25°30'	24°	5°10'	5°10'	5°	5°10'	60,5	61,5	61,5	61,5

Таблица 24

нию для определения стойкости метчиков в зависимости от диаметра метчика

Угол заточки передних граней метчиков				Угол затыловки метчиков				Твердость торца пера метчиков R_C			
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
24°	24°	24°	24°	5°	5°10'	5°5'	5°30'	62	62	63	63,5
25°	24°	24°	24°	5°30'	5°	5°15'	5°	64	63	64	62
23°	22°	25°	23°	5°10'	5°15'	5°20'	5°	63,5	64,5	65	62
24°15'	23°30'	24°	24°20'	5°10'	5°	5°15'	5°	64,5	63,5	64	62
24°	25°10'	23°	24°	5°	5°15'	5°20'	5°	63	65	65	62,5
26°10'	25°20'	24°	25°	5°30'	5°45'	5°15'	5°30'	63	63,5	64	63
22°30'	23°	24°	24°15'	6°10'	6°	6°15'	6°20'	63	65	66	65
24°	23°30'	24°	25°	5°45'	5°30'	5°20'	5°30'	66	65	64	63
25°	25°30'	24°	24°30'	5°30'	5°45'	6°	6°10'	64	63	64	65
26°	24°30'	24°	25°	6°45'	5°10'	6°15'	6°30'	62,5	63	63,5	63
24°	23°15'	22°30'	24°15'	6°	6°15'	6°10'	6°15'	64	63	65	63
22°15'	24°	24°	23°20'	6°15'	6°10'	6°20'	6°30'	66	65	65	64

Все данные метчиков, использованных при проведении испытаний, приведены в табл. 23 и 24 (стр. 74—75). Все метчики имели шлифованную резьбу и были изготовлены из стали ЭУ-12.

Резьба нарезалась в плитках силумина, толщина которых выбиралась в зависимости от диаметра метчика ($l_m = 1,5d$). Отверстия в плитках сверлились сверлами диаметром, обеспечивающим получение отверстий, равных примерно 85% полноты резьбы. Отверстия под резьбу контролировались предельными калибрами. В качестве смазки употреблялся керосин. Все остальные условия опытов и методика были сохранены теми же, что и при определении зависимости $v = f(T_p)$.

Таким образом нами был получен ряд данных, определяющих зависимость продолжительности работы метчика T_p от шага s и диаметра d резьбы.

Для того чтобы связать полученные данные со скоростью резания (при $T_p = \text{const}$), воспользуемся зависимостью $v = \frac{C_v}{T_p^{0,78}}$,

считая, что она правильная для метчиков всех диаметров и шагов и что показатель степени при T постоянен во всех случаях.

Найденная нами зависимость $v = f(T_p)$ может быть написана в виде уравнения

$$v_o = T_{p.o}^m = v_s T_{p.s}^m = \text{const},$$

откуда

$$v_s = v_o \left(\frac{T_{p.o}}{T_{p.s}} \right)^n$$

Если принять, что экономическая продолжительность работы метчика без переточки $T_{p.s} = 20$ мин. и подставить вместо v_o скорость резания при эксперименте и вместо $T_{p.o}$ продолжительность работы метчика при эксперименте, получим v_s , т. е. экономическую скорость резания, которую допускает данный метчик при условии работы его без переточки в течение 20 мин.

В табл. 25 приведены результаты испытаний метчиков, режимы их работы, а также результаты пересчета данных опытов к v_s при $T_{p.s} = 20$ мин. = const по вышеприведенной формуле.

