

Ан 85/ ОРГАВИАПРОМ

ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ



ОБОРОНГИЗ • 1941

ОРГАВИАПРОМ

ДЕП

ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ

1/302993

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Москва 1941



1965 г.

Книга содержит ряд монографий, посвященных новым финишным технологическим процессам: притиранию, хонингу, алмазной обработке, суперфинишу и шевингу. Монографии написаны по единому плану: история развития процесса и его сущность, инструмент, станки, описание технологического процесса, применяемые прижимы, литература.

Книга должна служить пособием для работников машиностроительных заводов, в особенности моторо-, авто- и приборостроения при освоении новых методов чистовой обработки, а также для студентов вузов при изучении технологии механической обработки.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Большое значение для моторостроения имеет применение современных методов чистовой обработки поверхностей. Улучшение качества поверхности влияет на повышение износоустойчивости, увеличивает прочность изделия и устойчивость против коррозии, способствует сохранению зазоров между сопрягающимися поверхностями.

Имеющиеся данные о современных методах обработки поверхностей до настоящего времени еще не собраны и поэтому не дают полного представления о каждом методе работы. Это побудило Оргавиапром составить для инженерно-технического персонала заводов авиапромышленности сборник руководящих материалов о доводочных операциях, дополнив его специальным разделом о контроле качества поверхности.

Сборник составлен на основании литературных источников и данных практики заводов.

Приводимый здесь материал, конечно, не исчерпывает всех вопросов, относящихся к теории и практике указанных методов обработки. Для разрешения этих вопросов необходимо провести ряд экспериментальных работ.

Сборник составлен под руководством М. С. Шевелева коллективом работников Оргавиапрома: Б. И. Шульмейстером (главы I, II и участие в составлении главы III), Н. В. Баталиным (глава IV и участие в составлении главы III), Б. С. Либерманом (глава V), Б. И. Шварцбурдом (глава VI и участие в составлении главы III), М. С. Шевелевым и А. С. Нестеровым (глава VII), А. С. Нестеровым (участие в составлении главы III).

В редактировании отдельных разделов сборника участвовали А. С. Нестеров, Б. И. Шульмейстер, Б. И. Шварцбурд и М. С. Шевелев.

Оргавиапром считает, что сборник окажется полезным для технологов, конструкторов инструмента и приспособлений и для работников моторостроительных цехов в борьбе за внедрение в производство передовой технологии, повышающей качество и увеличивающей срок службы изделий.

Все замечания и предложения по поводу приведенного здесь материала будут приняты с благодарностью.

Оргавиапром

І. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

Беспрерывно растущие требования, предъявляемые к машиностроению, заставляют всемерно повышать технологию производства. Во всем комплексе вопросов, определяющих технологию машиностроения, едва ли не центральное место занимает механическая обработка.

Улучшение механической обработки не только положительно сказывается на технологических показателях механообрабатывающих цехов, но оказывает также влияние на технологический процесс сборки, сокращая до минимума доделочные и подгоночные операции. Не менее важное влияние оказывает механическая обработка на эксплуатационные качества машины и в первую очередь на ее долговечность и механический коэффициент полезного действия, причем решающее влияние имеет операция, завершающая обработку. Эта операция приобретает особое значение для поверхностей взаимно сопряженных трущихся деталей (шейка вала и подшипник, поршень и цилиндр, шестеренчатая передача и т. п.).

Если совсем недавно к поверхностям таких деталей предъявляли требования, главным образом, только в отношении их геометрии, то в настоящее время эти требования уже недостаточны.

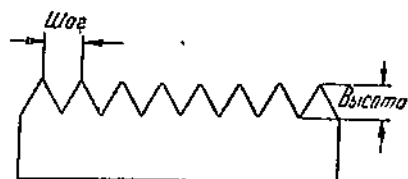
Уменьшение габаритов и веса машин (в особенности двигателей внутреннего сгорания) при одновременном росте их мощностей потребовало наряду с внедрением новых видов металлов создания быстроходных двигателей с более высокими напряжениями в отдельных их элементах. Стремление уменьшить расход топлива также заставляет улучшить качество взаимно сопрягаемых поверхностей для повышения механического к. п. д. Появился еще один критерий, определяющий качество поверхности, — шероховатость (неровность), получающаяся в результате ее обработки.

Поверхности, обработанные резцом, сверлом, зенкером, фрезой или иным инструментом, имеют значительные неровности в виде чередующихся выступов (гребешков) и впадин (фиг. 1). Объективное определение высоты этих выступов (гребешков), а вместе с этим и оценка качества поверхностей стали возможными лишь с появлением специального прибора — профилометра, позволяющего не только в лабораторных, но и в цеховых условиях определять характер поверхности и высоту гребешка. В связи с этим вошли в обращение следующие термины:

1) микродюйм (одна миллионная часть дюйма) — единица для измерения высоты гребешка;

2) шаг гребешка — условное обозначение расстояния между самой высокой точкой одного гребешка и самой высокой точкой следующего гребешка;

3) высота гребешка — условное обозначение высоты выступа.



Фиг. 1. Схема неровностей обработанной поверхности.

Основными факторами, определяющими качество поверхности, являются: 1) износоустойчивость; 2) антикоррозионная стойкость, увеличивающая износоустойчивость; 3) прочность изделия и, как следствие износоустойчивости, 4) сохранение зазоров между сопрягающимися поверхностями.

Износоустойчивость

При взаимном сопряжении деталей соприкосновение поверхностей происходит лишь по вершинам выступов (гребешков), и давление, передаваемое от одной детали другой, воспринимается не всей площадью, а только частью ее. Вследствие этого удельное давление превышает расчетное и в процессе работы происходит снятие и срезание этих выступов, сопровождающееся повышенной работой трения. Это явление, усиливаемое действием оторвавшихся от поверхностного слоя частиц металла, вызывает в начальном периоде работы такого сопряжения, т. е. при приработке, усиленный износ трущихся деталей, называемый первичным износом («Initiale Wear»), в отличие от нормального износа, происходящего во время эксплуатации, когда площадь соприкосновения деталей соответствует расчетным данным.

Таблица 1

Влияние характера обработки при шлифовании на величину первичного износа¹

Характер шлифования	Уменьшение диаметра за счет первичного износа, мм	Количество отдельных операций или переходов	Зернистость шлифовального круга
Грубое	0,015	Одна	30—60
Обычное	0,010	Черновая и чистовая	40—80
Чистое	0,005	Черновая и получистовая	40—80
		Чистовая	120
Тонкое	0,0025	Черновая	40—80
		Первая получистовая	120—320
		Вторая получистовая и чистовая	500—900

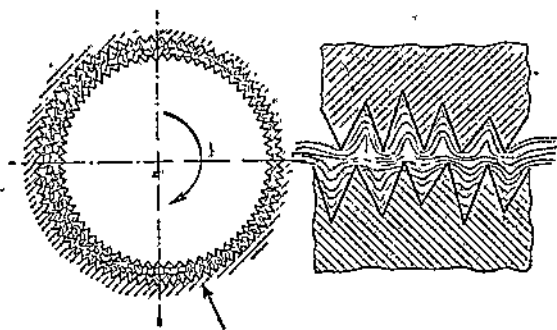
¹ Проф. В. М. Кован и А. Б. Яхин, Теоретические вопросы технологии машиностроения, НКМ СССР, 1939, стр. 248.

Из табл. 1 можно сделать вывод, что чем тоньше обработана поверхность, тем меньше высота гребешков, т. е. тем глаже поверхность и тем меньше первичный износ.

Теория смазки также предполагает, что совершенно гладкие трущиеся поверхности обеспечивают правильное течение смазки, не вызывая ее турбулентного движения (фиг. 2).

Соприкасаемые детали должны иметь гладкие опорные поверхности, чтобы скорее образовалась масляная пленка, так как тогда продолжительность соприкосновения вала и подшипника при пуске и трение во время работы будут минимальными.

Гребешки и впадины на трущихся поверхностях, вызывающие турбулентное движение слоя смазки, разрывают масляную пленку, вследствие чего уменьшается способность опорной поверхности нести нагрузку. Трение сопряженных поверхностей при этом будет максимальным; кроме того, будет происходить ускоренное разложение и загрязнение масла и увеличиваться его расход.



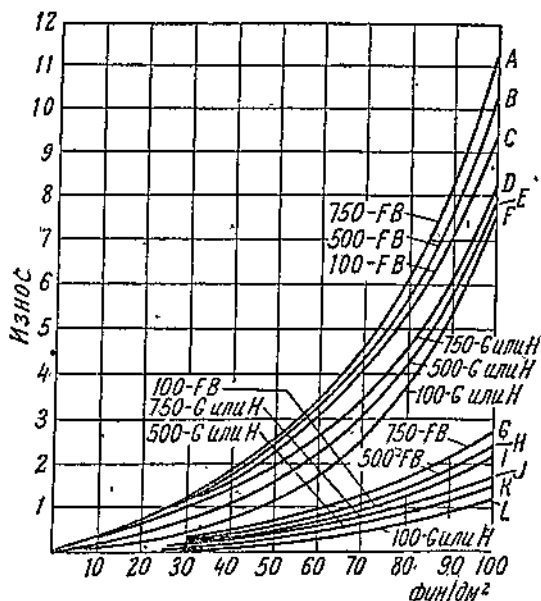
Фиг. 2. Турбулентное движение смазки.

Интересные данные о первичном износе трущихся поверхностей приводит Harry Schaw в статье «Initiale Wear» (Machinery, L., 20 декабря 1934 г.). Автор испытал 540 пар (вал и отверстие) и получил ряд кривых, характеризующих зависимость первичного износа от качества поверхности и от применяемой смазки. Испытания были произведены для трех основных случаев: чугун по чугуну, сталь по бронзе и сталь по баббиту. Во всех случаях вал шлифовали; а отверстие обрабатывали разными способами. При работе чугуна по чугуну применяли тонкое растачивание, шлифование и хонинг-процесс; при работе стали по бронзе — тонкое растачивание и шлифование или хонинг-процесс, а при работе стали по баббиту — тонкое растачивание, шлифование и развертывание. Помимо этого при испытаниях изменяли давление на подшипники, скорость вращения и смазку.

На фиг. 3 приведена диаграмма, полученная для случая работы стали по бронзе, где по оси ординат нанесен первичный износ в единицах шероховатости, а по оси абсцисс давление в фунтах на 1 кв. дюйм. Кривые построены для трех различных скоростей вращения вала: 100, 500 и 750 футов в минуту.

Кривые A, B, C получены для втулок, окончательно обработанных тонким растачиванием (FB), а кривые D, E, F — для втулок, которые шлифовали или хонинговали (G или H).

Кривые G, H, I также относятся к тонкому растачиванию, но с применением смазки, содержащей коллоидальный графит, а кривые J, K, L — к шлифованным или хонингованным втулкам, работавшим со специальной смазкой.



Фиг. 3. Кривые зависимости износа от качества поверхности при работе стали (вал) по бронзе (подшипник).

дали износ в 15 микрон после первых 8000 км, тогда как полированные цапфы не показали никакого износа. Это также объясняется разницей в высоте гребешка.

Антикоррозионная стойкость

Чем глаже обработана поверхность детали, тем она меньше поддается коррозии. Особенно это существенно для изделий, подверженных корродирующему действию газов, как например, цилиндры и поршни двигателей внутреннего сгорания.



Фиг. 4. Действие коррозии на шероховатой поверхности.

Вещества, вызывающие коррозию, собираются на дне впадин поверхности (фиг. 4) и их разрушающее действие распространяется в направлении, указанном стрелками².

¹ Г. Н. Парун-Саркисов, Обработка поверхностей деталей авиа- и автодвигателей, 1935.

² Н. Н. Рябов, Влияние чистоты отделки работающих поверхностей на величину и скорость их износа, «Машиностроитель» № 1, 1937.

После определенного промежутка времени коррозия проникает в толщу металла настолько, что под действием сил трения гребни неровностей будут выломаны у своих оснований. При этом на поверхности образуется ряд вторичных неровностей. От вновь образованных впадин снова начинается разрушение поверхности и т. д. Поэтому чем меньше размеры впадин, т. е. чем меньше высота и шаг гребешка, тем меньше влияние коррозии. Следовательно, для повышения антикоррозионной стойкости поверхностей деталей необходимо делать их возможно более гладкими.

Прочность

Выступы и впадины, остающиеся на поверхности изделий после механической обработки, значительно влияют на концентрацию напряжений и образование усталостных трещин. Вследствие этого уменьшается прочность деталей, что особенно важно, когда детали работают при переменной нагрузке.

Это понижение прочности, известное под названием поверхностной чувствительности материала, характеризуется коэффициентом Δ^1 (табл. 2).

Таблица 2

Влияние характера обработки поверхности на величину коэффициента Δ

В и д о б р а б о т к и	Δ
Обтачивание	0,12
Грубое опилование (напильником)	0,18—0,20
Опиливание личным напильником	0,14
Опиливание бархатным напильником	0,075
Шлифование наждачным полотном № 3	0,06
Шлифование наждачным полотном № 1	0,04
Шлифование наждачным полотном № 0	0,02—0,03
Обработка тонким карборундом	0,02—0,03

Эти данные показывают, что чем тоньше обработка, т. е. чем глаже поверхность, тем при прочих равных условиях выше прочность изделия.

Влияние качества поверхности на сопряжение деталей

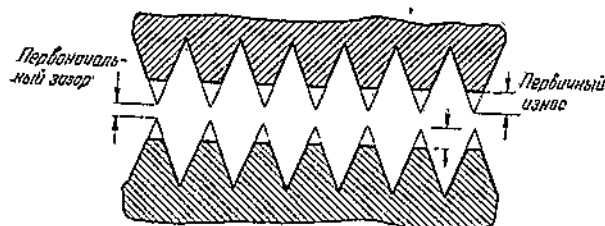
При назначении того или иного вида сопряжения деталей учитывают условия их работы и на основании этого назначают посадку (сопряжение деталей) и допуски на неточность изготовления сопрягаемых деталей.

С. В. Серенсен, Прочность металла и расчет деталей
ОНТИ, 1937.



Характер посадки и условия совместной работы сопряженных деталей будут зависеть от того, насколько неизменными останутся в эксплуатации их размеры. Между тем, при наличии на поверхности неровностей, гребешки которых после непродолжительной работы срабатываются, происходит так называемый первичный износ, и зазор между сопряженными деталями увеличивается (фиг. 5). Поэтому при установлении посадок и допусков высоких классов точности необходимо обращать особое внимание на характер обработки и возможность одновременного сочетания точности обработки (в пределах допусков) с качеством поверхности (гладкость).

Характер обработки влияет не только на качество поверхности, определяя ее геометрию и микрогеометрию, но также и на качество поверхностного слоя металла. Под влиянием давления и температуры, возникающих на обрабатываемой поверхности, может происходить изменение структуры, родственное явлениям, происходящим при наклепе: металл ста-



Фиг. 5. Изменение величины зазора вследствие первичного износа.

становится более твердым и крепким, но менее пластичным. Слой такого металла, находясь над более мягкой и пластичной основой (структура которой осталась в первоначальном состоянии), при сильно концентрированном давлении и под действием удара стремится растрескаться и отслоиться.

Чем ниже давление и температура, возникающие при механической обработке, тем меньшие изменения происходят в структуре поверхностного слоя. Поэтому необходимо либо избежать появления этого слоя, т. е. вести обработку таким образом, чтобы давление и температура были при этом минимальными, либо, если это невозможно, сделать толщину этого слоя минимальной, что также зависит от правильного выбора окончательной (доводочной) операции.

Все эти вопросы имеют особо важное значение для авиационных двигателей.

Современные методы чистовой обработки поверхностей

В настоящее время для чистовой обработки поверхностей сопряженных деталей применяют следующие методы: разворачивание, протягивание, калибрование, шлифование, алмазная обработка, лезинг-процесс, хонинг-процесс, суперфиниш, шевинг-процесс.

Первые четыре метода применяют сравнительно давно в различных отраслях металлообрабатывающей промышленности, но получаемое при этом качество поверхности и поверхностного слоя,

а также производительность в ряде случаев не удовлетворяют современным требованиям. Поэтому в последнее время как у нас, так и за границей все больше применяют остальные методы чистовой обработки поверхностей.

И у нас, и за границей эти виды чистовой обработки поверхности далеко еще не стабилизировались. Что касается авиационной промышленности, то указанные методы обработки в той или иной мере применяют на заводах моторостроения, но они еще не заняли соответствующего места в технологическом процессе.

В настоящее время еще не существует вполне конкретизированных технических требований к качеству поверхности после механической обработки, т. е. требований к микрогеометрии поверхности. Вследствие этого зачастую конструктор указывает на рабочем чертеже детали просто наименование доводочной операции, например хонинговать, лепинговать и т. п., так как установленные в ОСТ обозначения чистоты поверхности не определяют ее качества. Однако указание на наименование доводочной операции не определяет качества микрогеометрии поверхности, так как при определенных условиях различными методами можно получить одну и ту же высоту гребешка или же при одном и том же методе обработки можно получить различную высоту гребешка.

Отсюда следует, что на рабочих чертежах деталей, к поверхности которых предъявляются высокие требования, конструктор должен указывать не только размер с допусками (что определяет только геометрию детали), но также и требования к ее микрогеометрии, т. е. указывать допустимую высоту гребешка. Эти требования можно установить только основываясь на данных лабораторных исследований.

Так как технология этих процессов еще не изучена, то различные заводы применяют весьма разнообразные режимы обработки. Не решены еще вопросы правильного выбора инструмента (его конструкции и геометрии), охлаждающих и смазывающих жидкостей, абразивов и их связки. Литература в этой области бедна и не систематизирована. Нет ни одного специального учебника по этим вопросам. Отсутствуют справочные и руководящие материалы, которые давали бы конкретные указания в смысле выбора режимов обработки, необходимых припусков для доводки, составов охлаждающих и смазывающих жидкостей, абразивов и их связки.

Имеющиеся журнальные статьи в большинстве случаев базируются на данных зарубежных журналов, подчас рекламных. Ни на заводах, ни в научно-исследовательских институтах не уделяется достаточного внимания экспериментальным работам в этой области.

II. ХОНИНГ-ПРОЦЕСС

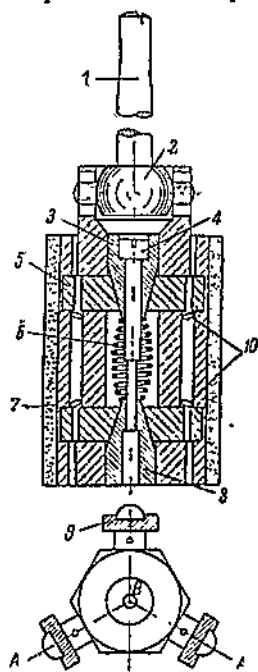
Развитие и сущность хонинг-процесса

Хонинг-процесс представляет своеобразный метод шлифования. Он возник в США в 1923 г. как процесс доводки внутренних поверхностей отверстий для замены в ряде случаев менее производительного процесса — притирки (лепинг).

Инструмент, применявшийся при хонинг-процессе для доводки поверхностей отверстий, вначале отличался от инструмента, применявшегося в то время при лепинг-процессе, тем, что вместо притиров из чугуна, бронзы и свинца были применены абразивные бруски. В дальнейшем хонинг-процесс развивался исключительно как процесс доводки поверхностей отверстий сначала в производстве автомобильных двигателей, а затем в ряде других отраслей промышленности.

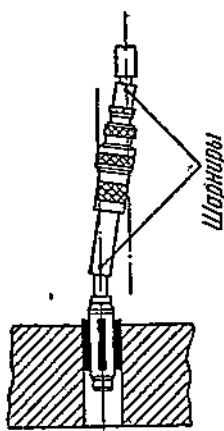
В последнее время в отдельных случаях хонинг-процесс стали применять для обработки наружных поверхностей, используя для этого лепинг-станки и заменяя притиры абразивными брусками, но в промышленном масштабе хонинг-процесс применяют преимущественно для доводки внутренних поверхностей цилиндрических отверстий. Поэтому хонинг-процесс можно рассматривать как своеобразный вид внутреннего шлифования.

Характерной особенностью хонинг-процесса, отличающей его от внутреннего шлифования, являются



Фиг. 1. Хон простейшей конструкции.

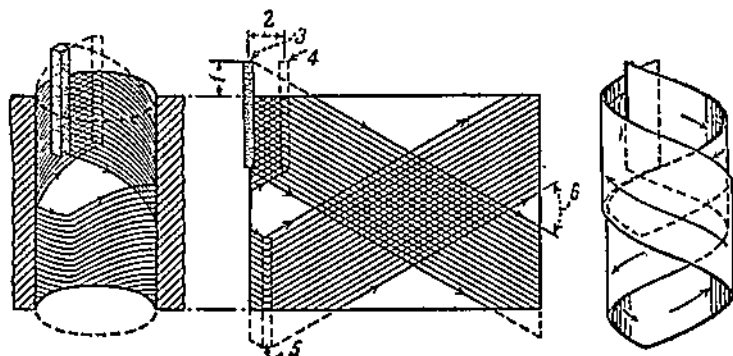
1—вспуший шпиндель; 2—шпир; 3—верхний конус; 4—установочный пин; 5—стальной палец; 6—пружина, разводящая конусы при отпуске винта; 7—карбундовый брусок; 8—нижний конус; 9—камендержатель; 10—пружина для прижатия брусков к конусам.



Фиг. 2. Самоустанавливающийся хон при несовпадении осей шпинделя и обрабатываемого отверстия.

конструкция инструмента и характер его движения, что предопределяет конструкцию станков.

Инструмент (хон) представляет головку в виде поршня с расположенными по ее окружности абразивными брусками. Количество абразивных брусков обычно делают кратным трем. Чаще всего употребляют хоны с 6, 9, 12 абразивными брусками. Хон в большинстве случаев шарнирно соединен со шпинделем станка (фиг. 1). Кроме того, в большинстве конструкций верхняя и нижняя части хона также соединены между собой шарнирно. Это позволяет хону устанавливаться по оси обрабатываемого отверстия, даже если она не совпадает с осью шпинделя станка (фиг. 2).



Фиг. 3. Характер движения хона и сетка, получающаяся от одного бруска.

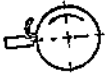
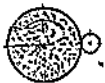
1—перебег; 2—перекрытие; 3—положение бруска в начале первого поступательного хода; 4—положение бруска в конце первого возвратного хода; 5—положение бруска в конце первого поступательного хода; 6—внутренний угол скрещивания.

При хонинговании хону сообщают одновременно вращательное и возвратно-поступательное движения. Вследствие этого перемещение хона при поступательном и возвратном движении происходит по спирали, и на обрабатываемой поверхности получается характерная сетка, представляющая собой следы абразивных зерен. Чтобы поверхность была обработана по всей длине, бруски при поступательно-возвратном движении хона выходят из обрабатываемого отверстия на некоторую величину, называемую перебегом брусков (фиг. 3).

Поверхность отверстия перед хонингованием растачивают на чистоту, или развертывают, или же шлифуют. Величина припуска, оставляемого для хонингования, зависит от диаметра отверстия, материала детали, характера предыдущей операции и составляет 0,02—0,2 мм.

После хонингования получается более гладкая поверхность, чем при любом из указанных выше методов обработки, и более точная (по своей геометрии), так как хонинг-процесс исправляет конусность, овальность и бочкообразность, получающиеся при предыдущей операции.

Основные технические показатели точения,

Обработка	Схема обработки	Схема гребешков после обработки	Высота гребешков мм	Шаг гребешков мм
Точение			0,00127—0,7937	0,127—1,5875
Шлифование			0,000889—0,00508	0,00254—0,051
Хонинг-процесс			0,000127—0,00127	0,00254—0,051

Точность поверхности после хонингования в смысле соблюдения заданного размера составляет 0,005—0,02 мм, а овальность и конусность могут быть доведены до 0,005 мм.

Высота гребешка, определяющая степень гладкости поверхности, зависит от режимов хонингования, зернистости абразивов, их связки и охлаждающей жидкости и находится в пределах 0,003—0,00013 мм¹.

Хонинг-процесс по сравнению с внутренним шлифованием имеет следующие преимущества:

1) дает более точную и гладкую поверхность вследствие:
а) отсутствия отжима инструмента, как это имеет место при шлифовании (при хонинг-процессе инструмент соприкасается с обрабатываемой поверхностью не менее чем в трех точках, отстоящих одна от другой на одинаковых расстояниях по окружности);
б) отсутствия вибрации инструмента; в) возможности самоустанавливания хона; г) плавной и спокойной работы абразивных брусков в качающихся оправках;

2) позволяет одновременно обрабатывать несколько отверстий (цилиндрические блоки) на многошпиндельных станках;

3) дает возможность обрабатывать отверстия диаметром до 1500 мм;

¹ The Iron Age, vol. 142, № 9, 1938 и другие источники.

Давление резания кг/см^2	Повышение темпера- туры обрабатываемого металла в точке резания $^{\circ}\text{C}$	Глубина поверхностно- го слоя изделия, де- формированного дей- ствием обработки мм	Число рабо- чих движе- ний инстру- мента
7,03—70,3	316—538	0,254—3,175	1
7,03—70,3	316—427	0,0127—0,076	2
3,51—14,06	38—149	0,0025—0,025	3

4) требует меньше вспомогательного времени на установку обрабатываемого изделия при шарнирном соединении хона, так как шарнирное соединение хона позволяет ему самоустанавливаться при несовпадении осей шпинделя станка и обрабатываемого отверстия.

Кроме того, после хонингования поверхностный слой получается значительно лучшего качества, чем при шлифовании, так как температура и удельное давление при хонинговании ниже, чем при шлифовании (табл. 1).

Станки, применяемые при хонинг-процессе, по своему виду напоминают сверлильные и расточные (фиг. 4), но отличаются от них тем, что имеют специальное устройство, сообщающее инструменту (хону) одновременно вращательное и возвратно-поступательное движения.

Процесс хонингования сводится к следующему. Обрабатываемую деталь устанавливают в приспособлении или просто на столе станка. Шпиндель станка с закрепленным в нем хонем подводят и опускают в обрабатываемое отверстие, причем абразивные бруски находятся в сжатом состоянии. После этого бруски раздвигают. По способу раздвигания абразивных брусков в радиальном направлении (подача на стружку) различают автоматические и неавтоматические (полуавтоматические) хоны. У автоматических хонов раздвигание абразивных брусков на определенный диаметр происходит автоматически при помощи специальной направляющей

втулки после того, как хон дошел примерно до середины обрабатываемого отверстия. У хонов неавтоматических бруски раздвигают вручную после того, как хон со сжатыми брусками введен в отверстие.

Раздвинув бруски, хону сообщают одновременно вращательное и возвратно-поступательное движение. После определенного числа возвратно-поступательных ходов, когда весь припуск снят, хону дают еще некоторое число ходов без радиальной подачи брусков, чтобы получить глянцевую поверхность. Затем шпиндель поднимают в исходное положение, останавливают станок и снимают деталь. Доведенную деталь хорошо промывают и высушивают, чтобы удалить абразивную и металлическую пыль и предохранить изделие от коррозии.

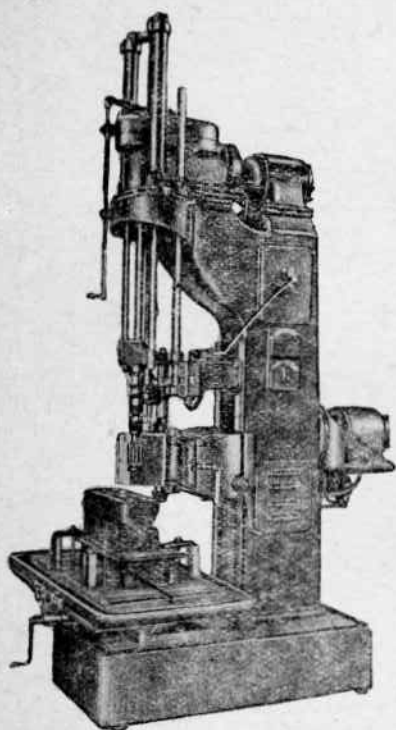
Перед началом хонингования следующей детали надо очистить бруски от прилипшей пыли щеткой из жесткого волоса или абразивным бруском.

Конусность отверстия, получившуюся при предыдущей обработке, выводят при хонинговании тем, что вращающийся хон вначале совершает короткие возвратно-поступательные движения в пределах наиболее узкой части (по наименьшему диаметру), постепенно переходя по длине отверстия к наибольшему диаметру, причем хон работает с большим перебегом брусков. Когда конус выведен, вращающемуся хону сообщают возвратно-поступательное движение по всей

длине отверстия (обычный способ хонингования), чтобы довести всю поверхность до требуемого размера (в пределах допуска) и получить требуемую гладкость.

Бочкообразность отверстия исправляют таким же образом, как и конусность.

Овальность (эллипс) выводят в процессе хонингования обычным образом. Этому способствует симметричное расположение абразивных брусков по всей окружности. В первый момент работы бруски соприкасаются с обрабатываемой поверхностью лишь по малой оси эллипса. По мере снятия металла и приближения формы поверхности к окружности происходит постепенное соприкасание брусков со всей обрабатываемой поверхностью. После того как



Фиг. 4. Хонинг-станок с хоном и обрабатываемой деталью.

овальность выведена, хон заставляют работать еще некоторое время, чтобы получить требуемые размеры и чистоту поверхности.

Режимы при хонинг-процессе

Припуски. Величина припуска зависит от следующих данных: 1) характера операции, предшествующей хонинг-процессу; 2) материала обрабатываемой поверхности и 3) диаметра обрабатываемого отверстия.

Чем чище обработка, предшествующая хонинг-процессу, тем меньше припуск, оставляемый для хонингования (табл. 2)¹.

Таблица 2

Припуски для обработки чугунных блоков диаметром около 100 мм

Операция, предшествующая хонинг-процессу	Припуски, мм
Растачивание обычное	0,05—0,08
Развертывание	0,02—0,04
Шлифование или чистовое растачивание	0,01 и менее

При хонинговании снятие припуска сначала происходит более интенсивно, затем замедляется. Так, по данным проф. Соколовского, при хонинговании цилиндра автомобильного двигателя в первую минуту отверстие увеличилось на 0,037 мм, а в последующие 1,5 мин. лишь на 0,025 мм. Объясняется это тем, что вначале хон снимает только штрихи, оставшиеся от предшествующей операции, а в дальнейшем происходит снятие металла по всей поверхности.

В табл. 3 приведены величины припусков, заимствованные из различных источников.

Если отверстие хонингуют два раза, т. е. сначала предварительно, а затем окончательно, то припуск для окончательного хонингования оставляют в пределах допуска.

Окружную скорость хона, или скорость вращательного движения, определяют по формуле:

$$v_1 = \frac{\pi d n_1}{1000},$$

где v_1 — окружная скорость хона в м/мин;

d — диаметр обрабатываемого отверстия (или диаметр рабочей части хона) в мм;

n_1 — число оборотов хона в минуту.

¹ Проф. Соколовский, Основы технологии машиностроения. т. I, М., 1938.

Таблица 3

Величины припусков для хонингования

Источник	Диаметр отверстия мм	Припуск, мм	
		чугун	сталь
А. Н. Соколовский	30—130	0,02—0,10	0,01—0,04
	150—280	0,08—0,16	0,02—0,05
	300—500	0,12—0,20	0,04—0,06
John Address	25,4—127	0,0178—0,102	0,0076—0,0375
	152,4—279,4	0,076—0,165	0,025—0,050
	304,8—508	0,127—0,203	—
А. И. Каширина	25,4—152,4	0,05—0,075	0,05—0,075
Барнес Дрилл	50—200	0,05—0,10	0,05—0,10
	свыше 200	0,125—0,20	0,125—0,20

Скорость возвратно-поступательного движения хона находят по формуле:

$$v_2 = \frac{2Sn_2}{1000} = \frac{2(L+2k-l)n_2}{1000},$$

где v_2 — скорость возвратно-поступательного движения (двойного хода) хона в м/мин;

S — ход хона, равный $L+2k-l$ в мм;

L — длина обрабатываемого отверстия в мм;

k — величина перебега брусков в мм; обычно эта величина составляет 10—30 мм и зависит от длины бруска и отверстия;

l — длина абразивного бруска в мм;

n_2 — число двойных ходов (поступательно-возвратных) хона в минуту.

Скорость резания представляет скорость движения абразивов по спирали.

Угол наклона α этой спирали к горизонтальной оси зависит от отношения скорости возвратно-поступательного движения к окружной скорости (фиг. 5), т. е.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_2}{v_1}.$$



Фиг. 5. Параметры, определяющие скорость резания.

Угол наклона спирали α равен половине внутреннего угла скрепления (см. фиг. 3) при одинаковых скоростях поступательного и возвратного движений (в большинстве случаев эти скорости одинаковы).

Скорость резания можно определить по одной из следующих формул:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2};$$

$$v = \frac{v_1}{\cos \alpha};$$

$$v = \frac{v_2}{\sin \alpha}.$$

Обычно, устанавливая режим хонингования, исходят из угла наклона спирали α и в соответствии с этим выбирают скорость резания.

По данным проф. Соколовского, пологое направление штрихов на поверхности детали лучше способствует приработке (в начальном периоде работы объекта), чем направление их по крутой спирали. Поэтому угол α должен быть возможно меньше. Кроме того, практикой установлено, что при уменьшении продольной подачи, т. е. скорости возвратно-поступательного движения, поверхность получается более гладкой. Это также подтверждает, что угол α следует делать возможно меньше.

Большое значение имеет также уравнивание движущихся масс при возвратно-поступательном движении хона; поэтому скорость этого движения должна быть возможно меньше и не превосходить определенных пределов.

Для величины угла α еще нет твердо установившихся значений, но в большинстве случаев принимают его равным $15-30^\circ$, что дает внутренний угол скрещивания $30-60^\circ$. Для предварительного хонингования обычно берут большие значения, для окончательного — меньшие.

Из изложенного следует, что скорости возвратно-поступательного движения должны быть значительно меньше, чем окружные скорости (табл. 4).

Что касается соотношения между числом двойных ходов и числом оборотов хона, то при встречающемся большинстве размеров обрабатываемых отверстий число двойных ходов хона берут меньше, чем число его оборотов. Это соотношение обычно находится в пределах от 1:4 до 1:2.

Это соотношение выбирают всегда таким, чтобы при каждом своем последующем движении зерна абразивных брусков не проходили по уже раз пройденному пути, а шли по новому пути, не углубляя старые следы от абразивных зерен. Это приводит к сдвигу фаз или так называемому перекрытию (фиг. 6).

Охлаждающие жидкости. При хонинговании чугуна и стали чаще всего применяют керосин, который не только отводит выделяемое тепло, но и смывает с поверхности удаляемые частички металла и крупинки абразива, выпадающие из абразивных брусков. К керосину часто добавляют до 10% машинного масла.

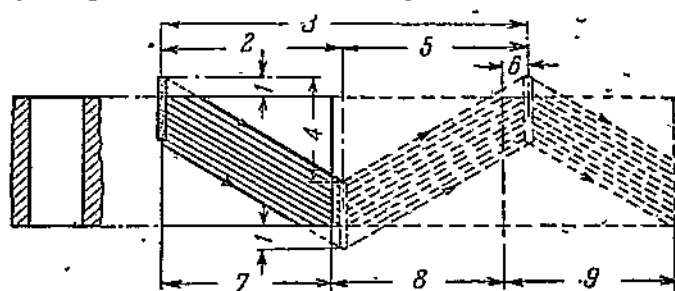
При хонинговании стали хорошие результаты дает керосин с примесью парафина. Парафин несколько замедляет процесс, но способствует получению более чистой поверхности.

Скорости движения хода

Таблица 4

Источник	Обрабатываемый материал	Скорость, м/мин	
		возвратно-поступательного движения	окружная
А. П. Соколовский	Чугун Сталь	15—23 около 12	60—75 и выше 45—60
М. Е. Егоров В. И. Дементьев	Чугун Бронза Сталь	} 12—15	60—75 60—75 45—60
А. И. Каширин	Чугун		60—75
	Бронза		60—75
	Сталь		45—60
John Andress	Чугун Сталь	15—23 около 12	61—76 45—61
Микроматик	Чугун	15	63
	Бронза	15	68
	Сталь	12	61

На некоторых авиационных заводах при хонинговании стали применяют пятипроцентную эмульсию. Бронзу хонингуют с водой или всухую. Для мягкой стали и алюминия фирма Микроматик рекомендует применять животный жир.



Фиг. 6. Характер движения бруска, когда отношение числа оборотов к числу двойных ходов несколько больше двух.

1—перебег; 2—первый ход вниз; 3—первый цикл возвратно-поступательного движения; 4—рабочий ход бруска; 5—первый ход вверх; 6—перекрытие; 7—первый оборот; 8—второй оборот; 9—третий оборот.

Очень важно тщательно фильтровать охлаждающую жидкость перед подачей ее на обрабатываемое изделие. Поэтому система охлаждения должна быть снабжена соответствующим фильтром.

На одном из наших авиамоторных заводов при хонинговании стальных азотированных цилиндров авиационных моторов применяют приводимые ниже составы охлаждающих жидкостей, способствующих получению более гладких поверхностей.

Первый состав представляет смесь керосина и раствора ЦЛС-3 (3:1 в объемных частях). Раствор ЦЛС-3 состоит из: 1) 1,5 л хлопкового масла, 2) 10 л авиамасла СО и 3) 6—8 мл нитробензола. Хлопковое масло осерняют при температуре 180—190° до полного растворения. Готовый раствор ЦЛС-3 содержит 0,22% серы. Авиамасло СО подогревают до 160—180°, в него вливают холодное осерненное хлопковое масло и смесь подогревают до 160—180° в течение 20—25 мин. После остывания в смесь вливают холодный нитробензол.

Второй состав представляет смесь керосина и раствора ЦЛС-2, являющегося заменителем ЦЛС-3 (3:1 в объемных частях). Раствор ЦЛС-2 состоит из 1 л олеиновой кислоты, 0,5 л стеариновой кислоты, 10 л авиамасла СО и 6—8 мл нитробензола. Олеиновую и стеариновую кислоты, являющиеся заменителями хлопкового масла, смешивают и осерняют до содержания 0,22% серы в готовом растворе при температуре в 200°. В остальном этот раствор готовят так же, как и в первом случае.

Машинное время

Машинное время при хонинг-процессе, если не учитывать холостых ходов, может быть определено по формуле

$$t_n = \frac{n_3}{n_2},$$

где t_n — машинное время в минутах;

n_3 — потребное количество двойных ходов хона для снятия припуска;

n_2 — число двойных ходов хона в минуту.

Если весь припуск на диаметр обозначить через a (в мм), а за один двойной ход по диаметру снимается b (в мм), то n_3 определится из формулы

$$n_3 = \frac{a}{b}.$$

Число двойных ходов в минуту n_2 определяют из уравнения для скорости возвратно-поступательного движения хона:

$$n_2 = \frac{v_2 1000}{2S}.$$

Инструмент

Инструмент, применяемый при хонинг-процессе, состоит в основном из двух частей. Первая (верхняя) часть, являющаяся контрольной, называется патроном, который служит для установки радиальной подачи брусков. Патрон или жестко связан с конусом

Морзе, входящим в шпиндель станка, или, что бывает значительно чаще, связан с ним шарнирным соединением. Вторая (нижняя), рабочая часть хона представляет специальную головку со вставленными в нее абразивными брусками. Рабочая часть хона соединена с контрольной головкой при помощи шарнира.

К конструкции хона предъявляют следующие основные требования:

1) обеспечение геометрически правильной окружности по всей образующей обрабатываемого отверстия;

2) возможность легкого и равномерного раздвигания брусков в радиальном направлении;

3) отсутствие отжимания брусков к центру при увеличении усилия, вызванного, например, твердым включением в металле или конусностью отверстия.

Геометрически правильную окружность по всей образующей отверстия получают, применяя бруски в количестве, кратном трем, и правильно устанавливая их в рабочей (нижней) части хона. Обычно в хонах бывает шесть, девять или двенадцать брусков, но не меньше трех. Вследствие этого инструмент касается обрабатываемой поверхности не менее чем в трех точках, что обеспечивает получение геометрически правильной окружности. Число брусков увеличивается по мере увеличения диаметра обрабатываемого отверстия. Бруски должны быть установлены так, чтобы они достаточно соприкасались с обрабатываемой поверхностью по ее длине и не отжимались к центру, при встрече дополнительного усилия.

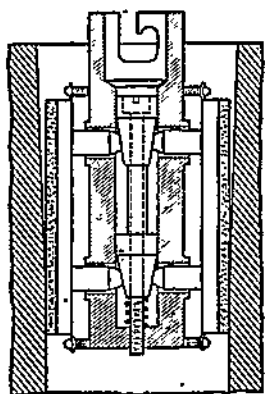
В большинстве конструкций для раздвигания брусков в радиальном направлении применяют передвигающиеся конусы (один или два). От числа конусов зависит жесткость и параллельность (оси хона) установки брусков, поэтому предпочтение надо отдавать хонам с двумя конусами.

Не менее важное значение имеет способ направления конусов. На фиг. 7 представлена конструкция головки, где абразивные бруски раздвигаются двумя конусами, направленными в одну сторону. При такой конструкции бруски не могут сами устанавливаться в соответствии с формой обрабатываемой поверхности. В случае конусности обрабатываемого отверстия бруски прилегают к поверхности незначительной частью своей длины, отчего края их быстро изнашиваются и конусность нельзя вывести.

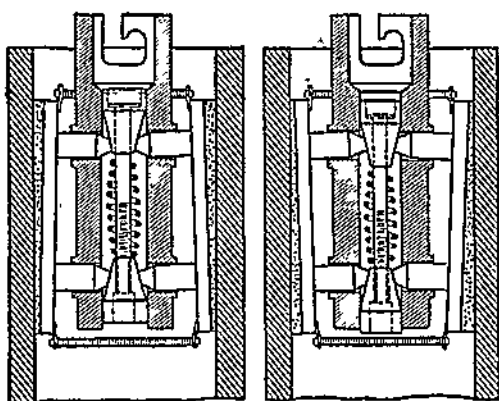
На фиг. 8 представлены два случая обработки отверстий с различным направлением конусности головкой, у которой конусы направлены в разные стороны. Так как конусы, раздвигающие бруски, направлены в разные стороны, то бруски могут самоустанавливаться и прилегать к обрабатываемой поверхности по всей своей длине.

При выводе конусности бруски также будут срабатываться неравномерно, но меньше, чем при одностороннем направлении; когда же конусность на отдельных участках будет выведена и хону будет сообщено возвратно-поступательное движение по всей

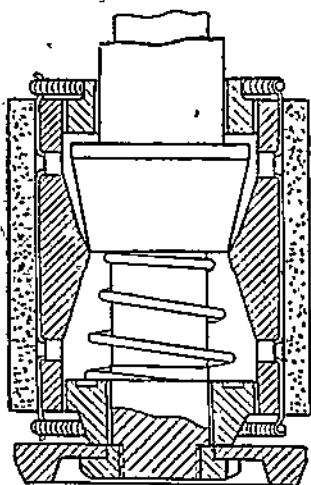
длине отверстия, бруски, имея возможность устанавливаться по всей длине, будут работать всей своей поверхностью и таким образом смогут окончательно довести обрабатываемую поверхность до требуемой цилиндрической формы.



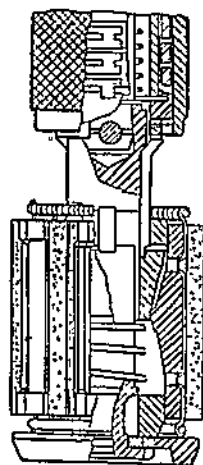
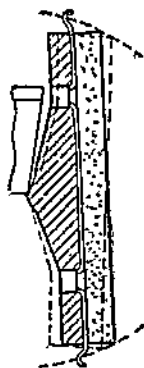
Фиг. 7. Раздвигание брусков двумя конусами, направленными в одну сторону.



Фиг. 8. Раздвигание брусков двумя конусами, направленными в разные стороны.



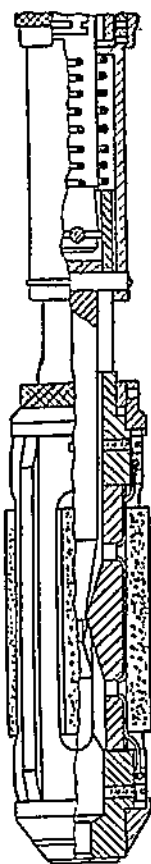
Фиг. 9. Рабочая часть хона Микроматик с одним конусом.



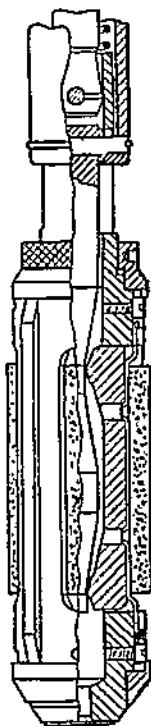
Фиг. 10. Рабочая часть хона Микроматик фланцевого типа с одним конусом.

Основными фирмами, изготавливающими хоны, конструкции которых нашли широкое применение как за границей, так и у нас и послужили основой для конструирования хонов, изготавливаемых нашими заводами, являются Микроматик, Хутто и Хелл.