При обработке полученных данных, определяющих зависимость скорости резания от шага и диаметра резьбы при $T = \text{const}$, методом наименьших квадратов были определены значения постоянной $C_v = 0,49$, показателя степени $x = 0,44$ при шаге и показателя степени $y = 1,20$ при диаметре в уравнении

$$v = \frac{C_v}{s^x} d^y.$$

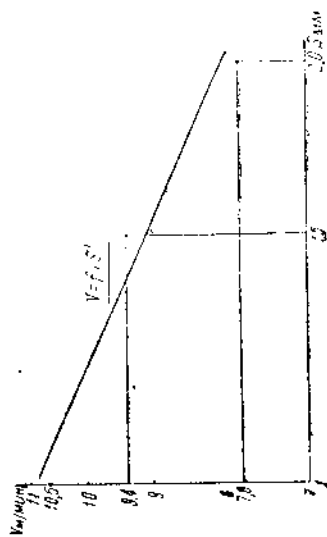
Таким образом уравнение, определяющее зависимость скорости резания от шага и диаметра метчика, примет вид:

$$v = \frac{0,49}{s^{0,44}} d^{1,20}.$$

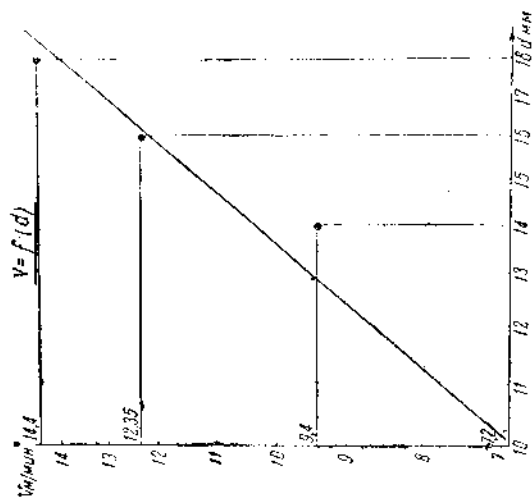
Режимы и результаты испытаний метчиков при определении зависимости скорости резания от шага и диаметра резьбы

№ по пер.	Метчик		Гайка		Режим работы			N резанных гаек	Продолжитель- ность работы T _р , мин.	Пересчет на v _с	
	Обозначе- ние	Диаметр, мм	Шаг, мм	Высота резьбы, мм	число оборотов минуты	Скорость резания v, м/мин	смазка			T _с , мин.	v _с , м/мин
1	5-ШС	14	1,00	20	380	16,7		93	9,8	20	9,56
2	6-ШС	14	1,00	20	380	16,7		102	10,7	20	10,25
3	7-ШС	14	1,00	20	380	16,7		123	13,8	20	11,95
4	1-ШС	14	1,50	20	380	16,7		146	10,2	20	9,90
5	2-ШС	14	1,50	20	380	16,7		134	9,4	20	9,27
6	3-ШС	14	1,50	20	380	16,7		128	9,0	20	8,95
7	8-ШС	14	2,00	20	380	16,7		130	6,8	20	7,20
8	9-ШС	14	2,00	20	380	16,7		185	9,7	20	9,50
9	10-ШС	14	2,00	20	380	16,7		120	6,3	20	6,80
10	1-ДС	10	1,50	15	380	11,9		182	9,7	20	6,75
11	2-ДС	10	1,50	15	380	11,9		215	11,3	20	7,60
12	7-ДС	16	1,50	24	380	19,1		100	8,4	20	9,65
13	8-ДС	16	1,50	24	380	19,1		180	15,1	20	15,20
14	9-ДС	16	1,50	24	380	19,1		134	11,3	20	12,20
15	10-ДС	18	1,50	27	300	16,8		126	15,3	20	13,50
16	11-ДС	18	1,50	27	300	16,8		139	16,8	20	14,50
17	12-ДС	18	1,50	27	300	16,8		144	17,5	20	15,10

Примечание. Материал гайки—сталь АС-12.



Фиг. 60. Диаграмма зависимости скорости резания от шага метчика при нарезании мм резьбы в силумине.



Фиг. 61. Диаграмма зависимости скорости резания от диаметра метчика при нарезании мм резьбы в силумине.

На фиг. 60 и 61 изображены диаграммы частных зависимостей $v = f(s)$ и $v = f(d)$, построенные также на основании данных испытаний при нарезании резьбы в силумине; эти частные зависимости имеют следующий вид:

$$v = \frac{10,77}{s^{0,44}} \quad \text{и} \quad v = 0,42 d^{1,20}.$$

5. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ МЕТЧИКА ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ В СИЛУМИНЕ

Выбор режима работы метчика зависит от целого ряда факторов, определяемых:

а) производственными условиями (станок, инструмент, характер производства и пр.);

б) материалом гайки и метчика;

в) характером и размерами нарезаемой резьбы.

Таким образом при выборе оптимального режима необходимо располагать всеми указанными данными.

Материал гайки и метчика, а также характер и размеры резьбы обусловлены нашими испытаниями.

Что же касается производственных условий (пункт а), то нам придется при определении оптимального режима для метчиков ориентироваться на оборудование завода, где были поставлены исследования.

От производственных условий прежде всего зависит основной фактор, определяющий режим работы (скорость резания v), а именно: продолжительность работы метчика без переточки $T_{p.z.}$.

Тейлором и целым рядом других исследователей (Дилль, Денекайнд) были найдены для токарных резцов экономические продолжительности работы без переточки на основании зависимости

$$v = f(T).$$

Подобным же методом определим экономически выгодный период работы метчика из стали ЭУ-12 при нарезании резьбы в силумине АС-12.

Очевидно, экономической продолжительностью работы метчика без переточки мы назовем такой период ($T_{p.z.}$), при котором расходы, связанные с нарезанием резьбы одной гайки (отнесенные к одной нарезанной гайке), будут минимальными.

Расходы на нарезку резьбы одной гайки складываются главным образом из: 1) амортизации метчика, 2) расходов по переточке метчика, 3) расходов по установке и смене метчика и 4) оплаты рабочего, нарезающего резьбу.

Обозначим через A — стоимость нового метчика, $З$ — стоимость переточки метчика, $У$ — стоимость установки и смены, K — стоимость работы по нарезанию одной гайки, μ — коэффициент, учитывающий накладные расходы, P — часовая зарплата ра-

бочего, q — стоимость остатка метчика, $a = 0,1 A$ — случайная убыль (поломка метчика и пр.), b — количество возможных переточек, T_p — продолжительность работы метчика до затупления, N — количество нарезанных гаек до затупления метчика.

Пользуясь выбранными обозначениями, стоимость нарезания резьбы в одной гайке (R) можно выразить следующим уравнением:

$$R = \frac{A + a - q + (3 + Y) b \mu}{b N} + K_p, \quad (10)$$

Зарплата рабочего за нарезание одной гайки равна

$$K = \frac{T_p P}{N \cdot 60}.$$

Число гаек N , нарезанных до переточки метчика, будет пропорционально продолжительности работы T_p , скорости резания v и какой-то постоянной C (шаг, диаметр, глубина и пр.), т. е.

$$N = T_p v C.$$

Подставив вместо v его значение $v = \frac{\text{const}}{T_p^m}$,

получим

$$N = C \text{ const } T_p^{1-m}.$$

Подставив найденные значения N и K в уравнение (10), получим

$$R = \frac{A + a - q + (3 + Y) b \mu}{b \cdot C \cdot \text{const}} T_p^{m-1} + \frac{P \mu}{60 \cdot C \cdot \text{const}} T_p^m. \quad (11)$$

Данное уравнение выражает зависимость расходов на нарезание одной гайки (R) от продолжительности работы метчика T_p до переточки.

Нам надо найти такое значение величины T_p , при котором R будет минимальным. Для этого найдем первую производную $\frac{dR}{dT_p}$ уравнения (11), обозначив постоянные при T_p через B и D .