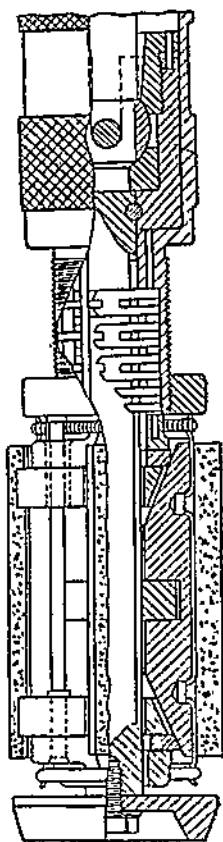
Хоны фирмы Микроматик. На фиг. 9 и 10 изображена конструкция рабочей части хона (хонингующей головки) с одним конусом и с центральной опорой для держателей абразивных брусков. Такая конструкция устраняет неравномерный износ абразивных брусков, так как камнедержатели, стягиваемые по



Фиг. 11. Хон Микроматик с одним конусом и прорезями для камнедержателей.



Фиг. 12. Хон Микроматик с двумя конусами, направленными в одну сторону.



Фиг. 13. Хон Микроматик с двумя конусами, направленными в разные стороны.

концам пружинами, колеблются относительно точки их соприкосновения с конусом, занимая среднее положение. Чтобы конструкция получилась более легкой, корпус головки сделан из двух фланцев, насаженных на стержень. В прорези фланцев вставляют камнедержатели.

На фиг. 11 представлена аналогичная головка хона, отличающаяся от предыдущих тем, что в корпусе сделаны прорези, кото-

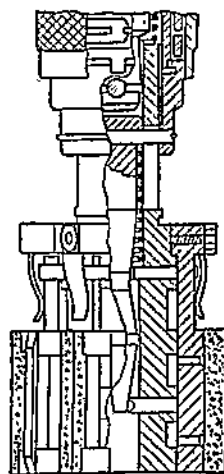
рые служат направляющими для камнедержателей, удерживаемых от выпадений пружинами.

На фиг. 12 показана головка хона с двумя конусами, направленными в одну сторону. Эта конструкция не обеспечивает самоустановливания абразивных брусков, что вызывает их неравномерный износ.

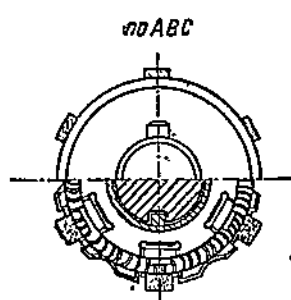
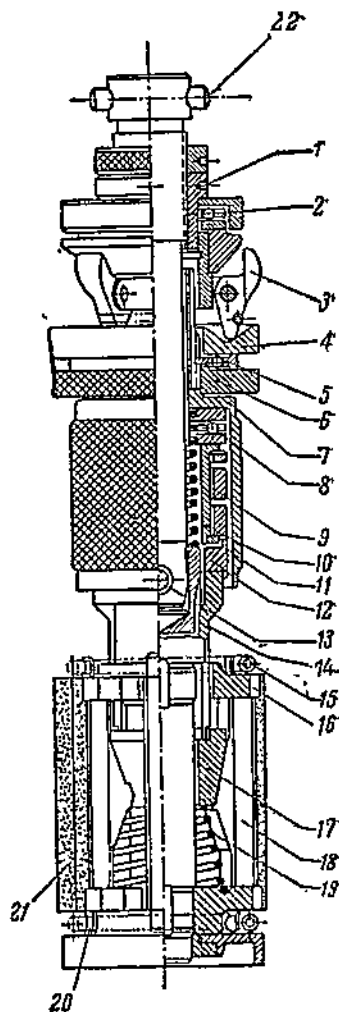
На фиг. 13 изображена головка хона фланцевого типа с конусами, направленными в разные стороны, обеспечивающими самоустановливание абразивных брусков.

В хоне фланцевого типа с камнедержателями, которые разжимаются при помощи штифтов (отдельных от камнедержателей и конусов) под действием стержня, имеющего два конуса, направленных в одну сторону (фиг. 14), конусность нижнего конуса больше, чем у верхнего. Поэтому нижние концы абразивных брусков разжимаются быстрее, чем верхние. Эту конструкцию применяют для хонингования глухих отверстий.

В хоне типа Микроматик, применяемом на автозаводе им. Молотова для хонингования цилиндров автомобильного двигателя (фиг. 15), радиальная подача брусков (раздвигание) автоматизирована. Одновременно с вводом нижней части хона (головки) в обрабатываемое отверстие кулачки 3 входят в специальную, находящуюся в приспособлении направляющую втулку, сжимаются ею и своими нижними концами толкают упорную шайбу 4. Эта шайба через шариковую обойму 5 и регулировочное кольцо 6 воз-



Фиг. 14. Рабочая часть хона Микроматик фланцевого типа с разжиманием камнедержателей шпильками.



Фиг. 15. Автоматический хон типа Микроматик.

действует на соединительную втулку 7, которая через шариковую обойму 8 перемещает вниз ограничительную втулку 10. Когда верхняя кромка кольца 11, находящегося на ограничительной втулке 10, опустится ниже верхней кромки кольца 12, все давление от кулачков 3 передается пружине 9, вошедшей в соприкосновение с кольцом 12, а последнее, воспринимая давление пружины 9, передает его через вилку 14 конусной втулке 17. Под влиянием давления пружины 9 втулка 17 опускается вниз, опираясь на скосы колодок 18 с укрепленными в них абразивными брусками 21, и раздвигает их. Раздвигание брусков происходит до тех пор, пока верхняя кромка кольца 11 и верхняя кромка кольца 12 не окажутся в одной плоскости. С этого момента раздвигание брусков прекращается, так как кольцо 11 не допустит дальнейшего расширения пружины 9. Регулировочное кольцо 6 служит для установления величины снимаемого слоя и поддержания пружины 9 под определенным давлением.

Колодки 18 направляются пазами, имеющимися в верхней и нижней звездочках (фланцах), причем пружины 15 удерживают их от выпадания.

Чтобы избежать износа стенок втулки приспособления, сжимающей и направляющей кулачки 3, необходимо предотвратить вращение этих кулачков во время вращения хона. Этого достигают при помощи шариковых подшипников 2 и 8, прилегающих к торцам вращающихся деталей 1 и 10.

Находящаяся в приспособлении направляющая втулка (на фиг. 15 не показана) должна обладать твердостью около $R_c = 85$. Диаметр втулки должен быть больше диаметра обрабатываемого отверстия не более чем на 0,5 мм.

В нижней части рабочей головки имеется тарельчатая шайба 20, служащая для центрирования и направления головки при вводе в обрабатываемое отверстие и предотвращения абразивных брусков от скалывания. Штифт 13 шарнирно соединяет верхнюю и нижнюю части хона. Штифты 22 служат для соединения хона со специальным патроном, входящим своим хвостовиком в шпиндель станка.

При помощи этих штифтов патрон ведет хон и удерживает его от выпадания. Когда хон, закончив доводку, заканчивает свой последний ход, кулачки 3 выходят из направляющей втулки, освобождают пружину и позволяют конусной втулке



Фиг. 16. А-автоматический хон Микроматик модели АОФ; Б-патрон „Квиклок“.

ке 17, а следовательно, и абразивным брускам вернуться в свое первоначальное положение.

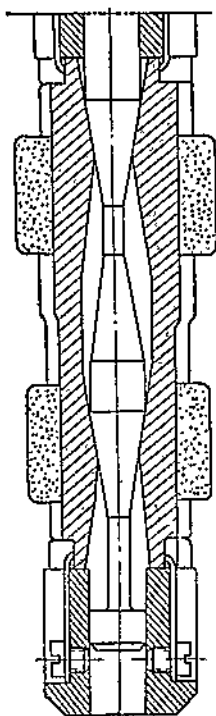
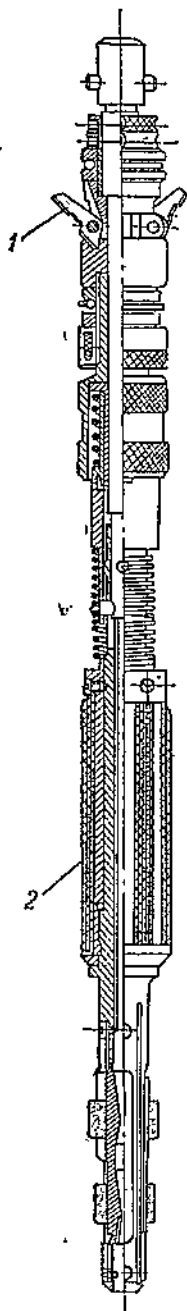
Недостатком данной конструкции является наличие одного конуса, раздвигающего бруски, что не обеспечивает достаточной устойчивости брусков в вертикальном направлении. Головки такой конструкции рекомендуется применять для хонингования только таких сквозных отверстий, у которых длина значительно больше диаметра, так как тогда само отверстие хорошо направляет бруски и недостатки, присущие конструкции головки с одним конусом, здесь не сказываются. Наличие одной точки соприкосновения камнедержателя с конусом уменьшает неравномерный износ брусков, а благодаря конусу 17, имеющему угол наклона, исключая скольжение брусков, предупреждается отжимание их к центру.

На фиг. 16, А представлен общий вид этого хона модели АОФ, а на фиг. 16, Б — патрон с шарниром «Квиклок», позволяющий хону самостоятельно устанавливаться по оси обрабатывае-

мого отверстия даже в случае небольшого несовпадения оси отверстия с осью шпинделя станка. Фирма Микроматик рекомендует хоны модели АОФ для предварительного хонингования сквозных отверстий диаметром 75—125 мм.

Для окончательного (зеркального) хонингования фирма рекомендует хоны модели АЗФ, отличающиеся от модели АОФ тем, что на нижней головке имеются эластичные фибровые направляющие, устанавливаемые с пробковыми прокладками в виде подушки в легких стальных штампованных держателях. Эти направляющие вставляются в прорезы фланцев хона.

На фиг. 17 представлен ступенчатый хон типа Микроматик, применяемый на одном из наших авиационных заводов для хонингования в глав-



Фиг. 17. Ступенчатый автоматический хон Микроматик.

ном шатуне отверстий для пальцев прицепных шатунов. Эти отверстия разного диаметра и расположены одно над другим на одной оси. Соответственно этому абразивные бруски головки расположены ступенчато. Радиальная подача брусков автоматизирована и вся верхняя часть хона не отличается от предыдущей конструкции. Нижняя часть имеет другую конструкцию. Помимо направляющей втулки для кулачков *1* хон направляется в нижней части (над абразивными брусками) при помощи еще одной втулки, установленной в приспособлении, в котором устанавливают и закрепляют обрабатываемую деталь.

Направляющей поверхностью на хоне служит цилиндрическая поверхность, образованная текстолитовыми планками *2*. Два конуса, направленные в одну сторону, раздвигают абразивные бруски.

Хотя такое расположение конусов страдает недостатками, но в данной конструкции благодаря наличию двух рядов коротких брусков, обрабатывающих два разных отверстия, эти недостатки не сказываются.

Такие хоны фирма Микроматик выпускает трех типоразмеров: для диаметров $\frac{3}{8}$ — $1\frac{7}{8}$; $1\frac{1}{2}$ — $2\frac{11}{16}$ и $2\frac{3}{4}$ — $2\frac{15}{16}$ ''.

Фирма Микроматик выпускает также хоны, у которых раздвигание брусков происходит не автоматически (такие хоны фирма называет полуавтоматическими), причем для раздвигания абразивных брусков поворачивают храповой механизм вручную. Предел раздвигания брусков регулируют предварительной установкой хомутка храпового механизма.

Эти хоны изготовляют восьми типоразмеров для обработки отверстий диаметром от $2\frac{1}{2}$ до 40''.

Хоны Хутто. Фирма Хутто выпускает хоны с автоматическим раздвиганием брусков и хоны с раздвиганием брусков от руки. Хоны с автоматическим раздвиганием брусков по своей конструкции и способу действия ничем не отличаются от автоматических хонов фирмы Микроматик.

Хоны Хутто с раздвиганием брусков от руки состоят из двух основных частей: верхней (фиг. 18), представляющей контрольную головку (патрон), и нижней (фиг. 19), представляющей рабочую часть.

Контрольная головка имеет конусный хвост, входящий в шпиндель станка. Пустотелый стержень *8* нижней рабочей части хона входит в контрольную головку своим шарообразным утолщением и закрепляется на месте собачкой. Откинув собачку, можно снять рабочую часть хона. Центральный болт *9* проходит вверх сквозь стержень *8*. На квадратный конец болта *9* надета малая шестерня *4*, сцепляющаяся через паразитную шестерню *5* с внутренним зубчатым венцом *6*. Этот венец нарезан на нижнем торце тормозной втулки, которая может вращаться независимо от главного шпинделя головки.

Во время работы хона всякое замедление вращения, передаваемое тормозным устройством через ступицу *1* тормозной втулке,

вызывает вращение шестерни 4 и связанного с ней болта 9, что изменяет расположение абразивных брусков.

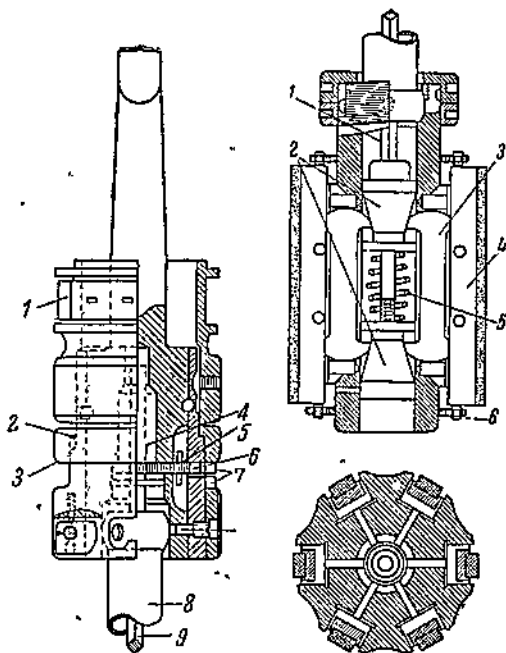
Диаметр обрабатываемого отверстия зависит от положения остановов 7, которые ограничивают степень торможения. Один из зубцов останова укреплен на корпусе головки, другой на кольце 3, внутренние зубья 2 которого сцепляются с зубьями втулки, несущей зубчатый венец 6 и тормозную ступицу. При поднятии кольца 3 эта втулка свободно вращается и остановы 7 проходят один мимо другого. В опущенном состоянии эти установы не позволяют сообщить подачу большую, чем установлено, как бы сильно ни тормозить втулку. На кольце 3 нанесены деления; каждое из них соответствует увеличению диаметра на 0,025 мм (0,001").

Нижняя, рабочая, часть хона (фиг. 19) представляет цилиндр с шестью выступами, в которых профрезерованы продольные пазы. От dna каждого паза профрезерован более узкий паз до внутреннего отверстия. Шесть держателей 4 плотно пригнаны в наружных пазах и опираются на шесть планок 3, помещающихся в узких пазах. Планки в свою очередь опираются на два конуса 2, кото-

рые стягиваются центральным болтом 1 и раздвигаются центральной пружиной 5. Пружины 6, расположенные вверху и внизу головки, прижимают держатели 4 к конусам 2.

При работе хон с убранными внутрь брусками вводят в цилиндр и начинают вращать. Затем при помощи тормоза бруски разводят и хон некоторое время работает в таком положении (около полуминуты для автомобильных цилиндров). За это время действие подачи исчерпывается и резание почти прекращается. Тогда вторично нажимают на тормоз, отчего резание возобновляется. Таким образом поджимают тормоз до тех пор, пока упор не остановит подачу, несмотря на нажим тормоза.

Выждав пока не прекратится резание после последнего поджигания тормоза, станок останавливают и инструмент выводят из цилиндра. Для этого бруски сближают, вращая втулку с накаткой.



Фиг. 18. Контрольная головка (пистолет) хона Хутто.

Фиг. 19. Рабочая (нижняя) головка хона Хутто.

Если после измерения диаметра отверстия окажется, что оно мало, переставляют останов, поднимая кольцо 3, поворачивают его на столько делений, сколько тысячных дюйма осталось снять с диаметра обрабатываемого отверстия и возобновляют хонингование.

Фирма Хутто выпускает хоны с раздвиганием брусков от руки диаметром до 1500 мм. Хоны больших диаметров отличаются от описанного выше главным образом тем, что стопорный механизм, ограничивающий подачу брусков, помещен на рабочей головке (нижней части хона).

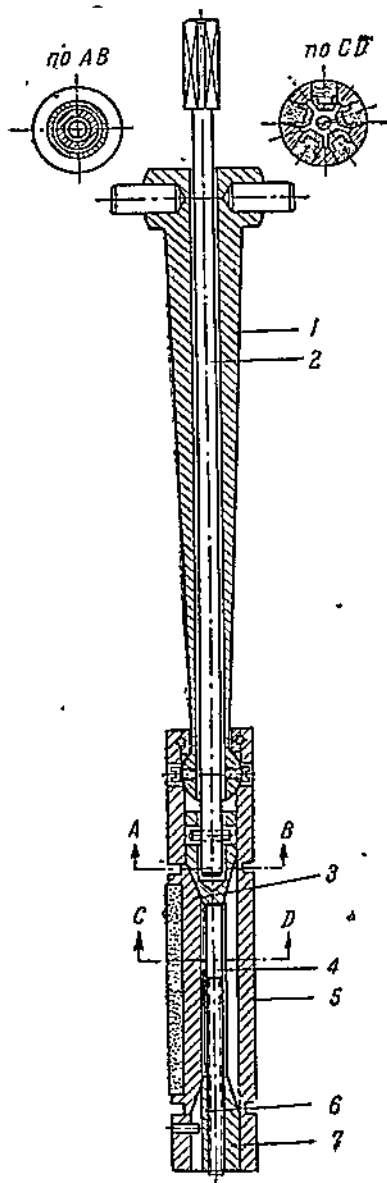
Представляет интерес хон конструкции Рыбинского машиностроительного завода для хонингования плавающих втулок верхней головки шатуна так как, несмотря на малый диаметр (17 мм), позволяет правильно обрабатывать отверстие.

Радиальная подача брусков производится при помощи контрольной головки-патрона, принципиально не отличающейся от головки Хутто. В квадратное отверстие центральной шестерни головки патрона входит конец стержня 2 (фиг. 20), другой конец которого соединен со стержнем 4, имеющим на одном конце конус, а на другом нарезку, входящую в нижний конус 7.

При проворачивании стержня 2 стержень 4 ввинчивается в конус 7 и оба конуса, раздвигающие детали 3 с укрепленными в них абразивными брусками, сближаются. Конус 7 благодаря штифту 6, запрессованному в корпус 5, и канавке в самом конусе имеет только осевое перемещение в корпусе.

Наличие двух противоположно направленных конусов, раздвигающих абразивные бруски, и шарового соединения корпуса 5 со стержнем 1, позволяющего ему колебаться и тем

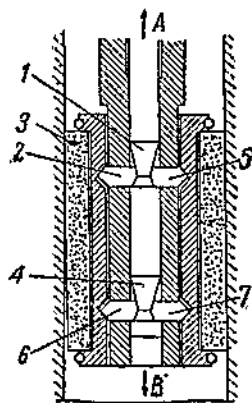
самым самоустанавливаться, является преимуществами этой конструкции.



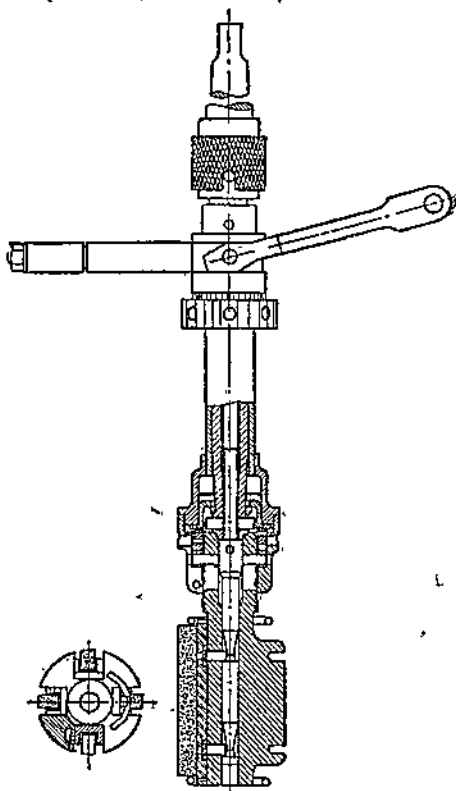
Фиг. 20. Хон для обработки малых отверстий.

Хоны фирмы Хелл. Характерной особенностью хонов этой фирмы является своеобразная конструкция нижней, рабочей, головки в части механизма подачи и упора брусков (фиг. 21).

Бруски раздвигаются конусами 1 и 4, которые принудительно подаются в направлении, указанном стрелкой В при помощи штырей 2, 5, 6 и 7. Если оба бруска (или один из них) изношены в разных местах неодинаково или же обрабатываемое отверстие конусное, то под действием давления на конце 3 брусок отжимается к оси. При этом держатель бруска скользит по наклонной плоскости штыря 2 к оси и по наклонной плоскости штыря 6 к обрабатываемой поверхности. Так как держатели нажимают на штыри, то конусы 7 и 4 перемещаются в направлении,



Фиг. 21. Схема рабочей головки хона Хелл.



Фиг. 22. Хон Хелл с устройством для раздвигания брусков,

указанном стрелкой А. Это происходит до тех пор, пока брусок не соприкоснется по всей своей длине с обрабатываемой поверхностью.

Бруски в хоне Хелл (фиг. 22) раздвигаются вручную посредством рычага и специального кулака. Для установки на требуемую величину имеется микрометрическое приспособление.

Абразивные бруски. Качество абразивных брусков зависит от абразива и от связывающего его вещества. Для хонингования употребляют наилучшие сорта карборунда (экстра-карборунд) и корунда (экстра-корунд).

Большое значение имеет зернистость абразивов. Чем выше требования, предъявляемые к качеству поверхности, тем мельче долж-

ны быть зерна абразива, т. е. тем больше должно быть число, характеризующее его зернистость.

При хонинговании за одну операцию применяют бруски с зернистостью 250, 280, 400 и 500.

При хонинговании в две операции для предварительного хонингования употребляют бруски с зернистостью 100, 120, 150, 180, 220, 250, 280, а для окончательного (зеркального) хонингования — бруски с зернистостью 400, 500, 600.

Не меньшее значение имеет вещество, связывающее абразивные зерна. Для этой цели применяют силикаты, бакелит, вулканизит, шеллак и керамическую связку.

В СССР абразивные бруски для хонинг-процесса изготовляют заводы Главабразива. В некоторых случаях металлообрабатывающие заводы сами изготовляют бруски для хонингования. Так на одном из авиамоторных заводов для получения брусков применяют следующий состав¹:

Бакелит	75 г
Красный спиртовой лак	25 .
Политура	25 .
Олифа	25 .
Свинцовый глет	12 .
Алунодовый или экстра-карборундовый порошок 5- или 10-минутник	1 кг

Сначала смешивают все жидкие вещества и добавляют к ним 12 г свинцового глета и 200 г алунодового или экстра-карборундового минутника. После тщательного размешивания добавляют остальные 800 г абразива. Полученной массой плотно набивают специальные разъемные формы, соответствующие форме бруска, и помещают их в печь, где нагревают до температуры 200° и выдерживают 30—40 мин., а затем для лучшего затвердевания связывающего вещества формы с брусками нагревают в течение 20 мин. до 300°.

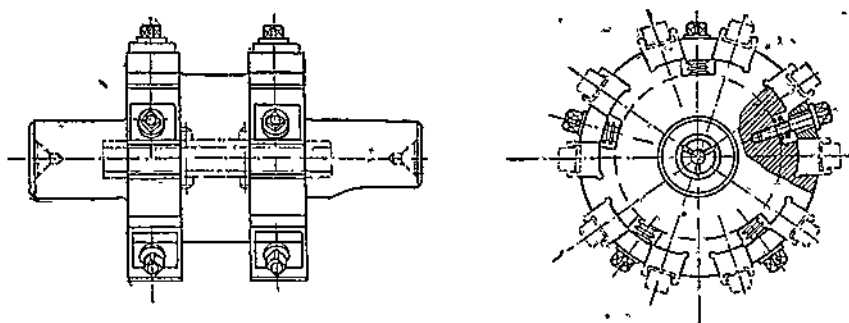
На другом нашем авиамоторном заводе алунодовые абразивные бруски изготовляют следующим образом. Хорошо смешивают 100 г бакелита, 100 г политуры и 40 г льняного масла, добавляют 200 г алунодового порошка (30-минутника) из общего количества 1140 г и 12 г свинцового глета. Все хорошо перемешивают и добавляют остальное количество алунодового порошка (940 г). Если масса получилась очень жидкой, то следует добавить еще 100—200 г алунодового порошка. Этой массой заполняют разъемные формочки и кладут их в электропечь, подогретую до 50°; после этого повышают температуру до 100° и выдерживают бруски в течение 1 часа 35 мин., затем повышают температуру до 250° и выдерживают бруски 2 часа 25 мин.

Абразивные бруски прикрепляют к камнедержателям канцелярским сургучом и выдерживают их летом 4—5 часов, а зимой — сутки. Вместо сургуча можно употреблять асфальтовый гудрон,

¹ И. Т. Семенов, „Авиационная промышленность“ № 2, 1937.

свинец или мягкий белый металл, а также специальную мастику. Импортные нортоновские бруски приклеивают мастикой, состоящей из 25 г бакелитового лака, 5 г свинцового глета и 10 г абразива (30-минутника). Этим составом смазывают камнедержатели и бруски, которые после установки прижимают гирей или ручным прессом, а затем кладут в электропечь, нагретую до температуры 250°, и выдерживают до потемнения мастики (примерно 30 мин.).

Закрепленные в камнедержатели бруски правят на круглошлифовальном станке для придания им радиуса, равного радиусу обрабатываемого отверстия. На фиг. 23 показана оправка, применяемая в этом случае на одном из наших заводов.



Фиг. 23. Оправка для правки брусков по радиусу.

Приклеивание брусков сургучом отнимает много времени и недостаточно надежно, а использование гудрона и свинца нежелательно, так как гудрон загрязняет мастерскую, а свинец при плавке выделяет вредные пары. Наконец, нортоновская мастика сравнительно долго не засыхает. Поэтому лучше всего пользоваться целлулоном, растворенным в ацетоне до консистенции жидкой кашицы. Залитые этим раствором бруски через 5 мин. можно пустить в работу.

Размеры брусков стандартизованы (ОСТ/НКТМ 20143-39).

Хонинг-станки

В начале развития хонинг-процесса пользовались сверлильными станками, сообщая хону возвратно-поступательное движение от руки. Затем шпиндель сверлильного станка стали снабжать устройством, дававшим ему возможность автоматически опускаться и подниматься.

В настоящее время изготовляют специальные хонинг-станки: вертикальные, горизонтальные, наклонные, одношпиндельные и многошпиндельные.

За границей хонинг-станки изготовляют фирмы Barnes Drill Co, Hutto, Hille Werke, Kitchen and Wade, William Asquith, Cuneiffe and Groom и др. В СССР хонинг-станки изготовляет станкостроительный завод им. Ленина в Одессе.

Принципиальная схема работы всех хонинг-станков одна и та же: вращательное и одновременно возвратно-поступательное движение инструмента (хона), сидящего в шпинделе. Станки отличаются количеством шпинделей, их расположением (вертикальное, горизонтальное, наклонное), габаритами, передачей, скоростью вращения, способом крепления деталей и т. п.

Хонинг-станок завода им. Ленина (модель 383, фиг. 24) характеризуется следующими данными:

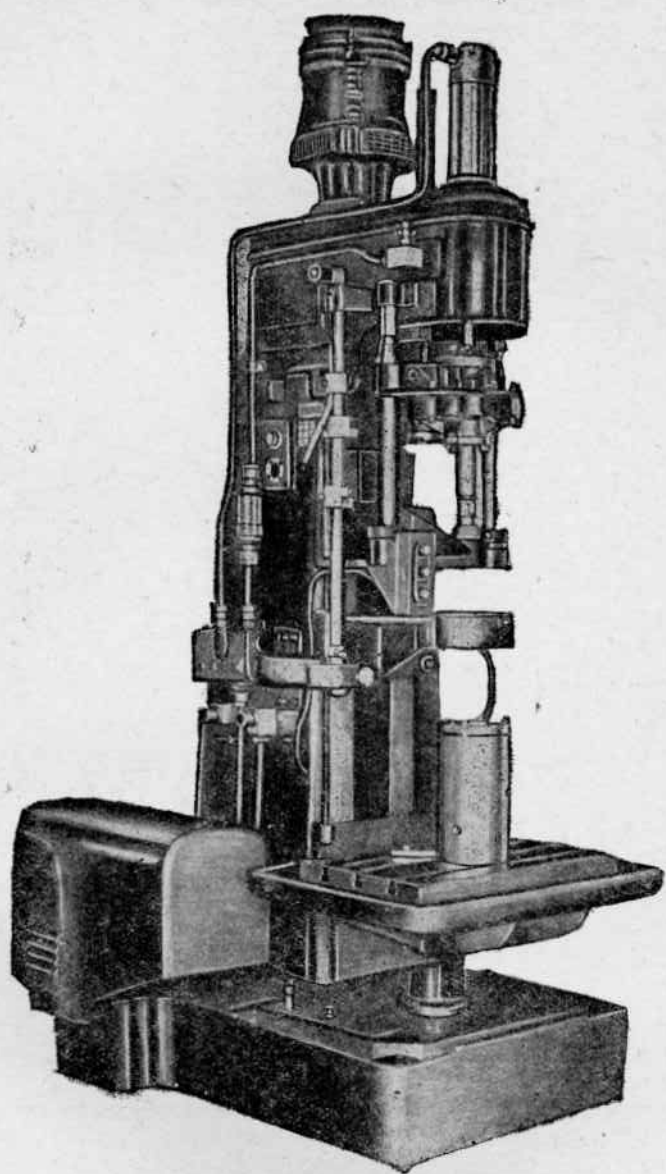
Максимальный диаметр хонингования	160 мм
Минимальный диаметр хонингования	85 "
Максимальный ход шпинделя	450 "
Число шпинделей	1
Конус Морзе	№ 4
Вылет шпинделя	350 мм
Количество чисел оборотов	3
Числа оборотов	114; 180; 284 об/мин.
Скорость возвратно-поступательного движения	18—20 м/мин
Производительность насоса для перемещения шпинделя	48 л/мин
Число оборотов насоса	950 об/мин.
Развиваемое насосом давление	до 45 ат
Емкость бака для масла	75 л
Площадь стола	750×450 мм
Максимальное вертикальное перемещение стола	450 мм
Расстояние от нижнего конца шпинделя до стола	175—1075 мм
Число оборотов насоса для охлаждающей жидкости	2800 об/мин.
Производительность при высоте подъема в 1,5 м	25 л/мин
Общая мощность моторов	14 квт
Мощность мотора вращения	10 "
Мощность мотора гидравлического насоса	3,8 "
Мощность мотора насоса для охлаждения	0,2 "
Габариты станка	1500×1200×2885 мм
Вес станка	2150 кг

Основанием станка служит фундаментная плита 12 (фиг. 25), на которой укреплена колонна 3. Сверху на этой колонне расположена коробка скоростей 2, сообщающая вращение шпинделю, закрепленному в толчке 8. Возвратно-поступательное перемещение шпиндель получает от гидравлической системы, состоящей из насоса 7, распределителя 5, механизма управления 6 и цилиндра 1. Резервуаром для масла служит колонна 3; очистка масла производится фильтрами 4 и 9 (третий фильтр на фиг. 25 не показан).

Охлаждающую жидкость подает насос 11; резервуар для охлаждающей жидкости расположен в плите 12.

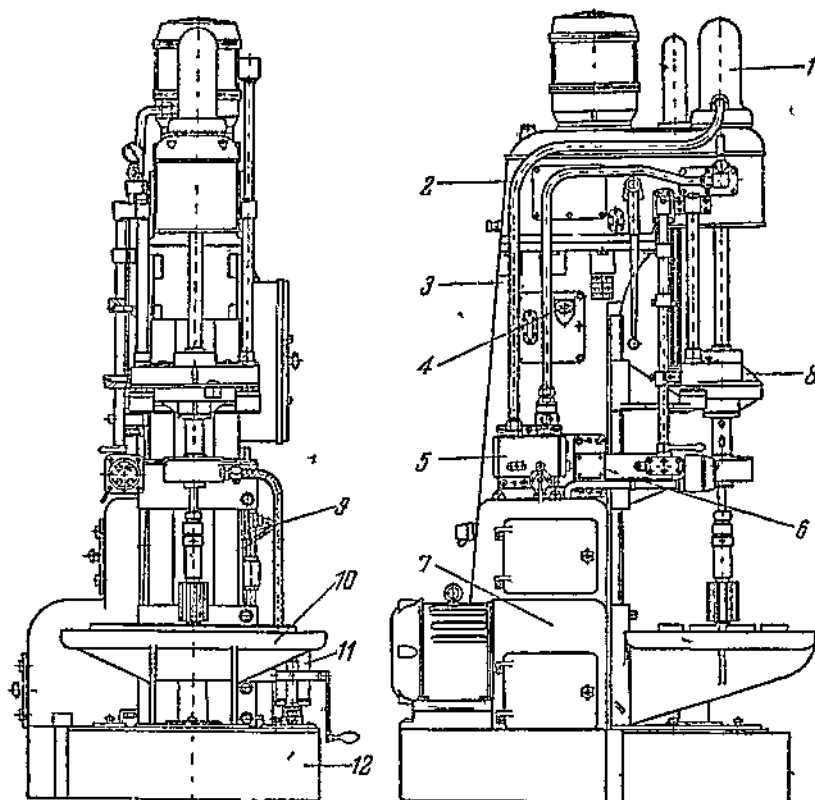
Для установки детали служит подъемный стол 10. Станок может быть снабжен передвижным столом.

Коробка скоростей (фиг. 26) состоит из трех вертикально расположенных валов с насаженными на них шестернями, дающими возможность сообщать шпинделю 114, 180 и 284 об/мин. Для изменения числа оборотов перемещают каретку 3. Помимо указанных чисел оборотов, можно получить и другие скорости вращения, меняя сменные шестерни 1 и 2.



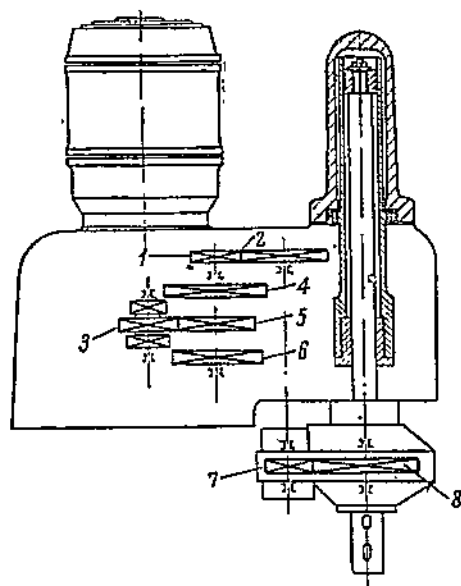
Фиг. 24. Хонинг-станок завода им. Ленина.

Вращение мотора через эластичную муфту передается валу коробки скоростей, на котором сидит передвигная каретка 3, которая может попеременно войти в зацепление с шестернями 4, 5 и 6, находящимися на втором валу. На конце этого вала насажена сменная шестерня 1, находящаяся в зацеплении с другой сменной шестерней 2, сидящей на шлицевой гильзе. Внутри шлицевой гильзы находится шлицевой вал, нижний конец которого закреплен в шпиндельной головке.

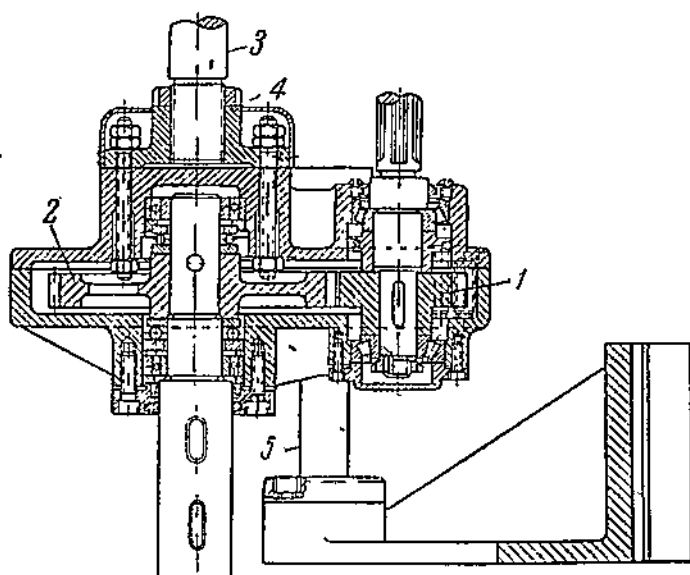


Фиг. 25. Хонинг-станок завода им. Ленин.

Шпиндельная головка (фиг. 27) служит для закрепления шпинделя, направления его и для передачи ему вращения и возвратно-поступательного движения. Вращение шпинделю передается шестерней 1 (на фиг. 26 шестерня 7), насаженной на конце шлицевого валика, и шестерней 2 (на фиг. 26 шестерня 8), сидящей на шпинделе. Возвратно-поступательное движение осуществляется штоком 3 поршня гидравлического цилиндра, ввинченным в фланец 4. Для направления шпиндельной головки, а вместе с ней и шпинделя при возвратно-поступательном движении служат две втулки, скользящие по двум колонкам 5.



Фиг. 26. Схема коробки скоростей хонинг-станка.



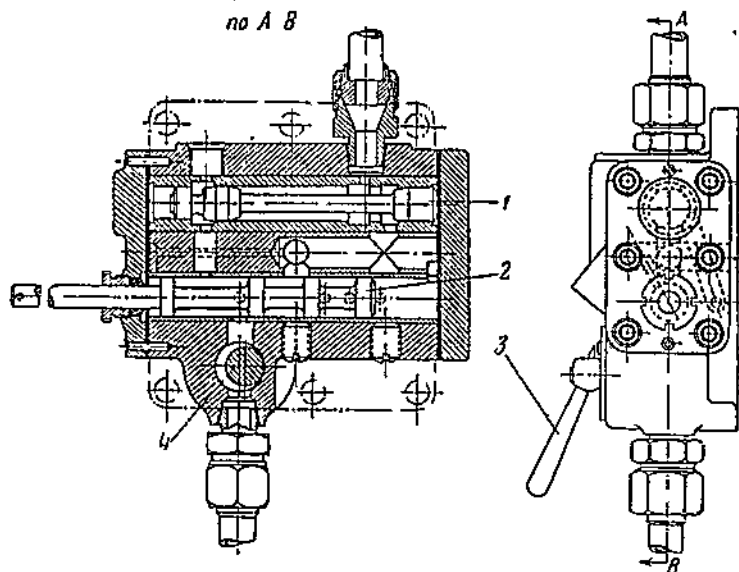
Фиг. 27. Шпиндельная головка хонинг-станка.

Гидравлическая система станка состоит из: 1) насоса ПГ-141/48, 2) разгрузочного клапана ПГ-2-545, 3) распределительного устройства, 4) подпорного клапана, 5) цилиндра, 6) механизма управления и 7) фильтров.

Насос ПГ-141/48 производства Харьковского завода служит для подачи масла в цилиндр.

Разгрузочный клапан ПГ-2-545 регулирует гидравлическое давление. При вращении вправо давление повышается, а при вращении влево понижается.

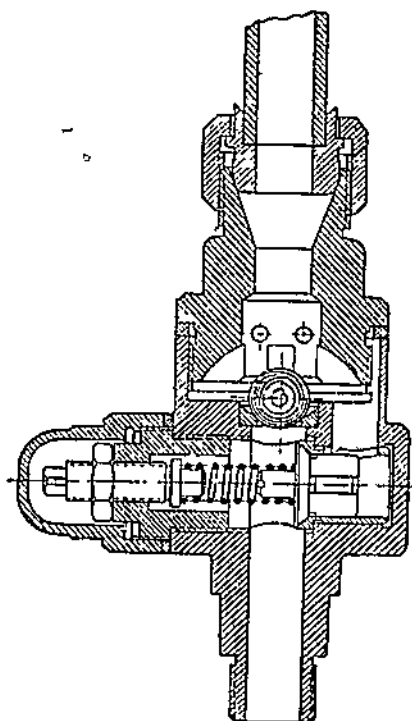
Распределитель (фиг. 28) в зависимости от направления движения шпинделя направляет масло в цилиндр или в резервуар.



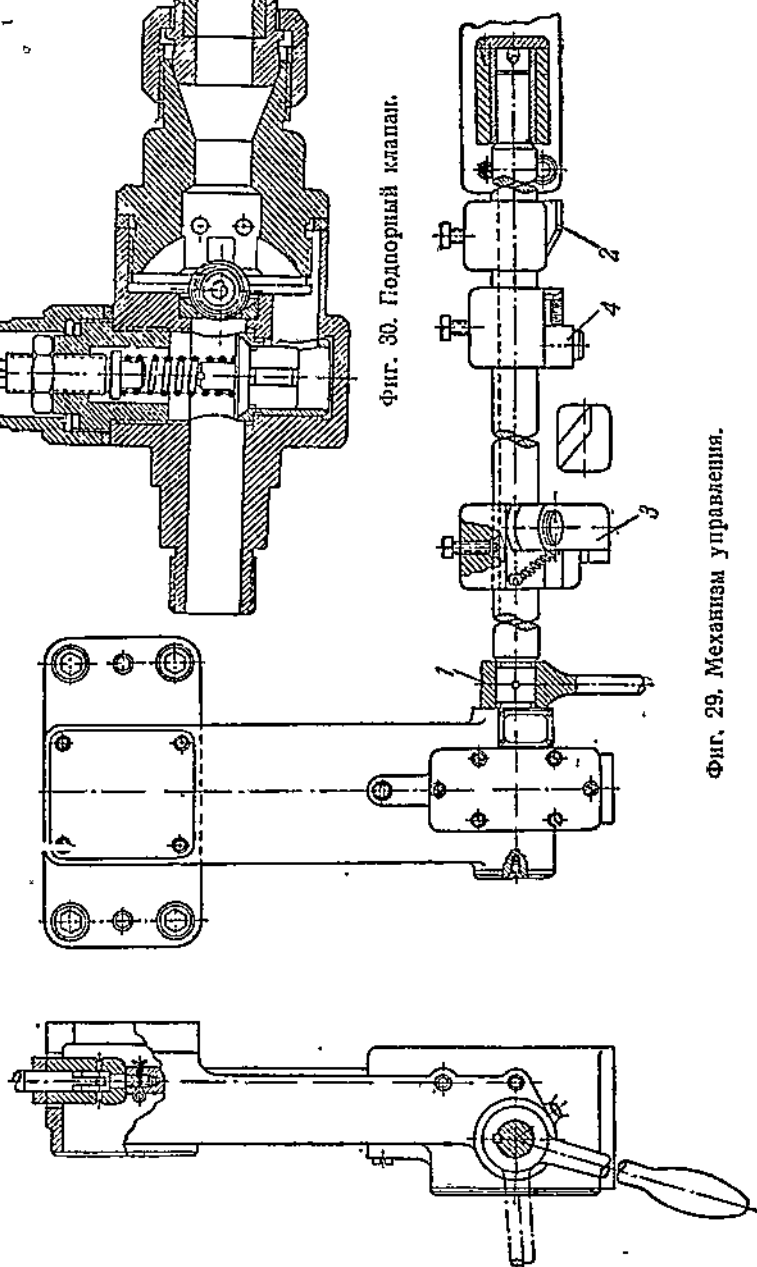
Фиг. 28. Распределитель гидравлической системы.

Основными деталями являются два плунжера 1 и 2, причем плунжер 2, управляемый от руки либо от упоров, является вспомогательным, а плунжер 1, управляемый гидравлически, — основным. Плунжер 2 служит для подвода масла в цилиндр основного плунжера 1 для его перемещения в крайнее положение. Скорость передвижения основного плунжера регулируется дроссельным винтом. В корпусе распределителя расположен также дроссельный кран, регулирующий скорость течения масла. Для вращения крана служит рукоятка 3, закрепленная на стержне крана 4.

Механизм управления (фиг. 29) служит для передвижения вспомогательного плунжера распределителя в необходимое положение (стоп, вверх, вниз). Передвижение производят либо вручную рукояткой 1, либо от упоров 2 и 3. Упор 4 — предохранительный и служит для остановки шпинделя в крайнем верхнем



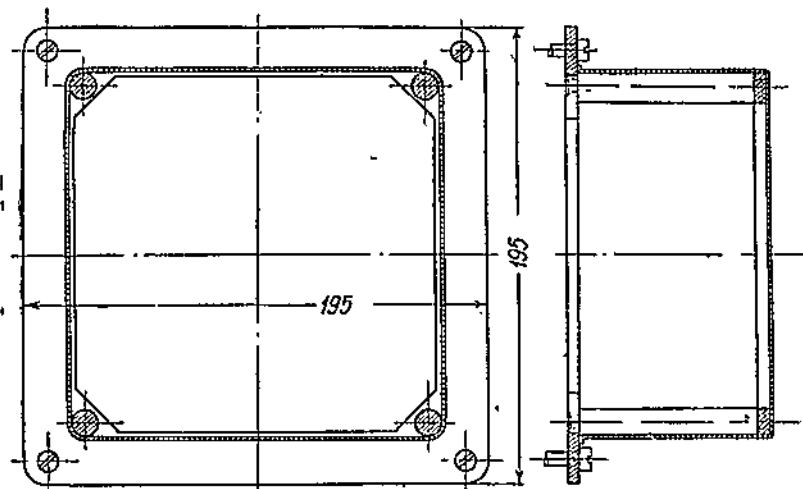
Фиг. 30. Подпорный клапан.



Фиг. 29. Механизм управления.

положении. Длину хода устанавливают упорами 2 и 3. Трущиеся части механизма снабжены шариковыми масленками.

Подпорный клапан (фиг. 30) служит для уравнивания движущихся возвратно-поступательно частей станка и заменяет противовес. Подпорный клапан состоит из шарикового и тарельчатого клапанов. Когда шариковый клапан открыт (при ходе поршня вверх), то тарельчатый закрыт и наоборот, при ходе поршня вниз шариковый закрыт, а тарельчатый открыт. При остановке поступательного движения оба клапана закрыты, что обеспечивает неподвижность головки при остановке в любом месте.



Фиг. 31. Фильтр для очистки наливаемого в резервуар масла.

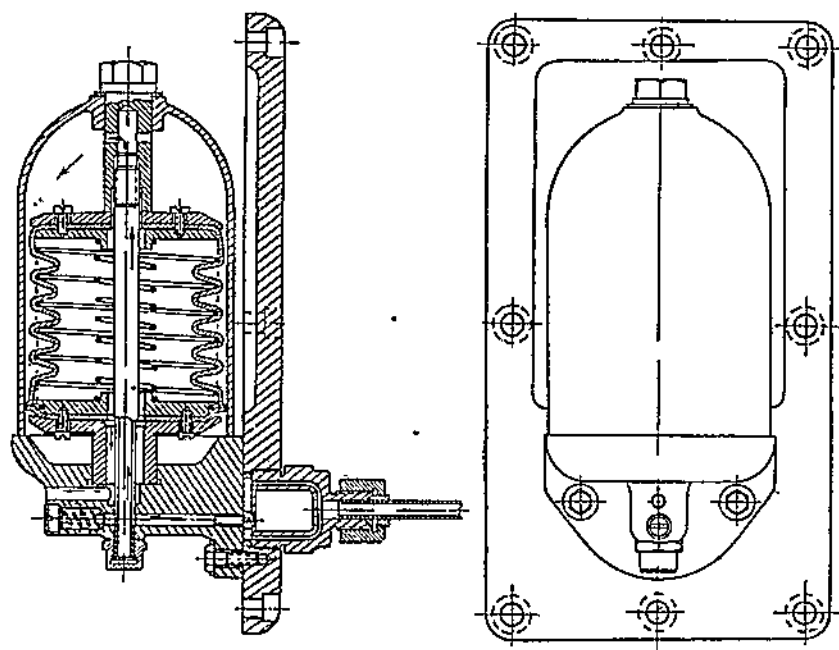
Цилиндр гидравлической системы вмонтирован в коробку скоростей. Внутри цилиндра ходит поршень со штоком. Для удержания масла в цилиндре служат графитизированные и прорезиненные уплотнительные кольца, поджимаемые гайкой.

Очистка масла имеет важное значение для длительной работы гидравлических узлов станка. Поэтому станок снабжен тремя фильтрами. Фильтр для очистки наливаемого в резервуар масла представляет коробку, обтянутую сеткой (фиг. 31). Независимо от этого масло перед заливкой надлежит профильтровать. Второй фильтр предназначен для очистки масла от посторонних тел, могущих попасть в резервуар во время работы. Он установлен на всасывающем патрубке насоса и легко снимается для очистки. Третий фильтр (фиг. 32) парциальный и служит для окончательной очистки масла.

Взаимодействие узлов гидравлической системы. При работе станка гидронасос работает непрерывно. Управление производится рукояткой (фиг. 33).

Чтобы прекратить возвратно-поступательное движение шпинделя, рукоятку управления устанавливают в положение «стоп». При

этом вспомогательный плунжер распределителя ставится в такое положение, что масло, подаваемое насосом в распределитель, попадает в отверстие, ведущее в бак, т. е. насос работает вхолостую. Масло, оставшееся в цилиндре, под действием веса поступательно движущихся частей давит на шариковый и тарельчатый клапаны. Вследствие этого шарик закрывает отверстие и масло через него не может попасть в бак. Пружина тарельчатого клапана отрегулирована так, что противодействие ее больше силы давле-



Фиг. 32. Парциальный фильтр.

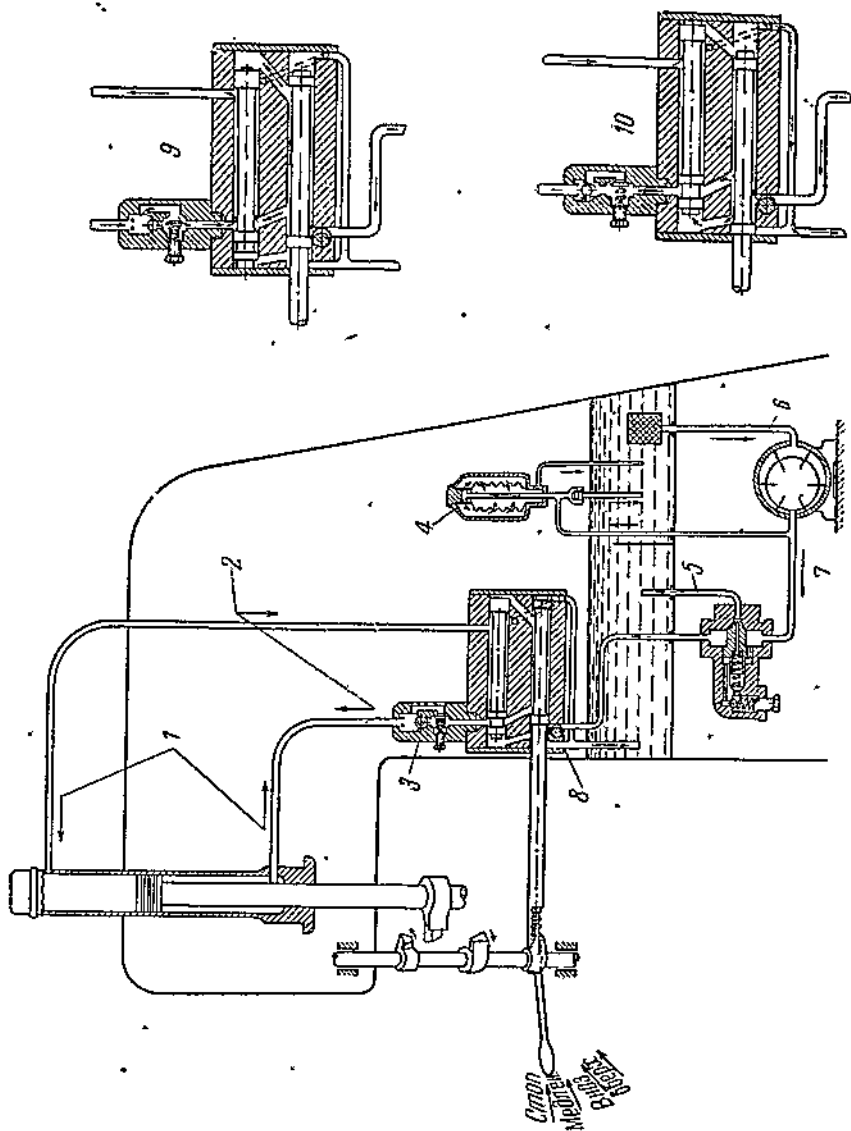
ния движущихся частей, поэтому тарельчатый клапан также не пропускает масла в бак, и шпindel останавливается в любом положении.

Для перемещения шпинделя вниз рукоятку управления устанавливают в положение «вниз». При этом вспомогательный плунжер распределителя располагается так, что основной плунжер переводится в положение, позволяющее маслу протекать в верхнюю и нижнюю полости цилиндра.

Полезная площадь верхнего основания поршня в два раза больше площади нижнего основания и соответствующее ему давление в два раза больше, поэтому поршень вместе со шпиндельной головкой движется с необходимой скоростью вниз. Шариковый клапан закрыт, а тарельчатый под давлением масла, превосходящим давление пружины, открыт и дает возможность маслу перейти в верхнюю полость цилиндра. Скорость хода поршня регулируют

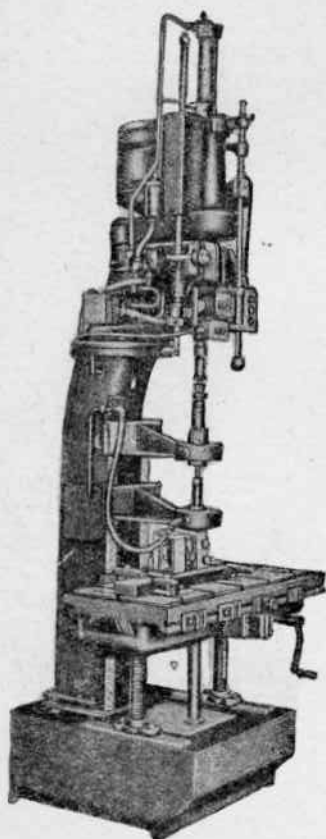
Фиг. 33. Схема гидравлической системы.

1—направление движения масла при ходе поршня вниз; 2—направление движения масла при ходе поршня вверх; 3—подпорный клапан; 4—парциальный фильтр; 5—слив излишка масла; 6—накашивание; 7—нажатие; 8—положение плунжеров и направление движения масла при ходе поршня вниз (дунтиром показано положение нижнего плунжера при ходе поршня медленно вверх); 10—положение плунжеров и направление движения масла при ходе поршня вверх.

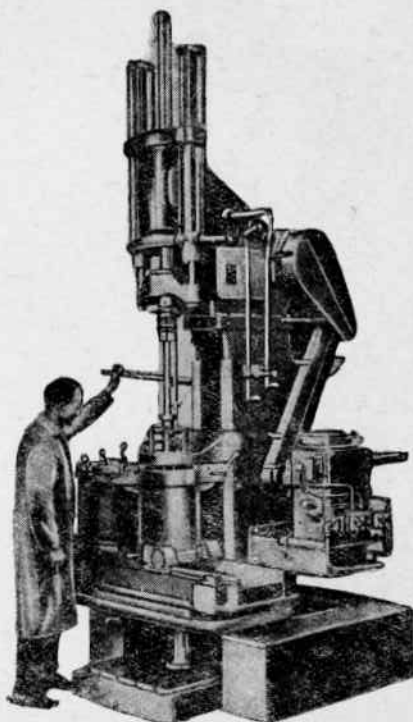


либо дроссельным краном, либо винтом разгрузочного клапана. Излишек масла сливается в бак через сливное отверстие клапана.

При ходе шпинделя вверх (рукоятка установлена в положение «вверх») вспомогательный и главный плунжеры распределителя располагаются так, что подаваемое насосом масло может попадать только в нижнюю полость цилиндра, а из верхней сливается в бак.



Фиг. 34. Вертикальный одношпиндельный хонинг-станок Барнес Дрилл.



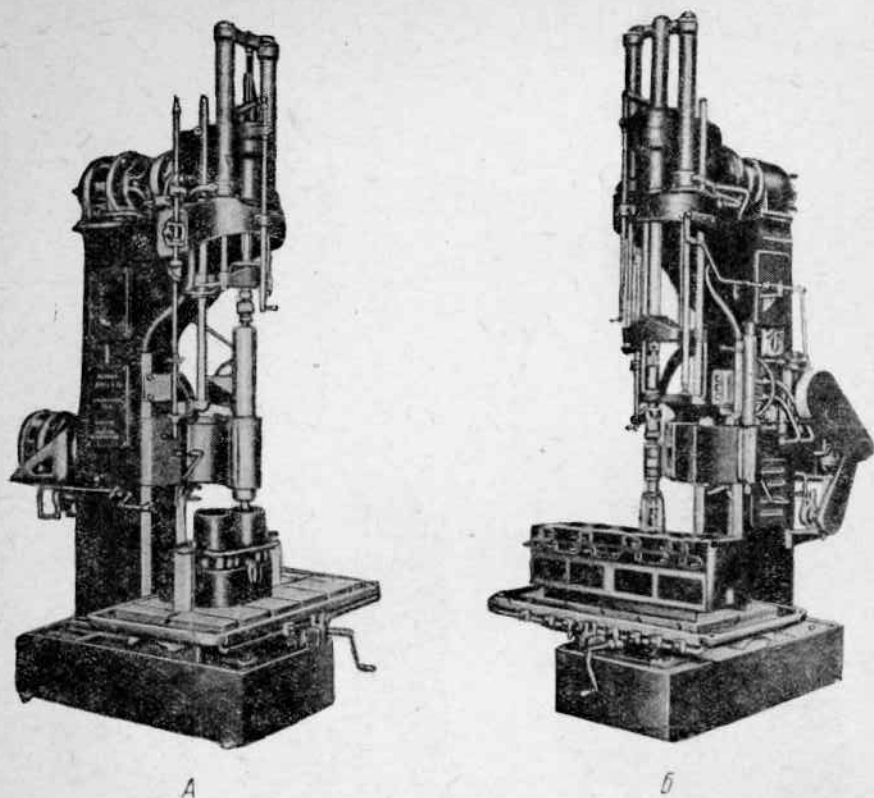
Фиг. 35. Вертикальный одношпиндельный хонинг-станок Барнес Дрилл.

Шариковый клапан открыт, а тарельчатый закрыт. Скорость и давление такие же, как и при ходе вниз. Изменение числа возвратно-поступательных ходов шпинделя получается путем большего или меньшего открывания входного отверстия распределителя.

Хонинг-станки иностранных фирм. На фиг. 34 изображен вертикальный одношпиндельный станок фирмы Барнес Дрилл для хонингования поверхностей отверстий диаметром от 19 мм ($\frac{3}{4}$ ") до 102 мм (4") и длиной до 254 мм (10"). Шпиндель приводится во вращение электромотором через коробку скоростей,

а для поступательно-возвратного движения служит гидравлическая система, в принципе не отличающаяся от системы, установленной на станке завода им. Ленина.

Станок снабжен электрическим счетчиком ходов возвратно-поступательного движения и автоматическим остановом, прекращающим движение после заранее установленного числа ходов.



Фиг. 36. Комбинированный станок Барнес Дрилл.

А—расточивание; Б—хонингование.

На фиг. 35 показан станок той же фирмы для обработки отверстий диаметром до 508 мм (20") с ходом шпинделя до 813 мм (32"). Этот станок применяют для доводки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, паровых двигателей, компрессоров и т. п.

Эта же фирма выпускает еще более крупные станки для обработки цилиндров крупных дизелей, паровых машин и иных двигателей.

На фиг. 36 показан комбинированный станок той же фирмы, на котором можно растачивать и хонинговать отверстия. Диаметр расточки регулируется специальной микрометрической головкой. По окончании растачивания гидравлическую подачу выключают,

расточной шпиндель отводят в сторону и устанавливают хон. Возвратно-поступательное движение хона осуществляется соответствующим гидравлическим устройством. Станки этого типа особенно удобны для ремонтных мастерских, лабораторий и индивидуального характера производства.

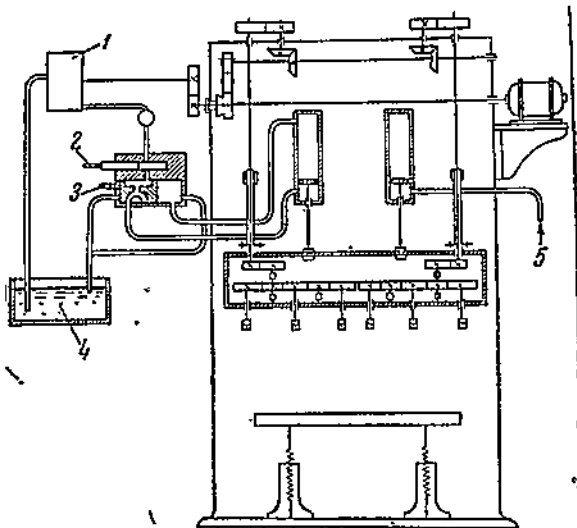
Фирма Барнес Дрилл изготавливает также вертикальные многошпиндельные станки, применяемые в крупносерийном и массовом производстве автомобильных и тракторных двигателей блочной конструкции. В этих станках (фиг. 37) вращение электромотора передается через шестеренчатую передачу

двум основным приводным шпинделям. Рабочие шпиндели, непосредственно соединенные с инструментом, находятся в отдельной съемной многошпиндельной головке. Количество рабочих шпинделей зависит от количества одновременно обрабатываемых отверстий (на фиг. 37 показано шесть шпинделей). Каждый приводной шпиндель через шестеренчатую передачу приводит в действие половину общего количества рабочих шпинделей. Многошпиндельная головка соединена со штоком поршня гидравлического цилиндра, который сообщает многошпиндельной головке возвратно-поступательное движение.

Уравновешивание движущихся частей производится сжатым воздухом, поступающим в цилиндр из сети завода. Давление воздуха должно составлять 5—6 ат.

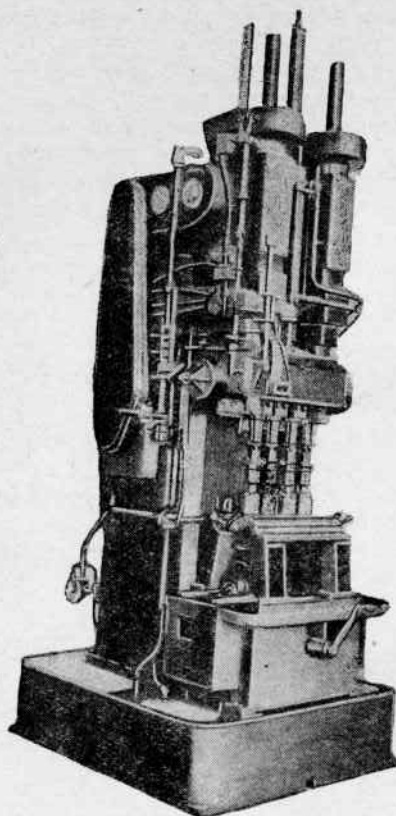
На фиг. 38 показан многошпиндельный хонинг-станок Барнес Дрилл с четырьмя рабочими шпинделями; путем замены многошпиндельной головки на нем можно хонинговать до восьми цилиндров одновременно. Фирма Барнес Дрилл изготавливает многошпиндельные головки с 4, 6, 8 шпинделями с постоянным или переменным расстоянием между шпинделями.

Кинематическая и гидравлическая схемы этого станка не отличаются от схемы, представленной на фиг. 37. Вращательное и возвратно-поступательное движения шпинделей заблокированы. Система охлаждения состоит из резервуара, фильтра и бака для

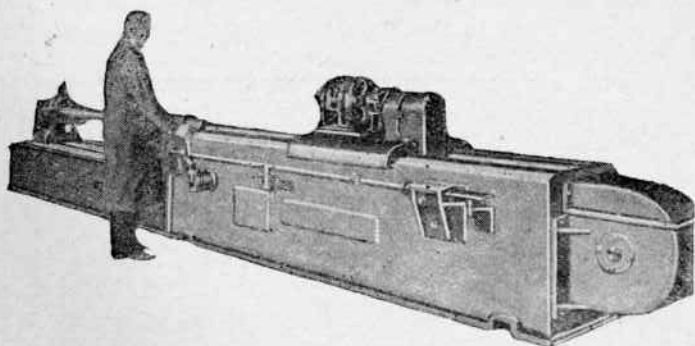


Фиг. 37. Схема многошпиндельного хонинг-станка Барнес Дрилл.

1—насос гидравлической подачи; 2—пусковой клапан; 3—золотник; 4—резервуар для масла; 5—трубопровод сжатого воздуха.



Фиг. 38. Вертикальный много-
шпиндельный хонинг-станок
Барнес Дрилл.

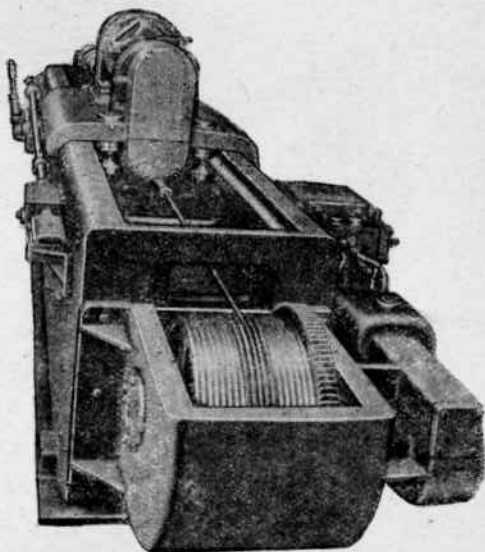


Фиг. 39. Одношпиндельный горизонтальный хонинг-станок
Барнес Дрилл.

профильтрованной охлаждающей жидкости и двух насосов. Один насос подает жидкость для фильтрации, а второй подает уже профильтрованную жидкость.

Фирма Барнес Дрилл выпускает также горизонтальные хонинг-станки. На фиг. 39 показан один из таких станков, предназначенный для хонингования отверстий (цилиндров, труб) диаметром до 127 мм (5") и длиной до 152 мм (6"). Электромотор, сообщающий через коробку скоростей вращательное движение шпинделю, установлен на каретке.

Возвратно - поступательное движение осуществляется путем передвижения каретки (вместе с инструментом) в том или другом направлении при помощи каната, охватывающего ведущий барабан; концы каната связаны с кареткой шпинделя (фиг. 40). Ведущий барабан получает вращение от отдельного мотора через специальный гидравлический агрегат, состоящий из масляного насоса, масляного привода переменной скорости и распределительных клапанов, служащих для управления системой. Весь этот агрегат расположен у задней части станка.



Фиг. 40. Устройство для возвратно-поступательного движения каретки со шпинделем горизонтального хонинг-станка Барнес Дрилл.

По данным фирмы, эта передача обеспечивает плавный ход каретки, устраняет толчки при перемене хода и дает возможность получить любые скорости возвратно-поступательного движения в пределах от 0 до 15,24 м/мин.

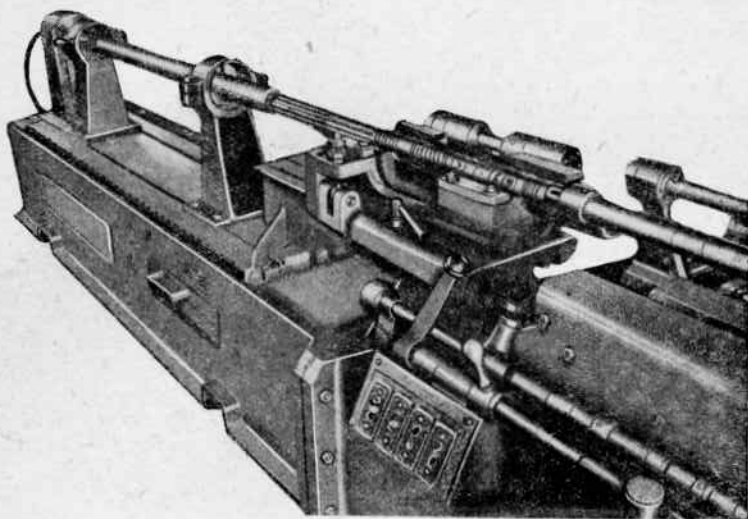
Станок снабжен автоматическим счетчиком числа ходов, который останавливает станок и возвращает каретку в исходное положение после того, как она совершит заранее установленное число циклов. Внутри станины в той части, где устанавливают деталь, находятся бак, насос и фильтр для охлаждающей жидкости.

Одной из ответственных деталей станка является устройство, служащее для поддержания хона в момент, когда инструмент вводится или выводится из обрабатываемой детали (фиг. 41). Это приспособление можно перемещать по продольным направляющим рукояткой, связанной с зубчатым колесом, находящимся в зацеплении с рейкой. Во время работы станка приспособление должно быть закрыто крышкой и придвинуто вплотную к обрабатываемой детали. От правильной установки приспособления зависит чистота обработки детали, в особенности у переднего конца отверстия.

Горизонтальные хонинг-станки применяют, главным образом, для доводки артиллерийских орудий, гидравлических машин, бурильного оборудования, цилиндров шасси самолетов и т. п.

Станки фирм Майер и Шмидт, Hille Werke, Шмальц, Kitchen and Wade, Hutto, William, Asquith, Cuneiffe and Croom по принципу своего действия и конструкции сравнительно мало отличаются от станков Барнес Дрилл.

В Англии фирме Юнкерс выдан патент на хонинг-станок, устройство которого отличается от описанных станков (фиг. 42).



Фиг. 41. Приспособление для поддержания и направления хона.

Хон 8 укрепляют в шпинделе 7, который гайкой 6 соединен со шпинделем 4. Эта же гайка служит для поднимания и опускания шпинделя 7 и установки его в вертикальном направлении. Шпиндель 7 монтирован в каретке 11, которая может перемещаться кривошипно-шатунным механизмом 10. Изменяя положение пальца кривошипа, можно регулировать величину хода каретки 11, т. е. величину хода инструмента.

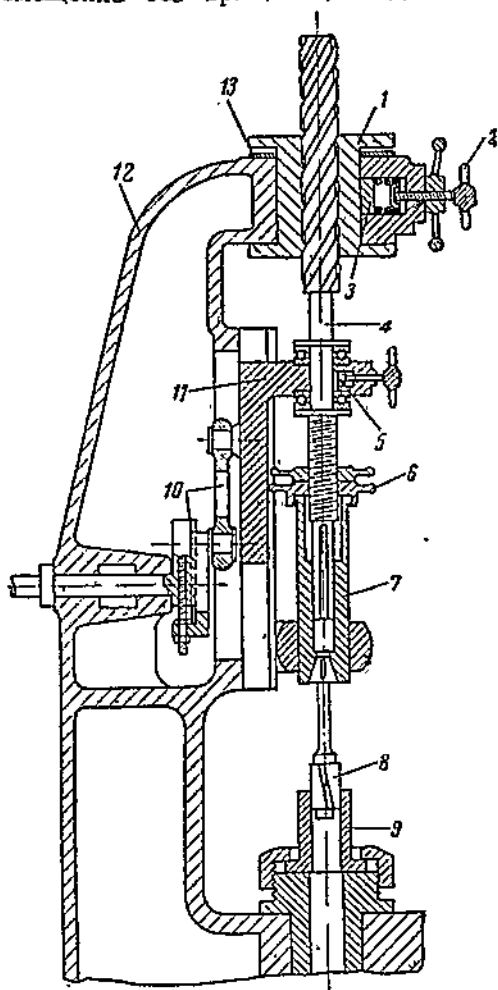
Верхняя часть шпинделя 4 снабжена многозаходной полой нарезкой, входящей в гайку 1, которая укреплена со скользящей посадкой в отверстии хобота станины 12. Внутренняя поверхность нижнего фланца втулки 1 и прилегающая к ней нижняя поверхность хобота пришлифованы, а часть хобота, прилегающая к верхнему фланцу втулки, снабжена фрикционной прокладкой 13.

Закрепив обрабатываемое изделие 9 в приспособлении на столе станка, устанавливают ход каретки. Отведя каретку в самое верхнее ее положение, поворачивают гайки 6 и опускают шпиндель 7 до тех пор, пока инструмент 8 не займет требуемого положения по отношению к обрабатываемому изделию.

При пуске станка каретка 11 начинает двигаться вверх и вниз, увлекая с собой шпиндель с инструментом. Если бы втулка 1 могла свободно вращаться в своем гнезде, то инструмент получил бы только вертикальное перемещение без вращения; в действительности же трение, возникающее между внутренней поверхностью фланца втулки и диском 13, стремится удержать втулку от вращения. В результате этого инструмент, опускаясь вниз, благодаря винтовой нарезке на верхней части шпинделя получает одновременно вращательное движение.

При обратном ходе шпинделя (вверх) втулка 1 может несколько поворачиваться в своем гнезде, так как трение между шлифованными поверхностями нижнего фланца втулки и хобота станка невелико. Таким образом окружные скорости хона при поступательном и возвратном движении разные, что позволяет получить различные углы спирали при движении хона вверх и вниз. Чтобы получить спирали с одинаковыми углами, т. е. одинаковые окружные скорости, втулку 7 жестко закрепляют в ее гнезде при помощи вкладыша 3, прижимаемого к боковой поверхности втулки винтом 2. Тогда втулка 1 совершенно не будет проворачиваться. Если надо, чтобы хон совершал только возвратно-поступательное движение, пользуются запорным устройством 5, освобождая винт 2.

Фирма Honing Equipment Corporation построила станок для обработки малых диаметров совершенно особой конструкции (фиг. 43). Этот станок относится к категории вертикальных станков, но шпиндель по сравнению с обычным вертикальным станком оказывается как бы перевернутым и проходит снизу вверх через стол



Фиг. 42. Вертикальный одношпиндельный станок Юнкерс.

станка, на котором устанавливают деталь. Такая конструкция имеет то преимущество, что доступ для осмотра детали во время обработки совершенно открыт и удобнее измерять деталь.

Механизм, сообщающий шпинделю вращательное и возвратно-поступательное движения, и система охлаждения расположены в станине.

Скорость возвратно-поступательного и вращательного движений изменяют независимо, при помощи кнопочного управления.

Число двойных ходов (циклов) можно изменять от 700 до 1000 в минуту, а число оборотов от 0,9 до 27 в минуту. Станок предназначен для хонингования отверстий диаметром до 51 мм (2"). Для пуска и остановки служат кнопки, а для мгновенной остановки шпинделя имеется педаль.

Фирма Микроматик выпустила новый тип горизонтального станка для обработки малых отверстий, который может хонинговать отверстия диаметром от 6 до 25 мм. Шпиндель снабжен механическим приводом, а возвратно-поступательное движение он получает от гидравлической системы. Управление станком кнопочное.



Фиг. 43. Вертикальный одношпиндельный хонинг-станок фирмы Хонинг Иквипмент.

Применение хонинг-процесса

В настоящее время хонингование широко применяют при окончательной обработке (доводке) деталей двигателей внутреннего сгорания, паровых машин, компрессоров, холодильных машин, гидравлических цилиндров станков и других механизмов, цилиндров шасси самолета, орудийных стволов и т. п.

Все детали, подвергаемые хонингованию, можно подразделить следующим образом: 1) детали, диаметр отверстия которых больше его длины; 2) детали, у которых длина отверстия в 1,5—2 раза больше его диаметра, и 3) детали, у которых длина отверстия во много раз больше его диаметра. Кроме того, детали двух последних групп можно подразделить на детали со сквозными отверстиями и детали с глухими отверстиями.

Хонингование деталей, диаметр отверстия которых больше его длины. В течение долгого времени

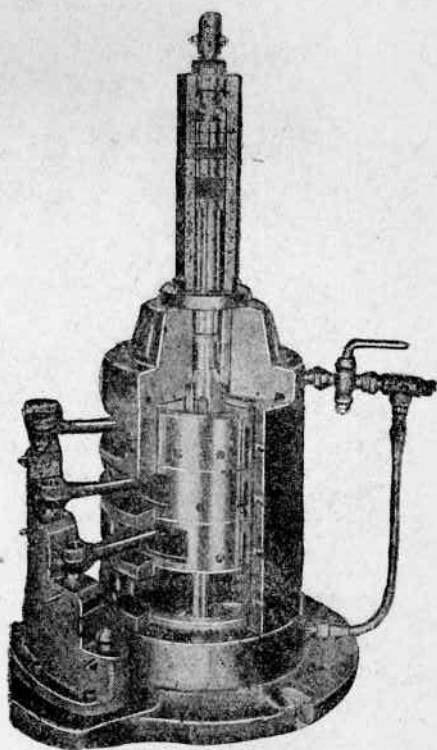
для обработки этих отверстий пытались применять свободные самодцентрирующиеся головки, но получались неудовлетворительные результаты. Поэтому создалось мнение, что короткие детали хонинговать нецелесообразно.

Сравнительно недавно стали применять другой способ, давший вполне удовлетворительные результаты. Этот способ состоит в том, что ось хона при помощи направляющих втулок жестко фиксируют в определенном положении, а обрабатываемую деталь укрепляют в приспособлении так, чтобы не допустить ее поворачивания и дать возможность хону центрировать ее по своей оси. В этом случае требуется весьма простое приспособление, так как деталь, положенную на опорную плоскость, как правило, не требуется даже закреплять. Если несколько опорных плоскостей расположены одна над другой, то в таком приспособлении можно хонинговать несколько деталей одновременно (фиг. 44).

Этот способ с успехом применяют при хонинговании большой головки шатуна автомобильного двигателя. Этим же путем можно обрабатывать главный и прицепной шатуны авиационного мотора. При этом способе для хонингования применяют автоматический хон Микроматик, обрабатывая до 300 деталей в час с точностью до 0,0076 мм.

Другим примером может служить хонингование обойм роликового подшипника с внутренним диаметром 71,2 мм и длиной 44,45 мм.

До хонингования поверхность отверстия и торцы обоймы тщательно шлифуют, оставляя припуск на сторону 0,013—0,01 мм. Обоймы хонингуют по одной. Обойму кладут на плиту нижней части приспособления до соприкосновения с двумя вертикальными штифтами, обеспечивая этим предварительную установку по отношению к шпинделю станка. Затем верхнюю часть приспособления опускают, чтобы ее торец прижал обойму подшипника к нижней части приспособления. После этого хонингуют отверстие автоматическим хонем шестью брусками, обрабатывая до 180 подшипников в час.



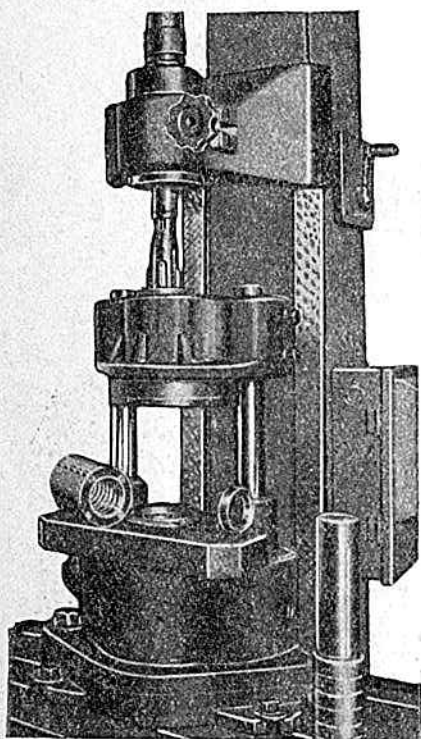
Фиг. 44. Приспособление для одновременного хонингования отверстий в четырех шатунах.

Если длина отверстия значительно меньше диаметра, то хонингуют по несколько деталей одновременно. Примером может служить хонингование обойм роликовых подшипников диаметром 42,86 мм и длиной 9,525 мм. Эти обоймы настолько узки, что было бы чрезвычайно затруднительно избежать получения растрескивания на поверхности при хонинговании каждой обоймы отдельно. Поэтому фирма Микроматик спроектировала приспособление для

хонингования девяти обойм одновременно. Все девять обойм надевают на оправку (фиг. 45 справа) затем сверху на них надевают держатель (фиг. 45, слева). После этого обоймы вместе с держателем снимаются с оправки.

Держатель представляет собой стальной цилиндр с четырьмя направляющими, обработанными соответственно наружному контуру обойм. Длина держателя немного меньше, чем общая длина девяти обойм, поэтому верхняя обойма слегка выступает, когда загруженный держатель помещают на станок. При опускании верхней части приспособления обоймы подшипников прижимаются к основанию приспособления. В данном случае снятие припуска 0,018—0,025 мм на сторону в девяти обоймах отнимает 32 сек., причем одним комплектом брусков можно обработать более 1500 обойм.

Хонингование деталей, у которых длина отверстия в 1,5—2 раза больше его диаметра. Наиболее характерным примером деталей этого типа являются цилиндры



45. Держатель и оправка для хонингования обойм роликовых подшипников.

двигателей внутреннего сгорания и, в частности, автомобильных и авиационных моторов.

Блоки автомобильных цилиндров чугунные. Их обрабатывают в большинстве случаев в два приема: сначала хонингуют предварительно, а затем окончательно, применяя многшпиндельные станки с числом шпинделей, соответствующим числу цилиндров мотора. Блоки однорядных двигателей хонингуют на вертикальных станках, а блоки V-образных двигателей хонингуют либо на специальных V-образных наклонных станках, либо на обычных

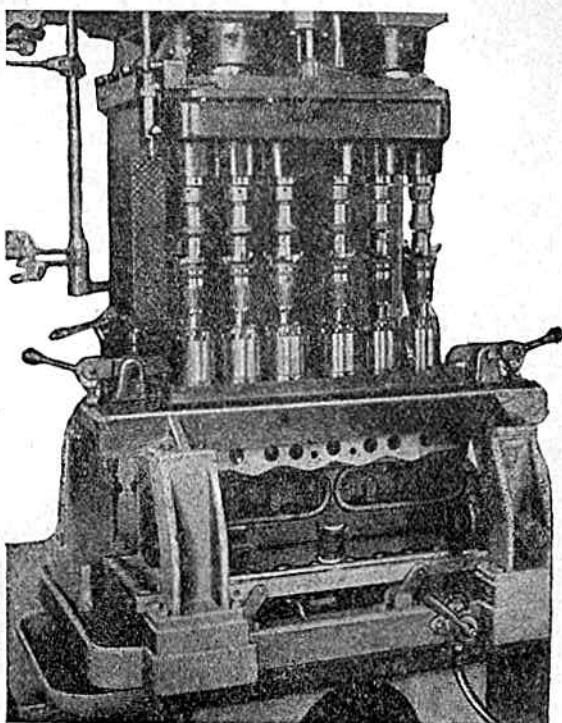
вертикальных, применяя для укрепления блоков качающееся приспособление, причем каждый ряд цилиндров в последнем случае хонингуют последовательно.

На фиг. 46 показано хонингование шестицилиндрового автомобильного блока. Для вертикальной подачи всех шпинделей служит вертикальный гидравлический цилиндр. Блок укреплен в тоннельном приспособлении, устроенном так, что блок подводят с одной стороны, а после обработки выводят с другой. Это приспособление является как бы частью рольганга, так как горизонтальная ось приспособления представляет продолжение оси рольганга, по которому подают блоки. Применяя при этом автоматические хоны, достигают полной автоматизации работы, за исключением установки и снятия блоков.

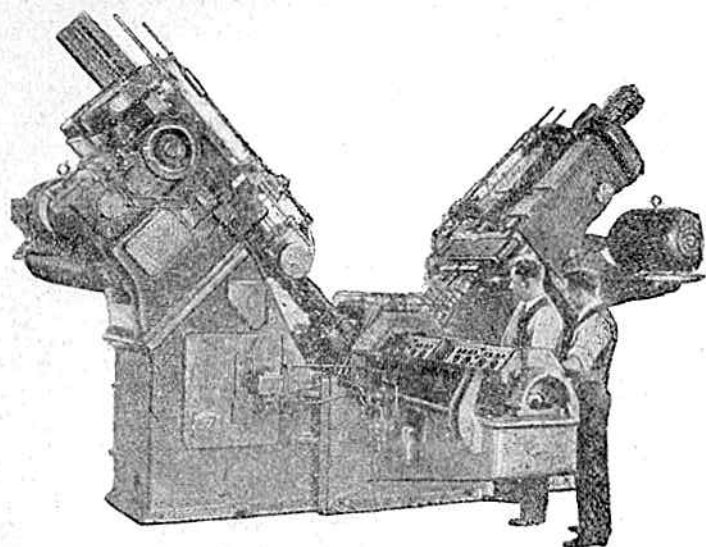
На заводе Форда V-образные восьмицилиндровые блоки хонингуют сразу с обеих сторон на специальном станке Барнес Дрилл с V-образным расположением шпинделей (фиг. 47).

Цилиндры и гильзы авиационных моторов изготовляют из легированной стали, подвергая термической обработке их внутренние поверхности. Эти детали перед хонингованием после термообработки шлифуют.

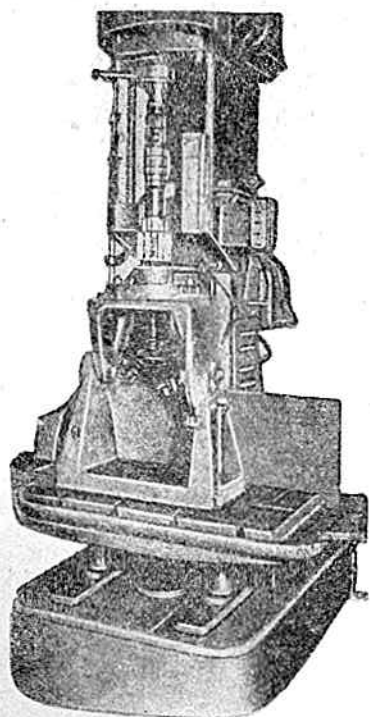
До настоящего времени еще нет установившегося мнения; надо ли для хонингования этих деталей применять одну или две операции (предварительное и окончательное хонингование), — это зависит от чистоты и точности шлифовки и требований, предъявляемых к качеству окончательно обработанной поверхности. В настоящее время применяют оба способа хонингования. Кроме того, при хонинговании цилиндров авиационных моторов приходится обрабатывать отверстия двух видов: цилиндр мотора воздушного охлаждения хонингуют с навернутой головой — глухое отверстие, и гильзы моторов водяного охлаждения — сквозное отверстие.



Фиг. 46. Хонингование шестицилиндрового автомобильного блока.



Фиг. 47. Хонингование V-образного блока цилиндров.

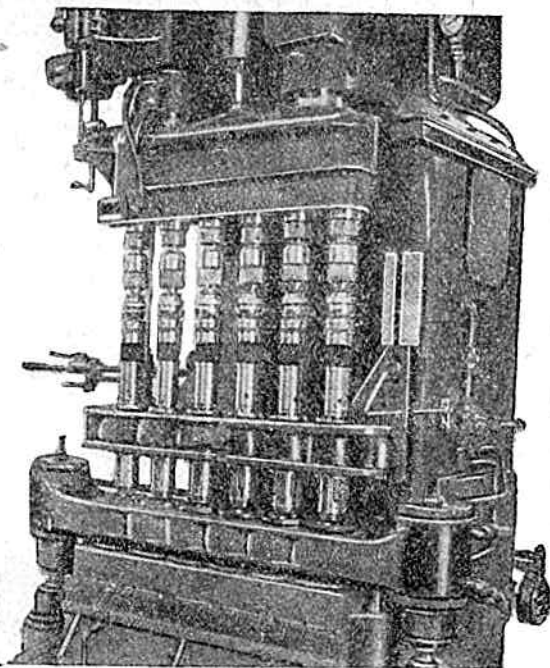


Фиг. 48. Хонингование цилиндра авиамотора воздушного охлаждения.

На фиг. 48 показано хонингование цилиндра авиадвигателя с на-
вернутой головкой (глухое отверстие) на специально настроенном
для этого станке так, что хон задерживается на несколько обо-
ротов у конца отверстия (у головки), при выключенном приводе,
сообщающему хону возвратно-поступательное движение. Продол-
жительность задержки хона у конца отверстия (вернее, число
оборотов) устанавливают экспериментальным путем. Применяемое
приспособление цапфового типа. Верхняя часть его при загрузке
и выгрузке цилиндра поворачивается на 180° .

На конце рабочей
части хона нет тарель-
чатого фланца, кото-
рым обычно снабжают
хоны, применяемые для
обработки сквозных от-
верстий.

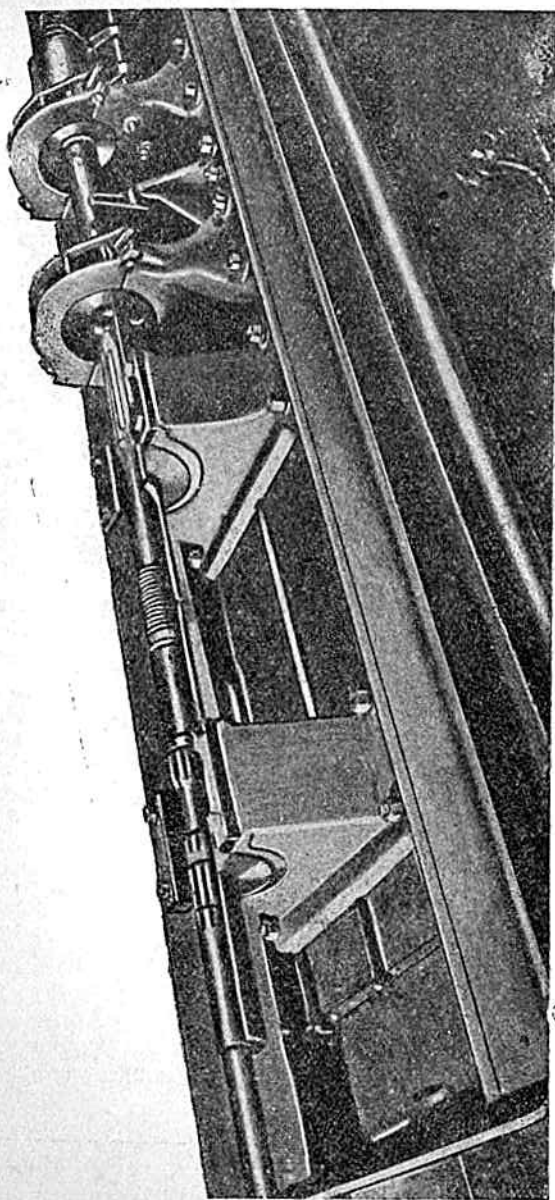
На фиг. 49 показано
хонингование гильз
цилиндров авиационно-
го мотора с водяным
охлаждением на ше-
стишпиндельном стан-
ке Барнес Дрилл. Обра-
ботку производят обыч-
ным способом (сквоз-
ное отверстие) в две
операции. Первые три
шпинделя слева произ-
водят предварительное
хонингование, а осталь-
ные — окончательное.
По окончании обработ-
ки первых трех гильз
на их место ставят
гильзы, прошедшие
предварительное хо-
нингование, а на место последних — гильзы для предвари-
тельного хонингования.