Имеем

$$\frac{dR}{dT_p} = B(m-1) T_p^{m-2} + D m T_p^{m-1}. \quad (12)$$

Приравняв это выражение нулю, получим

$$D m T_p^{m-1} = B(1-m) T_p^{m-2},$$

откуда

$$T_{p,3} = \frac{B}{D} \cdot \frac{1-m}{m}. \quad (13)$$

Подставив значения B и D , окончательно будем иметь

$$T_{p,3} = \left[\frac{(A + a - q) \cdot 60}{b \mu P} + \frac{(3 + Y) b \cdot 60}{P} \right] \frac{1-m}{m}. \quad (14)$$

По данным завода для метчиков среднего размера со шлифованной резьбой (M16/150 ÷ M18/150); возможно в виде конкретных значений величин, входящих в уравнение (14), принять:

стоимость нового метчика с учетом
 накладных расходов завода $A = 9,37$ руб.
 стоимость остатка метчика $q = 0,02$.
 случайная убыль $a = 0,1 A$, $a = 0,94$.
 стоимость заточки метчика $3 = 0,06$.
 стоимость установки (смены) метчика $Y = 0,04$.
 количество возможных переточек
 метчика $b =$
 часовая ставка рабочего, нарезающего
 резьбу $P = 1,01$ руб.
 коэффициент, учитывающий накладные
 расходы $\mu = 3$

Для метчиков из стали ЭУ-12, работающих в силумине, величина $m = 0,78$.

Таким образом

$$T_{p.э} = \left[\frac{(9,37 - 0,02 + 0,94) 60}{6 \cdot 1,01 \cdot 3} + \frac{(0,06 + 0,04) 6 \cdot 60}{1,01} \right] \cdot \frac{1 - 0,78}{0,78} = 0,34 \text{ часа} \approx 20,4 \text{ мин.}$$

Следует иметь в виду, что $T_{p.э}$ учитывает машинное время резания.

Машинное же время работы метчика $T_{м.э}$ будет гораздо больше $T_{p.э}$, т. е. $T_{м.э} = \eta T_{p.э}$, где η — некоторый коэффициент, больший единицы.

Для сквозных нарезок этот коэффициент примерно будет равен

$$\eta = \frac{l_m + l_a + 2s}{l_m},$$

где l_m — высота гайки,

l_a — длина рабочего конуса метчика,

s — шаг нарезки метчика.

На фиг. 62 (стр. 82) дана номограмма $v = f(ds)$ для нахождения скорости резания в пределах практического значения шагов резьб (0,8 ÷ 2,5 мм) при нарезании резьбы метчиком (из стали ЭУ-12) в силумине при $T_{p.э} = 20$ мин. = const.

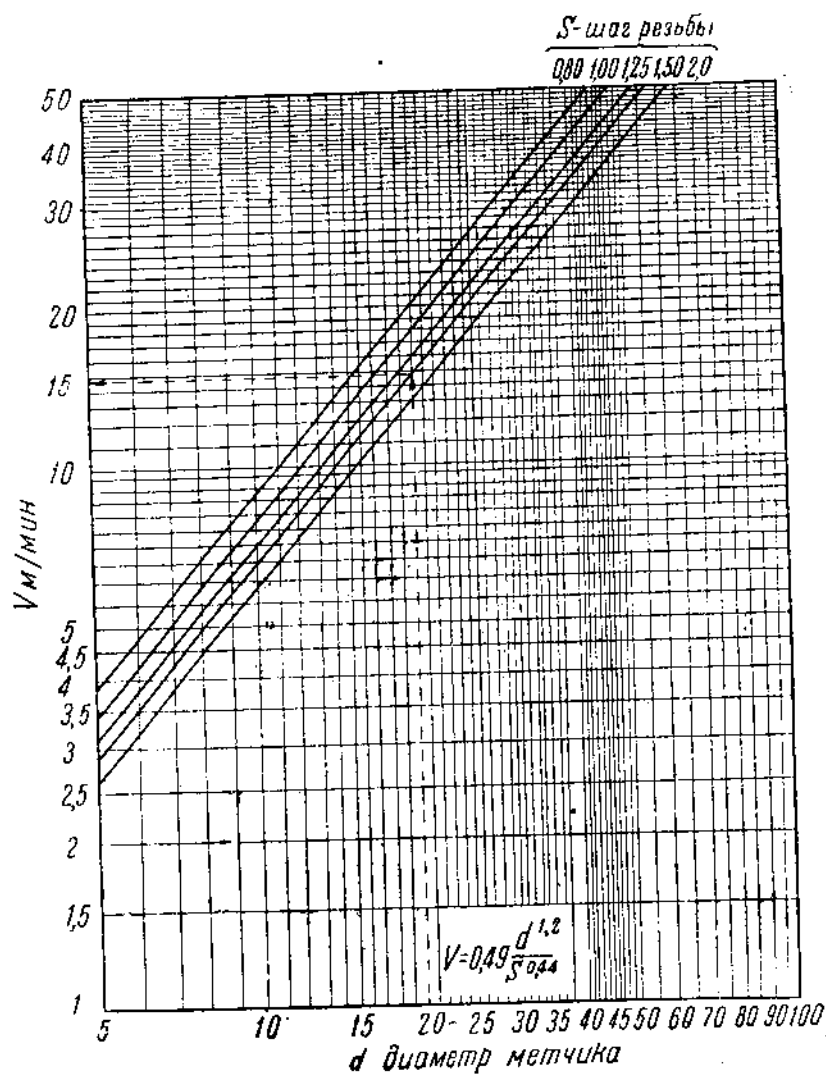
В качестве смазывающей (охлаждающей) жидкости имеется в виду применение керосина.