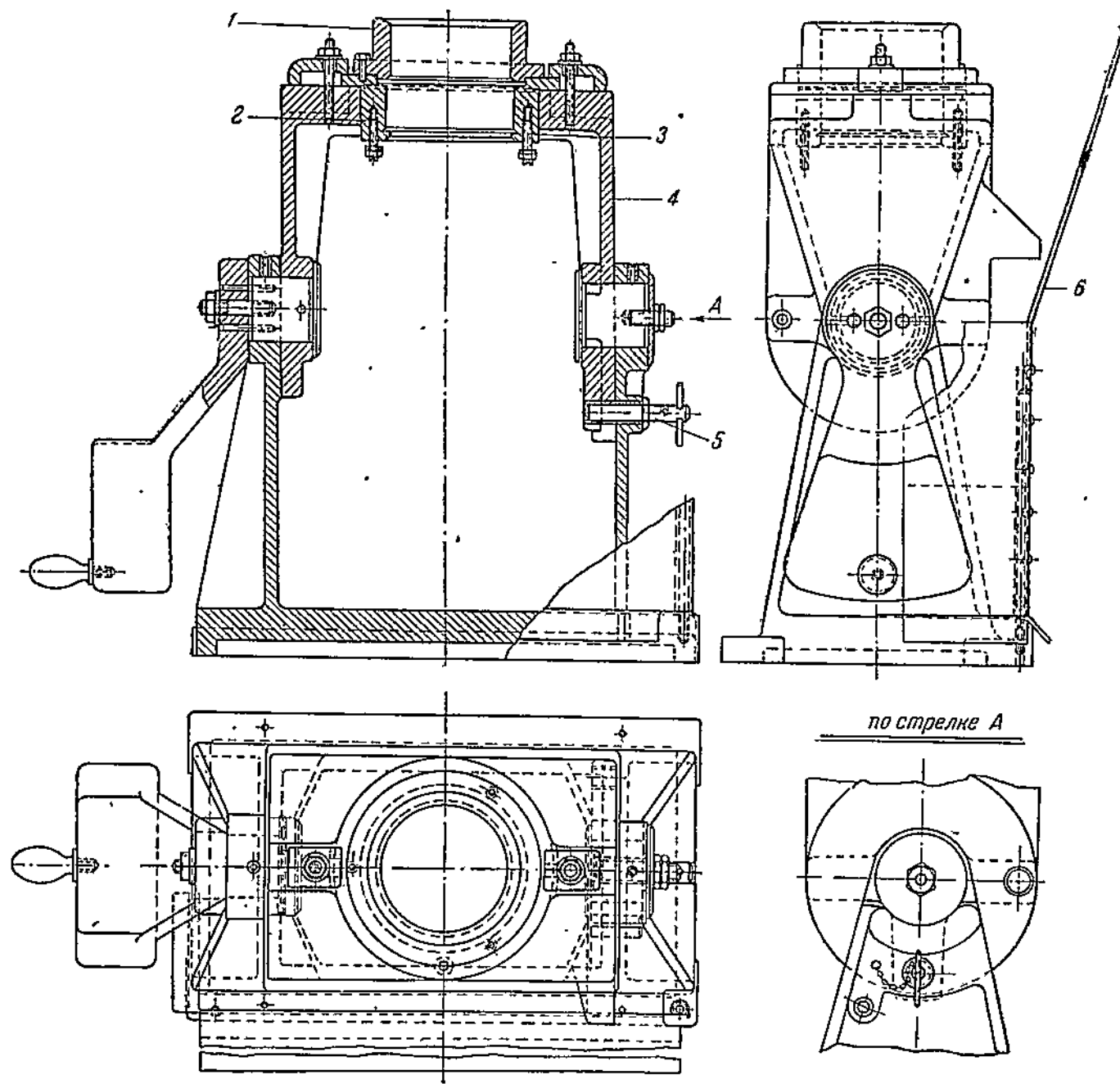
Фиг. 49. Хонингование гильз цилиндров
авиамотора.

Приспособление — гидравлическое. Верхняя плита снабжена
втулками с конусами на концах, которые центрируют и закреп-
ляют гильзы в приспособлении. Гильзы цилиндров очень часто
хонингуют по одной.

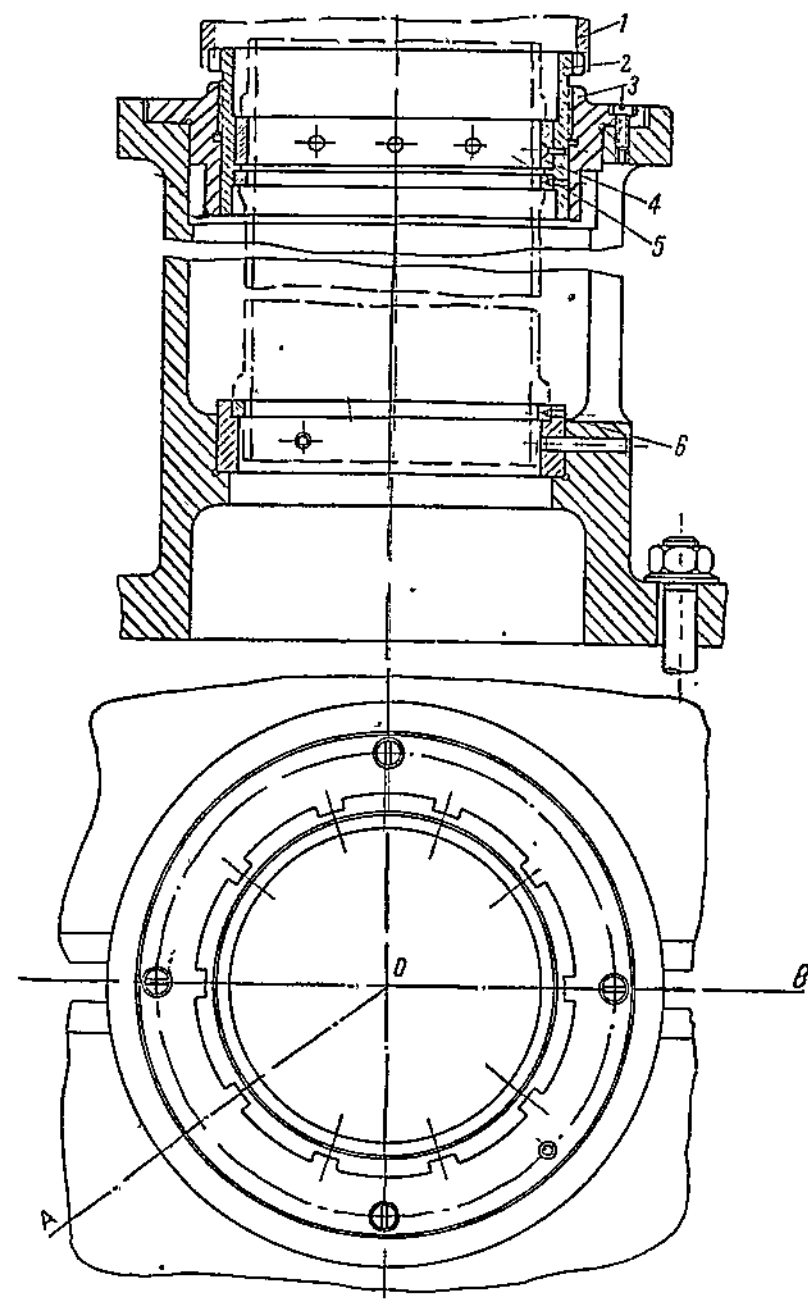
Хонингование деталей, у которых длина от-
верстий во много раз больше его диаметра.
К этой группе относятся гидравлические цилиндры, оружейные
стволы, цилиндры шасси самолета и другие подобные детали.
В этом случае применяют горизонтальные станки (фиг. 50), при-
чем особое внимание необходимо уделять направлению и поддер-



Фиг. 50. Хонингование цилиндра шасси самолета.



Фиг. 51. Приспособление для хонингования цилиндра мотора.



Фиг. 52. Приспособление для хонингования гильзы цилиндра мотора.

живанию хона, в особенности в момент ввода и вывода его из обрабатываемого отверстия.

Поверхности с вырезами также можно успешно хонинговать, хотя ранее считали, что этот способ обработки не дает удовлетворительных результатов, так как острые углы вырезов срезают абразивные бруски. Во избежание этого абразивные бруски берут длиннее и шире, чем вырезы на поверхности детали, с таким расчетом, чтобы бруски могли полностью перекрыть вырезы.

Практика хонингования на отечественных заводах

Хонингование цилиндров и цилиндровых гильз авиационных моторов в настоящее время в подавляющем большинстве случаев производят в одну операцию, получая поверхность, удовлетворяющую предъявляемым требованиям.

В качестве примера рассмотрим хонингование цилиндров авиационного мотора воздушного охлаждения диаметром 155,5 мм и длиной 342 мм, изготовленного из стали ХМА. Внутренняя поверхность цилиндра азотирована и обладает твердостью около $R_c = 80$.

Базой для окончательного внутреннего шлифования цилиндра и для последующего хонингования служат окончательно отшлифованные юбка и торец фланца. Припуск для хонингования составляет 0,05 мм. Хонингуют на станке Барнес Дрилл полуавтоматическим (с установкой от руки) хоном Микроматик. Цилиндр устанавливают и закрепляют в поворотном приспособлении цапфowego типа, являющемся типичной конструкцией фирмы Микроматик. Цилиндр центрируют по наружному диаметру юбки и закрепляют за фланец.

Бруски применяют размером 80×12,5 мм из алунда на олеонитовой связке, зернистостью 400, твердостью BM_2 .

Хон делает 64 об/мин. и 32 двойных хода, т. е. окружная скорость хона 31,3 м/мин, а скорость возвратно-поступательного движения 19,3 м/мин. Перебег брусков 20 мм. Охлаждающая жидкость — керосин. Радиальная подача — 0,001 мм на 10 двойных ходов.

При этих условиях получается гладкая матовая поверхность, имеющая ясно выраженную сетку с внутренним углом скрещивания $63^\circ 20'$ (угол наклона спирали к горизонтальной оси $31^\circ 40'$).

Применяемое при этом приспособление изображено на фиг. 51. При загрузке цилиндра фиксатор 5 вынимают; верхнюю часть приспособления 4 можно повернуть на 180° . Для более удобного измерения обрабатываемой детали верхнюю часть 4 поворачивают вместе с деталью на 90° и удерживают в этом положении специальным упором в виде прилива. Цилиндр укрепляют за фланец при помощи четырех шпилек 3 и центрируют его по наружному диаметру юбки направляющей втулкой 2. Фланец 1 служит для направления хона. Охлаждающую жидкость подводят двумя шлангами, проходящими через стенку фланца 1. Для защиты рабочего от разбрызгивания охлаждающей жидкости служит щиток 6.

После хонингования цилиндр промывают в ванне, содержащей на 1 л воды 35 г эмульсола, 1,5 г жидкого стекла и 0,5 г кальцинированной соды, а затем сушат струей сжатого воздуха температурой 20°.

На этом же заводе прежде стремились получать блестящую зеркальную поверхность, применяя для этого станки Барнес Дрилл с полуавтоматической головкой Микроматик и хонингуя в две операции. Для предварительного хонингования оставляли припуск 0,05 мм, который снимали абразивными брусками 100×12,5 мм из экстра-карборунда на керамической связке с зернистостью 280 и твердостью М₁. Хон делал 363 об/мин. и 40 двойных ходов. Подача составляла 0,003 мм на пять двойных ходов при обильном охлаждении керосином, содержащим 10% машинного масла. Для окончательного хонингования применяли бруски из алунда на холодной связке (олеонитовой) зернистостью 400—500, твердостью ВМ₂. Хон делал 363 об/мин. и 30 двойных ходов. Подача составляла до 0,001 мм на 10 двойных ходов. Деталь обильно охлаждали раствором эмульсола в воде (8%). Перед окончанием обработки на зачистку давали 16 двойных ходов в минуту, оставляя прежнюю скорость вращения инструмента.

От получения блестящей зеркальной поверхности завод впоследствии отказался, так как хонингование в две операции требовало значительно больше времени, чем хонингование в одну операцию, и не давало заметного улучшения поверхности.

Другим примером может служить хонингование стальных гильз цилиндров авиационного мотора жидкостного охлаждения диаметром 148 мм и длиной 265 мм, которые перед шлифованием азотируют. После шлифования гильзу хонингуют, причем припуск составляет 0,02—0,05 мм, эллипсность и конусность не превышают 0,02 мм.

Хонингование производят на одношпиндельном станке фирмы Мейер-Шмидт хоном типа Хутто. Хон снабжен брусками 130×13 мм, делает 150—180 об/мин. и 21 двойной ход, окружная скорость 70—84 м/мин, а скорость возвратно-поступательного движения 8,4 м/мин. Деталь обильно охлаждают пятипроцентной эмульсией. В конце хонингования, чтобы придать поверхности большую гладкость, абразивные бруски поливают машинным маслом из масленки. Этим путем искусственно засаливают бруски и сводят их режущее действие к притиранию.

При обработке применяют приспособление (фиг. 52), в котором гильзу устанавливают торцом нижнего бурта на бронзовое кольцо 6. В верхнюю часть приспособления ввинчивают гайку 2, направляемую кольцом 3. В гайку 2 вставлены текстолитовое кольцо 4, которое центрирует гильзу, и бронзовое кольцо 5, которое прижимает гильзу по торцу.

В верхней части гайки 2 сделано десять прямоугольных пазов для завинчивания ее специальным ключом 1.

Крепление гильзы в этом приспособлении недостаточно надежно, и гильза поворачивается во время обработки, что нарушает

установленное соотношение между скоростью возвратно-поступательного движения и окружной скоростью (по отношению к детали) и изменяет скорость резания.

Хонингование цилиндров автомобильных двигателей. В качестве примера рассмотрим хонингование цилиндров диаметром 101 мм и длиной 213 мм в шестицилиндровом чугунном блоке. Перед хонингованием отверстия развертывают; хонингуют их в две операции на шестипиндельных станках Барнес Дрилл.

Для предварительного хонингования оставляют припуск 0,06—0,10 мм. Хон — автоматический типа Микроматик, снабжен брусками длиной 100 мм из экстра-карборунда зернистостью 120, твердостью C_2 . Хон делает 220 об/мин. и 60 двойных ходов, т. е. окружная скорость 69,8 м/мин, а скорость возвратно-поступательного движения 19,56 м/мин. Перебег брусков 25 мм. Охлаждающая жидкость — керосин. Получаемый при этом внутренний угол скрещивания 33° .

Для окончательного хонингования оставляют припуск 0,01 мм. Хон — автоматический типа Микроматик с брусками длиной 100 мм из экстра-карборунда зернистостью 400, твердостью M_3 . Хон делает 105 об/мин. и 28 двойных ходов, т. е. окружная скорость 33,3 м/мин и скорость возвратно-поступательного движения 9,1 м/мин. Перебег брусков 25 мм. Охлаждающая жидкость — керосин. Внутренний угол скрещивания 31° .

Хонингование отверстия для шейки коленчатого вала в главном шатуне авиационного мотора. Шатун изготовлен из стали 7320, диаметр отверстия для шейки вала 88 мм, длина 70,5 мм. Перед хонингованием отверстие шлифуют. Припуск для хонингования как до хромирования, так и после составляет 0,02 мм. Хонингуют на станке Барнес Дрилл автоматическим хоном Микроматик, направляемым втулкой, с брусками 63×8 мм из экстра-карборунда на керамической связке зернистостью 500, твердостью M_1 . При хонинговании до хромирования и после него хон делает 230 об/мин. и 70 двойных ходов, т. е. окружная скорость 63,5 м/мин, а скорость возвратно-поступательного движения 3,8 м/мин. Перебег брусков 10 мм. Охлаждающая жидкость — смесь керосина с 10% машинного масла. Подача — 0,001 мм на 10 двойных ходов.

После хонингования получается зеркально гладкая поверхность с едва заметной сеткой, имеющей внутренний угол скрещивания $6^\circ 52'$. При обработке для установки и закрепления шатуна применяют приспособление Микроматик, в котором шатун устанавливают на торец обрабатываемого отверстия и удерживают от проворачивания штырем, входящим в отверстие для поршневого пальца, а центрируют хон, вводимым в обрабатываемое отверстие; после этого шатун слегка прижимается по верхнему торцу. Такое крепление позволяет шатуну двигаться в горизонтальном направлении в пределах нескольких сотых миллиметра, что необходимо для равномерного снятия слоя металла.

Хонингование отверстий для пальцев прицепных шатунов. В шатуне имеется 16 отверстий, из которых 8 отверстий диаметром 30,4 мм и 8 отверстий диаметром 29,1 мм; отверстия расположены в двух параллельных плоскостях. Каждые два отверстия (большее и меньшее) расположены на одной оси.

До хонингования отверстия шлифуют, оставляя припуск для хонингования до хромирования 0,02 мм, а для хонингования после хромирования 0,015 мм. Толщина слоя хрома в окончательно обработанном отверстии составляет 0,01 мм. Обработку производят на станке Барнес Дрилл автоматическим ступенчатым хонем Микроматик, хонингуя одновременно два отверстия, расположенные на одной оси (фиг. 53).



Фиг. 53. Хонингование отверстий для прицепных шатунов.

Для хонингования употребляют бруски $15 \times 6,4$ мм, причем при обработке до хромирования берут бруски из экстра-карборунда на керамической связке зернистостью 500, твердостью M_1 , а для обработки после хромирования — из алунда 38 на керамической связке зернистостью 500, твердостью BM_2 . В обоих случаях хон делает 230 об/мин. и 180 двойных ходов, т. е. окружная скорость хона 21,6 м/мин, а скорость возвратно-поступательного движения 3,6 м/мин. Перебег брусков 5 мм, охлаждающая жидкость — керосин с 10% машинного масла. Подача — 0,001 мм на десять двойных ходов. После хонингования получается зеркально-гладкая поверхность с едва заметной сеткой, имеющей внутренний угол скрещивания $18^\circ 56'$.

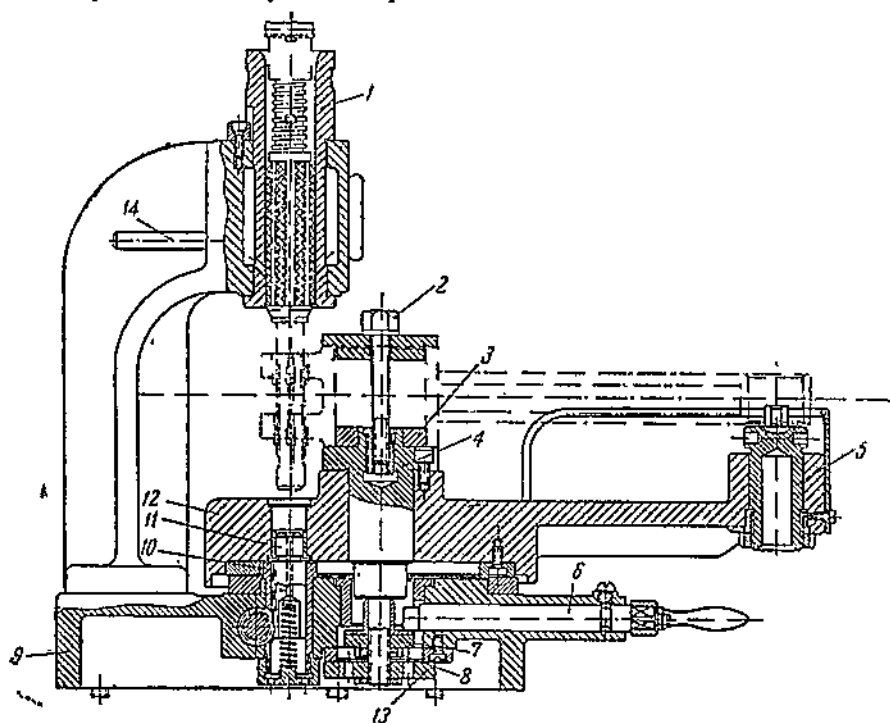
При пользовании приспособлением Микроматик

(фиг. 54) шатун устанавливают по отверстиям для шейки коленчатого вала и для поршневого пальца. Отверстие для шейки коленчатого вала центрируют сменным кольцом 3, а отверстие для поршневого пальца фиксатором 5. Болт 2 прижимает шатун к штырю 4.

Оси хонингуемых отверстий и хона совмещают при помощи фиксатора 11, входящего во втулку 10 верхней плавающей плиты 12. После установки фиксатора во втулке, соответствующей хонингуемому отверстию, поворотом эксцентрика 6 прижимают плиту 12 к основанию. Гайка 7 с контргайкой 8 служит для регулирования прижима плиты 12 к корпусу 9.

Гайка 13 служит для регулирования зазора между верхней плавающей плитой 12 и основанием. Привод эксцентрика ручной, а привод ловителя — ножной. Хон направляется втулкой 1. Охлаждающую жидкость подводят по трубе 14 в кольцевую полость, окружающую направляющую втулку 1; жидкость стекает через ряд отверстий к обрабатываемым в шатуне отверстиям.

Это приспособление не обеспечивало равномерного снятия слоя хрома по следующим причинам:



Фиг. 54. Приспособление Микроматик для хонингования отверстий пальцев прицепных шатунов.

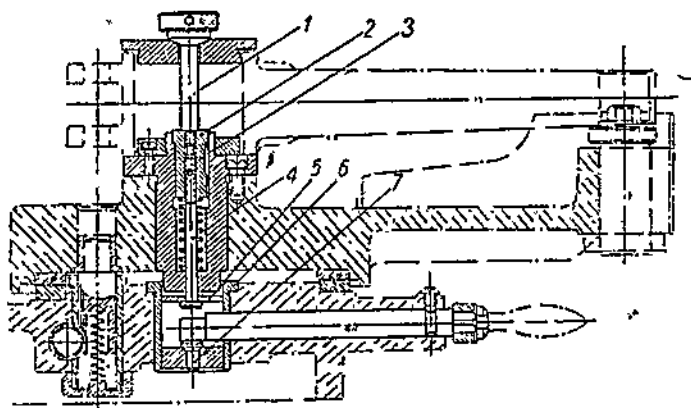
1. Величина зазора между большим отверстием шатуна и центрирующим кольцом, определяемая допуском на обработку большого отверстия ($+0,03$ мм) и гарантийным зазором, в несколько раз превышает толщину слоя хрома в хонингуемых отверстиях (0,01 мм). Поэтому установка шатуна при второй операции (хонингование после хромирования) не может быть идентична с установкой шатуна на первой операции (хонингование перед хромированием).

2. Зазор между фиксатором и втулкой также вызывает некоторое смещение оси хонингуемого отверстия по отношению к оси хона.

3. При затягивании эксцентрика между ним и верхней частью приспособления возникают тангенциальные усилия, сдвигающие

верхнюю плиту в одну сторону в пределах зазора между фиксатором и втулкой.

4. Усилие затягивания эксцентриком действует на некотором плече, создавая опрокидывающий момент, стремящийся перекосить верхнюю плиту приспособления. Этот перекося ограничивается нижней гайкой; если гайка ослаблена, то величина перекося достигает несколько сотых миллиметра (при плече длиной 100 мм). Вследствие этого даже равномерно нанесенный слой хрома снимался неравномерно. Чтобы устранить это нежелательное явление, оказалось необходимым устанавливать шатун при хонинговании по инструменту, т. е. в освобожденный шатун вводить хон и только



Фиг. 55. Изменения конструкции приспособления
Микроматик.

после этого шатун окончательно закреплять; затем пришлось заменить эксцентриковый зажим верхней части приспособления зажимом, действующим строго центрально.

Конструкция приспособления была изменена следующим образом (фиг. 55). При полном затягивании болта 1 он упирается заточкой в гайку 2. Шатун при этом не зажимается, так как длина болта больше высоты шатуна на 0,1 мм. Вследствие зазора между большим отверстием шатуна и центрирующим кольцом (0,5 мм) шатун может свободно перемещаться.

Для уничтожения тангенциальных усилий при затягивании эксцентрика введены детали 5 и 6. Эксцентрик, нажимая на штырь 7, создает равномерный центральный нажим, а тангенциальные усилия воспринимает неподвижная втулка 6. Необходимое смещение верхней части приспособления относительно нижней вследствие разности расстояний от оси большого отверстия до осей хонингуемых отверстий получается за счет зазора между штырем 4 (фиг. 54) и втулкой 6 (фиг. 55), а также за счет зазора между тягой 4 и гнездом 6.

Контрвинт 3 служит для регулирования длины тяги, т. е. силы зажима эксцентрика.

ЛИТЕРАТУРА

- А. П. Соколовский, Основы технологии машиностроения, т. 1, Машгиз, 1938.
- А. И. Каширин, Основы проектирования технологических процессов механических цехов, Машгиз, 1939.
- М. Е. Егоров и В. И. Дементьев, Технологические процессы обработки деталей на металлорежущих станках, Машгиз, 1939.
- Г. Н. Парун-Саркисов, Обработка поверхности деталей авиа-и автодвигателей, ОНТИ, 1935.
- Д. А. Юдович, Доводка отверстий (Honing-process), Оргаметалл, 1936.
- Каталоги фирм Микроматик и Барнес Дрилл, 1934—1935.
- „Авиапромышленность“ № 2 и 7—8, 1937; № 6, 1938.
- „Американская техника и промышленность“ № 11, 1937.
- „Станки и инструмент“ № 7, 1935.
- „Новости техники“ № 4, 1938.
- Machinery, New-York, No. 2, 1936; No. 8, 1937; No. 12, 1939.
- The Machinist, London, vol. 82, No. 52, 1939.
- The Iron Age, vol. 143, No. 2, 1939.
- La machine moderne, сентябрь, 1937.
- Western Machinery and Steel World, vol. 30, No. 5, 1939.
-

III. ЛЕПИНГ-ПРОЦЕСС

Развитие и сущность лепинг-процесса

Лепинг-процесс первоначально начали применять в металлообрабатывающей промышленности при изготовлении инструмента.

В инструментальных цехах для повышения точности и улучшения качества рабочих поверхностей мерительного и режущего инструмента издавна применяли притирание этих поверхностей. Для этого или зажимали обрабатываемую деталь в державке и, держа ее в руке, водили притираемой поверхностью по чугунной или медной плите (притиру), или, наоборот, закрепив неподвижно деталь, водили по ней притиром. При обработке наружных цилиндрических поверхностей калибра его зажимали в патроне токарного станка и доводили (притирали) плоским медным или чугунным бруском.

В дальнейшем для притирания наружных цилиндрических поверхностей вместо плоских притиров начали применять регулируемые кольца и колодки (жимки) из чугуна, меди, свинца, бронзы, баббита, сурьмы, а для притирания внутренних цилиндрических поверхностей — регулируемые оправки из чугуна, меди, бронзы и т. п.

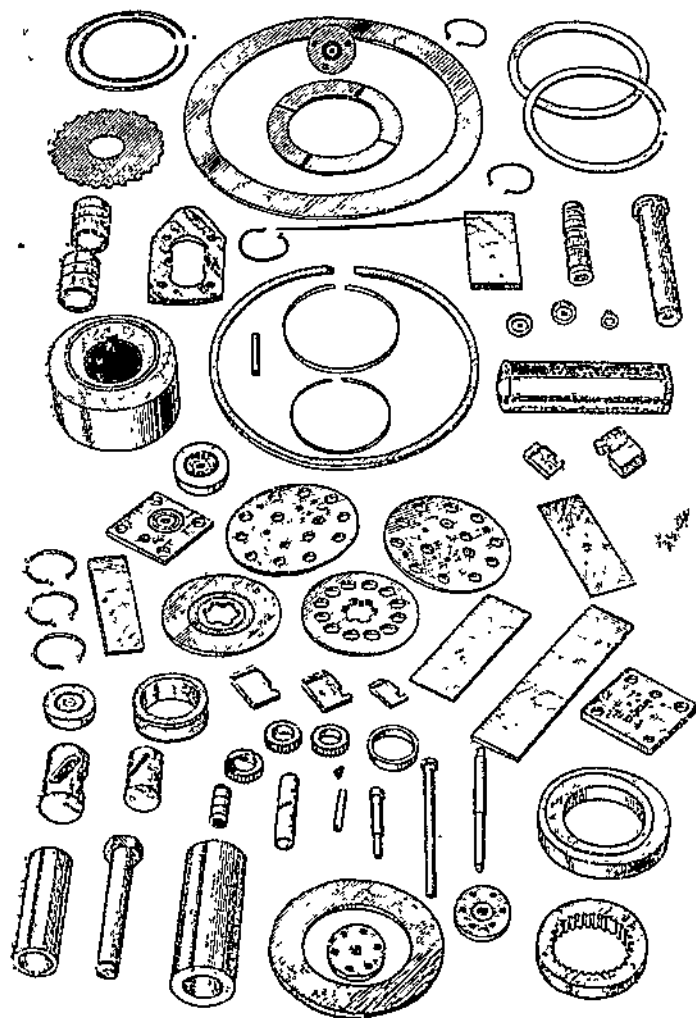
В качестве притирочных средств стали употреблять абразивные порошки и специальные пасты.

При дальнейшем развитии совершенствовали притиры и притирочные средства. В настоящее время при массовом производстве инструмента широко применяют доводку (притирание) инструмента на специальных притирочных станках и приспособлениях, пользуясь при этом разнообразными притирочными средствами.

В машиностроении лепинг-процесс первоначально стали применять в автотракторной промышленности для окончательной доводки цилиндров двигателей, так как шлифование не давало надлежащего качества поверхности. В качестве притира при лепинг-процессе первоначально пользовались фальшивым поршнем, который покрывали слоем абразивной пасты, вводили в цилиндр и сообщали притиру одновременно возвратно-поступательное и вращательное движение. Чтобы улучшить качество поверхности, поршень-притир стали разрезать по оси и регулировать винтом его диаметр. Наряду с созданием более совершенных притиров

и притирочных средств развивалось конструирование специальных станков.

Лепинг-процесс находит применение и в других отраслях машиностроения (авиамоторостроение, дизелестроение) и не только



Фиг. 1. Детали, обрабатываемые лепинг-процессом.

для притирания отверстий, но и для притирания наружных поверхностей самых разнообразных форм, включая рабочие поверхности зубьев шестерен. В настоящее время лепинг-процесс применяют в различных отраслях промышленности для притирания наружных и внутренних, плоских, цилиндрических, конических и сферических поверхностей (фиг. 1).

Характерной особенностью лепинг-процесса, отличающей его от всех остальных процессов механической обработки, в частности от процессов, применяемых при окончательной обработке поверхностей, является инструмент.

Инструментом здесь являются притиры самых разнообразных форм, зависящих от конфигурации обрабатываемых деталей. Притиры делают из чугуна, бронзы, красной меди, свинца, сурьмы, баббита и специальных сортов дерева.

Притирочными составами являются различные абразивные порошки (крокус, венская известь, окись хрома, трепел, наждак, корунд и др.), смешанные с различными связывающими их жидкостями (керосин, оливковое масло, скипидар, стеариновая кислота и пр.) и имеющие вид пасты. Эту пасту наносят на притир и сообщают ему движение относительно обрабатываемой детали, одновременно надавливая притиром на деталь. В большинстве случаев поверхность притира делают мягче, чем обрабатываемая поверхность, поэтому поверхность притира шаржируется (насыщается) абразивным порошком, входящим в состав пасты.

Вследствие давления на шаржированный притир происходит срезание мельчайших частиц металла с обрабатываемой поверхности. Удаление металла в зависимости от состава пасты происходит либо только механическим путем (резание абразивными зёрнами), либо химико-механическим. В последнем случае кислоты, входящие в состав паст, образуют на обрабатываемой поверхности окислы в виде пленок, которые срывает абразивный порошок.

Материал притира, а также притирочную пасту выбирают в зависимости от твердости обрабатываемой поверхности, величины снимаемого припуска и требований, предъявляемых к обрабатываемой поверхности.

Качество поверхности зависит не только от притира и пасты; на производительность обработки оказывает влияние характер движений детали и притира, скорости этих движений и соотношение между этими скоростями.

Под действием отдельных движений обрабатываемой детали и притира зерна абразива перемещаются относительно обрабатываемой поверхности. Траектория этого движения направлена по спирали, угол которой зависит от соотношения скоростей движения притира и обрабатываемой детали. Соотношение между числом движений притира и детали должно быть таким, чтобы абразивное зерно при каждом повторном движении не проходило по уже раз пройденному пути. Это способствует получению поверхности высокого качества (с малой высотой и шагом гребешков), покрытой мельчайшей сеткой, представляющей следы движений абразивных зерен относительно обрабатываемой поверхности.

Поверхность перед лепингованием должна быть предварительно хорошо обточена, или отшлифована, или обработана разверткой, так как лепинг-процесс весьма незначительно исправляет геометрию поверхности, а только улучшает ее качество.

Вследствие этого поверхность, подлежащая лепингованию, должна быть обработана настолько точно в отношении овальности, конусности, бочкообразности, насколько этого требуют технические условия. Поэтому припуск, оставляемый для обработки лепинг-процессом наружных цилиндрических поверхностей, составляет 0,005—0,02 мм на диаметр, что достаточно только для улучшения качества поверхности, но не для исправления ее геометрии.

В тех случаях, когда предыдущая операция не обеспечивает требуемой точности в отношении геометрии поверхности и лепинг-процесс является единственным методом окончательной обработки этой поверхности, оставляют больший припуск (доходящий до 0,1 мм) и применяют предварительное и окончательное лепингование.

В качестве технических показателей, определяющих качество поверхности и поверхностного слоя после лепинг-процесса, можно привести следующие данные («The Iron Age», т. 142, № 9, 1938).

Высота гребешков	0,0000762—0,000254 мм
Шаг	0,00254—0,0254 мм
Окружная скорость	6,1—30,5 м/мин
Подача	0,0000254—0,000254 мм/мин
Толщина слоя металла, снимаемого режущей точкой инструмента за один проход	0,00254—0,0254 мм
Давление резания	0,7—3,51 кг/см ²
Повышение температуры обрабаты- ваемого металла в точке резания	3,8—38°
Толщина поверхностного слоя изде- лия, деформированного обработ- кой	0,00025—0,0025 мм

По данным ЭНИМС при обработке лепинг-процессом наружных плоскостей и поверхностей криволинейной формы деталей из черных металлов получается матовая поверхность правильной формы с гребешками высотой 0,0002—0,0003 мм, причем наружный слой мало истирается и представляет однообразную поверхность с небольшими отдельными порами и остатками тонкого абразива. Точность обработки соответствует 1-му классу и выше (0,002—0,003 мм на диаметр).

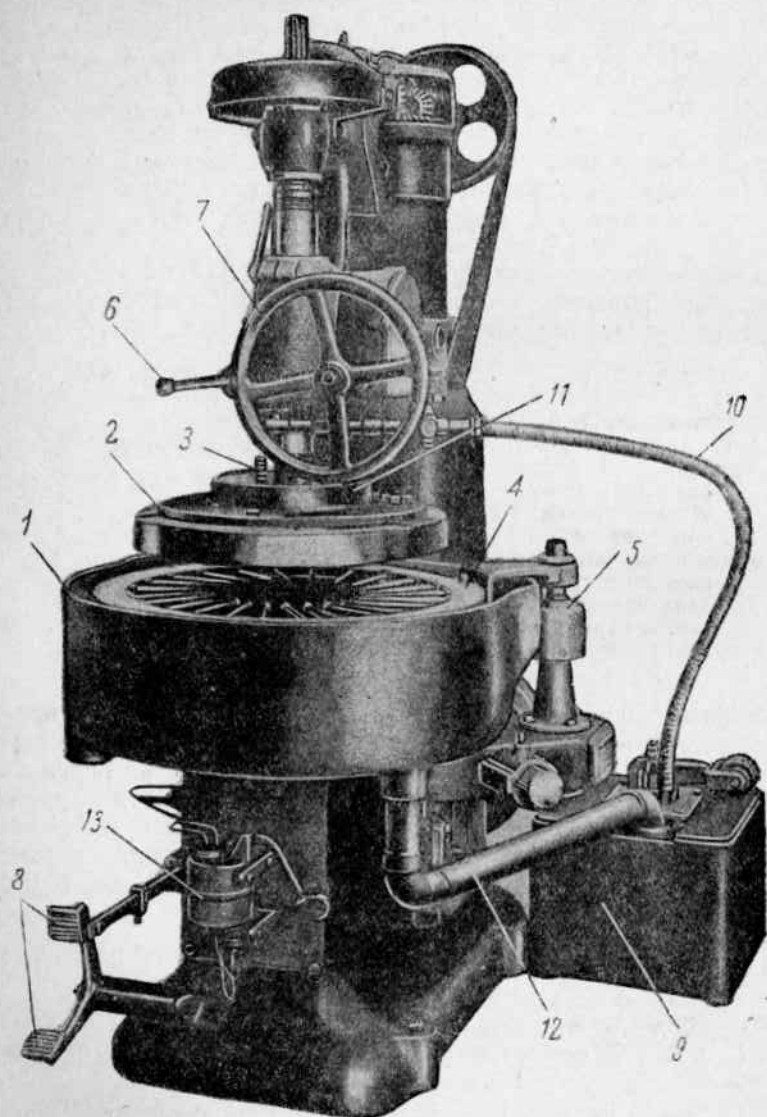
Станки для лепинг-процесса

Конструкция станков для лепинг-процесса зависит от обрабатываемых деталей. Наиболее распространены следующие притирочные станки:

1) станки для притирания плоских и цилиндрических поверхностей различных деталей (торцов поршневых колец и колец шарикоподшипников, цилиндрических поверхностей, поршневых пальцев, стержней клапанов и т. п.);

2) станки для притирания шеек коленчатых валов авто- и авиадвигателей;

3) станки для притирания шестерен.



Фиг. 2. Притирочный станок БСА.

Притирочный станок БСА. По своей конфигурации этот станок (фиг. 2) напоминает вертикально-сверлильный станок, но имеет уширенную среднюю часть, где помещены притирочные круги с кожухом 1, собирающим притирочную жидкость.

Нижний круг закреплен на шпинделе жестко, а верхний 2 может самоустанавливаться параллельно нижнему кругу, так как в середине имеется опорный шарик и болты с пружинами 3. Это необходимо потому, что диаметры кругов сравнительно велики и трудно достигнуть абсолютной перпендикулярности шпинделей поверхностей кругов.

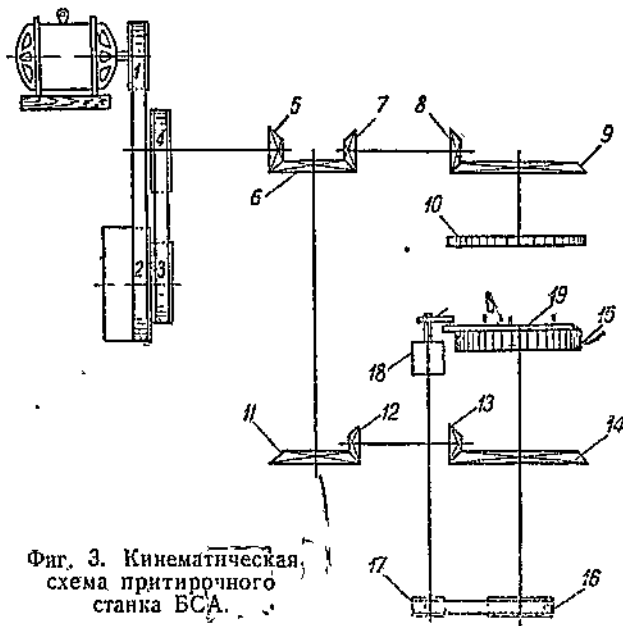
Для удерживания деталей между двумя кругами имеется деталь-держатель 4, который приводится в движение эксцентриком 5, чтобы сообщать деталям соответствующее перемещение между поверхностями кругов. Для удобства укладки деталей верхний круг с консолью можно отвести в сторону, повернув рукоятку 6. Верхний круг подводят к нижнему маховиком 7.

Для включения и выключения станка (перевод фемня) служит педаль 8.

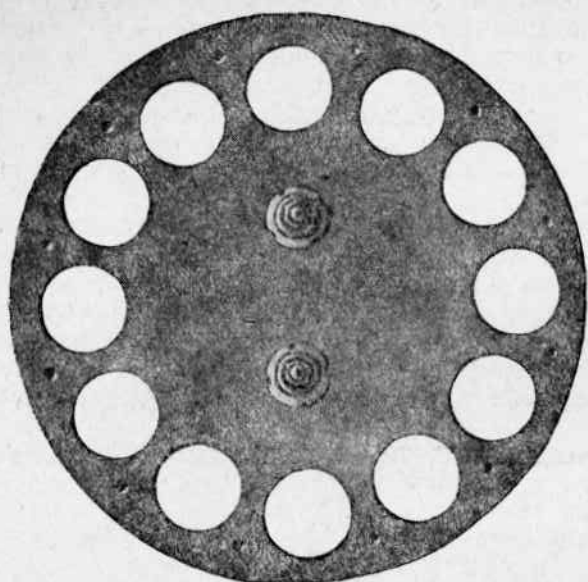
Притирочная жидкость из бака 9 по шлангу 10 поступает к отверстиям в середине планшайбы с буртом 11, через которые она попадает на обрабатываемые детали. Обрато в бак жидкость стекает по трубопроводу 12. Резервуар 13 служит для централизованной смазки станка.

Описание кинематической схемы притирочного станка фирмы БСА. Кинематическая схема станка состоит из трех цепей (фиг. 3): 1) цепи вращения верхнего круга-притира, 2) цепи вращения нижнего круга и 3) цепи, приводящей в движение эксцентрик.

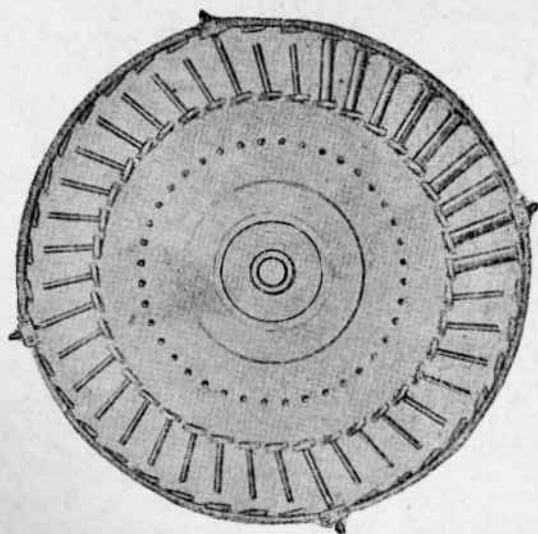
Цепь вращения верхнего круга. Вращение шкива 1 мотора, делающего 980 об/мин., передается ступенчатому шкиву 2, откуда со ступени 3 вращение передается шкиву 4, который укреплен на одном валу с шестерней 5. Шестерня 5 приводит во вращение шестерню 6, которая в свою очередь вращает шестерню 7. Шестерня 7, укрепленная жестко на одном валу с шестер-



Фиг. 3. Кинематическая схема притирочного станка БСА.



Фиг. 4. Деталедержатель для поршневых колец.

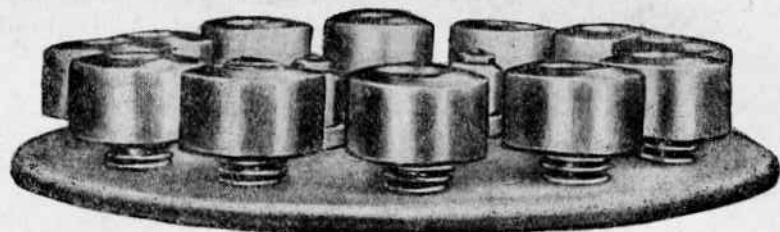


Фиг. 5. Деталедержатель для поршневых пальцев.

ней 8, вращает шестерню 9, откуда вращение передается верхнему кругу 10.

Цепь вращения нижнего круга. Шестерня 6 укреплена жестко на одном валу с шестерней 11, которая передает вращение шестерне 12, укрепленной на одном валу с шестерней 13 и вращающей шестерню 14, откуда вращение передается нижнему притирочному кругу 15.