ГЛАВА IV

КОНТРОЛЬ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕГО КОНУСА МЕТЧИКА

1. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Инструментальный цех обычно ограничивается контролем только геометрии изготовленного метчика (шаг, профиль нарезки, диаметры). Таким образом обычно метчик контролируется



Фиг. 62. Номограмма для нахождения скорости резания при нарезании резьбы метчиком (из стали ЭУ-12) в силумине при $T_{p.з} = 20 \text{ мин.} = \text{const.}$

как винт, но не как режущий инструмент. Большинство же элементов режущей его части подлежащему контролю не подвергается. Такие, например, элементы рабочего конуса, как углы заточки передней грани γ , углы затыловки α , не контролируются. Нечего доказывать, что именно эти элементы решают часто вопрос качества работы метчика. Указанное положение объясняется, главным образом, тем, что в производстве нет надлежащих приборов, на которых можно было бы быстро и достаточно точно производить контроль подобных элементов.

В процессе проведения испытаний автору пришлось встретиться с целым рядом трудностей по контролю режущих элементов метчика и особенно углов заточки передней их грани.

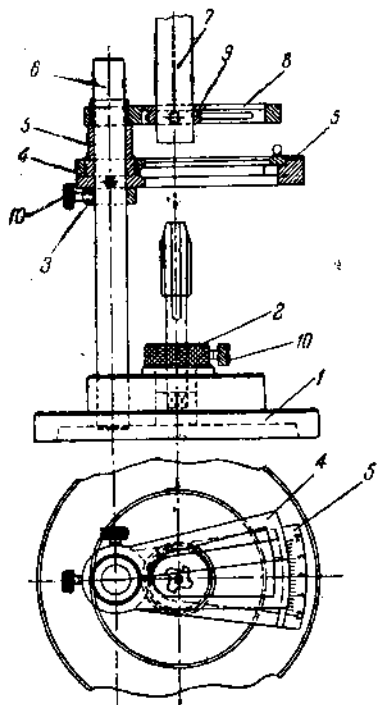
После испытания целого ряда приборов (оптической делительной головки, индикаторов и пр.) нам удалось найти наиболее удобный и простой способ измерения углов заточки передней грани при помощи инструментального микроскопа Цейса (Werkzeugmikroskop).

Способ этот заключается в следующем. Метчик хвостовой частью (по цилиндру) закрепляется в специальном приспособлении вертикально торцом рабочего конуса вверх (фиг. 63) и устанавливается вместе с приспособлением на стол микроскопа под поле зрения так называемого револьверного диска (револьверный диск служит для определения угла профиля, угла конуса и пр.).

Подводим метчик так, чтобы ось его пересекала (под прямым углом) линию, соединяющую оптический центр O_1 и центр вращения диска O .

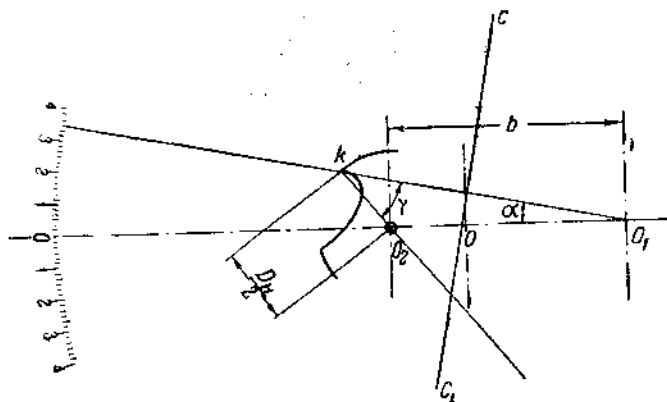
Затем вращением метчика вокруг его оси (в приспособлении) и вращением револьверного диска совмещаем переднюю грань зуба метчика (или только касаемся при кривом профиле) с осевой линией, нанесенной на стекле окуляра микроскопа. На градусной шкале читаем число градусов угла α (фиг. 64).

Для определения величины угла γ необходимо знать диаметр метчика d_n в начальном сечении рабочего конуса и расстояние b оси метчика от оптического центра диска. Это расстояние отсчитывается по нониусу микроскопа.



Фиг. 63. Прибор для измерения величин углов заточки передней грани метчиков.

По уравнению $\sin \gamma = \frac{2b \sin \alpha}{d_n}$ определяется величина угла γ .



Фиг. 64. Схема измерения величины угла заточки передней грани метчика при помощи прибора, показанного на фиг. 63.

2. ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЕЛИЧИНЫ УГЛА ЗАТОЧКИ ПЕРЕДНЕЙ ГРАНИ МЕТЧИКА

На основании выше изложенного принципа автором сконструирован прибор для контроля величин углов γ заточки передних граней метчиков, плашек и др. инструментов.

Прибор состоит из трех основных частей: а) приспособления для крепления и установки контролируемого инструмента 1 и 2; б) делительных секторов: неподвижного 5 и подвижного 4 и в) лупы (окуляра) с державкой для нее 7, 8 и 9.

В рамку подвижного сектора 4 вставлено стекло с нанесенными рисками осевых линий OO_1 и CC_1 , причем линия CC_1 имеет деления с точностью 0,2 мм (фиг. 64).

На неподвижном секторе имеется круговая градусная шкала с точностью делений до $10'$.

Пользование прибором ясно из изложенного выше.

При применении прибора в цеховых условиях можно сделать некоторые упрощения в рамках практической точности измерения. Так, например, когда нет необходимости знать абсолютное значение угла, а достаточно только иметь определенные размеры, то в этом случае на неподвижном секторе, вместо делений на градусы, наносятся риски нужных значений углов γ , и если указательная линия O_1K подвижного диска 4 не выходит за пределы этих рисок, то угол считается выполненным правильно.

Ввиду того что угол γ обычно не превышает $15-20^\circ$, в этих пределах можно считать с достаточной для практики точностью, что синус угла пропорционален углу и, следовательно, можно написать

$$\gamma = \frac{2ba}{d_n}.$$

Так как величина b для прибора постоянна, то можно составить таблицу или график изменений угла γ в зависимости от величин α и d_n , по которой и определять значения γ , зная α и d_n .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы, которые можно сделать на основании проведенной нами работы, сводятся к следующим.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СИЛУМИНА

1. Рассматривая обрабатываемость материалов как функцию трех основных факторов: а) усилия резания, возникающего при обработке, б) чистоты обрабатываемой поверхности и в) влияния на стойкость режущего инструмента, нужно признать, что силумин АС-12 (взятый нами для гаек) обладает сравнительно низкой обрабатываемостью, особенно в смысле влияния его на стойкость режущего инструмента (метчика).

2. Материалы метчиков — стали ЭУ-12 и ЭФ — показали низкую сопротивляемость износу (истиранию) при работе в силу-мине.