Цепь вращения эксцентрика. Шестерня 14 укреплена на одном валу со шкивом 16, вращение которого передается через ремень шкиву 17 и далее эксцентрику 18, который приводит в движение деталедержатель 19 посредством специальной серьги.



Фиг. 6. Деталедержатель для притирания торцов клапанов насоса.

Верхний и нижний круги вращаются в одну сторону, причем верхний круг делает 75 об/мин., а нижний 66 об/мин. Валик с эксцентриком делает 63 об/мин.

Держатели для плоских и цилиндрических деталей представляют собой диски из листового железа, снабженные рядом сквозных отверстий — пазов, форма и размеры которых зависят от обрабатываемой детали (фиг. 4—6).

При конструировании держателя надо увязать положение обрабатываемых деталей с выбранным эксцентриситетом так, чтобы детали охватывали всю рабочую поверхность доводочных кругов.

При обработке цилиндрических деталей с отверстием, например поршневых пальцев, целесообразной является конструкция держателя со штифтами, на которые надевают детали (фиг. 5). Эти штифты обычно делают сменными, чтобы можно было обрабатывать пальцы различных размеров.

Гнезда в деталедержателе делают по размерам детали с небольшим зазором. Детали располагают по всей окружности держателя, причем оси деталей не должны быть направлены по радиусу, а несколько наискось по касательной к некоторой окружности, описанной вокруг центра обоймы. Центр держателя не совпадает с осью вращения притирочных кругов; его устанавливают с некоторым эксцентриситетом посредством эксцентрикового механизма станка, связанного с деталедержателем. При вращении дисков детали получают не только вращательное движение, но и

небольшие возвратно-поступательные перемещения вдоль своих осей. Во время притирания детали не только катаются между кругами, но одновременно, вследствие разности скоростей кругов, скользят относительно их рабочих поверхностей. Это проскальзывание обуславливает процесс притирания.

Для сообщения движения детали держателю величину эксцентриситета l выбирают в зависимости от длины притираемой детали и ширины поверхности притирочного круга (фиг. 7). В результате движений притиров и обрабатываемой детали на ее поверхности получается мелкая сетка (фиг. 8).

Притирочные круги обычно изготавливают из чугуна.

Станок для притирания шеек коленчатого вала. На наших автотракторных заводах для притирания шатунных и коренных шеек коленчатого вала

чаще всего пользуются станками Нортон (фиг. 9), на которых можно притирать все коренные и шатунные шейки коленчатого вала одновременно.

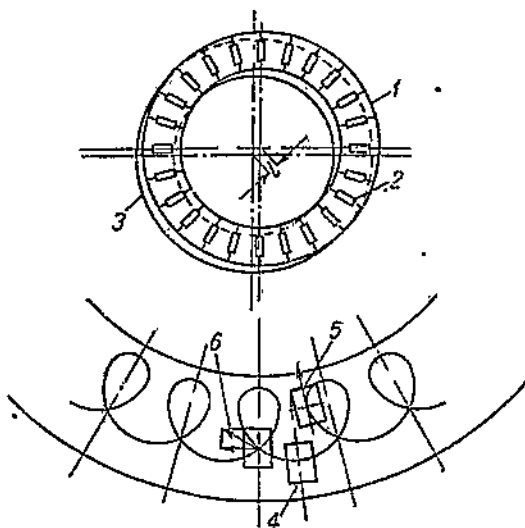
Характерные особенности этого станка следующие:

1) наличие механизма, сообщающего возвратно-поступательное движение коленчатому валу;

2) наличие в задней бабке гидравлического устройства, поднимающего и отводящего центры при установке и снятии коленчатого вала, и компенсатора возвратно-поступательного движения;

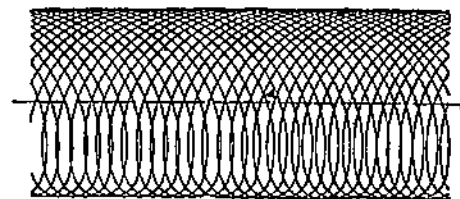
3) наличие приспособления, облегчающего и ускоряющего установку коленчатого вала.

Станок состоит из тяжелой станины коробчатого сечения, на которой установлены передняя и задняя бабки, приводной мотор и качающаяся рама. Передняя бабка жестко закреплена. Закален-

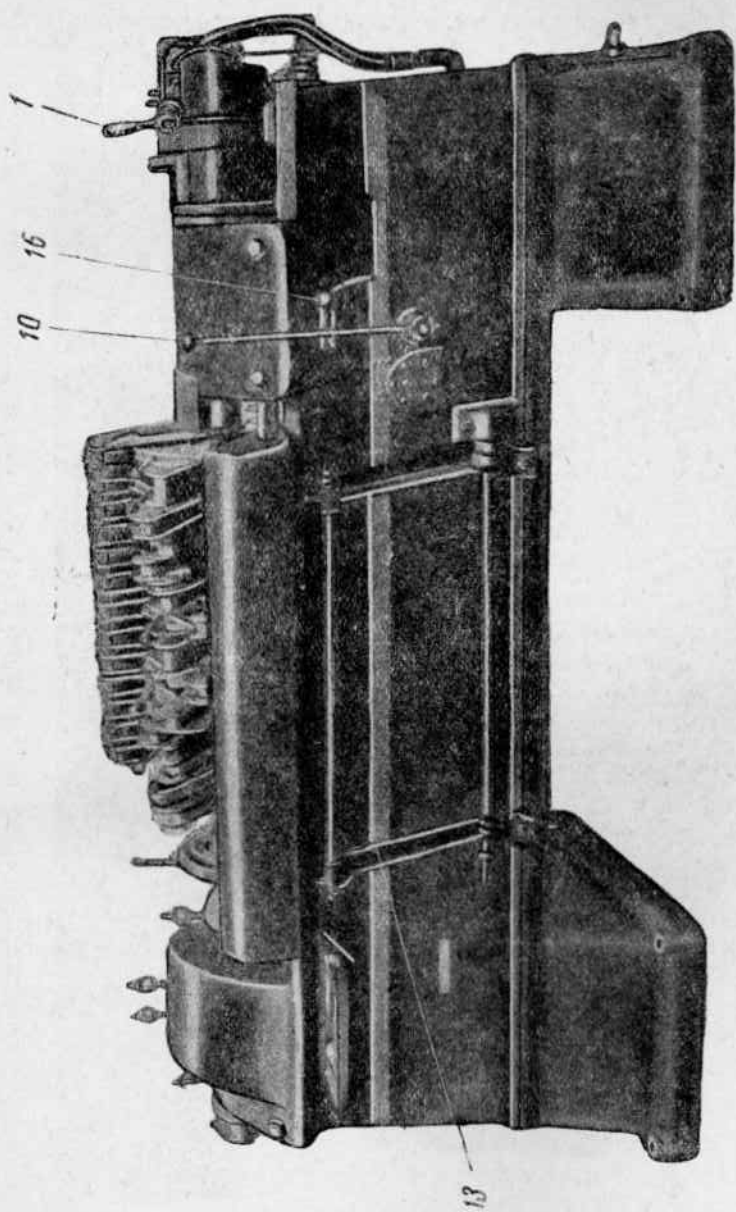


Фиг. 7. Схема движения притираемой детали.

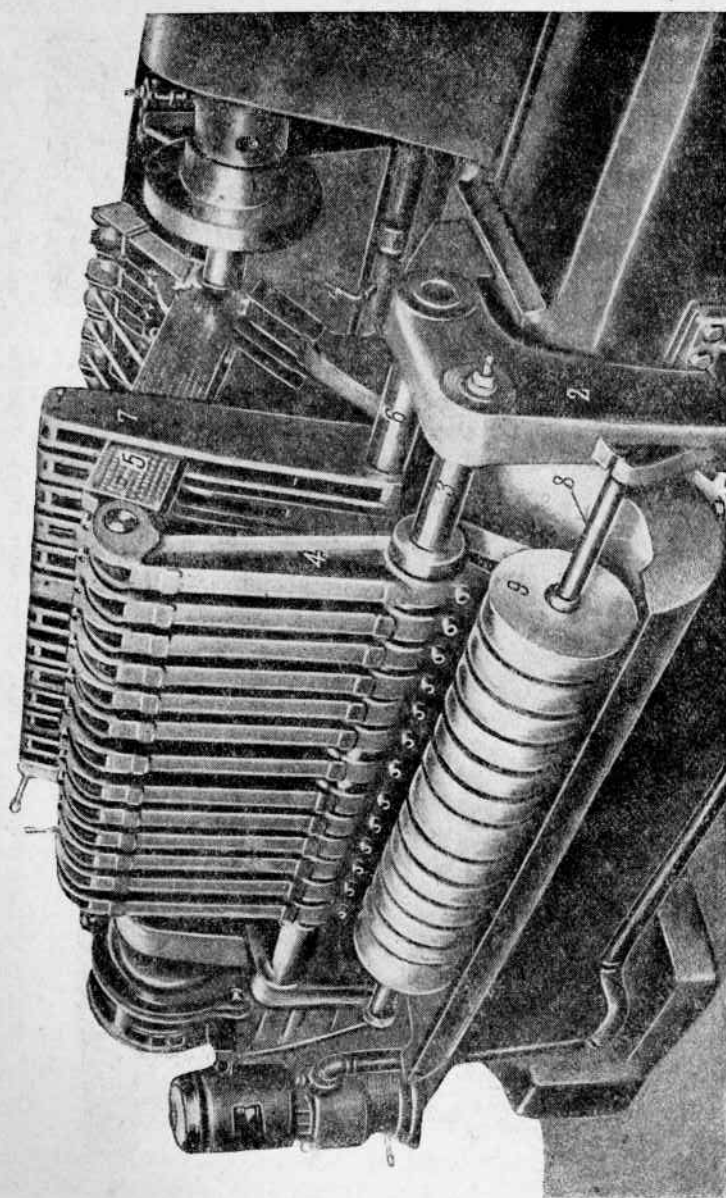
1—деталедержатель; 2—деталь; 3—притирочный круг; 4—только вращение под влиянием тангенциального усилия, сообщаемого притирочным кругом; 5—только скольжение вдоль оси детали; 6—вращение и скольжение под действием тангенциального усилия, сообщаемого кругом и перемещением держателя.



Фиг. 8. Сетка на поверхности притираемой детали.



Фиг. 9. Станок Нортон для притирания шеек коленчатого вала (вид спереди).



Фиг. 10. Станок Нортон для притирания шеек коленчатого вала (вид сзади).

ный, отшлифованный и притертый шпиндель задней бабки вращается в бронзовых подшипниках. Он снабжен поводковым фланцем, при помощи которого вращательное движение передается притираемому коленчатому валу. Шпиндель снабжен специальным механизмом, который сообщает ему возвратно-поступательное движение, передающееся притираемому коленчатому валу в направлении его оси. Задняя бабка может перемещаться вдоль направляющих станины, что дает возможность устанавливать ее в зависимости от длины обрабатываемого вала. Для подвода и отвода шпинделя с центром задней бабки при креплении детали служит гидравлическое устройство, поршень которого давит на пружину, нажимающую на центр. Это дает возможность центру поддерживать изделие, когда оно помимо своего вращения совершает возвратно-поступательные движения вдоль оси. Рукоятка, / управления гидравлическим устройством помещена сверху на корпусе цилиндра.

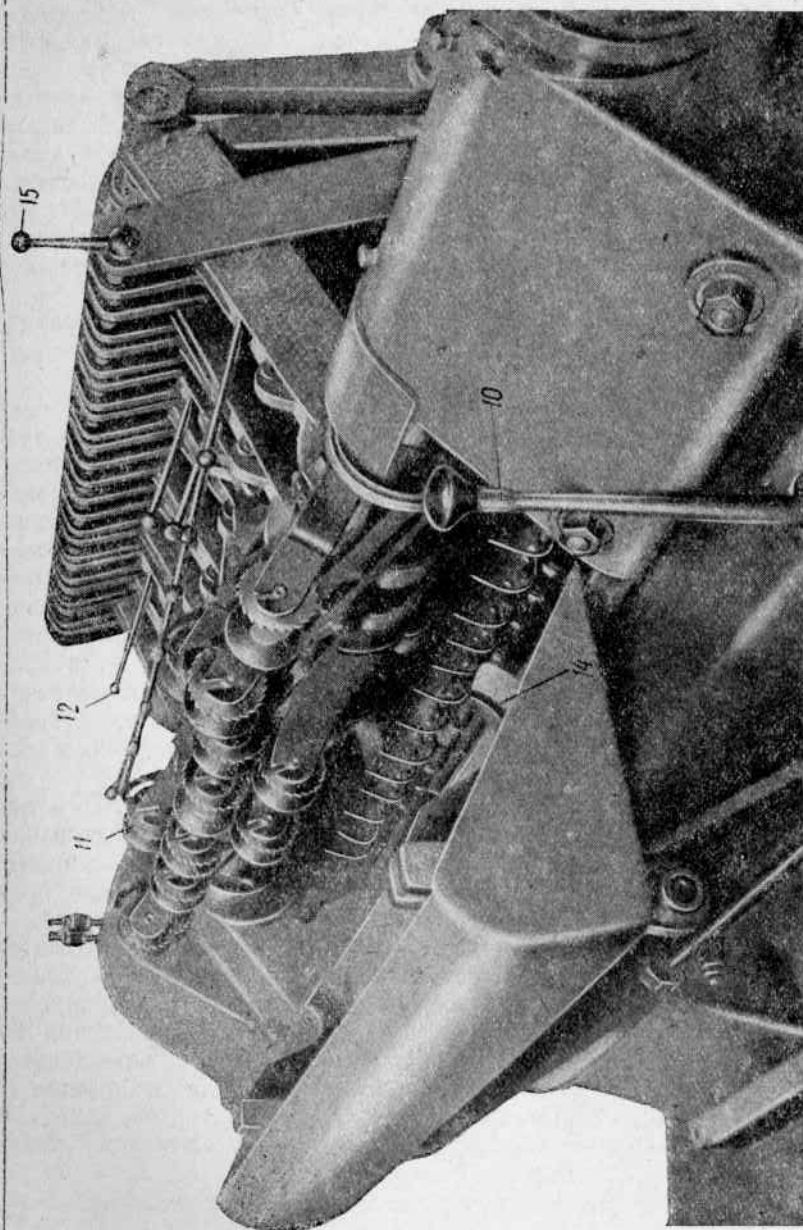
Качающаяся рама 2 (фиг. 10), поддерживающая рычаги с притирами, расположена на задней стороне станины станка. На ней укреплен вал 3, на котором смонтированы рычаги 4 с держателями 5 притиров, затем второй вал 6, на котором находятся направляющие 7 держателей, и валик 8 с помещенными на нем катушками 9 бумажной абразивной ленты. Подъем и опускание рамы осуществляются при помощи гидравлической системы, управляемой рукояткой 10 (фиг. 11), расположенной на передней стороне станка. Каждый держатель притира имеет по две колодки, которые охватывают поверхность, подлежащую обработке, плотно прижимая абразивную ленту, проходящую между колодками и притираемой поверхностью. Кроме этого на каждом держателе укреплены при помощи кронштейнов катушки 11 с храповиком и собачкой.

Эти храповики дают возможность наматывать и закреплять абразивную ленту на катушках таким образом, чтобы притирание каждой шейки коленчатого вала, поступающего на станок, производилось не бывшей в употреблении лентой. Каждую пару притирочных колодок прижимают к поверхности шейки вала отдельные эксцентриковые зажимы, расположенные на каждом держателе притиров. Эти зажимы приводят в действие рукоятками 12.

Для установки и снятия изделия имеется специальное приспособление 13 (фиг. 9), представляющее раму с двумя цапфами на одной стороне, входящими в гнезда кронштейнов, прикрепленных на передней стороне станины. На другой стороне рамы помещены два подвижных рогаобразных захвата 14 (фиг. 11), на которые кладут изделие. При установке или снятии изделия раму поворачивают вокруг оси цапф.

Станок Нортон (модель 40) характеризуется следующими данными:

Максимальная длина обрабатываемых коленчатых валов	1219 мм
Максимальный диаметр обрабатываемой шейки	82,5 .



Фиг. 11. Станок Нортон для притирания шеек коленчатого вала (вид сверху).

Максимальная длина обрабатываемой шейки	114,3 мм
Минимальная длина шейки	19 "
Максимальный диаметр окружности, описываемой точкой коленчатого вала, наиболее удаленной от его оси вращения	406,4 "
Мощность мотора	5 л. с.
Число оборотов мотора	1200 об/мин.
Высота станка	1371,6 мм
Площадь, занимаемая станком	1422,4×2641,6 мм

Станок завода «Комсомолец» для притирания шестерен, тип 573, выпущен в 1939 г. Этот станок (фиг. 12) служит для притирания рабочих поверхностей профиля зубьев термически обработанных шестерен с прямым и винтовым направлением зубьев.

Характерными особенностями станка являются:

- 1) возможность смещать оси притиров под углом к притираемой шестерне;
- 2) наличие гидравлического тормоза для нагрузки притираемой шестерни;
- 3) возможность автоматически регулировать продолжительность процесса.

Кинематика станка состоит из цепи вращения детали, цепи возвратно-поступательного движения стола и цепи вращения барабана механизма управления.

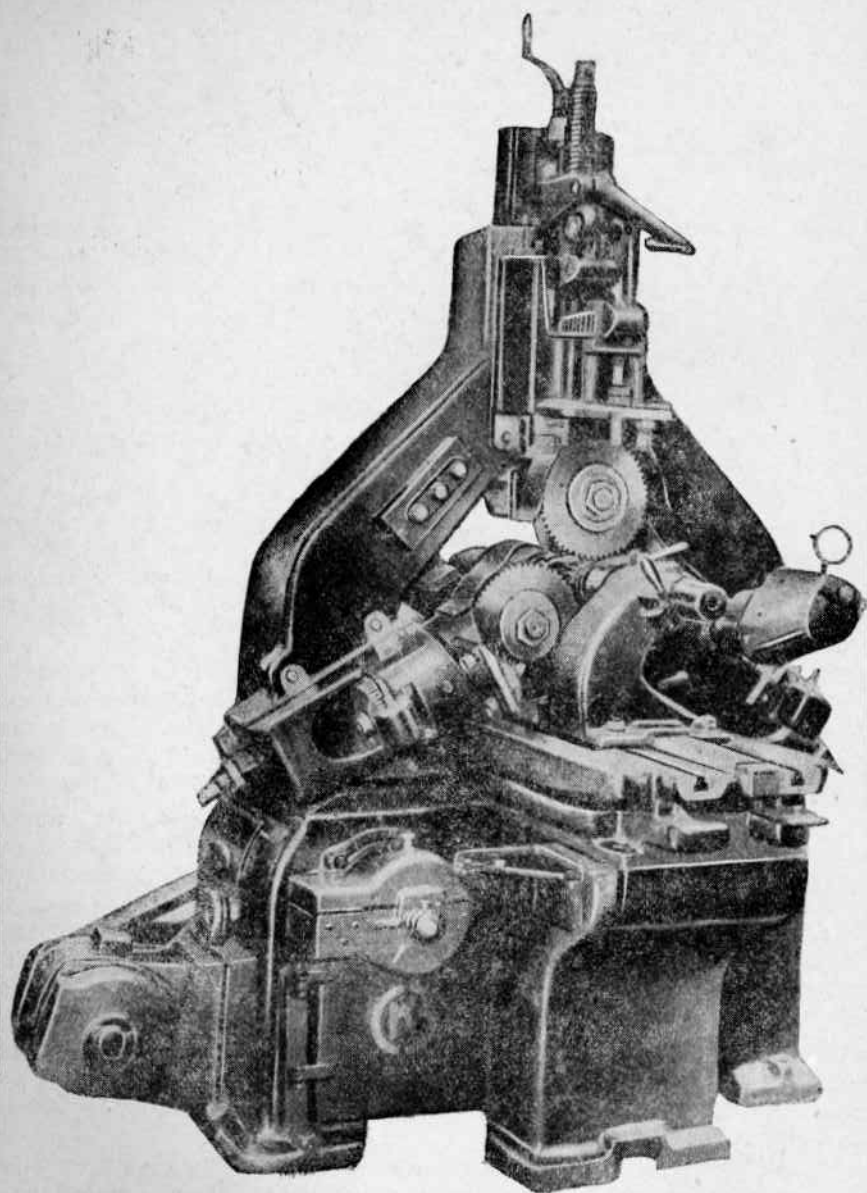
Цепь вращения изделия. От мотора, делающего 960 об/мин., посредством шкива с трапециoidalными ремнями вращение передается валу, который через пару цилиндрических шестерен, сменные колеса, цепную передачу с зубчатками и шестерни сообщает вращение шпинделю обрабатываемой шестерни.

Скорость вращения детали изменяется посредством шести сменных шестерен, меняя положение которых на валах можно получить шесть различных скоростей вращения обрабатываемой шестерни.

Цепь возвратно-поступательного движения стола. Вращение через шестерни, сменные шестерни, конические шестерни передается шестерне с кривошипным механизмом, от которого стол получает возвратно-поступательное движение.

Число возвратно-поступательных ходов стола в минуту изменяют путем перестановки восьми сменных шестерен, дающих восемь различных чисел ходов стола. Величина хода стола может меняться от 0 до 100 мм.

Вращение барабана механизма управления. Вращение вала 20 посредством цепной передачи передается валу планетарного механизма, на котором закреплена шестерня 21. Эта шестерня приводит во вращение сателлитную шестерню 22, которая вынуждена обкатываться по зубчатому венцу 23. Обкатываясь, сателлит приводит во вращение шестерню 24, свободно



Фиг. 12. Станок завода „Комсомолец“ для притирания шестерен.

сидящую на валу планетарного механизма. Шестерня приводит во вращение скрепленный с ней барабан, на торцах которого закрепляют кулачки, переключающие направление вращения шпинделя и останавливающие станок. От места расположения кулачков зависит время притирания.

Притиры, закрепленные на свободно вращающихся осях, не имеют жесткого кинематического соединения с делительным механизмом. Во время работы они получают вращение от притираемой шестерни.

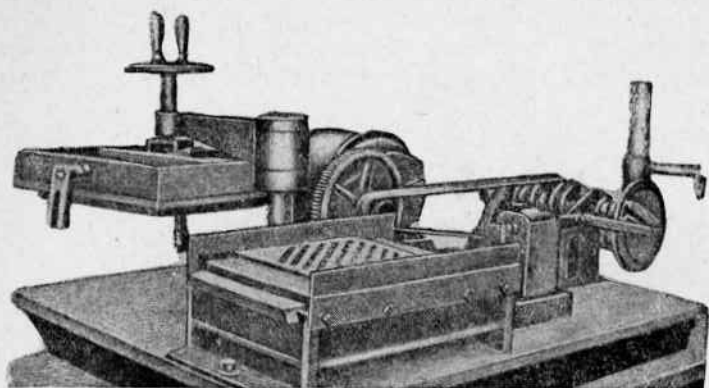
Основные данные станка завода «Комсомолец», тип 573, для притирания шестерен следующие:

Расстояние между центрами при угле скрещивания осей притиров до 12°	90—550 мм
Расстояние между центрами при угле скрещивания осей притиров 15°	до 90 "
Диаметр обрабатываемой шестерни	40—300 "
Максимальная длина зуба обрабатываемой шестерни	50 "
Максимальная модуль обрабатываемой шестерни	6 "
Максимальное расстояние между осями притиров и заготовки	235 "
Диаметр притира	200—250 "
Ширина притира (максимальная)	50 "
Число ступеней скоростей вращения шпинделя	6 об/мин.
Число оборотов шпинделя	148, 173, 195, 229, 258, 302 об/мин.
Количество ступеней движения стола	8
Число двойных ходов стола в минуту	38, 48, 63, 78, 97, 120, 156, 198
Максимальная длина хода стола	60 мм
Число гидравлических тормозов	3
Максимально допустимое давление тормозов	15 кг/см ²
Мощность мотора	2,5 квт
Число оборотов мотора	960 об/мин.
Высота стола над полом	800 мм
Габарит станка	1780×1570×2100 мм
Вес станка	3000 кг

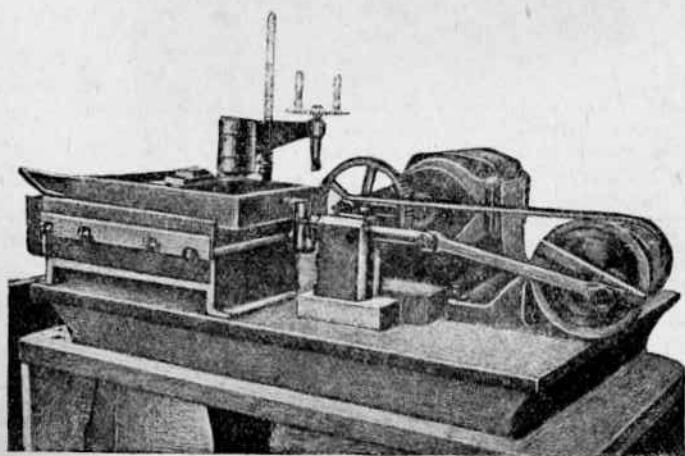
Станок для доводки (притирания) мелких калибровых пробок-вставок. Станок (фиг. 13 и 14) — настольного типа; он смонтирован на небольшой чугунной плите и состоит из трех отдельных частей: 1) электромотора с редуктором и шкивом для привода ремнем, 2) кривошипно-шатунного механизма с ползуном возвратно-поступательного движения и 3) рабочей притирочной части.

Наиболее характерной является притирочная часть (фиг. 15). На чугунной плите 1, привинченной болтами к столу, укреплено основание 2 с корпусом 3. В пазу корпуса 3 укреплена планка 4 с приклеенным к ней доводочным стеклом 5.

На стекло 5 свободно кладут деталедержатель 6 (из фанеры) с рядом параллельных прорезей, расположенных под углом 45°

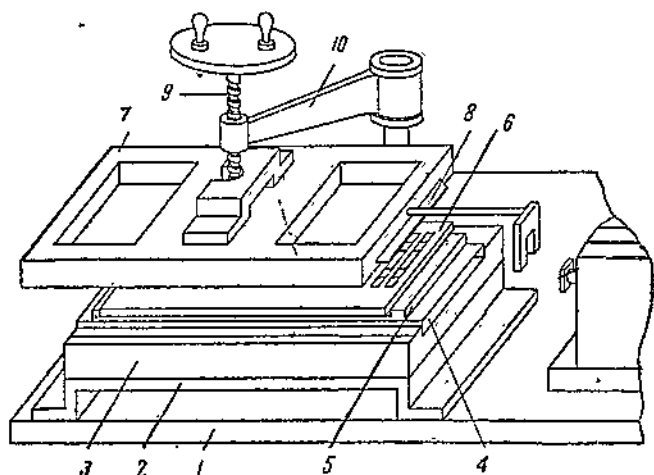


Фиг. 13. Станок для доводки (притирания) мелких калибровых пробок-вставок (вид спереди).



Фиг. 14. Станок для доводки (притирания) мелких калибровых пробок-вставок (вид сзади).

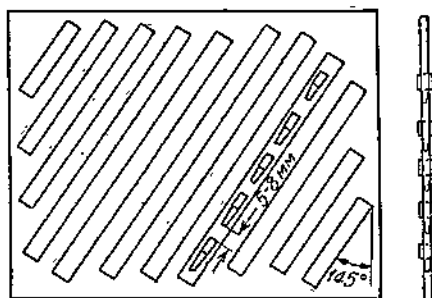
(фиг. 16). Ширину и длину прорези делают немного больше размеров детали, а перемычки между деталями — 5—8 мм. К нижней плоскости верхней плиты 7 (фиг. 15) в пазу, имеющем форму ласточкина хвоста, прикреплена рамка 8 с приклеенным к ней вто-



Фиг. 15. Притирочная часть станка для доводки мелких калибровых пробок-вставок.

рым доводочным стеклом. Для удобства укладывания деталей верхняя плита 7 при помощи винта 9 поднимается вверх и отводится на кронштейне 10 в сторону. Оба доводочных стекла вынимают и смазывают керосином и пастой ГОИ, которая служит в данном случае абразивным материалом. Затем стекла ставят на места. После этого на нижнее стекло кладут детальедержатель 6, в прорези которого укладывают 25—30 обрабатываемых вставок. На них опускают верхнюю плиту 7, отводят винт 9 на кронштейне 10 в сторону и, соединив плиту 7 с ползуном кривошипного механизма, сообщают ей возвратно-поступательное движение.

Во время обработки калибровые пробки-вставки вращаются и одновременно перемещаются вдоль своей оси, что обеспечивает равномерную и точную доводку (притирание) мерительной поверхности.



Фиг. 16. Детальедержатель для притирания калибровых пробок-вставок.

На доводку партии пробок требуется примерно 25—30 мин., т. е. около 1 мин. на пробку, тогда как при работе вручную на доводочной головке доводка одной пробки отнимает 7—10 мин.

Качество поверхности, доведенной на описанном станке, значительно выше, чем при доводке вручную. Припуск на доводку составляет 0,005—0,01 мм. Вместо стекол можно ставить чугунные плиты.

Притиры и притирочные средства

При лепинг-процессе в качестве притирочного средства применяют: 1) гладкие притиры и нешаржирующийся абразивный материал; 2) абразивный материал, свободно шаржирующийся в притире, и притиры, предварительно шаржированные абразивным материалом.

Притирание с нешаржирующимся абразивным материалом. В этом случае притирание происходит вследствие трения поверхности изделия о поверхность притира, равномерно посыпанную абразивом. Абразивный материал выбирается настолько мягким, чтобы он не запрессовывался ни в притир, ни в притираемый материал. Поэтому абразив изнашивает материал изделия больше, чем более твердый материал притира.

Притиру придают форму, обратную форме притираемой поверхности, например для выпуклой сферической поверхности берут притир с вогнутой сферической поверхностью. При этом применяют твердые притиры (стальные закаленные). Хорошие результаты дают притиры с твердым покрытием на рабочей поверхности, например хромированные.

Чугунные притиры не рекомендуются, так как включения цементита царапают обрабатываемую поверхность.

В качестве абразива употребляют крокус, венскую известь, окись хрома, трепел. Смазку применяют в зависимости от материала деталей. Например, сталь и чугун всех сортов притирают с керосином, бензином, тазолином, толуолом, машинным маслом, а для весьма тонкого притирания стали берут венскую известь, разведенную в спирте, или тонкий крокус с вазелином. Алюминий притирают абразивной смесью (сукиновальная глина, трепел), растворенной толуолом и стеариновой кислотой. Для притирания легких сплавов рекомендуют применять деревинное масло. При притирании медных сплавов употребляют смесь лярдового и машинного масел. Этот способ притирания широко применяют при изготовлении шариков для подшипников и т. п.

Притирание абразивным материалом, свободно шаржирующимся в притире. При этом способе притирания материал притира должен быть мягче материала притираемых деталей, чтобы абразивный материал, подаваемый при обработке, шаржировался, т. е. вдавливался в материал притира. Шаржирование происходит под действием давления притира.

Притиры делают из чугуна, мягкой стали, красной меди, латуни, бронзы, свинца, дерева (клен или дуб). Таким образом при-

тиром из мягкого материала притирают деталь из более твердого металла. Скорость изнашивания притира зависит от материала, из которого он сделан, и от применяемого абразива. Например, все притиры при работе с карборундом изнашиваются примерно в два раза быстрее, а с корундом в 1,25 раза быстрее, чем при работе с наждаком.

Если принять износ чугунного притира за единицу, то для притиров из других материалов при одинаковых условиях работы (метод работы, абразив, смазка) можно получить следующие данные:

Мягкая сталь	1,25—1,27
Красная медь	2,5
Сапфир	4

Употребление слишком большого количества абразива вызывает образование на обрабатываемой поверхности неровностей, так как абразив скапливается на краях детали и поэтому снимает больше металла по краям, чем в остальных местах.

В качестве абразивного материала применяют наждак, корунд или электрокорунд и карборунд. Чаще всего употребляют наждак. Для предварительного притирания берут наждак № 80, 100, 120, а для окончательного № 150, 180, 200, 220.

Смазкой служит керосин, бензин, газойль, машинное масло, с которыми смешивают абразивный порошок.

Этот способ притирания применяют при массовом и крупносерийном производстве (обработке пальцев поршня, шестерен и т. п.).

Притирание шаржированным и абразивным материалом притирами. В этом случае абразивные зерна предварительно вдавливают в материал притира, т. е. принудительно шаржируют притир перед работой. Шаржирование производят стальными брусками таким образом, чтобы абразивные зерна вдавливались в материал притира, а не растирались. Насыщенность и равномерность распределения абразивных зерен на поверхности притира проверяют по внешнему виду притира, с которого лишний абразив смывают керосином. Блестящие пятна указывают, что притир недостаточно насыщен абразивными зернами или они неравномерно распределены на поверхности притира. В этом случае шаржирование продолжается до тех пор, пока поверхность не станет равномерно серой. При данном способе притирания все зерна абразива должны быть вдавлены в притир, так как излишние абразивные зерна будут создавать на обрабатываемой поверхности царапины и надиры. Притиры делают, главным образом, из мягкого перлитового чугуна. Смазывающие жидкости те же, что и при предыдущих способах притирки.

Этот способ притирания чаще всего применяют при ручном или полумеханизированном притирании деталей и инструмента. Разновидностью этого способа является работа при помощи алмазной пыли или порошка карбида бора. Притиры, заранее шаржированные алмазной пылью, служат для притирания режущего инструмента с пластинками твердого сплава, для притирания стекол и

алмазов. В настоящее время в качестве заменителя алмазов при притирании большое распространение получил карбид бора.

Для притирания поверхностей, которые во время работы скользят по другим поверхностям (подшипники, направляющие, измерительные инструменты), алмазную пыль применять нельзя, так как некоторые частицы алмазной пыли вдавливаются в притираемую поверхность и впоследствии портят поверхность скольжения.

При выборе материала для притиров нужно учитывать, что мягкие металлы (медь, сурьма и др.) легче удерживают крупные абразивные зерна, чем серый чугун. Поэтому их следует применять для чернового притирания и для снятия большого количества материала. Чугунные притиры обеспечивают тем лучшее качество притираемой поверхности, чем мельче зерна абразивного материала и чем более жидко смазочное вещество. Чугунные притиры удерживают лишь самые мелкие абразивные зерна. Лучшим чугуном для притиров является серый перлитовый чугун.

Наиболее употребительными абразивами при ленинг-процессе являются наждак, корунд или электрокорунд, карборунд, окись хрома, паста ГОИ, крокус и венская известь. В некоторых специальных станках для притирания коленчатых валов и распределительных валков употребляют абразивную шкурку.

Паста ГОИ разработана Государственным оптическим институтом. Ее применяют для притирания и доводки каленых, азотированных, хромированных поверхностей, а также деталей из чугуна, цветных металлов и стекла. Пасту ГОИ изготовляют трех сортов: грубую (40—17 микрон), среднюю (16—8 микрон) и тонкую (7—1 микрон).

Состав пасты ГОИ приведен в табл. 1.

Таблица 1
Состав пасты ГОИ (в процентах)

Компоненты	Грубая	Средняя	Тонкая
Окись хрома	81	76	74
Силикагель	2	2	1,8
Стеариновая кислота	10	10	10
Расщепленный жир	5	10	10
Олеиновая кислота	—	—	2
Двууглекислая сода	—	—	0,2
Керосин	2	2	2

Окись хрома прокаливают для грубой пасты при 1500—1600°, а для средней пасты при 1000—1100°.

Притирочная способность пасты характеризуется ее сортом (грубая, средняя и тонкая) или обозначением в микронах. Чем выше число микронов, тем больше притирочная способность пасты, т. е. тем производительнее притирание и тем грубее получается поверхность.

Притирочную способность пасты определяют следующим образом. При 100 движениях плоско-параллельной плитки типа Иогансон (твердость по $R_c = 60-62$) по чугунной плите 400×450 мм с нанесенной на ней пастой ГОИ, т. е. при 40 м пути, толщина снятого слоя металла плитки составляет: для грубой пасты (40 микрон) — 0,02 мм, для средней (17 микрон) — 0,005 мм и для тонкой (7 микрон) — 0,0025 мм. При этих же условиях 60-минутным (наждаком) можно снять 0,005—0,008 мм. Притирание отнимает приблизительно 2,5 мин. Это показывает, что притирочная способность пасты ГОИ значительно выше, чем обыкновенных наждаков.

При последовательном притирании различными сортами пасты необходимо учитывать, что каждый последующий более тонкий сорт должен снять следы притирания предыдущим сортом. Необходимо следить, чтобы сорта пасты, нанесенные на притиры, не смешивались. Поэтому для каждого сорта пасты ГОИ надо иметь отдельный притир или тщательно промывать притир от нанесенной на него пасты другого сорта.

Пасту ГОИ вначале употребляли только при притирании вручную, но в настоящее время ее применяют также при притирании на станках.

Пасту ГОИ обычно выпускают в виде спрессованных палочек. В качестве растворителя служит керосин. Для этой цели достаточно нанести несколько капель керосина на поверхность притира. На некоторых заводах пасту ГОИ растворяют в инструментальной кладовой и выдают для работы в жидком виде.

Лепингование на специальных станках

Окружные скорости, или скорости возвратно-поступательных движений, при лепинг-процессе должны составлять 10—30 м/мин. Чем выше требования, предъявляемые к качеству поверхности, тем ниже должна быть окружная скорость притира. При особенно высоких требованиях скорости притира понижают до 6 м/мин. Однако уменьшение скорости понижает производительность работы. Другим ограничением окружной скорости является вязкость смазочной жидкости. Чем меньше вязкость жидкости, тем меньше она способна прилипать к поверхности притира и тем меньше должна быть скорость движения притира.

Притирание цилиндрических деталей на станке БСА. Детали, поверхности которых необходимо притирать (лепинг-процесс), в большинстве случаев предварительно шлифуют на бесцентровошлифовальных станках. К такого рода деталям относятся: поршневые пальцы, толкатели, стержни клапанов и т. п.

Для получения поверхностей одинакового качества и сокращения времени обработки колебания в размерах притираемого места деталей в одновременно обрабатываемой партии не должны превышать 0,005 мм. Достигнуть такой точности при шлифовании

трудно, так как обычно шлифованные детали получают с точностью до 0,01—0,02 мм. Поэтому шлифованные детали сортируют по размерам на 2, 3 или 4 партии и каждую партию лепингуют отдельно. Количество одновременно обрабатываемых деталей, которое укладывают в держатель лепинг-станка, зависит от их диаметра (от 18 деталей и выше).

Фирма БСА рекомендует для круглых деталей припуск 0,005—0,01 мм, а для плоских 0,0076—0,0127 мм.

На авиазаводах применяют следующие припуски (табл. 2).

Таблица 2

Припуски и продолжительность лепингования

Деталь	Сорт стали	Диаметр мм	Длина мм	Припуск мм	Продолжительность мин.
Поршневой палец . . .	7330	38	100	0,015	2,06
Поршневой палец . . .	X1H	36	100	0,01	1,3
Поршневой палец . . .	5301	36	70	0,008	1,05
Толкатель	X4H	17,485	70	0,005	0,91

В качестве абразива применяют пасту ГОИ 15 микрон, раствора 15—20 тюбиков пасты в 6—8 л машинного масла с 4 л керосина. Этот состав установлен опытным путем.

Производить грубое и тонкое притирание на одном и том же станке не следует, так как более крупные абразивные зерна лишь с большим трудом можно удалить с поверхности доводочных кругов.

Притирание коленчатых валов. Коленчатый вал грузовой машины ЗИС изготовлен из стали 1045. После окончательного шлифования коренных и шатунных шеек его балансируют, а затем шейки притирают на станке Нортон (см. фиг. 9). Диаметры шлифованных шеек 66,630^{-0,025} и 57,080^{-0,025}, тогда как после лепингования их диаметры должны быть 66,625^{-0,025} и 57,075^{-0,025} мм; т. е. припуск по диаметру составляет 0,005 мм.

Для лепингования коленчатый вал при помощи приспособления подводят к шпинделям передней и задней бабок и включают приводной мотор станка. Одним концом вал вставляют в отверстие поводкового фланца передней бабки, а в центровое отверстие другого конца вала вводят центр задней бабки. После этого отводят приспособление на себя. Затем поворачивая рычаг 10 (фиг. 9) влево, опускают раму 2 (фиг. 10) с притирочными рычагами 4 и держателями 5 притиров, подводя притиры к шейкам коленчатого вала. Повернув рукоятку 15 (фиг. 11), освобождают держатели притиров, ранее зажатые в направляющих, и рукоятками 12 прижимают притирочные колодки с абразивной бумажной лентой к шейкам коленчатого вала. Рукояткой 16 (фиг. 9) включают муфту и приводят во

вращение обрабатываемый коленчатый вал, который, кроме того, совершает еще возвратно-поступательные движения вдоль своей оси.

Абразивным материалом служит бумажная абразивная лента № 000000, а притирочной жидкостью — керосин.

Притирание шестерен

Шестерни после термобработки деформируются по профилю и шагу зуба, а также происходит нарушение concentричности делительной окружности. Поэтому зубья шестерен необходимо обрабатывать после термообработки. Самым старым и наиболее надежным способом такой обработки является шлифование зубьев, выполняемое на специальных зубошлифовальных станках, работающих по методу обкатки. Зубошлифовальные станки (Мааг, Пратт-Уитни, Лис-Бреднер, Оркут и др.) позволяют снять большой припуск с закаленного зуба и обеспечивают высокую точность всех элементов зуба (в пределах 0,0025 мм), но очень сложны и малопроизводительны. При припуске в 0,3 мм на сторону зуба станки Мааг обрабатывают один зуб за 2—3 мин. Зубошлифовальные станки, работающие фасонным кругом, более производительны (обрабатывают один зуб в 45 сек.), но менее точны (0,01—0,015 мм).

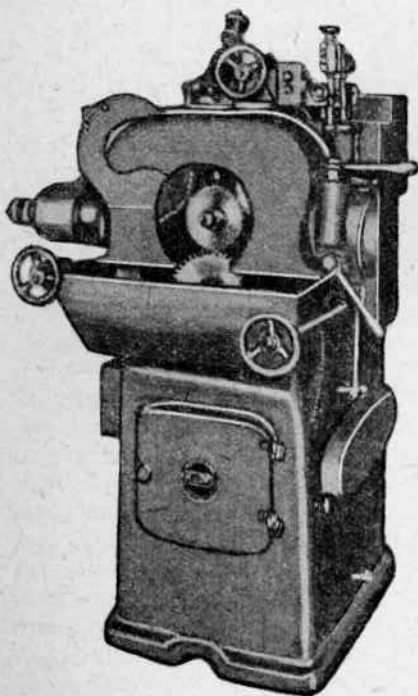
Поэтому для обработки закаленных шестерен стали применять более производительный метод — притирание (лепингование) шестерен. Однако притирание не исключает шлифования зубьев при изготовлении шестерен высокой точности или при наличии значительных деформаций после закалки, так как притирание шестерен с отклонениями, превышающими 0,025 мм, становится невыгодным. В этих случаях сочетают шлифование с притиранием или, что еще лучше, шевинг-процесс с притиранием. Шевингование шестерен перед термообработкой сообщает им высокую точность, которая частично теряется при термообработке, но возникающие изменения размеров не выходят за пределы припусков, которые легко снимать при притирании.

Притирание шестерен представляет разновидность лепинг-процесса и имеет целью окончательно довести зубья изготавливаемой шестерни при помощи специальной шестерни-притира, абразива и давления. При этом создают условия для искусственного износа поверхности зубьев обрабатываемой шестерни, чтобы придать ей необходимую точность геометрии и получить поверхность высокого качества. Под действием применяемого при притирании давления абразивные зерна впрессовываются в поверхности зубьев притира и снимают частицы металла с поверхности зубьев обрабатываемой шестерни. Наряду с этим различные химические компоненты, входящие в состав абразивной пасты, вступают в химические реакции с обрабатываемым материалом, вызывая дополнительное разрушение поверхности обрабатываемого зуба.

Таким образом притирание представляет довольно сложный физико-механический и химический процесс, представляющий совокупность явлений абсорбции, химического процесса и процесса резания металла.

При притирании всухую, т. е. когда абсорбция и химический процесс отсутствуют, обработка идет очень медленно. Если применить смазывающую жидкость (без химических реагентов), то производительность увеличивается примерно в шесть раз, а добавление сильно действующих химических реагентов повышает производительность притирания в 30—40 раз.

Во время притирания шестерни помимо взаимного обкатывания получают еще различные дополнительные движения. Наличие этих движений отличает притирание от процесса обкатывания и не позволяет притираемому зубу терять правильную эвольвентную форму, что неизбежно при обкатывании вследствие неравномерного скольжения боковых поверхностей зубьев.



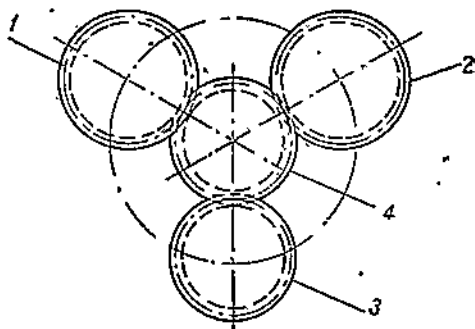
Фиг. 17. Притирочный станок Феллоу.