Ввиду того что в данном случае сопротивляемость износу является фактором, определяющим производительность инструмента, необходимо в качестве материала для метчиков, работающих по силумину, выбрать другой, наиболее износоупорный материал.

РАЦИОНАЛЬНАЯ ФОРМА МЕТЧИКА ДЛЯ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

1. Углы заточки передней грани метчиков для силумина должны выбираться в пределах от 25 до 30°. Для ускорения и упрощения заточки угла γ в указанных пределах необходимо при фрезеровании канавок давать соответствующие поднутрения передних граней метчика.

2. Для лучшего отвода стружки и получения чистой поверхности резьбы необходимо канавку фрезеровать в направлении, перпендикулярном виткам резьбы. У метчиков, работающих в сквозных отверстиях, следует на рабочем конусе давать специальный скос (10 ÷ 12°).

3. Длина рабочего конуса определяется из условия:

а) для метчиков, работающих в глубоких сквозных отверстиях ($l_m > l_a$),

$$z = 0,04 \div 0,05 \text{ и}$$

б) для метчиков, работающих в неглубоких сквозных отверстиях ($l_m < l_a$),

$$z = 0,03 \div 0,035.$$

4. Число калибрующих ниток резьбы метчика не должно превышать числа ниток на рабочем его конусе.

5. У метчиков мелких и средних размеров (диаметром до 20 мм) предпочтительнее иметь три и даже две канавки.

6. Особое внимание должно быть обращено на качество отделки поверхностей канавок и затылочных граней рабочего конуса метчиков. Для метчиков мелких размеров (диаметром до 10 мм), работающих в глубоких отверстиях, желательно указанные поверхности полировать.

7. Обратный конус на калибрующей части метчика (уменьшение диаметра к хвосту) в пределах 0,001 ÷ 0,002 является обязательным.

8. Задний угол α (угол затыловки) метчика, принятый в настоящее время для метчиков, работающих в легких сплавах, в $5 \div 6^\circ$, как показали испытания, обеспечивает нормальную работу метчика в силумине.

ПОДГОТОВКА ОТВЕРСТИЯ ПОД РЕЗЬБУ

1. Как правило, в качестве смазывающей (охлаждающей) жидкости при сверлении отверстий под резьбу необходимо применять керосин или смесь керосина с маслом (вареное, Lard oil).

2. В некоторых случаях, требующих тщательной подготовки отверстия (глубокие отверстия, небольшой диаметр и пр.), следует производить развертывание отверстия.

3. При подготовке отверстий под нормальную резьбу в силумине (ОСТ 94,32) можно пользоваться сверлами по ОСТ 440—442.

4. Как правило, необходимо соблюдать следующее соотношение между внутренним диаметром метчика $d_{в. мет}$, внутренним диаметром винта (шпильки) $d_{в. в}$ и диаметром отверстий под резьбу $d_{отв}$:

$$d_{в. в} \leq d_{в. мет} < d_{отв}.$$

РЕЖИМ РАБОТЫ МЕТЧИКА И РАСХОДУЕМАЯ МОЩНОСТЬ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ В СИЛУМИНЕ

1. Режим работы (скорость резания) определяется двумя основными уравнениями:

$$v = \frac{134}{T_{р.з}^{0,78}} \text{ и } v = 0,49 \frac{d^{1,20}}{S^{0,44}}.$$

2. Для графического решения вопроса о выборе скорости резания при нарезании резьбы в силумине метчиками из стали ЭУ-12 при $T_{р.з} = 20 \text{ мин.} = \text{const}$ следует пользоваться номограммой

$$v = f(ds).$$

3. В качестве смазки, как правило, необходимо применять керосин, причем необходимо обращать внимание на количество подаваемой смазки.

4. Расход эффективной мощности (N_e) определяется уравнением:

$$M_{кр} = 0,195 d^{1,84} \cdot s^{1,48} \quad \text{и} \quad N_e = \frac{M_{кр}}{71 \cdot 620}.$$

5. Для графического решения указанных уравнений следует пользоваться номограммой $N_e = f(d \cdot s \cdot n)$. При определении потребной мощности по уравнениям и номограмме нужно иметь в виду, что метчик к концу своей работы (при затуплении) требует мощность примерно в 2,5 ÷ 3 раза больше, чем в начале работы.

НАРЕЗАНИЕ ГЛУХИХ (НЕСКВОЗНЫХ) ОТВЕРСТИЙ

В заключение необходимо отметить, что данная работа имеет в виду нарезание сквозных гаек (отверстий) при глубине резьбы, равной 1,5 ÷ 2 диаметрам метчика. При нарезании глубоких и глухих (несквозных) отверстий имеют место специфические трудности (отвод стружки, защемление и пр.), и, конечно, это соответствующим образом должно будет сказаться на режиме работы и конструкции метчика. На основании косвенных указаний данной работы, а также заключений других исследователей по данному вопросу можно отметить следующее:

1. Как правило, для нарезания резьбы в глухих отверстиях необходимо применение набора из двух метчиков (для легких сплавов); но если конструкция гайки позволяет несколько увеличить рабочий конус, можно обойтись и одним метчиком.

2. На рабочем конусе метчика следует давать минимум 3 — 5 витков резьбы.

3. В целях уменьшения нагрузки (толщины стружки на один зуб) следует идти на увеличение числа канавок метчика (когда это возможно). Уменьшение сечения канавки может, однако, привести к неблагоприятным явлениям, выражающимся в плохом отводе стружек.

4. Не следует также развивать сильно калибрующую часть метчика. Достаточно иметь на калибрующей части 5 — 8 ниток (в зависимости от диаметра и шага резьбы).

5. Желательно иметь спиральное направление канавки по направлению рабочего хода метчика (как у спиральных сверл).

6. Угол затыловки надо брать минимальным (2 — 3°).

7. На калибрующей части следует обязательно давать обратный конус (уменьшение диаметра к хвосту метчика) размером до 0,003.

Указанные данные далеко не исчерпывают всей сложности вопроса.

Вопросы режимов работы, геометрии метчика и подготовки отверстий под глухую резьбу в легких сплавах, несомненно, требуют проведения специальных исследований.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	Стр.	3
Глава I. Общие сведения		
1. Методика исследования		5
2. Станок, измерительная аппаратура и инструмент		6
3. Обрабатываемый материал		
Глава II. Работа резания и крутящий момент при нарезании резьбы метчиком в легких сплавах		
1. Основные положения		10
Крутящий момент чистого резания		
Расход энергии при нарезании резьбы метчиком		11
Удельное значение составляющих суммарный крутящий момент		12
Факторы, определяющие величину $M_{кр}$		
Желательное соотношение между составляющими $M_{кр}$		13
Значение отдельных элементов конструкции метчика		14
Угол заточки передней грани метчика		15
2. Работа резания и крутящий момент как функции угла заточки передней грани метчика		
3. Влияние различных смазок на усилия резания при нарезании резьбы в легких сплавах		22
4. Зависимость крутящего момента и работы резания от отношения высоты нарезаемой гайки к длине рабочего конуса метчика		29
5. Форма и направление канавок метчика		37
6. Число канавок метчика		43
7. Крутящий момент как функция шага нарезаемой резьбы и диаметра метчика		47
8. Подготовка отверстия под резьбу. Зависимость величины крутящего момента от диаметра отверстия под резьбу		52
Глава III. Испытания метчиков на стойкость и вывод основных зависимостей $v = f(T, d, s)$ при нарезании резьбы в силумине		
1. Характер износа и выбор критерия для оценки затупления метчиков. Предварительные испытания		57
2. Температура резания при работе метчиков в силумине		62
3. Определение зависимости скорости резания от продолжительности работы метчика без переточки		63
4. Определение зависимости скорости резания метчика от диаметра и шага резьбы		73
5. Выбор оптимального режима работы метчика при нарезании резьбы в силумине		79
Глава IV. Контроль режущих элементов рабочего конуса метчика		
1. Общие соображения		81
2. Прибор для контроля величины угла заточки передней грани метчика		84
Заключение		85