Притирание шестерен можно производить двумя способами: 1) притирать парные шестерни, вводя между их зубьями абразивный материал, или 2) применять специальный инструмент — притирочную шестерню, имеющую форму притираемой шестерни. Шестерни-притиры изготовляют обычно из мелкозернистого чугуна твердостью $H_B = 150—180$. Второй способ позволяет получать взаимозаменяемые шестерни, и его надо предпочитать первому. Кроме того, притирание по второму способу точнее, так как неточности по шагу можно довести до 0,008—0,01 мм, тогда как при приработке парных шестерен неточности по шагу в среднем составляют 0,15 мм.

Станки для притирания шестерен. При притирании помимо взаимного обкатывания шестерни и притира обрабатываемой шестерне сообщают продольное движение, причем притиры (один или несколько) изготовляют и устанавливают так, чтобы происходило равномерное снятие металла по всему профилю зуба шестерни во избежание подрезания зуба у головки и у ножки, как это имеет место при обкатке. Притирание происходит под некоторым давлением, сообщаемым притиру путем механического или гидравлического торможения. Оси притиров и обрабатываемых шестерен располагают параллельно или перекрещивают их. Притиры (1—3) имеют форму шестерен наружного зацепления с прят-

мым или спиральным зубом или форму шестерен внутреннего зацепления.

Станки Феллоу. Фирма Феллоу выпустила пять разновидностей станков для притирания зубьев шестерен. Наиболее характерным является станок, изображенный на фиг. 17. Вращающийся шпиндель станка несет обрабатываемую шестерню, сцепляющуюся с тремя притирами, расположенными на равных расстояниях по окружности. Каждый притирочный шпиндель снабжен пружинным тормозом. Для возможно более равномерного притирания по всей боковой поверхности зуба два верхних притира 1 и 2 (фиг. 18) одинакового диаметра имеют число зубьев, превышающих на единицу число зубьев притираемой шестерни. В нижнем притире 3 число зубьев равно числу зубьев притираемой шестерни 4. К движению обкатки шестерни и притиров добавляется возвратно-поступательное перемещение шестерни вдоль своей оси (200—400 двойных ходов в минуту). Шестерня делает 18—600 об/мин. Число оборотов шпинделя и число двойных ходов изменяют при помощи сменных шестерен. Величина давления на обрабатываемый зуб регулируется пружиной тормоза. По данным фирмы наиболее благоприятной величиной окружной скорости обкатки является скорость 0,65—0,75 м/сек (на делительной окружности шестерни). Длину хода можно доводить до 25 мм; обычно она составляет около 10 мм.

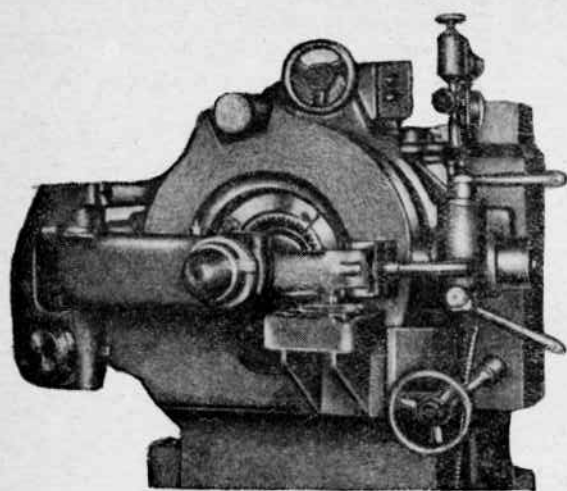


Фиг. 18. Схема расположения притиров и шестерни на станке Феллоу.

Чтобы компенсировать неточности в параллельности боковых поверхностей зубьев притираемых цилиндрических шестерен или в шаге спирали винтовых шестерен, оси верхних притиров можно наклонять по отношению к оси шестерни или перекрещивать с ней. Этого достигают, смещая задние опоры шестерен на небольшие расстояния. При таком способе можно получить после притирания слегка выпуклые боковые поверхности зубьев, если наклонять оси притиров по отношению к оси шестерни сначала в одну, а затем в другую сторону. На этом станке притирают обе поверхности зуба попеременно. После окончания притирания, продолжительность которого можно регулировать в пределах от 2 сек. до 30 мин., станок автоматически останавливается.

Другая модель притирочного станка этой фирмы (фиг. 19) предназначена для притирания шестерен притиром, представляющим собой шестерню с внутренним зацеплением. Этот станок был выпущен двух модификаций: 1) только для шестерен со спиральным зубом, 2) для шестерен с прямым и спиральным зубом. Шпиндель

обрабатываемой шестерни в этом станке имеет планетарное вращение и одновременное возвратно-поступательное движение вдоль



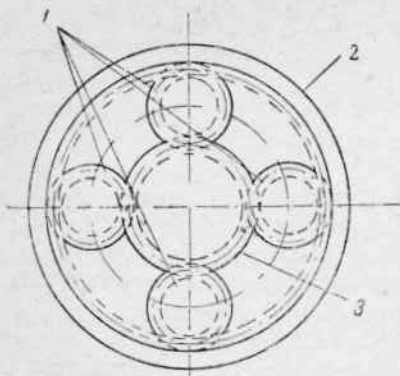
Фиг. 19. Станок Феллоу для притирания внутренним притиром.

своей оси. Притир под действием пружинного тормоза оказывает давление на поверхности обрабатываемых зубьев. Станок снабжен специальным приспособлением для поддержания длинных изделий. Станок для притирания шестерен с прямым зубом снабжен особой съемной притирочной бабкой. Оси шпинделей притира и шестерни параллельны.

Третья модель представляет собой разновидность второй и отличается тем, что станок имеет три шпинделя, что позволяет

одновременно обрабатывать три шестерни тремя притирами.

В четвертой модели притирочного станка Феллоу имеются два притира, представляющие цилиндрические шестерни, причем одна из них с внутренним зацеплением. Одновременно обрабатывают четыре шестерни, имеющие планетарное вращение вокруг внутреннего притира и одновременно быстрое возвратно-поступательное движение в осевом направлении (фиг. 20). Оси шпинделей шестерен и притиров параллельны между собой.



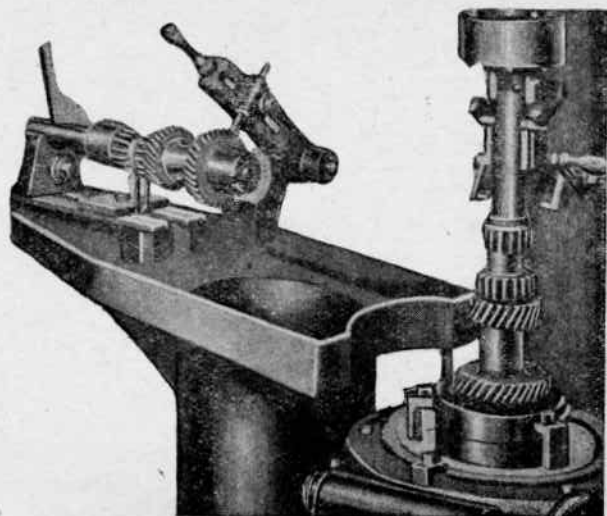
Фиг. 20. Схема расположения притиров и шестерен на четырехшпиндельном станке Феллоу.

1—обрабатываемые шестерни; 2—притир с внутренним зацеплением; 3—притир с внешним зацеплением.

В основу конструирования пятой модели притирочных станков Феллоу положен принцип скрещивания осей притира и обрабатываемой шестерни. Этот станок имеет один притир, представляющий собой многозаходный червяк. Обрабатываемой шестерне, вращающейся в зацеплении с червяком, сообщается дополнительное возвратно-поступательное движение вдоль ее оси.

Во всех моделях станков Феллоу давление при обработке осуществляется пружинными тормозами.

Станки Инколап (фиг. 21) предназначены для притирания шестерен с прямыми и спиральными зубьями литым чугуном притиром, представляющим собою шестерню с внутренним зацеплением. Число зубьев притира равно числу зубьев обрабатываемой шестерни, но зубья притира несколько тоньше. Обрабатываемая шестерня получает быстрое возвратно-поступательное движение внутри притира и поворачивается на один зуб после одного или нескольких двойных ходов. При обработке шестерен со спиральным зубом им сообщают соответствующее винтовое движение посредством спиральной кривой, угол подъема которой равен углу спирали обрабатываемой шестерни. Величину возвратно-поступа-



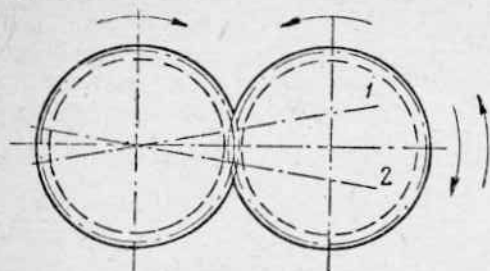
Фиг. 21. Притирочный станок Инколап.

тельного перемещения обрабатываемой шестерни можно регулировать от 10 до 100 мм. Оси шпинделей притира и шестерни параллельны. При притирании применяют специальную притирочную пасту. Если к качеству поверхности предъявляют особо высокие требования, то притиры изготавливают из мягкого металла (84% свинца, 10% сурьмы и 6% олова), аналогичного так называемому типографскому металлу.

Станки Бирнацкого. На этих станках можно притирать шестерни с прямыми и спиральными зубьями. Притир представляет шестерню с внешним зацеплением, число зубьев которой не кратно числу зубьев обрабатываемой шестерни. Помимо взаимного обкатывания, притираемая шестерня получает дополнительное медленное качательное движение в ее плоскости из положения 1 в положение 2 (фиг. 22).

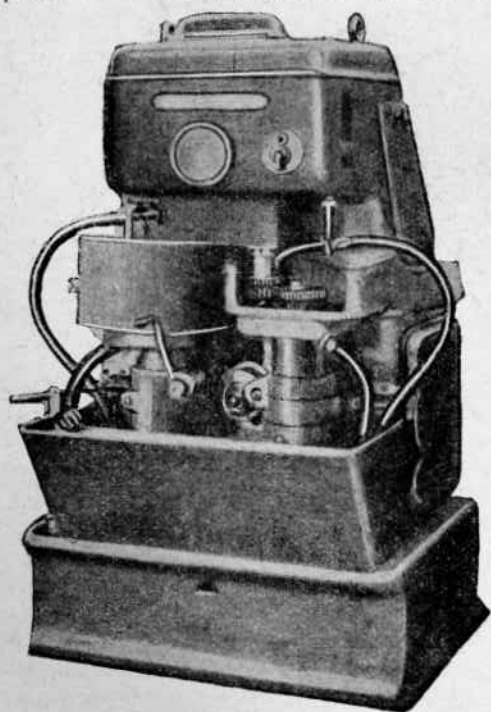
Станки Фриц Вернер. В отличие от описанных выше станков эти станки (фиг. 23) предназначены для взаимного прити-

рания пары шестерен, работающих вместе в механизме. Эти станки можно также использовать для притирания зубьев шестерен специальным притиром.



Фиг. 22. Схема расположения притира шестерни на станке Бирицкого.

(фиг. 24). Это обеспечивает равномерную величину снимаемого материала по всей боковой поверхности зуба. При наличии одного продольного движения 2 на боковой поверхности зубьев шестерни оставались бы продольные следы от притирания. Одно же радиальное движение 3 оставляло бы следы притирания в направлении от впадины зуба к его головке. Равномерное притирание получается лишь при соединении всех этих движений, создающих, в зависимости от условий опережения этих движений, кругообразные и переплетающиеся кривые на поверхности обрабатываемого зуба, сходные с так называемыми кривыми Лиссажу.



Фиг. 23. Притирочный станок Фриц Вернер.

При соответствующем выборе величин осевых и радиальных перемещений, а также чисел оборотов и двойных ходов можно уменьшать или усиливать действие притирания на определенных зонах профиля зуба в желаемом направлении.

Станок Фриц Вернер работает по способу так называемого тройного притирания, т. е. весь комплекс движений состоит из медленного взаимного обкатывания, быстрого возвратно-поступательного движения шестерни в осевом направлении и быстрого возвратно-поступательного радиального движения шестерни.

Станок имеет четыре вертикальных шпинделя (два сверху и два снизу), что позволяет одновременно притирать две шестерни или прирабатывать четыре. Оси шпинделей параллельны между собой. Верхние шпиндели вращаются от привода, а нижние производят

нужное давление при помощи пружинных тормозов. Шпиндели могут делать 38—380 об/мин. Возвратно-поступательное перемещение (0—12 мм) сообщают верхние шпиндели, а радиальное перемещение (0—4 мм) — нижние шпиндели. Работа станка автоматизирована. Сначала притирается одна боковая поверхность зуба, а затем другая. Продолжительность обработки можно устанавливать 24—240 сек. на одну сторону.

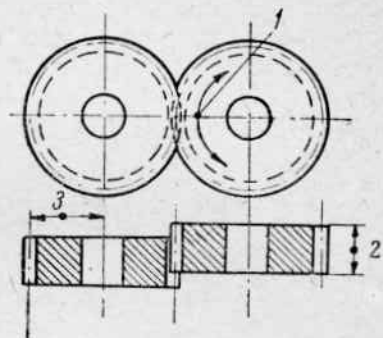
Станки Клингельберг (фиг. 25) сконструированы для обработки по принципу так называемого качающегося или колебательного притирания. Помимо общих требований к качеству поверхности притираемых зубьев, этот способ имеет целью сделать шестерни после притирания нечув-

ствительными к дефектам их установки в механизме, например смещению осей, зазорам в подшипниках и в особенности непараллельности осей. Опыт показал, что нередко шестерни, прошедшие контроль и признанные вполне удовлетворительными по всем параметрам, после сборки работают неровно и с шумом, что объясняется дефектами их

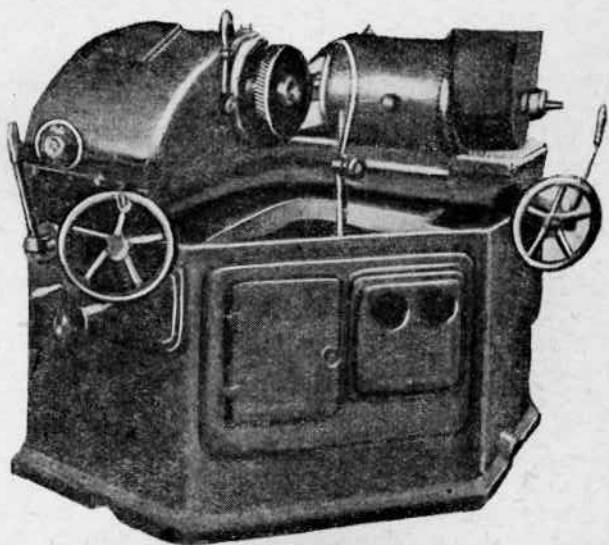
установки. Эти недостатки при притирании на станках Клингельберг устраняют тем, что шестерням во время притирания сообщают движение и взаимодействующие смещения, аналогичные тем, которые шестерни будут испытывать во время работы в собранном механизме.

На станке можно притирать как парные шестерни, так и индивидуальные — специальным притиром в виде шестерни с внешним зацеп-

лением. Оси шпинделей (если не считать движений, связанных со смещением) параллельны между собой. При притирании

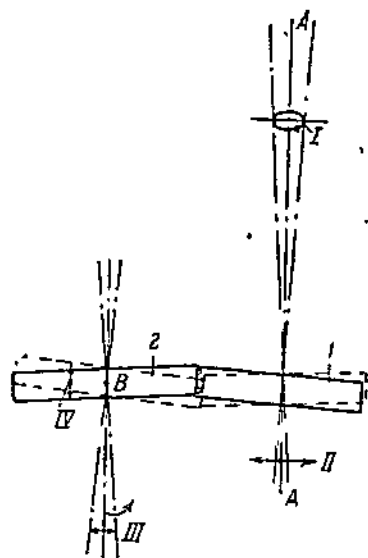


Фиг. 24. Схема притирания на станке Фриц Вернер.



Фиг. 25. Притирочный станок Клингельберг.

шестерня и притир получают быстрое движение обкатки, совершая в то же время медленные возвратно-поступательные движения в осевом и радиальном направлениях (фиг. 26). Шестерня 1 качается в пространстве вокруг оси AA по направлению стрелки I, одновременно перемещаясь в радиальном направлении по стрелке II. Шестерня 2 качается вокруг вертикальной оси, проходящей через точку B в плоскости оси шестерни и оси AA по стрелке III, одновременно вращаясь по направлению, указанному стрелкой I, и совершая возвратно-поступательные осевые движения по стрелке IV. Таким образом во время притирания оси шестерен то пересекаются, то перекрещиваются, причем в том и другом случае боковые поверхности зубьев не соприкасаются по всей ширине. При наклонном положении осей шестерен и наличии постоянного расстояния между осями, зубья одной шестерни, вследствие заклинивающего действия осуществляемого их концами, могут быть с силой защемлены во впадинах зубьев другой, что может повлечь деформацию поверхности зубьев. Чтобы избежать этого, все движения станка, связанные с различными смещениями шестерен, заблокированы между собой. Расстояние между осями шестерен увеличиваются по мере увеличения наклона осей, но шпиндели, ввиду возможности регулирования величины отдельных смещений, могут быть установлены параллельно и притирание можно производить обычным



Фиг. 26. Схема притирания на станке Клингелъберг.

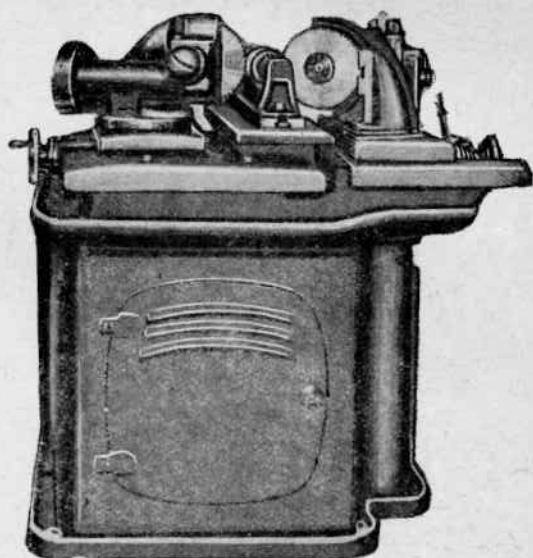
способом без качания. Шпиндель притира снабжен двумя тормозами: пружинным и ручным.

Действие притирания в этом станке зависит, главным образом, от окружной скорости обкатывания, поэтому и здесь неизбежно появляется неравномерный съем металла в различных зонах боковой поверхности зубьев: больше в обе стороны от зоны делительной окружности.

Эти станки применяют, главным образом, при притирании шестерен, сильно шокоробленных после закалки. Фирмой сконструированы такие же станки для притирания конических шестерен. Аналогичным образом работает станок для притирания конических шестерен фирмы Глиссон.

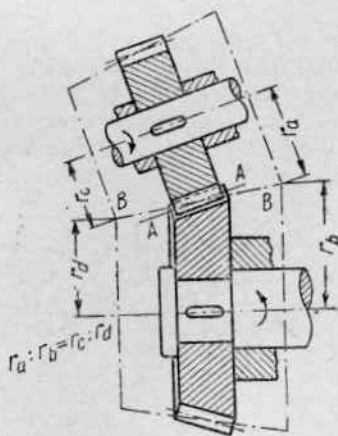
Станок Хутто (фиг. 27) работает по принципу скрещивания осей притиров и обрабатываемой шестерни. Оси лежат в одной плоскости и наклонены друг к другу (фиг. 28). Два притира, представляющие конические шестерни, совершают движе-

ние обкатки вместе с обрабатываемой шестерней, имеющей дополнительное возвратно-поступательное движение в осевом направлении. Зубья конического притира сцепляются по всей ширине зуба с обрабатываемой цилиндрической шестерней. При этом получается линия чистого качения BB , идущая наклонно по отношению к боковой поверхности обрабатываемого зуба и пересекающая линию делительной окружности AA . Медленное осевое движение шестерни не действует как дополнительное притирочное движение, а служит лишь для равномерного распределения притирочной смеси по всей поверхности зуба.



Фиг. 27. Притирочный станок Хутто.

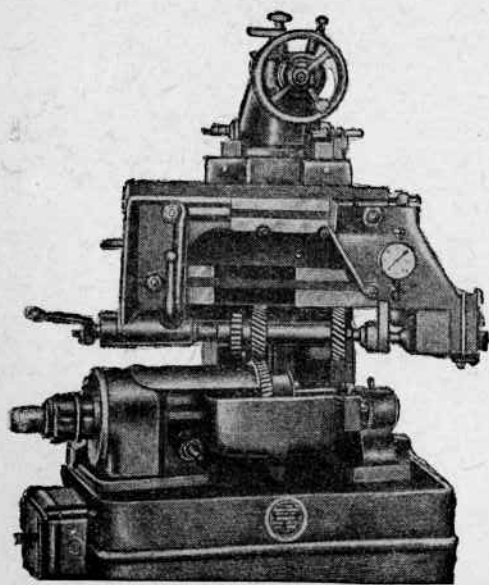
Супорт, несущий притираемую шестерню, находится посредине станка и имеет медленное возвратно-поступательное движение. Перпендикулярно продольной оси супорта расположены две бабки с притирами, которые могут быть установлены на различном расстоянии от супорта шестерни. Вращение передается шестерне, а от нее притирам, из которых один снабжен гидравлическим тормозом. Одновременно притираются обе боковые поверхности зубьев, одна одним, а другая другим притиром. Несмотря на это, направление вращения меняется после определенного числа оборотов, чтобы линии чистого качения не были резко выражены на обеих боковых поверхностях зубьев шестерни. Поэтому линии перекрещиваются и в соединении с осевым движением обеспечивают приблизительно равномерный сьем материала со всей боковой поверхности зубьев обрабатываемой шестерни. Работа станка автоматизирована.



Фиг. 28. Схема притирания на станке Хутто.

Станок Нейшенел Броуч Компани. Принцип действия этого станка (фиг. 29) также основан на перекрещивании

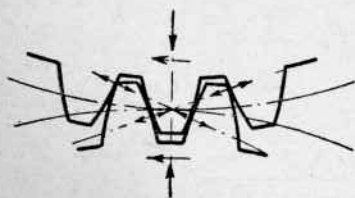
осей притира и шестерни, но станок снабжен лишь одним притиром, представляющим цилиндрическую шестерню. Обрабатываемой шестерне и притиру сообщают движение обкатывания при одновременном возвратно-поступательном движении шестерни вдоль своей оси. Давление на боковые поверхности обрабатываемых зубьев осуществляют гидравлическим тормозом, действующим на шпиндель обрабатываемой шестерни.



Фиг. 29. Притирочный станок Нейшенел Брууч Компани.

Угол скрещивания притира и обрабатываемой шестерни устанавливают путем поворота вертикальной стойки, несущей притираемую шестерню. Как правило, угол скрещивания притира и обрабатываемой шестерни составляет $5-15^\circ$. Супорт может перемещаться по вертикальному направляющему на станине, что даст возможность притирать шестерни по способу так называемого зажимного притирания. Этот способ состоит в том, что обрабатываемая

шестерня настолько приближается к притиру, что ее зубья касаются обеих боковых поверхностей зубьев притира (фиг. 30), и благодаря отсутствию зазора обе боковые поверхности зубьев шестерни могут одновременно подвергаться действию притирания. Зубья притира в этом случае необходимо сначала делать более



Фиг. 30. Распределение усилий при зажимном притирании.



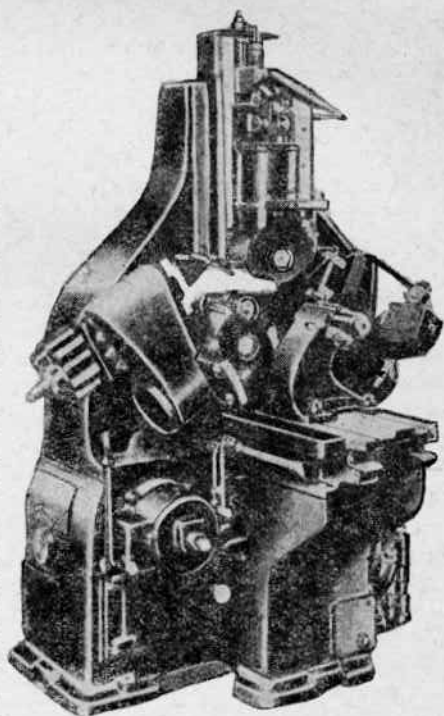
Фиг. 31. Распределение усилий при обычном притирании.

толстыми, чтобы компенсировать их сильный износ, а обрабатываемую шестерню надо опускать по мере износа зубьев притира.

Этот способ наиболее удобен для исправления больших погрешностей шестерен по биению. Число зубьев притира должно

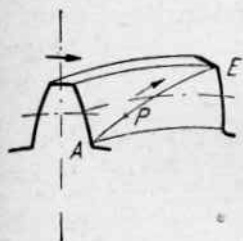
быть простым или не кратным числу зубьев притираемой шестерни. При этом способе притирания тормоз выключают. Если притирание производят обычным путем, т. е. при воздействии тормоза (фиг. 31), то зубья притира делают обычной толщины и расстояние между осями устанавливают нормальной величины. Работа станка автоматизирована.

Станок Мичиган Тул Компани (фиг. 32) работает также по принципу скрещивания осей притира и притираемой шестерни. Станок имеет три притира, представляющие собой цилиндрические шестерни, из которых две со спиральными, а одна (верхняя) с прямыми зубьями (при притирании прямозубых шестерен). Вращение сообщают обрабатываемой шестерне, а от нее притирам, причем оси двух притиров скрещиваются с осью шестерни, а ось третьего (верхнего) притира параллельна оси шестерни. Обрабатываемая шестерня совершает, кроме того, возвратно-поступательные движения вдоль своей оси. Таким образом из заготовки и притиров создается винтовая передача.

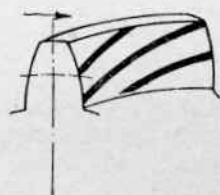


Фиг. 32. Притирочный станок Мичиган Тул Компани.

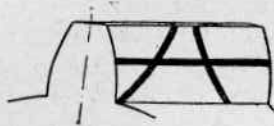
Винтовые шестерни теоретически соприкасаются в каждый данный момент лишь в одной точке P (фиг. 33), общей для боко-



Фиг. 33. Линия зацепления винтовой передачи.



Фиг. 34. Смещения линии зацепления у винтовых передач.



Фиг. 35. Следы притиров станка Мичиган на поверхности притираемого зуба.

вых поверхностей зубьев. Точка соприкосновения перемещается по спиральной линии AE вдоль боковой поверхности зуба. При этом в каждой точке соприкосновения получается скольжение,

вызванное непараллельностью осей (фиг. 34). Практически касание происходит на небольшой поверхности, которая увеличивается с уменьшением угла скрещивания осей притиров и шестерни.

Чтобы зуб притирался по всей длине, третий притир, ось которого параллельна оси притираемой шестерни, делают прямозубым. Зубья этого притира притирают оставшиеся не тронутыми двумя другими притирами участки боковых поверхностей зуба шестерни. Следы обработки от третьего притира располагаются вдоль боковой поверхности зуба, что в соединении с действием двух других притиров создает следы, подобные изображенным на фиг. 35.

При притирании шестерен со спиральным зубом все три притира делают со спиральными зубьями, причем направление спирали притиров противоположно направлению спирали притираемой шестерни. Ось верхнего притира и в этом случае остается параллельной оси обрабатываемой шестерни. Угол спирали правого и левого притиров делают больше угла спирали обрабатываемой шестерни на величину угла скрещивания φ осей этих притиров относительно оси притираемой шестерни, что необходимо для достижения сцепления между ними. При притирании прямозубых шестерен угол спирали боковых притиров делается равным углу скрещивания между их осями.

Давление при притирании осуществляют регулируемыми гидравлическими тормозами, находящимися в шпинделях притиров. Число оборотов и число двойных ходов шпинделя обрабатываемой заготовки устанавливают сменными шестернями.

Работа станка автоматизирована. Сначала обрабатывается одна боковая поверхность зуба, потом другая (в одинаковый промежуток времени).

Применяемую при притирании пасту подают вручную на зубья притиров и притираемой шестерни.

По данным фирмы, на этом станке можно притереть около 20 шестерен в час при модуле 2,5 и диаметре делительной окружности 75 мм. При этом можно исправить погрешности по шагу спирали с 0,025—0,05 до 0,005—0,0075 мм. Срок службы комплекта притиров составляет около 60 час., что соответствует обработке 1200 шестерен.

ЭНИМС в 1936 г. провел работу для определения степени точности этого станка, причем оказалось, что притирание обеспечивает точность шага в пределах 1-го класса точности (0,01 мм) для всех шестерен независимо от их предварительной точности. Биение шестерен по делительной окружности резко уменьшается до определенного предела (0,09—0,08 мм), после чего исправление биения замедляется и при значении в 0,01—0,03 мм дальнейшее исправление практически приостанавливается.

В начале процесса притирания происходит заметное улучшение профиля зуба шестерни. После достижения точности в 0,05—0,01 мм наступает постепенное ухудшение профиля. На этом станке можно

получить поверхность зуба шестерни высокого качества, достигающую зеркального блеска и превосходящую шлифованную поверхность.

По типу станков Мичиган Тул Компани завод «Комсомолец» выпускает притирочные станки, модель 573, описанные выше.

Пасты и жидкости, употребляемые при притирании шестерен. Для изготовления притирочных паст применяют естественные абразивы — корунд, наждак, кварц и искусственные — корунд, карборунд, окись хрома. Наиболее употребительным и эффективным абразивом для обработки стали является искусственный корунд или электрокорунд двух видов — белый (корунд-экстра или корракс) и черный. Карборунд не является подходящим материалом для обработки стали, так как его зерна вследствие своей остроугольной формы быстро разрушаются и расщепляются во время работы. Область его применения ограничивается обработкой чугуна и цветных металлов.

Вид притирочного средства — паста или жидкость — зависит от способа его нанесения на зубья притира и шестерни: механически или вручную. Притирочное средство, применяемое при механической подаче, состоит из 50% абразива и 50% масла, причем его непрерывно взбалтывают в резервуаре, из которого подают насосом. При таком способе подачи жидкость равномерно распределяется по притираемым поверхностям зубьев, что повышает точность и производительность обработки. Однако частое засорение трубопроводов абразивными частицами, вызывающее частые остановки станка, заставляет в большинстве случаев изготавливать притирочные средства в виде пасты, наносимой вручную (щеткой). В этом случае нельзя достигнуть равномерного распределения абразива, что уменьшает точность обработки. Кроме того, увеличивается нагрузка рабочего, что препятствует одновременному обслуживанию нескольких станков.

Предъявляемые к пастам требования следующие:

1) абразивные зерна должны быть такой же величины, как графитовые пластинки в чугуне притира;

2) смазка должна давать активную химическую реакцию с обрабатываемым металлом и способствовать ускорению процесса притирания;

3) связь должна все время поддерживать зерно во взвешенном состоянии и не давать отстоя;

4) паста должна сообщить изделию гладкую, блестящую поверхность;

5) должна обладать антикоррозионными свойствами;

6) должна прилипать к металлу и возможно меньше разбрызгиваться во время обработки;

7) должна быть безвредной для обслуживающего персонала;

8) должна легко растворяться и смываться керосином или водой.

Пасты классифицируют по двум главным признакам: по роду абразива и по роду связки.

В зависимости от рода абразива различают пасты с корундовой, карборундовой, смешанной, кварцевой основой, а также с основой из окиси хрома (пасты ГОИ).

Существует очень много различных рецептов паст; из них здесь приведены наиболее употребительные рецепты паст и жидкостей для притирания шестерен.

1. Паста Мичиган состоит из следующих компонентов (в объемных процентах):

электрокорунда (зернистость 240—280) 50%;

тавота (солидола) 15%;

масла минерального (типа веретенного) 35%.

2. Фирма Фриц Вернер рекомендует для своих станков применять следующую смесь:

шлифовального порошка вельвит № 00 или силжит № 1 (более грубого) 4,5—5 кг;

масла Нон-Флуид № 000000 2—2,5 кг.

Масло Нон-Флуид обладает свойством удерживать шлифующие зерна во взвешенном состоянии.

В смесь необходимо ежедневно добавлять немного порошка и целиком менять смесь через каждые 10 дней.

3. Завод «Комсомолец» для работы на станках типа 573 рекомендует употреблять в качестве притирочного средства жидкость следующего состава (в весовых процентах):

турбинного масла 50%;

наждачного порошка (зернистость 240—280) 35%;

тавота (солидола Л) 15%.

4. На автозаводе им. Сталина при прирабатывании шестерен на станке Фриц Вернер применяют преимущественно пасту следующего состава:

корунда 100-минутного 15%;

» 120-минутного 12%;

карборунда 80-минутного 18%;

» 100-минутного 9%;

» 120-минутного 6%;

жира технического 40%.

5. На автозаводе им. Сталина для притирания шестерен на станках Мичиган и завода «Комсомолец» употребляют пасту типа «Лапинг-процесс» (алунд 3'), выпускаемую Лужским заводом «Красный тигель».

6. Паста Гловер В-220 содержит:

карборунда (зернистостью 220) 40%;

вазелина технического 60%.

7. Паста ГОИ 40-микронная имеет состав:

окиси хрома 81%;

силикагеля 2%;

расщепленного жира 5%;

керосина 2%;

стеариновой кислоты 10%.

8. Паста типа Вельвит, составленная в 1939 г. бригадой ЗИС-ЭНИМС, содержит (в весовых процентах):
порошка «Соловйт» 50%;
масла веретенного 35%;
тавота (солидола) 15%.

Состав порошка «Соловйт» (Института минерального сырья) следующий:

Al_2O_3 — 0,35%;
 SiO_2 — 98,48%;
 CaO — 0,07%;
 MgO — 0,05%;
 Fe_2O_3 — 0,14%.

Бригада ЗИС-ЭНИМС в 1939 г. испытала в производственных условиях несколько видов паст, причем учитывалось: 1) величина износа притираемой шестерни; 2) величина износа притирочных шестерен; 3) качество поверхности после притирания; 4) разбрызгиваемость пасты и 5) смываемость пасты жеросином.

Результаты испытания 11 паст на различной основе дали возможность сделать следующие выводы:

1. Пасты на корундовой основе обеспечивают более высокую производительность, чем пасты на карборундовой основе.

2. Для каждого сорта чугуна, определенного химического состава и микроструктуры, существует наиболее выгодная величина абразивного зерна.

3. Величину зерна абразива при притирании надо выбирать в зависимости от требуемого качества поверхности, точности и условий бесшумной работы шестерен. Для шестерен 1-го и 2-го классов точности зернистость абразивных зерен должна быть 200—250. Для шестерен особенно высокого качества притирание целесообразно делить на черновое и чистовое, с тем чтобы при черновом притирании употреблять абразив зернистостью 170—200, а при чистовом — зернистостью 250—320. Для каждого сорта абразива надо брать отдельный притир.

4. При заказе чугуна для притиров необходимо указывать металлургу величину и расположение графитовых пластинок, структуру чугуна и его твердость ($H_B = 180—220$).

5. Для чугунного притира перлитной структуры лучше всего подходит абразив зернистостью 200.

6. Кривая производительности притирания в зависимости от зернистости абразива имеет характер параболы, обращенной выпуклостью вверх.

7. При работе с пастами на карборундовой основе износ притиров в два раза больше, чем при работе с пастами на корундовой основе.

8. Износ притира, у которого ось параллельна оси заготовки, в 1,5—2 раза меньше износа скрещающихся притиров.

9. При одном и том же угле скрещивания износ больше у тех притиров, у которых угол спирали зуба больше.

10. Зернистость абразива в пасте в пределах от 120 до 250 сравнительно мало влияет на качество поверхности притираемого зуба.

11. Поверхность наилучшего качества получается при зернистости 200—220.

12. Наилучшее качество поверхности обеспечивают пасты «Лапинг-процесс», ГОИ и «Соловьи» (на пылевидном кварце).

13. Величина фисок на поверхности притертого зуба составляет 0,2 микрона.

14. Наибольшую разбрызгиваемость показала паста Мичиган Тул Компани.

15. Меньше всего разбрызгивается паста «Лапинг-процесс» № 1 завода «Красный тигель», которая, кроме того, способствует уменьшению износа станка.

16. Лучшие результаты по смываемости керосином дала паста «Лапинг-процесс» № 1.

17. При притирании пасту необходимо вносить в умеренном количестве через каждые 40—60 сек. работы.

18. При прирабатывании пасту необходимо наносить на зубья шестерен через каждые 5—10 сек. работы, сократив продолжительность прирабатывания до 1 мин.

19. Пасту надлежит наносить кистью, покрытой тонким слоем пасты, во время работы станка или во время его остановки.

20. При прирабатывании расход пасты на 1 зуб составляет 0,15 г, а при притирании 0,05—0,10 г.

21. Паста ГОИ дала хорошие результаты в отношении производительности притирания, стойкости притира и качества поверхности. Однако она не приспособлена для употребления на существующих зубопритирочных станках и очень дорога, что не дает возможности употреблять ее для притирания шестерен.

Резюмируя эти данные, лучшей пастой для притирания шестерен можно считать пасту «Лапинг-процесс» № 1 завода «Красный тигель» на корундовой и электрокорундовой (алундовой) основе с зернистостью абразива 200—250. Для прирабатывания шестерен можно также применять пасту Гловер зернистостью 200—250, выпускаемую тем же заводом.

П р и т и р ы. Притирочная шестерня, несмотря на свою сравнительную мягкость, представляет износостойчивый инструмент, который изнашивается в 20—30 раз медленнее, чем притираемая шестерня. Притиры обычно делают из чугуна, так как стойкость чугунных притиров, как показал опыт, в 1,27 раза выше стойкости стальных и в 2,62 раза выше медных.

Притирочная шестерня должна отвечать определенным требованиям в отношении химического состава, микроструктуры и механических свойств.

Основой микроструктуры чугунного притира должно быть перлитовое или перлито-ферритовое поле. Пластины графита на перлитовом поле должны быть мелкими, по размеру соответствовать величине зерен абразива, равномерно распределяться и не перекре-

щиваться между собой. Употребляемые для притирания абразивные зерна размером в поперечнике 0,04—0,1 мм в первую очередь впрессовываются в пластинки графита. Если пластинки графита имеют большую длину и толщину и притом перекрещиваются, то зерна эти кусками утопают в графитовых включениях, не участвуют в процессе резания или, будучи слабо укрепленными, легко выпадают с поверхности притира.

В табл. 3 приведены данные о химическом составе чугунных притиров.

Таблица 3

Химический состав чугунных притиров (в процентах)

Завод-изготовитель	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Мичиган	3,24	2,38	0,53	0,152	0,082	0,13	нет
Мичиган	3,08	2,18	0,56	0,15	0,10	нет	0,08
ЗИС	3,24	2,47	0,57	0,206	0,05	0,018	0,18

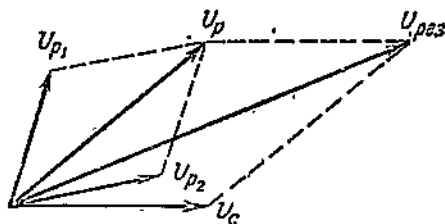
Так как притир должен обладать твердостью $H_D = 180—220$, то необходимо создать перлитовое поле. Этого можно достигнуть или увеличением скорости охлаждения отливки (чем меньше толщина стенки, тем больше перлита и тем выше его твердость), или уменьшением содержания кремния в шихте, который, реагируя с железом, размягчает чугун, поэтому нормально в шихте должно быть 1,8—2,0% Si.

Жидкотекучий чугун должен иметь небольшие включения фосфорной эвтектики, причем фосфидная сетка должна быть распределена равномерно. Такой чугун должен содержать 1,5—2,0% P.

Точность изготовления зубьев притирочной шестерни должна быть значительно выше точности зуба притираемой шестерни и лежать в пределах 1-го класса допусков на изготовление зубчатых колес (проект ОСТ).

Методы притирания

Скорость резания при притирании шестерен представляет геометрическую сумму скоростей профильного скольжения, окружной скорости (направленной по касательной вдоль зуба) и скорости осевого перемещения шестерни или притира (фиг. 36):



Фиг. 36. Векторы скоростей, действующих в каждой точке зуба при притирании.

$$v_{рез} = \sqrt{v_p^2 + v_c^2},$$

где v_o — скорость скольжения вдоль зуба, являющаяся суммой составляющей окружной скорости и скорости осевого перемещения и определяемая по формуле:

$$v_o = v_{\text{зад}} \frac{\sin \varphi}{\cos \beta_{\text{прит}}} + 2LS \sec \beta_1,$$

где $v_{\text{зад}}$ — окружная скорость шестерни;

φ — угол скрещивания;

$\beta_{\text{прит}}$ — угол спирали притира;

L — длина осевого перемещения шестерни;

S — число двойных ходов шестерни;

β_1 — угол спирали шестерни;

v_d — скорость профильного скольжения, представляющая геометрическую сумму профильных скольжений зуба притира и шестерни и определяемая по формуле:

$$v_p = \sqrt{v_{p1}^2 + v_{p2}^2},$$

причем v_{p1} — скорость профильного скольжения притира, равная

$$v_{p1} = v_1 \cos \alpha_1 (\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1),$$

где v_1 — скорость скольжения на делительной окружности притира;

α_1 — угол зацепления притира в торцевой плоскости;

α_2 — угол давления притира в точке зацепления;

v_{p2} — скорость профильного скольжения шестерни, равная

$$v_{p2} = v_2 \cos \alpha_3 (\operatorname{tg} \alpha_4 - \operatorname{tg} \alpha_3),$$

где v_2 — скорость скольжения на делительной окружности шестерни;

α_3 — угол зацепления шестерни в торцевой плоскости;

α_4 — угол давления шестерни в точке зацепления.

Скорость профильного скольжения увеличивается по направлению к головке зуба и в особенности к ножке зуба. Скорость скольжения вдоль зуба остается почти постоянной; она прямо пропорциональна углу скрещивания φ . Поэтому чем больше значение φ , тем производительнее процесс, т. е. больше истирание поверхности зубьев шестерни. Этот процесс идет до определенного предела, после чего износ уменьшается.

Формулы даны для общего случая притирания спиральных шестерен на станках со скрещивающимися осями.

Давление при притирании осуществляют торможением шпинделя притира. Величину удельного давления можно определить по формуле Герца:

$$K = 0,418 \sqrt{\frac{PE}{B} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)},$$

где P — окружное усилие;

E — модуль упругости;

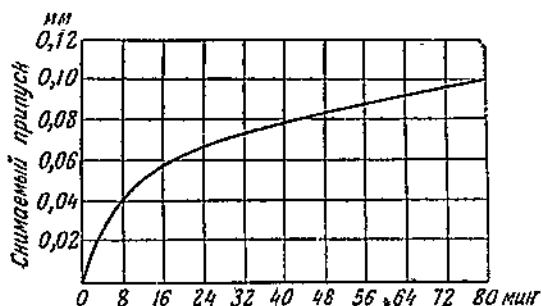
B — ширина зуба шестерни;
 ρ_1 и ρ_2 — радиусы кривизны профиля притира и шестерни в точке контакта.

Для притирания на станках со скрещивающимися осями эта формула может быть использована в следующем виде:

$$K = 0,418 \sqrt{\frac{PE}{B\beta} \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)},$$

где β — приведенный угол спирали, равный приблизительно полусумме углов наклона зубьев шестерни и притира. Так как угол скрещивания осей обычно невелик, то разница в величине давления при притирании со скрещивающимися осями, в отличие от притирания с параллельными осями, также невелика и не превышает 4—5%.

Поэтому можно считать, что величина удельного давления не зависит от угла скрещивания и может изменяться только в связи с изменением общего тормозящего усилия. Величина удельного давления будет тем меньше, чем больше степень перекрытия зубьев или, что то же самое, продолжительность зацепления,



Фиг. 37. Производительность притирания на станках Фриц Вернер.

Притирание шестерен на станках Фриц Вернер. Шестерни притирали специальным притиром, изготовленным из серого чугуна твердостью $H_B=160$. Число зубьев притира выбирали простым, но таким, чтобы оно приближалось к числу зубьев шестерни, с которой спаривали обрабатываемую шестерню в собранном механизме. В качестве притирочного средства употребляли смесь, рекомендуемую фирмой Фриц Вернер (см. выше).

Притирание дало следующие результаты: значительно повысилась точность шестерен по шагу (ошибки по шагу уменьшились с 0,02—0,04 до 0,003—0,015 мм); менее значительно, но достаточно заметно исправилось биение делительной окружности (с 0,07 до 0,05 мм); точность профиля заметно не улучшилась, при притирании шестерен с большим припуском (0,10—0,25 мм) в течение длительного времени (в некоторых случаях до 3 час.) получилось даже небольшое ухудшение профиля. Качество поверхности зубьев значительно улучшилось. Это лишний раз подтверждает, что крайне невыгодно применять притирание для удаления большого припуска (фиг. 37).

На основании этой работы можно сделать следующие выводы:

1. Притирание шестерен на станках Фриц Вернер исправляет неточности в шаге шестерен до пределов 1-го класса точности (0,008—0,015 мм), незначительно исправляет биение по делитель-

ной окружности, значительно улучшает качество поверхности зуба и оставляет без всяких изменений профиль зуба.

2. Притир должен иметь тот же модуль и угол зацепления, что и обрабатываемая шестерня. Зубья притира должны быть на 0,08 модуля тоньше зуба обрабатываемой шестерни. Точность изготовления притира должна находиться в пределах допусков 1-го класса точности.

3. Для получения экономически выгодной производительности припуск на обработку не должен превышать 0,04 мм на сторону зуба.

4. Станки Фриц Вернер можно применять в крупносерийном и массовом производстве для притирания шестерен 2-го класса точности.

Притирание шестерен на станках Мичиган и станках завода «Комсомолец». Бюро наладки и исследования автозавода им. Сталина и сектор зуборезных работ ЭНИМС в 1939 г. провели серию работ по притиранию шестерен на этих станках, которые позволили сделать следующие выводы:

1. Качество притерых шестерен в значительной мере зависит от точности изготовления притиров, которые должны удовлетворять требованиям 1-го класса точности проекта ОСТ допусков на изготовление шестерен.

2. Станок Мичиган обеспечивает притирание шестерен по всем элементам зуба с точностью порядка 1-го класса.

3. Шум шестерен после притирания уменьшается на 4—6 фонов.

4. Профиль притираемого зуба вследствие неблагоприятных условий скольжения больше изнашивается у ножки, что вызывает при большинстве режимов обработки на станке тенденцию к контакту сопряженных шестерен у головки зуба. Поэтому, чтобы обеспечить получение необходимого профиля и контакта с сопряженными притираемыми зубьями, необходимо или коррегировать зуб притира или изменять режим станка.

5. Давление притирания надлежит устанавливать по номограмме завода «Комсомолец» (фиг. 38).

6. Наивыгоднейший угол скрещивания притиров составляет 10°.

7. Припуск для притирания в радиальном направлении должен составлять 0,01—0,04 мм.

8. Притирание шестерни занимает 2—4 мин.

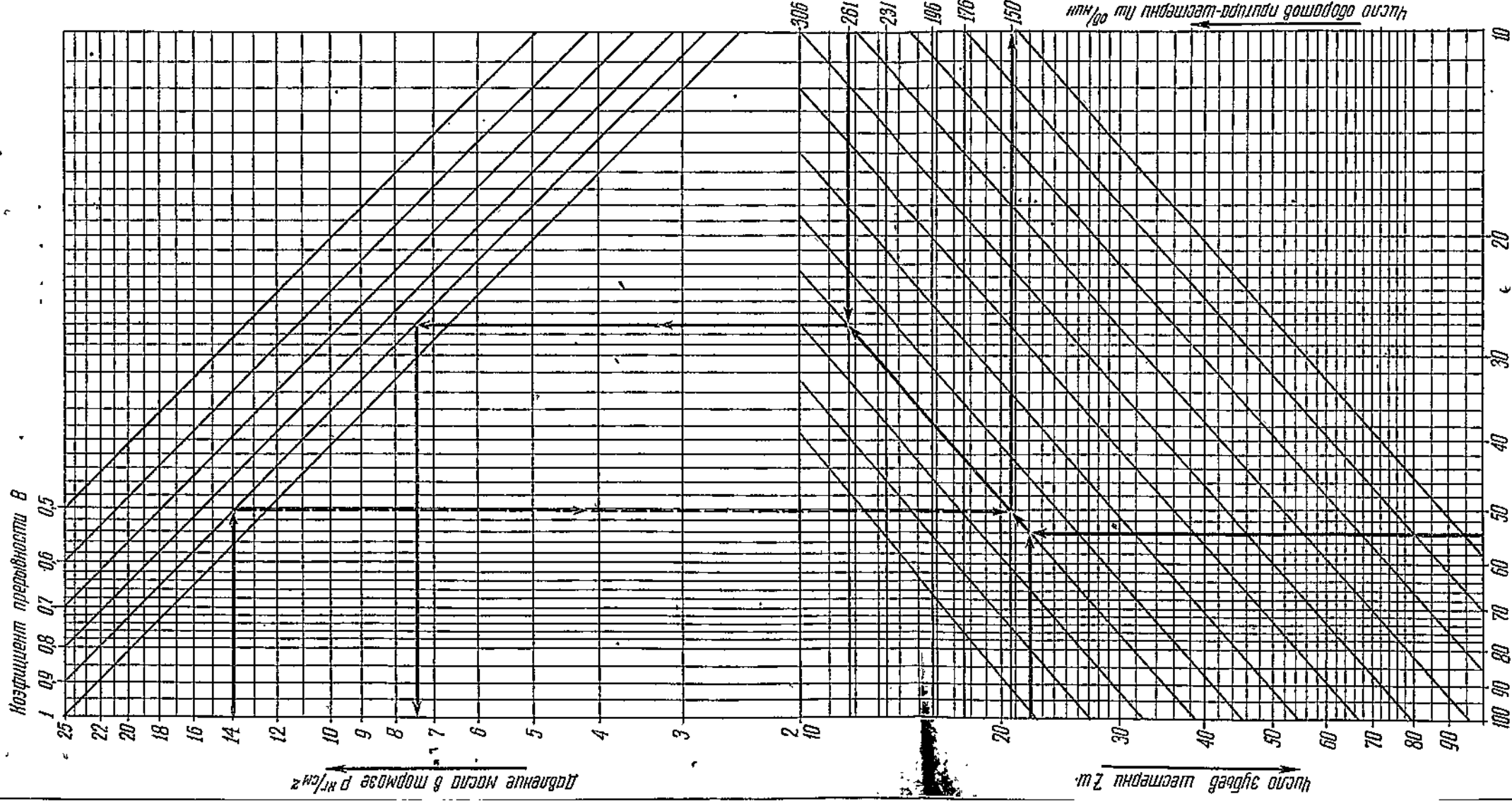
9. Число двойных ходов стола должно быть 51—82 в мин.

10. Число оборотов 150—176 об/мин.

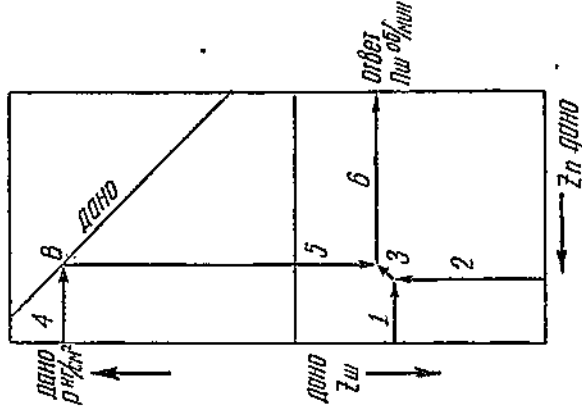
11. Один раз в три месяца надо сменять центры станка и сменные втулки, в которых они вращаются, чтобы обеспечить необходимую точность обработки.

12. Станок Мичиган дает возможность за 2—4 мин. исправлять шестерню по шагу спирали на 0,06—0,08 мм, по профилю зуба с 0,06—0,08 до 0,03—0,04 мм, по биению делительной окружности на 0,02 мм.

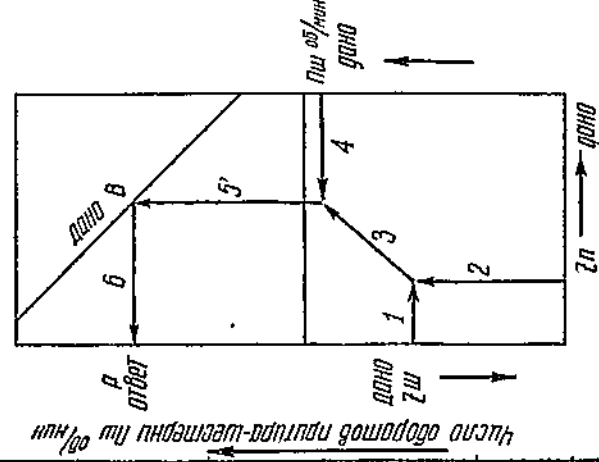
НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЗУБОПРИТВОРНОГО СТАНКА ТИП 573 ПО УСЛОВИЮ НЕДОПУСТИМОСТИ ПЕРЕГРЕВА ТОРМОЗОВ



Дано $z_{ш}=22$ $z_n=54$
 $p=14$ кг/см², $B=0,5$
 Находим по номограмме
 $n_{ш}=22$ об/мин



Дано: $z_{ш}=22$, $z_n=54$
 $n_{ш}=261$ об/мин, $B=0,9$
 Находим по номограмме
 $p=7,5$ кг/см²



Число зубьев притира z_n
 Номограмма построена по формуле $n_n = \frac{n_{ш} \cdot z_{ш}}{z_n}$
 $\Delta t = \frac{8 \cdot 0,00246}{0,004} (0,12p + 0,1) \cdot n_n [1 - \frac{1}{127z_{ш}}]$ при $\Delta t = 60^\circ C$ и $T = 7$ часам
 Составлена по данным 3-го "Комсомолец"

Фиг. 38. Номограмма для выбора величины давления при притирании шестерен.

Прирабатывание шестерен. На ряде наших заводов станки Фриц Вернер применяют для притирания шестерен, хотя эти станки в основном предназначены для прирабатывания парных шестерен. При изучении работы этих станков на автозаводе им. Сталина установлено следующее:

1. Прирабатывание парных шестерен улучшает контакт между ними и уменьшает шум на 5—6, а иногда на 10 фонов.

2. Точность шестерен после прирабатывания находится в пределах 1—2-го классов (в зависимости от точности предварительной обработки).

3. Основное значение при настройке станка имеет величина осевого хода, изменение которой значительно влияет на характер контакта зубьев прирабатываемых шестерен и на величину шума, незначительно влияя в то же время на точность элементов зуба шестерен. При большой величине осевого хода происходит усиленный износ профиля в зоне делительной окружности и в контакте участвуют головка и ножка сопрягаемых зубьев. С уменьшением же величины осевого хода, наоборот, износ в зоне делительной окружности уменьшается и увеличивается у головки и ножки зуба. Для прямозубых шестерен оптимальная величина осевого хода $l=2M$, где M — модуль.

При прирабатывании спиральных шестерен величина осевого хода зависит еще и от угла спирали. Например, для шестерен с $M=3$ и углом спирали $33^\circ 53'$ получается $l=2$, а для шестерен с $M=3,25$ и углом спирали 28° $l=4$ мм.

4. Число оборотов шпинделя необходимо подсчитывать по формуле:

$$n = \frac{KSZ_2}{M(Z_1 + Z_2)},$$

где S — величина осевого хода;

Z_1 — число зубьев ведущей шестерни;

Z_2 — число зубьев ведомой шестерни;

M — модуль;

K — коэффициент, зависящий от материала и конструкции шестерен.

Для спиральных шестерен из хромоникелевой стали $K=2,3 \div 2,5$.

5. Величину радиального хода необходимо подсчитывать по формуле:

$$R = (0,1 \div 0,12) M,$$

где M — модуль.

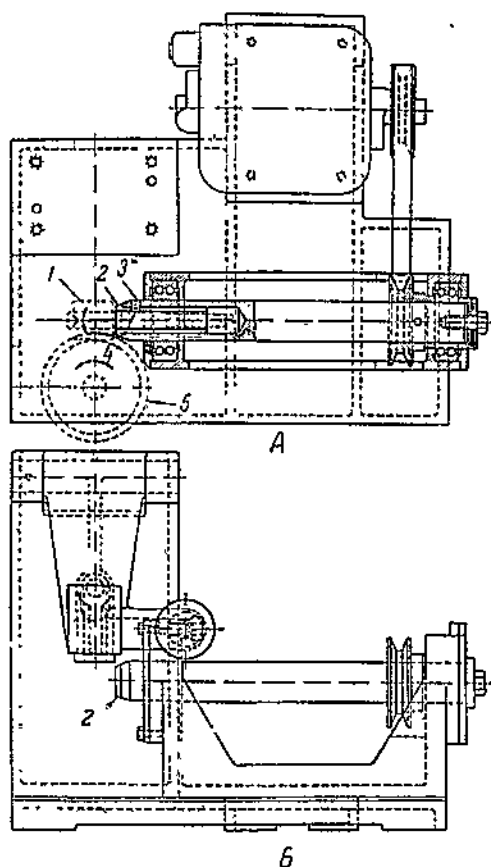
6. Продолжительность прирабатывания надо определять опытным путем.

7. Наилучший контакт приработанных пар (с точки зрения получения минимального шума) выражается в виде овального пятна, занимающего 60—80% длины зуба.

8. Снимаемый припуск во время приработки составляет 0,02 мм за 5 мин. прирабатывания.

Притирание червячных пар

Если в области притирания цилиндрических шестерен произведено немало работ, сконструировано и построено много разновидностей специальных станков, то вопрос притирания червячных шестерен только начинают разрешать. Обычно для получения точной червячной пары зубья червяка после термообработки шлифуют, а червячную шестерню нарезают достаточно точно изготовленной червячной фрезой. На практике это дает достаточно хорошие результаты, но при желании получить совершенно бесшумную передачу червячную пару необходимо притирать. Так как для данной работы специальных станков не существует, то пользуются специальным приспособлением.



Фиг. 39. Приспособление для притирания червячных пар.

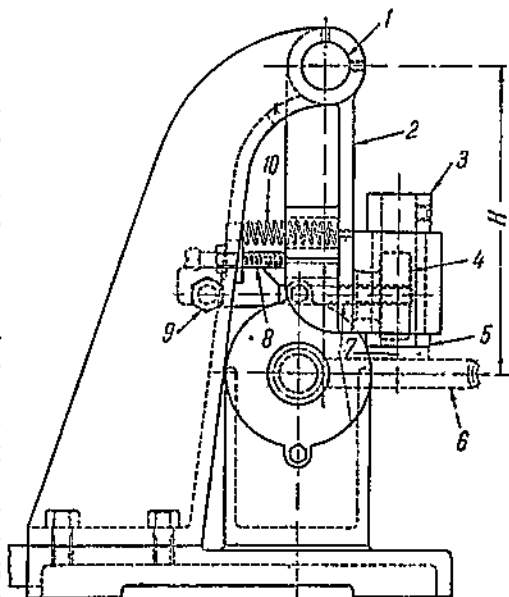
А — разрез через ось шпинделя; Б — боковой вид.

Притираемый червяк 1 (фиг. 39 и 40) устанавливают на его валу, с которого в дальнейшем червяк не снимают. Червячный вал плотно входит в закаленную и отшлифованную втулку 2, которую плотно вставляют в отверстие шпинделя и закрепляют стопорным винтом 3, прижимающим чугунную пробку 4 к червячному валу. Оба конца шпинделя вращаются в двухрядных шарикоподшипниках, расположенных на расстоянии 280 мм, что обеспечивает достаточную устойчивость всей вращающейся системы и компенсирует действия износа и расшатывания, возникающие после продолжительной эксплуатации. Подшипник у конца шкива воспринимает осевые усилия. Второй конец шпинделя может свободно двигаться в подшипнике, что необходимо при тепловом расширении или сужении шпинделя по длине. Шпиндель приводят во вращение мотором посредством ременной (клиновой) передачи.

Червячную шестерню 6 (фиг. 40) надевают на вал и вставляют в отверстие закаленной втулки 5, запрессованной в корпус шар-

нирного рычага 2. На другом конце вала червячной шестерни надето кольцо 3, плотно прикрепленное к валу и воспринимающее часть усилий, возникающих при притирании и действующих в плоскости червячной шестерни. Рычаг 2 может поворачиваться вокруг оси 1, установленной в приспособлении перпендикулярно к точке касания делительных окружностей червяка и шестерни. Во время притирания рычагу 2, а вместе с ним и шестерне сообщают, через небольшой интервал, перемещение в 0,13 мм. Расстояние $H=203$ мм достаточно велико и при общем перемещении в 0,13 мм погрешности в виде неперпендикулярности подачи можно не принимать в расчет.

Подачу при притирании производят путем поворачивания маховичка 4, насаженного на ходовой винт 7. Тугая пружина 10 прижимает все время рычаг 2 к поверхности маховичка 4. Величину общего перемещения рычага 2 регулируют установочным винтом 8; поворотом же через небольшие интервалы маховичка 4, сообщается червячному колесу подача, представляющая дробную часть общего перемещения. Рычаг 2 во время загрузки и съема червячной шестерни можно поворачивать вокруг оси 1 после поднятия ходового винта 7 с болта 9. Продолжительность притирания составляет около 1 мин. Притирочным средством в данном случае служит мелкий наждачный порошок в смеси с машинным маслом. Эту жидкую смесь наливают в специальный резервуар, помещенный на станине приспособления.



Фиг. 40. Приспособление для притирания червячных пар.

ЛИТЕРАТУРА

- Г. Н. Парун-Саркисов, *Обработка поверхности деталей авиа- и автодвигателей*, ОНТИ, 1935.
 А. И. Каширин, *Основы проектирования технологических процессов*, Машгиз, 1939.
 Отчет о работах бригады ЗИС и ЭНИМС по притирке и приработке шестерен, 1939.
 „Станки и инструмент“ № 3, 10 и 11, 1936.
 Werkstattstechnik, № 17, 1935.
 Machinery, London, № 1248, 1936; № 1360, 1938.
 Составные инструменты для отделочной притирки. Werkstattstechnik, № 23, 1939.

- Станок Мичиган, № 900, Machinery L. vol. 35, № 1413, 1939.
- Ф. И. Оливер, Станок для доводки шестерен. Iron Age, vol. 144, № 11, 1939.
- К. В. Коннор, Применение притирки в самолетостроительной промышленности. La Machine Moderne, vol. 33, № 377, 1939.
- Инструкция и паспорт к станку завода „Комсомолец“.
- Каталоги фирм: B. S. A; Norton-Newall Lapping Machines; Kaefiman; Michigan Tool Co; Гап и Кольб.
- Притирочный станок Мичиган с двумя притирами. Machinist, vol. 83, № 44, 1939.
- Шлифовальные и притирочные станки фирмы Нортон. Western Machinery and Steel World, vol. 30, № 11, 1939.
- Притирочный станок Мичиган, Machinery N. Y., vol. 46, № 3, 1939.
- Притирочный станок для отверстия, Machinist, vol. 83, № 41, 1939.
- Притирочный станок Гидролап. Western Machinery and Steel World, vol. 30, № 10, 1939.
- Новейшие типы шлифовальных и притирочных станков Нортон. Machinery N. Y. vol. 46, № 2, 1939.
- Полуавтоматический станок КЭМ-О-Леп № 30. Western Machinery, vol. 30, № 10, 1939.
- Г. И. Вилс, Применение притирки для окончательной доводки. Machinist, vol. 83, № 53 и vol. 84, № 1, 1940.
- Притирка. Model Engr, vol. 81, № 1996, 1939.
- Притирочный станок для коленчатых валов. Western Machinery, № 6, 1939.
- Улучшение отделки поверхностей. Western Machinery, vol. 30, № 7, 1939.
- Г. Шлезингер, Доводка поверхности. Machinery L. vol. 55, № 1433, 1940.
- Новый способ точной притирки, Werkstattstechnik № 19, 1938.
- Лепинг-процесс Machinery L. vol. 53, № 1373, 1939.
- Современные методы тонкой шлифовки и лепинг-процесс. Werkstatt und Betrieb, № 11—12, 1939.
- Г. Шлезингер, Доводочные процессы. The Machinist, vol. 84, № 11, 1940.
- Притирка инструментов. Aircraft Production, vol. 2, № 5, 1940.
- Притирочные станки. Aero Digest, vol. 36, № 1, 1940.
- Я. Коган Притирка направляющих станин пастой ГОИ. „Машиностроитель“ № 5—6, 1940.
- Притирочный станок фирмы ЭКС-Целл-о. Western Machinery and Steel World, vol. 30, № 1, 1939.
- Станок для притирки коленчатых валов. Iron Age, vol. 143, № 11, 1939.
- Двухшпиндельный притирочный станок для шестерен. Machinist, vol. 83, № 8, 1939.
- Гидравлический притирочный станок для внутренних поверхностей. Machinery L. vol. 54, № 1387, 1939.
- Ф. И. Оливер. Притирочный станок для доводки центров. Iron Age, vol. 144, № 6, 1939.
- Станок для притирки коленчатых валов фирмы Шренер. Machinery N.Y., vol. 45, № 8, 1939.
- Усовершенствованный лепинг-станок фирмы ЭКС-Целл-о. Machinery, vol. 45, № 12, 1939.
- Притирочный станок с коленчатым валом. Machinist, vol. № 83, № 14, 1939.
- Притирка шестерен. Machinery L. vol. 53, № 1362, 1938.
- Инструмент для притирки плашек. Machinist № 21, 1935.
- Механическая притирка. Machinery L. vol. 43, № 1278, 1936.
- Прецизионная обработка. La Machine Moderne № 227, 1932.

IV. СУПЕРФИНИШ

Сущность процесса и его развитие

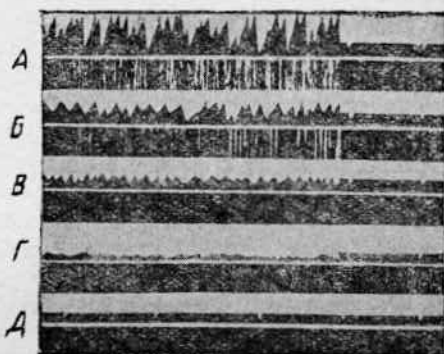
Суперфиниш (Superfinish), что в буквальном переводе значит «сверхдоводка», представляет исключительно тонкую доводку внутренних, наружных, плоских, выпуклых, вогнутых и иных поверхностей посредством комбинации коротких движений, причем применяют легкие давления абразива, низкие скорости резания, сравнительно твердые абразивные камни и смазку надлежащей вязкости, предупреждая появление царапин или дефектов на поверхности, обработанной суперфинишем.

Штрихи, царапины, риски, оставшиеся после предыдущих операций, исчезают. Поверхность делается гладкой и ровной. Термины: шаг гребешка (риски) и высота гребешка к поверхности, обработанной по методу суперфиниша, не применимы, так как остаются гребешки, не имеющие никакого практического значения.

Это является основной особенностью поверхности, обработанной методом суперфиниша. После обработки по методу суперфиниша остаются лишь штриховые углубления (впадины), как след предыдущей обработки, отстоящие друг от друга на значительном расстоянии (фиг. 1). Глубина этих впадин имеет крайне незначительную величину, обнаруживаемую лишь микрофотографией.

При обработке по методу суперфиниша абразив и изделие совершают большое число рабочих движений (от 3 до 12), которые комбинируются так, чтобы режущие зерна абразива не проходили дважды по уже пройденному пути.

Ввиду малой окружной скорости и небольшого давления абразива повышение температуры в месте обработки крайне незначи-



Фиг. 1. Качество поверхности после суперфиниша по сравнению с поверхностями, обработанными другими методами.

А—обтачивание; Б—шлифование чистовое; В—хонингование; Г—лепигование; Д—суперфиниш. Увеличение 750.

тельно — меньше 1° , благодаря чему поверхностный слой обрабатываемой детали не делается пластичным и не образуется аморфного, наклепанного слоя.

Сравнение фиг. 2 и 3 показывает, что окончательная обработка деталей методом суперфиниша обнажает кристаллическую структуру металла, удаляя почти весь аморфный слой. Если, на-



Фиг. 2. Поверхность шлифованной стали SAE-1015.
Увеличение 750.

пример, после хонинг-процесса толщина аморфного слоя составляет $0,0025$ — $0,025$ мм, то после суперфиниша она составляет уже только $0,00025$ мм и по существу практического значения не имеет.

Метод суперфиниша был разработан и впервые применен в автомобильном производстве на заводе Крайслер (США) в 1935—1937 гг. Разработка этого метода доводки была вызвана тем, что на обоямах роликовых подшипников задних колес авто-



Фиг. 3. Поверхность суперфинишированной стали SAE.
Увеличение 750.

мобилей, транспортируемых по железной дороге, были обнаружены отпечатки роликов, напоминающие отпечатки, получаемые при определении твердости по методу Бринелля. Произведенные после этого исследования показали, что эти отпечатки появляются на обоямах вследствие наличия на поверхности последних тонкого слоя шлифовальных осколков, что в соединении с достаточной

шероховатостью ее вызывало отпечатки роликов под действием толчков, сопровождающих движение вагонов по рельсам. По удалении этого слоя обнажается неизменная кристаллическая структура металла.

Одновременно был сконструирован первый станок для чистовой доводки обойм подшипников.

Первые результаты оказались настолько благоприятными, что фирма Крайслер стала постепенно применять новый метод при обработке ряда автомобильных деталей.

Охлаждающие (смазывающие) жидкости

При суперфинише особенно большую роль играет охлаждающая или, точнее, смазывающая жидкость, так как ее свойства и вязкость определяют момент окончания обработки. Смазывающая жидкость должна образовывать масляную пленку, которая, если не разрывается неровностями обрабатываемой поверхности, препятствует соприкосновению абразива с основным металлом и режущее действие его прекращается после получения гладкой поверхности. Поэтому давление, развиваемое в процессе доводки детали, должно быть достаточным для того, чтобы вершины гребешков могли прорвать масляную пленку. При первых проходах абразив снимает эти вершины. Когда давление абразива увеличивается, масляная пленка прорывается снова большим количеством гребешков с меньшей высотой, которые абразив также удаляет, пока, наконец, не получится совершенно гладкая поверхность, на которой масляная пленка больше не прорывается. Дальнейшее продолжение обработки уже не изменяет характера полученной поверхности.

При обработке методом суперфиниша применяют смазку, составленную по одному из следующих рецептов:

I

Керосин	19 ч.
Масло Интернешнел компаунд № 155	1 ч.

II

Керосин	10 ч.
Масло SAE-10	1 ч.

Масло SAE-10 должно обладать вязкостью по Сейтболту при 130°F минимум 90 и максимум 120, что составляет примерно 2,58—3,31 по шкале Энглера при 50°C.

III (завод „Плимут“)

Керосин	25 ч.
Специальное масло (состав не указан)	1 ч.

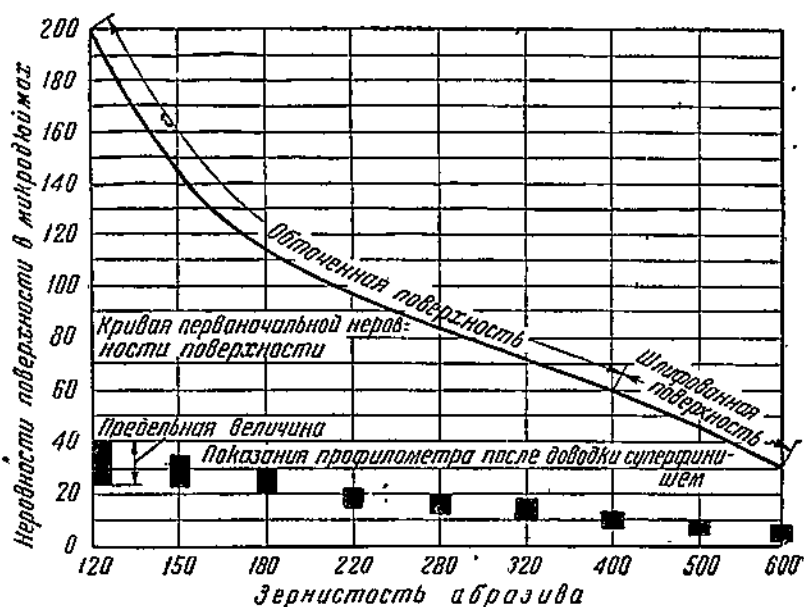
Припуски на обработку

При доводке деталей методом суперфиниша абразивы следуют контурам обрабатываемой ими поверхности, снимая с нее гребешки, причем толщина слоя снимаемого металла не превышает 0,0051 мм (0,0002"). Таким образом размеры детали не изменяются и давать припуски на обработку не приходится, так как размерность деталей после суперфиниширования не изменяется, т. е. деталь остается в пределах допусков.

Поверхность перед суперфинишированием должна быть достаточно чисто отшлифована.

Абразивы

На большинстве станков для суперфиниширования применяют абразивные бруски прямоугольного сечения. Исключение составляют абразивы на станках для доводки плоских поверхностей,



Фиг. 4. Влияние зернистости абразива на качество суперфинишированной поверхности мягкой стали.

мелких цилиндрических деталей, например поршневых пальцев и стержней клапана и кулачков распределительного вала, где употребляют круги.

По данным фирмы Крайслер, при суперфинишировании применяют обычные рыночные (стандартные) абразивы с зернистостью не ниже 320 и достаточно твердые. Величина зерен и структура должны быть совершенно однородными, причем их надо подбирать в соответствии с выполняемой работой. Абразивы с особенно

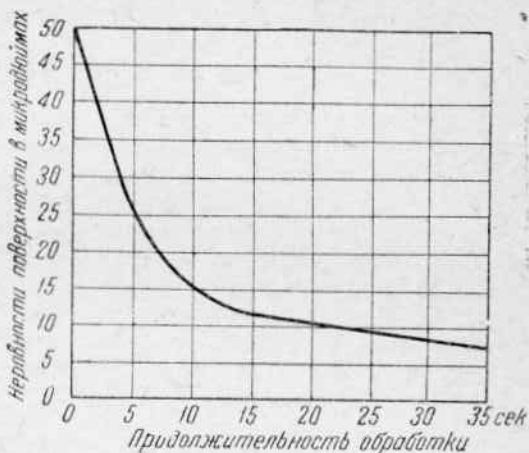
мелкими зернами употребляют только в тех случаях, когда требуется получить идеально гладкую поверхность, т. е. поверхность, величина шероховатости которой не превышает одного микро-
дьюма (фиг. 4).

Опыт показывает, что чем больше зернистость абразива, тем больше шаг остаточных впадин (рисок) на поверхности, т. е. поверхность получается более гладкой.

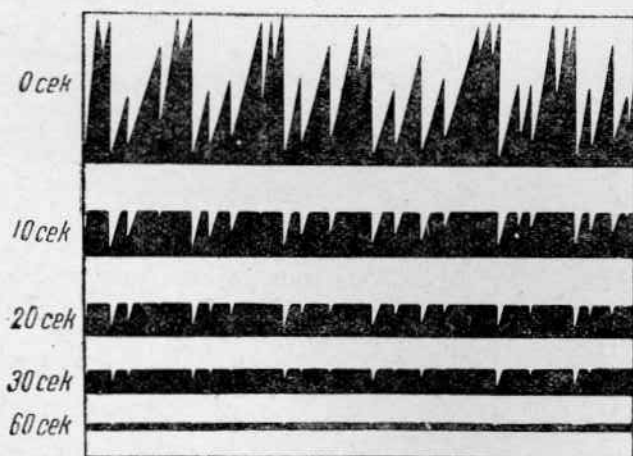
Продолжительность обработки

Суперфиниширование происходит очень быстро. В зависимости от требуемой точности (качества) поверхности обрабатываемой детали

время суперфиниширования составляет 3—30 сек. (фиг. 5). Характер поверхности, получаемой после раз-



Фиг. 5. Зависимость качества поверхности после суперфиниша от продолжительности обработки.



Фиг. 6. Величина остаточных гребешков на суперфинишированной поверхности после различной продолжительности доводки.

личной продолжительности суперфиниширования, изображен на фиг. 6, причем оказывается, что для удаления самых больших гребешков с шлифованной поверхности требуется не более 10 сек.

доводки. Далее эффективность суперфиниширования начинает уменьшаться. Для дальнейшего уничтожения более мелких гребешков необходимо соответствующее увеличение удельного давления абразива на поверхность обрабатываемой детали.

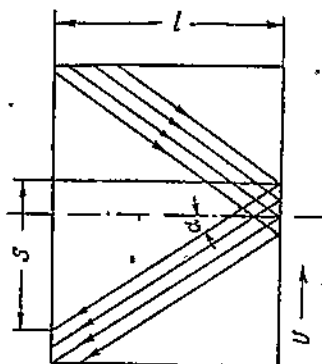
Давление при обработке

Величина давления при обработке деталей методом суперфиниш жестко ограничена и составляет 30—450 г. В начале дают очень легкое давление, постепенно увеличивая его, пропорционально увеличению площади соприкосновения абразива со срезаемыми гребешками на обрабатываемой поверхности. Давление абразивов на поверхность обрабатываемой детали во всех конструкциях станков для суперфиниширования осуществляется при помощи пружин, дающих возможность равномерно распределять давление. Специфической особенностью этого метода является регулировка величины давления абразива на обрабатываемую деталь, т. е. постепенное его нарастание по мере продолжительности обработки.

Скорость резания

Скорость резания при суперфинише является результирующей скоростью, создаваемой вращательным движением изделия или абразива и колебательным движением изделия или абразива вдоль оси изделия. Амплитуда этих колебаний обычно незначительна — 3,2—6,4 мм. Результирующая скорость не превышает 2,5 м/сек, хотя число колебаний и число оборотов достаточно велики.

Чтобы точки абразива не проходили по уже пройденному пути (фиг. 7), надо найти оптимальное соотношение числа оборотов изделия и количества возвратно-поступательных колебаний абразива. Примем следующие обозначения:



Фиг. 7. Следы режущей точки абразива на поверхности изделия при суперфинише.

l — амплитуда колебания (длина хода абразива);

S — проекция пути, пройденного режущей точкой абразива на поверхности обрабатываемого изделия во время одного колебания (поступательного или возвратного);

v — скорость вращения изделия;

α — угол наклона траектории движения режущей точки абразива к оси изделия;

n_1 — число двойных ходов абразива в минуту.

За время $\frac{1}{n_1}$ на длине l происходит одно возвратно-поступательное движение. Тогда путь, пройденный режущей точкой

абразива за время $\frac{1}{n_1}$ мин., равен

$$S = v \frac{1}{n_1} = \frac{v}{n_1}.$$

Отсюда найдем значение угла α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{l} = \frac{v}{l n_1},$$

т. е. величина угла α прямо пропорциональна окружной скорости обрабатываемого изделия.

Увеличивая скорость вращения, увеличиваем угол α , что при обработке деталей, совершающих в машине возвратно-поступательные движения (например, поршень), способствует лучшей обработке. При обработке деталей, совершающих в машине только вращательные движения (например, шейка коленчатого вала), величину угла α нужно уменьшать. Оптимальные значения этого угла подбирают экспериментально.

Кроме этого отношение числа колебательных (возвратно-поступательных) движений абразива к числу оборотов обрабатываемой детали прямо пропорционально твердости ее материала. Наивыгоднейшие соотношения числа оборотов детали и числа колебаний абразива для различных автомобильных деталей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы обработки

Обрабатываемая деталь	Число оборотов детали в минуту	Число колебаний абразива в минуту	$\frac{n_{\text{кол}}}{n_{\text{обор}}}$
Поршень	450	240	0,48
Кулачки распределительного вала	22	230	10,45
Коленчатый вал	150	450	3,00
Тормозной барабан	154	550	3,66
Маховик	175	900	5,14

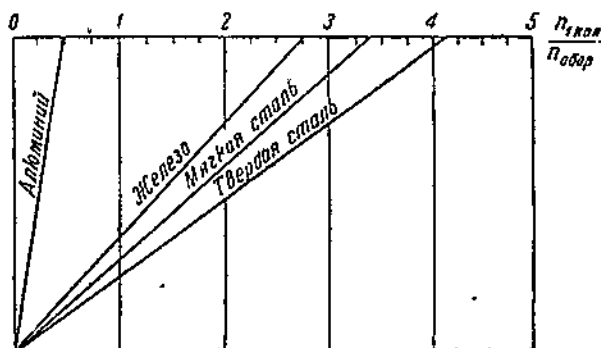
Необходимо отметить, что в табл. 1 это соотношение не вполне выдержано, так как твердость маховика ниже, чем коленчатого вала, хотя отношение для маховика выбрано больше. Возможно, что при этом имеют значение также геометрические размеры обрабатываемой детали. При выборе величины соотношения $\frac{n_{\text{кол}}}{n_{\text{обор}}}$ для обработки различных металлов можно пользоваться диаграммой (фиг. 8).

Учитывая, что величина снимаемого слоя составляет несколько микронов, о величине подачи говорить не приходится.

Технико-экономические показатели суперфинишной обработки

Качество обработанной поверхности. После суперфиниширования поверхность совершенно не имеет шероховатостей и является идеально гладкой. Средняя высота неровностей на поверхности может быть доведена до 1 микродюйма и даже до 0,5 микродюйма.

Поверхности, доведенные с точностью до 0,5 микродюйма, имеют почти черный вид, поэтому представление о блестящей поверхности, как об идеально гладкой, оказывается ошибочным. Блеск зеркальных поверхностей деталей обусловлен отражением



Фиг. 8. Зависимость отношения числа колебаний абразива к числу оборотов от твердости детали.

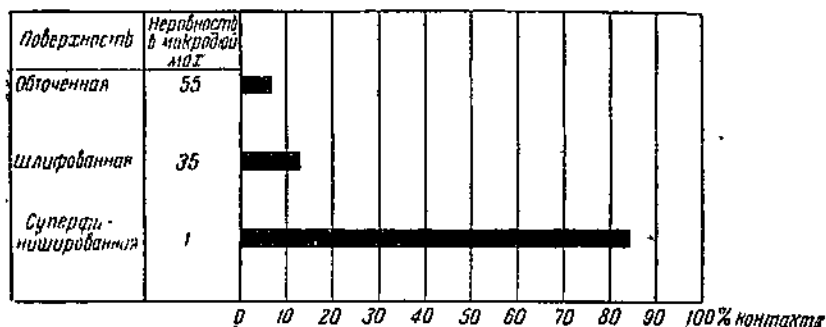
света в мельчайших царапинах, остающихся после обработки. Чем меньше на поверхности линий, царапин и прочих дефектов, тем меньше она блестит.

Суперфиниш может быть основным методом окончательной обработки деталей при массовом производстве, так как отклонения от требуемого качества поверхностей весьма незначительны, независимо от номинальной величины допустимой шероховатости.

Следы вибрации и других дефектов, вызываемых неправильной работой станка и оставшихся на изделии после предыдущих операций, выявляются сразу же после первых ходов станка для доводки суперфинишем.

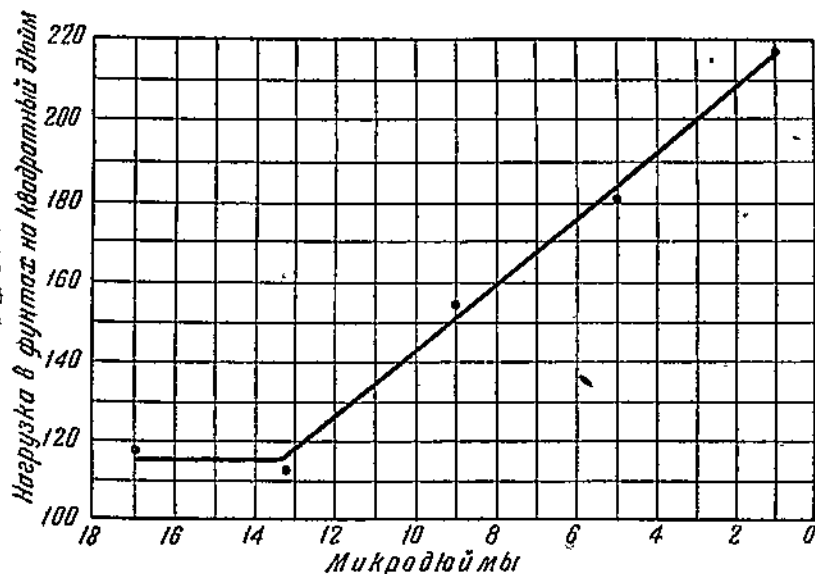
Уменьшение износа трущихся поверхностей. Суперфиниш устраняет так называемый первоначальный износ, нарушающий расчетное соотношение зазоров и натягов. Так при обкатке мотора, детали которого не обрабатывали суперфинишем, износ вкладышей подшипника коленчатого вала достигал 0,025 мм, а износ поршня и цилиндра 0,04572 мм, причем поршень изнашивался на 0,03302 мм, а цилиндр на 0,0127 мм. После обработки поршня и цилиндра по методу суперфиниша суммарный износ их после пробега 16093 км составил лишь 0,0025—0,0051 мм.

Вследствие высокой гладкости поверхностей, обработанных методом суперфиниша, значительно увеличивается площадь соприкосновения при их сопряжении (фиг. 9).



Фиг. 9. Увеличение площади соприкосновения поверхностей, обработанных методом суперфиниша.

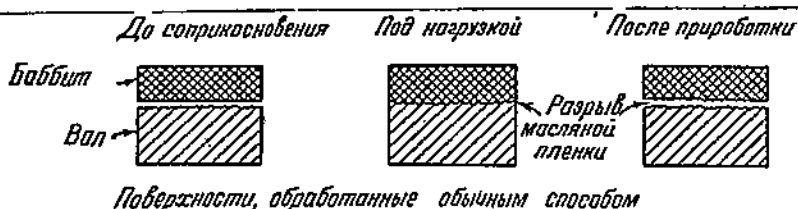
. Улучшение условий смазки. Наличие гребешков на соприкасающихся поверхностях способствует разрыву масляной пленки, вызывает их соприкосновение и быстрый износ. Улучше-



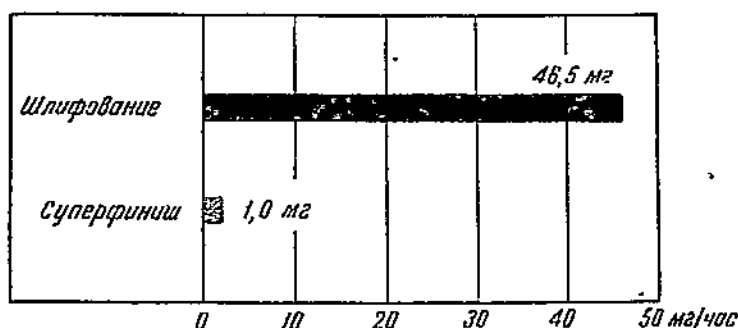
Фиг. 10. Зависимость давления, необходимого для разрыва масляной пленки, от качества поверхности.

ние же качества поверхности вызывает повышение усилий, необходимых для разрыва масляной пленки в подшипнике (фиг. 10).

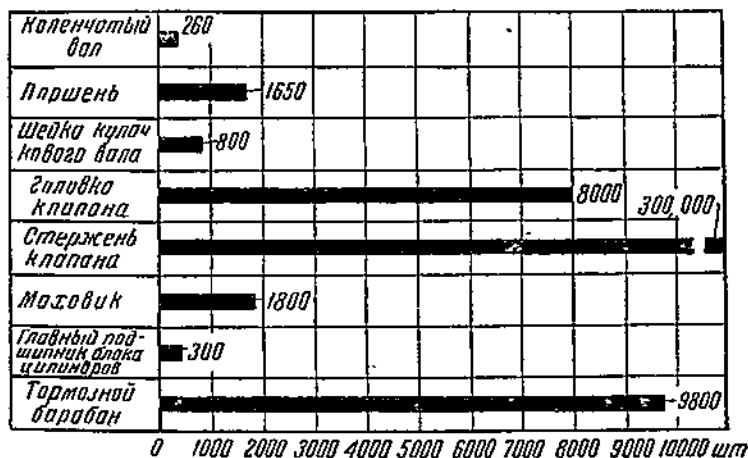
Приработывание подшипника и вала, обработанных различно (фиг. 11), показывает, что при работе вала, доведенного обычным



Фиг. 11. Схема приработки подшипников, обработанных различными способами.



Фиг. 12. Износ баббитовых вкладышей в зависимости от метода обработки.



Фиг. 13. Количество деталей, обрабатываемых абразивами до полного износа абразива.

способом, его шероховатости деформируют поверхность подшипника и разрывают масляную пленку. При соприкосновении этих поверхностей, обработанных методом суперфиниша, разрыва масляной пленки не наблюдается. Впадины на поверхности, остающиеся после суперфиниша, играют роль карманов для масла.

Испытания на износ шлифованных баббитовых вкладышей подшипников и вкладышей, обработанных методом суперфиниша, показали, что суперфиниш обеспечивает минимальный износ (фиг. 12).

Износ абразивов при обработке деталей методом суперфиниша весьма невелик вследствие того, что камень только слегка соприкасается с изделием, а применяемая при работе смазка еще больше уменьшает износ. В результате количество деталей, обрабатываемых абразивами до их полного износа, весьма велико (фиг. 13).

Методом суперфиниша, можно обрабатывать чугун, сталь, алюминий (литой и кованный), медь, хромированные втулки, стекло, дерево, олово, текстолит и т. п.

Методы обработки, оборудование, приспособления и инструмент

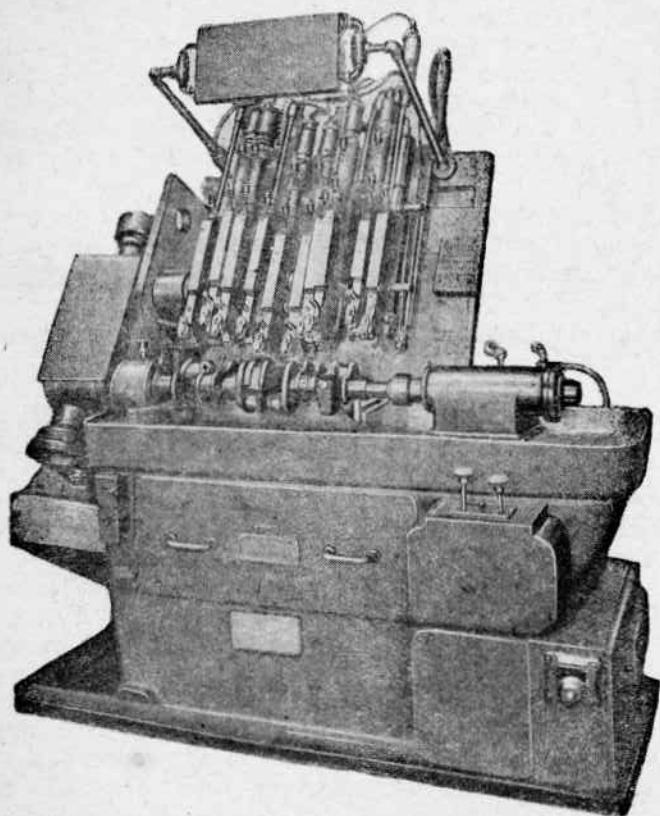
Для обработки основных автомобильных деталей методом суперфиниша были сконструированы и изготовлены специальные станки для обработки каждой детали, представляющие законченные агрегаты. При конструировании их основное внимание было уделено простоте и надежности крепления изделия и инструмента. В дальнейшем после внедрения этого метода для обработки основных деталей в массовом производстве фирма Фостер начала изготавливать станки для обработки аналогичных деталей в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Эти станки можно быстро перенастраивать для обработки деталей другой конфигурации. Наряду с этим начали изготавливать станки универсального типа для доводки мелких деталей и станки для инструментальных цехов. В последнее время фирма Фостер начала изготавливать в серийном порядке универсальные приспособления для обычных токарных, револьверных или шлифовальных станков, дающие возможность быстро превращать их в станки для суперфиниширования самых разнообразных деталей (преимущественно цилиндрической формы).

Обработка коленчатых валов. Увеличение степени сжатия мотора и повышение числа оборотов коленчатого вала ограничиваются износом подшипников и их способностью выдерживать повышенные нагрузки. Поэтому метод суперфиниша в первую очередь был применен для обработки шеек вала, чтобы предупредить разрывание масляной пленки.

Сконструированный для этого фирмой Фостер специальный станок (фиг. 14) имеет десять вертикальных абразивных головок для обработки шести шатунных и четырех коренных шеек. Абразивные головки установлены на станке под углом 45° к горизонтальной плоскости.

Станок имеет три рабочих движения (фиг. 15): 1) вращение изделия, 2) поступательное движение абразива вдоль оси изделия и 3) возвратное движение абразива вдоль оси изделия.

Это число движений, являющееся минимальным при суперфинише, обеспечивает возможность получения на обрабатываемой поверхности достаточно мелкой «сетки».



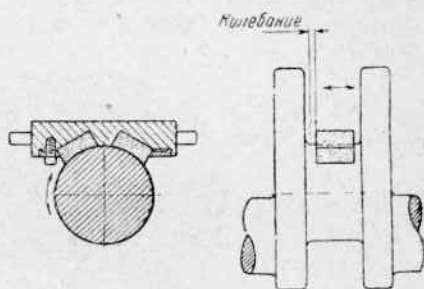
Фиг. 14. Станок для суперфинишования шеек коленчатого вала.

Возвратно-поступательное перемещение абразивных головок осуществляется при помощи двух эталонных коленчатых валов, в точности соответствующих коленчатому валу, обрабатываемым на данном станке. При обработке валов другой конфигурации меняют соответственно и эталонные валы.

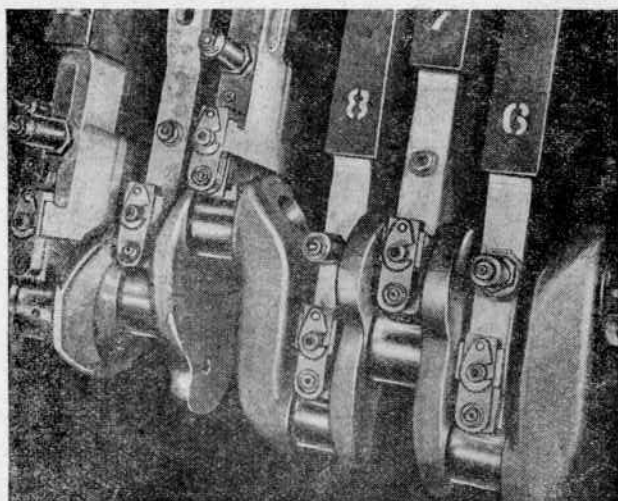
Эталонные валы расположены на наклонной под 45° плоскости станка и вращаются на своих коренных шейках. Шатунные шейки обоих эталонных валов соединены между собой при помощи эталонных шатунов. Вращение эталонные валы получают от отдельного электромотора, соединенного с нижним эталонным валом. На

шатунах и на корпусах подшипников коренных шеек эталонных валов укреплены абразивные головки (фиг. 16), которые совершают возвратно-поступательные колебания вдоль оси шейки коленчатого вала. Для сообщения им этих колебаний служат кулачки, приводимые в движение отдельными моторами, укрепленными на штангах абразивных головок. При вращении кулачки соприкасаются со специальными выступами, расположенными на наклонной под углом 45° плоскости станка. Число этих возвратно-поступательных колебаний с амплитудой 4,8 мм составляет 450 в мин.

Обрабатываемый вал устанавливается в центрах на передней части станка и приводится во вращение отдельным мотором, соединенным с его фланцем, со скоростью в начале обработки 40 об/мин. После 15—20 сек. в середине цикла обработки число оборотов сразу доводят до 150. Это увеличение числа оборотов вызывается тем, что к концу обработки сечение гребешков на



Фиг. 15. Схема обработки шеек коленчатого вала.

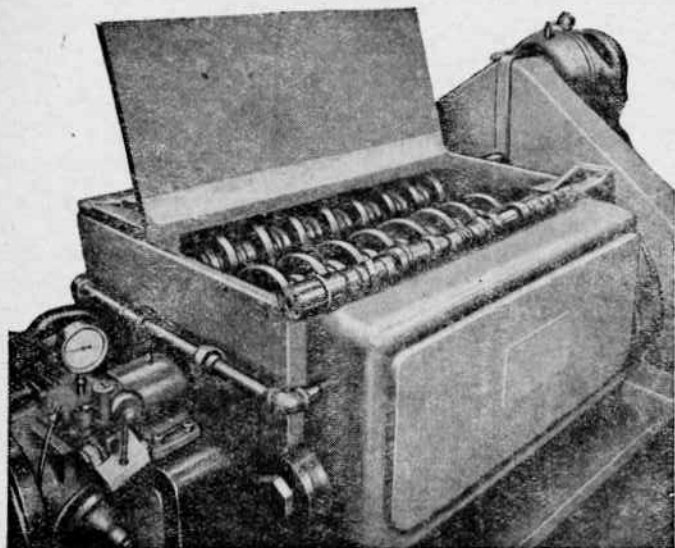


Фиг. 16. Абразивные головки станка для суперфиниша коленчатых валов.

обрабатываемых шейках увеличивается и для сокращения времени необходимо не только увеличить давление, но и повысить скорость резания. Подвод и отвод абразивных головок производится гидравлическим путем.

После окончания обработки, занимающей 40 сек. машинного времени, абразивные головки отходят вверх и стол станка автоматически останавливается.

Производительность станка составляет 45 валов в час. Величину давления абразивов на обрабатываемые шейки регулируют спиральными пружинами, расположенными в корпусах держателей. Это давление, постепенно увеличиваясь, в конце обработки достигает $0,7 \text{ кг/см}^2$. Смазочный материал подается в обильном количестве через трубопроводы позади каждой абразивной головки. Для обработки употребляют абразивы Нортон 50-J-11.



Фиг. 17. Станок для обработки кулачков распределительного вала.

При суперфинише снимают слой металла толщиной $0,0038—0,005 \text{ мм}$ и получают поверхность с шероховатостью 5—9 микродюймов, тогда как после окончательного шлифования шероховатость этой поверхности составляла 35—40 микродюймов.

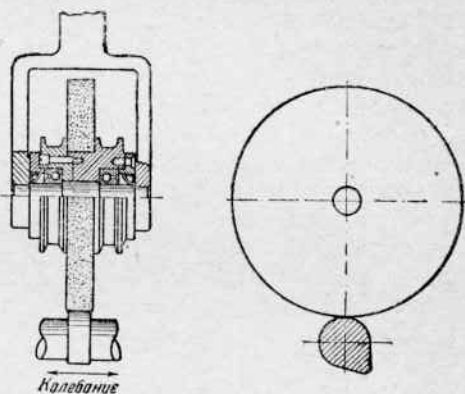
Помимо этих станков, рассчитанных для применения в массовом производстве, фирма Фостер выпускает также станки для крупно- и мелкосерийного производства.

По этому же принципу фирмой Фостер построены станки для обработки шеек коленчатых валов в мелкосерийном производстве. Эти станки имеют две абразивные головки, так что можно одновременно обрабатывать только две шейки коленчатого вала — коренные или шатунные. Расстояние между абразивными головками можно регулировать.

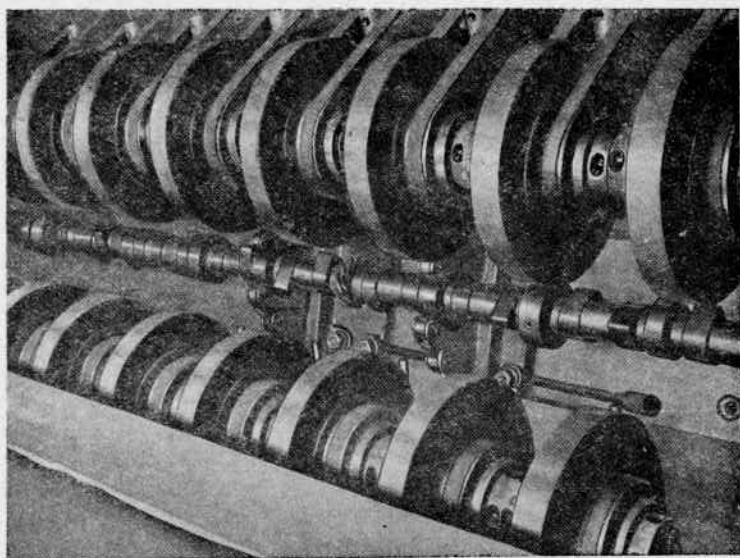
Обработка кулачкового (распределительного) вала. Применяемый для этого станок по принципу работы и сво-

ему внешнему виду не отличается от станка для обработки шеек коленчатого вала. Единственная разница состоит в том, что при обработке распределительного вала не требуется делать возвратно-поступательных движений, перпендикулярных к оси обрабатываемого изделия. Число абразивных головок соответствует числу шеек кулачкового вала. Абразивные головки можно перемещать по направляющим станка, что дает возможность обрабатывать на этом станке кулачковые валы разнообразных типов. Обрабатываемый вал вращается со скоростью 240 об/мин. при 450 возвратно-поступательных колебаниях в минуту с амплитудой 3,2 мм.

Давление, применяемый абразив и получаемое качество поверхности — аналогичны обработке коленчатых валов.



Фиг. 18. Схема обработки кулачков распределительного вала.



Фиг. 19. Расположение кругов при обработке кулачков распределительного вала.

Станок для обработки рабочих поверхностей кулачков распределительного вала (фиг. 17) делает четыре рабочих движения: 1) вращение абразива, 2) вращение изделия, 3) поступательное

движение изделия по направлению своей оси, 4) возвратное движение изделия.

Вместо абразивных брусков, как в предыдущих случаях, здесь применены абразивные круги, диаметр которых в пять раз больше диаметра основания кулачка распределительного вала (фиг. 18). Круги посредством клиновых ремней приводятся во вращение от главного вала.

Давление на изделие при обработке происходит за счет веса кругов, подвешенных на пружинах и меняющих свое положение в соответствии с контуром кулачка (фиг. 19).

Для уменьшения габаритов станка и равномерного давления на обрабатываемые кулачки абразивные круги расположены в два ряда. Обрабатываемый вал находится посередине. Вначале кулачковый вал вращается в одном направлении со скоростью 22 об/мин., а абразивные круги вращаются в противоположную сторону, делая 800 об/мин. После 10 сек. направление вращения кулачкового вала меняется и обработка продолжается еще 10 сек. Этим достигают уменьшения завала вершины кулачков, получающегося вследствие увеличения давления абразивов в момент соприкосновения их с вершинами кулачков. Число возвратно-поступательных колебаний кулачкового вала составляет 230 в мин. при амплитуде 3,2 мм. Для обработки уплотняют круги Нортон зернистостью 500 твердые, с бакелитовой связкой и снимают слой металла толщиной 0,005 мм.

Шероховатость поверхности после обработки соответствует 5—8 микродюймам.

Обработка поршня. На предназначенном для этого станке (фиг. 20) можно одновременно обрабатывать шесть поршней, которые скатываются по наклонным направляющим к двум вращающимся в одинаковом направлении роликам.

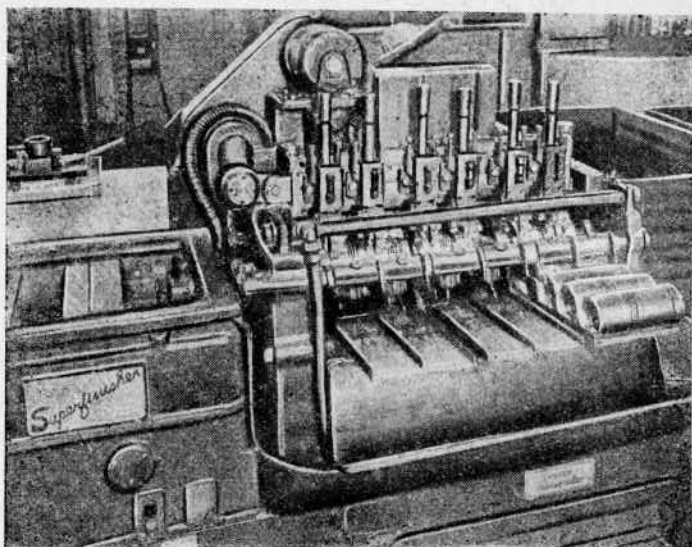
Необходимо отметить, что суперфинишированию могут подвергаться поршни с заранее предусмотренным эллипсом по диаметру — до 0,3048 мм.

Станок имеет три рабочих движения: 1) вращение поршня роликами, 2) поступательное движение абразива вдоль оси обрабатываемого поршня и 3) возвратное движение абразива.

Абразивные бруски установлены на легкой стальной пружине (фиг. 21), осуществляющей давление абразива на поршень с силой 0,07—0,105 кг/см². Благодаря столь незначительному давлению поршни, диаметры которых отличаются друг от друга на 3,18 мм, можно обрабатывать попеременно, без изменения регулировки станка. Поршень делает 450 об/мин., а абразивные головки совершают 240 колебаний в минуту с амплитудой 4,76—6,35 мм. Станок работает автоматически и рабочему остается лишь помещать поршни в загрузочные желобки. Смазка стандартного состава подается в обильном количестве.

При обработке снимают слой металла толщиной 0,005 мм. Качество поверхности поршня после обработки, оцениваемое показаниями профилометра, составляет 6—8 микродюймов.

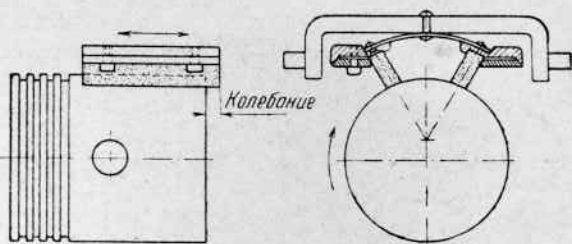
Обработка стержней клапанов, толкателей и поршневых пальцев. Употребляемые для этого станки (фиг. 22) аналогичны между собой и отличаются лишь приспособлениями для крепления деталей (фиг. 23).



Фиг. 20. Станок для обработки поршней.

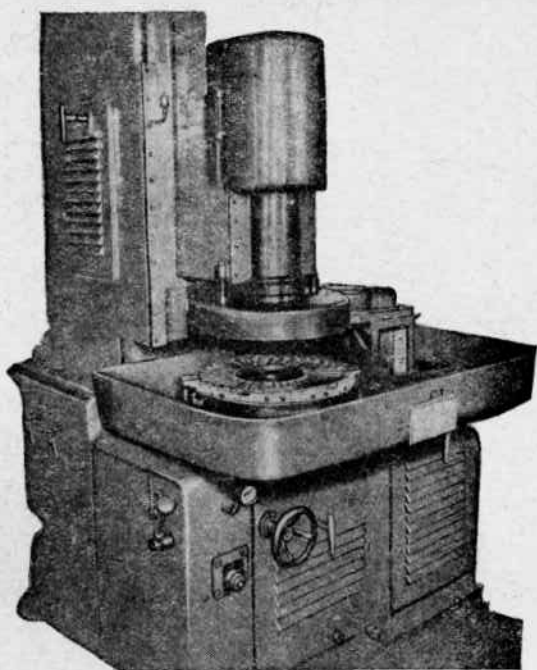
Станок имеет два вертикальных шпинделя, несущих абразивы, расположенные друг против друга. Между ними находится дисковое приспособление с деталями. Верхний шпиндель предназначен для вращения рабочего абразива, закрепленного на плавающей планшайбе.

Подвод и отвод верхнего шпинделя производится при помощи гидравлического устройства. Нижний шпиндель вращает абразив и одновременно ведет изделие. Нижний абразив жестко укреплен на шпинделе и снабжен регулировочным устройством для компенсации износа. Стандартная смазка поступает из трубопровода в центре приспособления и распространяется вокруг под действием центробежной силы.

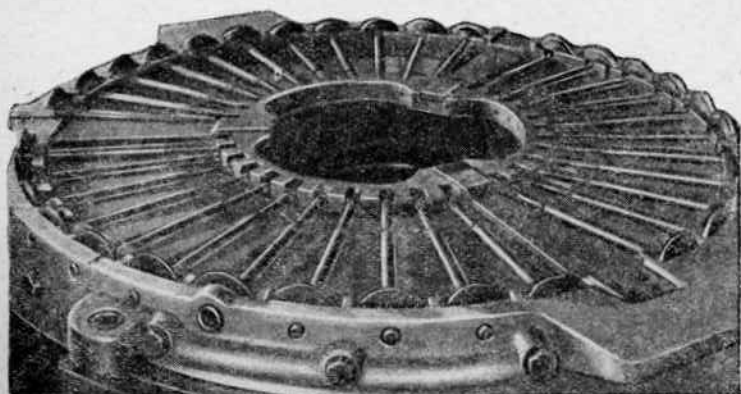


Фиг. 21. Схема обработки поршня.

Станок имеет шесть рабочих движений: 1) вращение рабочего абразива; 2) поступательное движение рабочего абразива в горизонтальной плоскости; 3) возвратное движение рабочего абразива



Фиг. 22. Станок для обработки стержней клапанов, толкателей и т. п.



Фиг. 23. Приспособление для обработки стержней клапанов.

в горизонтальной плоскости; 4) вращение ведущего абразива; 5) поступательное движение ведущего абразива в горизонтальной плоскости; 6) возвратное движение ведущего абразива в горизонтальной плоскости.

Поступательно-возвратные колебания осуществляются эксцентричным вращением абразивов при помощи вращающихся эксцентричных втулок, надетых на их шпиндели. Верхний (рабочий) шпиндель делает 136 об/мин. и 850 колебаний, а нижний (ведущий) шпиндель 128 об/мин. и 800 колебаний. Ввиду разницы скоростей вращения и колебаний абразивов траектория движения каждой режущей точки абразива никогда не совпадает с траекторией прочерченной ею раньше.

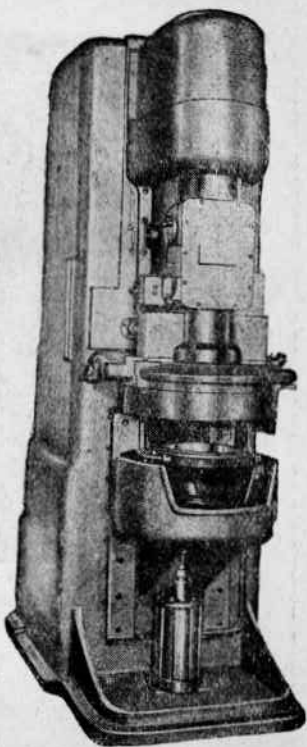
Давление абразива на обрабатываемую деталь осуществляется посредством пружин, укрепленных в планшайбе верхнего шпинделя.

Верхний (рабочий) абразив имеет характеристику по Нортону 500-G-18-T6, а нижний (ведущий) абразив 500-M9-L. Толщина снимаемого при этом слоя металла составляет 0,005 мм. Качество поверхности после обработки соответствует шероховатости в 2 микродюйма.

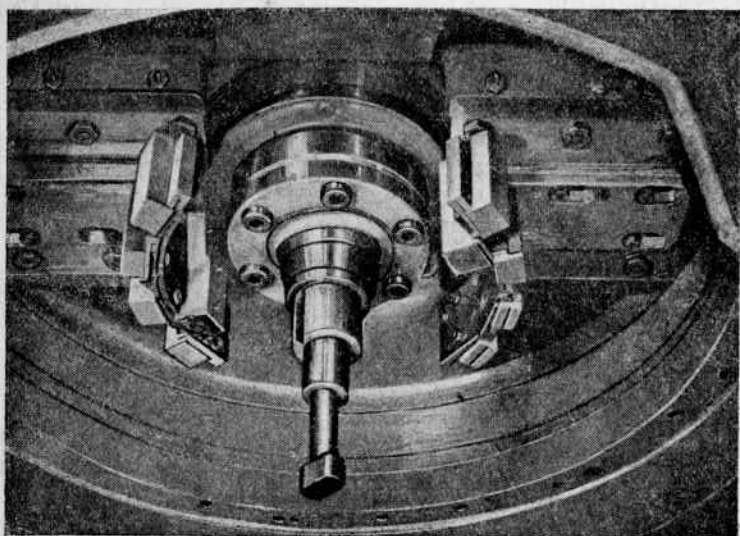
В настоящее время фирма Фостер изготавливает новый станок для этой же цели, причем он должен делать 12 движений, для чего приспособлению будут сообщены еще и возвратно-поступательные колебания.

Обработка тормозных барабанов и тормозных колодок. Применение суперфиниша для обработки тормозного барабана и колодок увеличило площадь контакта их поверхностей с 75% до 90—92% и увеличило срок службы тормозов на 50%. При обработке тормозных колодок методом суперфиниша снимают слой металла 0,127—0,203 мм, причем обе колодки обрабатывают в сборе точно в соответствии с радиусом тормозного барабана.

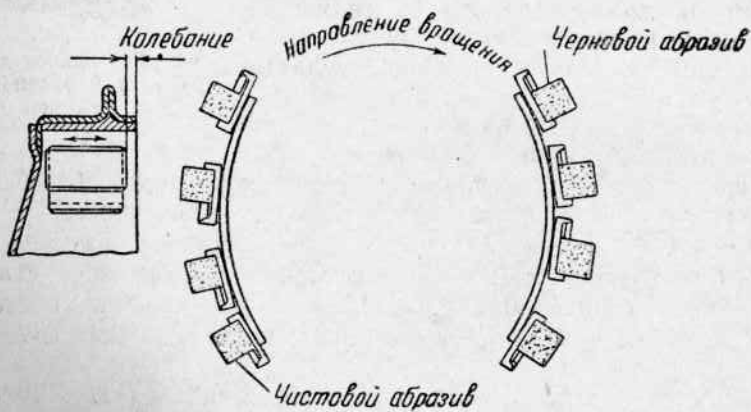
Для суперфиниширования тормозных барабанов служит одношпиндельный станок, изображенный на фиг. 24. Деталь устанавливают в кондукторе, помещенном на штоке поршня пневматического цилиндра, который поднимает изделие вверх к инструменту, и закрепляют автоматически замыкающимися Г-образными захватами (фиг. 25).



Фиг. 24. Станок для обработки тормозного барабана.



Фиг. 25. Шпиндель станка для обработки тормозных барабанов (вид снизу).



Фиг. 26. Схема обработки тормозного барабана.

Обработка производится двумя комплектами абразивов: черновым и чистовым (фиг. 26), установленными в стальной колодке, снабженной пружиной таким образом, что абразивы могут поворачиваться на оси подобно тормозной колодке и самоустанавливаться. Таким образом абразивы действуют подобно тормозным колодкам. В течение первых 3 сек. поверхность изделия обрабатывается черновой абразив, затем в течение 5 сек. черновой и чистовой абразивы работают вместе, после чего обработку заканчивает чистовой абразив. Общая продолжительность цикла 13 сек. Абразивы прижимают кулачком, обеспечивающим постепенное нарастание давления во время обработки, причем сила давления доходит до $1,26 \text{ кг/см}^2$. Между кулачком и подвижной осью абразива расположены пружины, обеспечивающие плавное увеличение давления, причем кулачок сжимает пружины, а последние подают абразив к барабану.

Станок имеет три рабочих движения: 1) вращательное движение изделия; 2) поступательное движение изделия вдоль своей оси и 3) возвратное движение изделия.

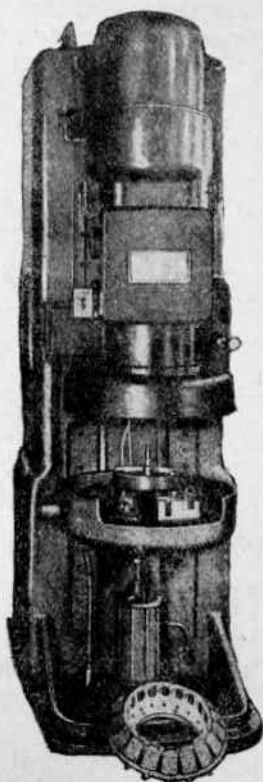
Изделие делает 154 об/мин. и 550 возвратно-поступательных колебаний с амплитудой 6,3 мм. По окончании доводки станок автоматически останавливается. Характеристика абразивов по Нортону: черновой 180-N-7S и чистовой 320-L-10.

При обработке снимают слой металла толщиной 0,0102 мм, причем качество поверхности соответствует шероховатости в 8—10 микродюймов.

В станке для обработки тормозных колодок (фиг. 27), собранных с цилиндром гидравлического тормоза и щитком от попадания положены под углом к обрабатываемому изделию (фиг. 28), так как перевернутые фланцы предохранительных щитков не дают возможности поставить абразивы перпендикулярно к оси. Радиальное давление на изделие является одной из составляющих давления, направленного по оси крепления абразива.

Тормозные колодки при обработке слегка прижимаются к абразивам при помощи уже установленного на колодках гидравлического цилиндра тормоза, который в этом случае приводят в действие сжатым воздухом.

Станок имеет три рабочих движения: 1) вращение абразивов, 2) поступательное движение абразивов вдоль оси обрабатываемой детали и 3) возвратное движение абразивов.

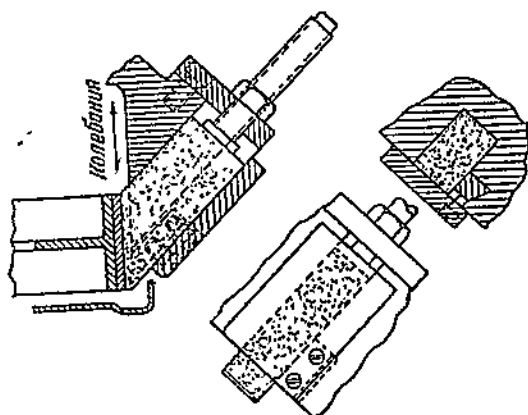


Фиг. 27. Станок для обработки тормозных колодок.

В отличие от остальных операций в данном случае обработку производят без охлаждения, чтобы не загрязнить собранное изделие.

Характеристика абразивов: Бай-Стейт 35-0.

Обработка плоскости сцепления маховика. Применяемый для этого станок (фиг. 29) имеет две шпиндельные головки с пневматическими зажимами для деталей. Одновременно обрабатывают два маховика. Каждая шпиндельная головка имеет



Фиг. 28. Схема обработки тормозных колодок.

две державки: для черногового и чистового абразивов. На поверхности абразивов имеются глубокие канавки для распределения смазочного материала, поступающего из шлангов, расположенных на одной прямой с канавками. Давление абразивов регулируется пружинами. Станок имеет три рабочих движения: 1) вращение изделия, 2) поступательное движение абразива по оси изделия и 3) возвратное движение абразива.

Изделие вращается со скоростью 175 об/мин., а абразивные головки делают 900 возвратно-поступательных колебаний в минуту с амплитудой 6,35 мм. В течение первых 8 сек. работают черновой и чистовой абразивы вместе, а потом работает только чистовой.

Вся обработка занимает 23 сек.

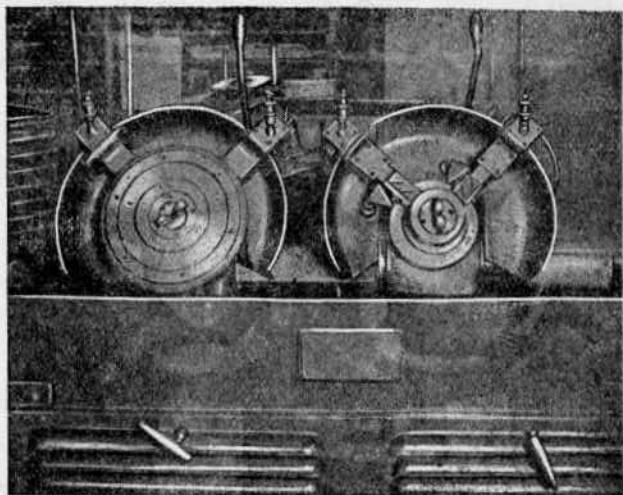
Давление абразива на обрабатываемую поверхность составляет около $1,05 \text{ кг/см}^2$.

Характеристика абразивов по Нортону: черновой 180-N-7S, чистовой 320-L-10.

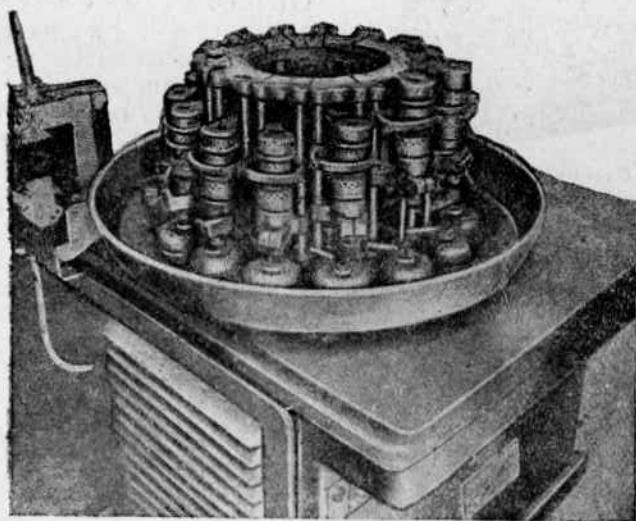
При обработке снимают слой металла толщиной 0,005—0,008 мм. Качество поверхности соответствует шероховатости 8—10 микродюймов.

Обработка плоскости головок толкателя, клапана и т. п. Головки толкателя, клапана и аналогичных деталей суперфинишируют на станках роторного типа, сконструированных по принципу станков для доводки стекол в оптической промышленности.

Такой станок (фиг. 30) имеет 14 шпинделей для вращения абразива и 14 шпинделей для вращения обрабатываемых деталей и предназначен для непрерывной работы, имея специальную загрузочную позицию.

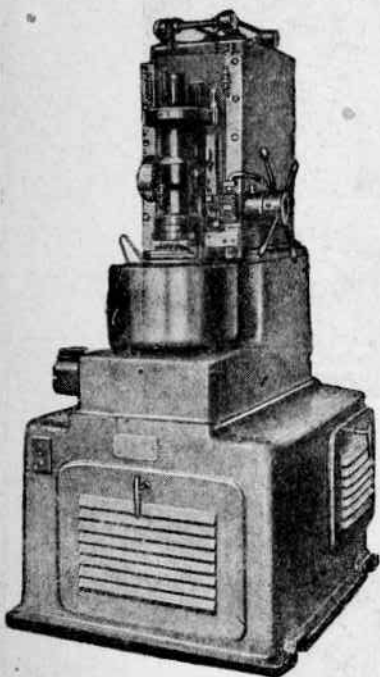


Фиг. 29. Станок для обработки плоскости сцепления маховика.



Фиг. 30. Станок для обработки сферы головки толкателя.

Обработку производят чашеобразными абразивами, получающими вращение от индивидуальных моторов. Абразивы смещены по отношению к центру головки на 2,38 мм и установлены под углом к оси вращения изделия. Держатели абразивов — плавающего типа. Для регулирования давления абразивов на обрабатываемое изделие служат пружины, причем давление не превышает 0,07 кг/см². Шпиндели, несущие абразивные круги, получают возвратно-поступательное движение с амплитудой 4,76 мм в горизонтальной плоскости от эксцентрикков.



Фиг. 31. Станок для обработки плоских поверхностей.

Станок имеет четыре рабочих движения: 1) вращение изделия, 2) вращение абразива, 3) поступательное движение абразива и 4) возвратное движение абразива.

Детали вращаются со скоростью 950 об/мин., а абразивы 750 об/мин., причем они вращаются в противоположных направлениях.

Слой металла, снимаемый при обработке, составляет 0,005 мм. Качество поверхности после обработки соответствует шероховатости в 1—2 микродюйма.

Обработка плоских поверхностей диаметром до 300 мм производится на станках, сконструированных так, чтобы создать возможно большее число относительных рабочих движений, для получения наиболее совершенной поверхности (фиг. 31). Станок имеет вертикальный шпиндель для

несения абразива и вращающийся магнитный стол, причем можно работать чашеобразным кругом или абразивными брусками. Такой станок совершает следующие рабочие движения:

- 1) вращение абразива;
- 2) поступательное перемещение абразива в горизонтальной плоскости;
- 3) возвратное перемещение абразива в горизонтальной плоскости;
- 4) вращение обрабатываемого изделия;
- 5) поступательное перемещение изделия в горизонтальной плоскости;
- 6) возвратное перемещение изделия в горизонтальной плоскости.

Помимо этого шпиндельная головка с абразивом совершает еще медленное поступательно-возвратное движение в горизонталь-

ной плоскости и этим как бы удваивает число рабочих движений станка.

Давление абразива, осуществляемое пружинами, укрепленными в планшайбе абразивной головки, регулируют соответственно размерам обрабатываемой площади. Поступательное и возвратное движение абразива и изделия осуществляются их эксцентричным вращением. Абразив и изделие вращаются в противоположных направлениях.

Абразив делает 140 об/мин. и 500 колебаний, а магнитный стол с изделием 130 об/мин. и 100 колебаний. Для обработки стали употребляют абразивы 400-I по Нортону.

Обработка цилиндрических отверстий. Фирмой Фостер был изготовлен станок для суперфиниширования отверстий для толкателей в блоке автомобильного мотора. Этот станок по внешнему виду и принципу работы напоминает обычный станок для хонинг-процесса, причем применен хон Микроматик, длина которого равна длине обрабатываемого отверстия. Хон делает 150 об/мин. и 650—900 двойных ходов, при длине хода 4,76 мм.

Отличие от обычного хонингования состоит в том, что применяют специфическое суперфинишное охлаждение и сообщают хону большое число двойных ходов при небольшом давлении.

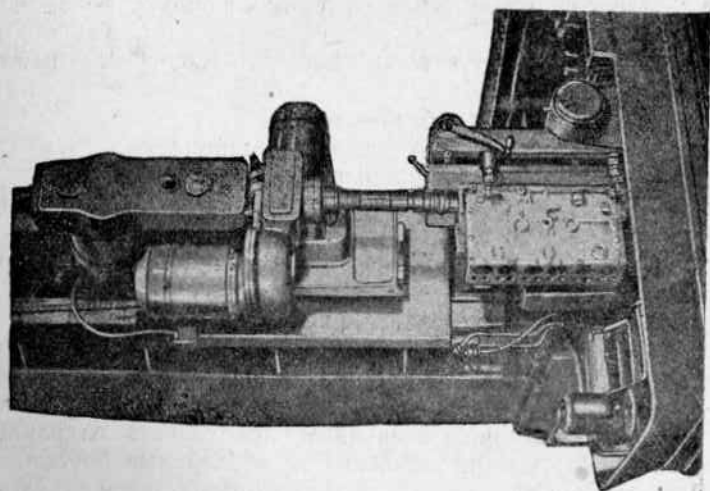
Завод Крайслера применяет суперфиниширование отверстий под обоймы главных подшипников в блоке мотора, чтобы достигнуть более полного контакта обоймы подшипника с блоком и избежать образования между сопрягающимися поверхностями своеобразных карманов для сжатого воздуха, являющихся тепловыми изоляторами, затрудняющими отвод тепла от вала к корпусу блока и далее в воздух.

Применяемый для этого станок (фиг. 32) имеет пять рабочих движений:

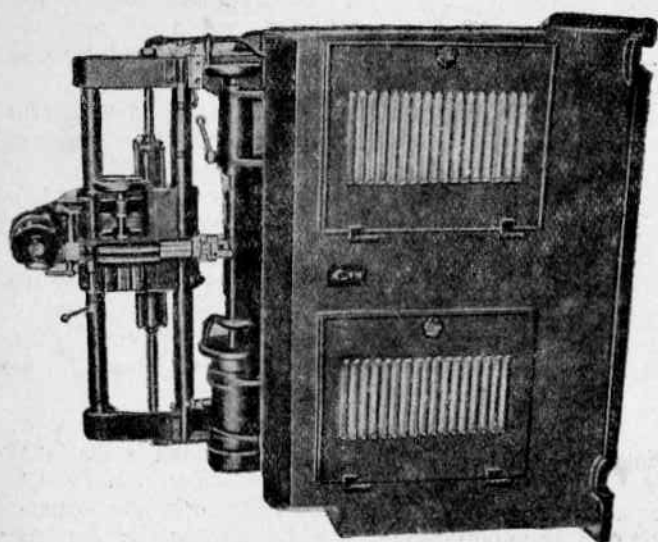
- 1) вращение шпинделя с абразивом;
- 2) медленное поступательное движение шпинделя;
- 3) медленное возвратное движение шпинделя;
- 4) быстрое поступательное движение шпинделя во время второго и третьего движений;
- 5) быстрое возвратное движение шпинделя во время второго и третьего движений.

Аналогичный станок применяют для суперфиниширования отверстия в гильзе цилиндра мотора, причем хон снабжен гидравлическим приводом для раздвигания абразивных брусков. В начале работы бруски сдвинуты и хон свободно входит в цилиндр; в конце первого хода автоматически начинает действовать гидравлический механизм, оказывающий давление на абразивные бруски. После 25 ходов давление доходит до максимума, затем к концу работы уменьшается, а в момент окончания обработки хон автоматически выключается и выводится наружу.

Универсальные станки для обработки цилиндрических деталей. Суперфиниш широко применяют в США



Фиг. 32. Станок для обработки отверстий под обоймы подшипников в блоке автомобильного мотора.



Фиг. 33. Универсальный станок для обработки цилиндрических деталей.

для доводки поверхностей калибров, применяя при этом универсальные станки (фиг. 33). На таком станке можно обрабатывать изделия длиной до 457 мм и диаметром до 102 мм. Шпиндель передней бабки полый и снабжен нарезкой, что позволяет применять различные цанги, патроны, планшайбы и т. п. для крепления детали и обеспечивает универсальность станка.

Станок имеет три рабочих движения:

- 1) вращение изделия;
- 2) поступательное движение абразива вдоль оси обрабатываемого изделия;
- 3) возвратное движение абразива.

Шпиндель имеет переменную скорость вращения. Абразивная головка вместе со всем механизмом, сообщаемым ей давление и колебательное движение, установлена над станком на специальной опоре и делает 1000 возвратно-поступательных колебаний в минуту с амплитудой 3,2 мм.

При обработке стали применяют абразивы 400-I (по Нортону).

Слой металла, снимаемый при обработке, составляет 0,005 мм. Качество поверхности после обработки соответствует шероховатости в 1—1,5 микродюйма.

Универсальные приспособления для суперфиниширования цилиндрических деталей. Фирма Фостер выпускает различные приспособления, превращающие шлифовальные и токарные станки в станки для суперфиниширования различных деталей, главным образом цилиндрической формы.

Приспособления эти в большинстве случаев предназначены для укрепления их на поперечном супорте станка и могут совершать лишь возвратно-поступательные колебания, сообщаемые им специальным кулачком, приводимым в действие отдельным мотором, встроенным в корпус приспособления. Скорость резания определяют опытным путем.

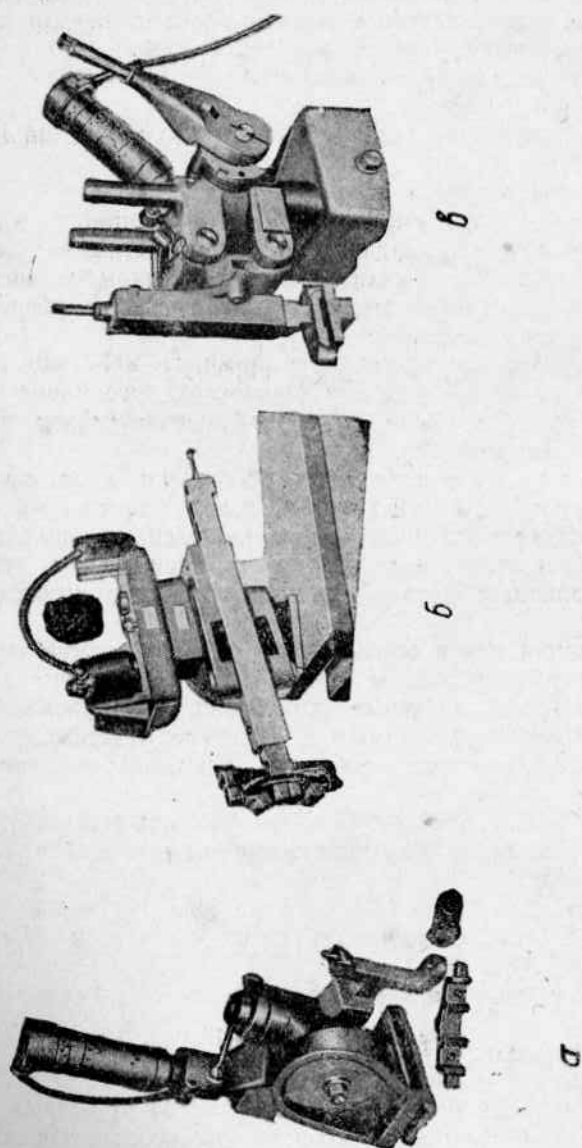
Благодаря такому приспособлению токарный станок превращается в станок для суперфиниширования, имеющий три рабочих движения:

- 1) вращение изделия;
- 2) поступательное движение абразива вдоль оси обрабатываемого изделия;
- 3) возвратное движение абразива вдоль оси обрабатываемого изделия.

Стандартная смазка подается через обычную систему охлаждения, установленную на этом станке.

При помощи таких приспособлений (фиг. 34, а) можно суперфинишировать детали, начиная с роликов для игольчатых подшипников и кончая деталями диаметром 1 м и выше.

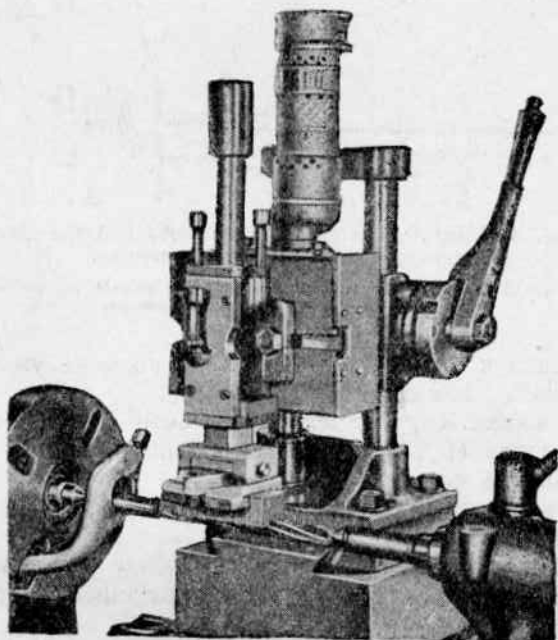
Приспособление, изображенное на фиг. 34, б, предназначено для обработки цилиндрических поверхностей в узких пределах длины, например шеек коленчатого вала. Возвратно-поступательное движение сообщается качающемуся держателю абразивов от



Фиг. 34. Универсальные приспособления для суперфинишования.

встроенного мотора, а для быстрого отвода абразивов на конце держателя имеется рукоятка. Величина давления абразивов регулируется пружиной. На фиг. 34, в изображено приспособление для обработки длинных цилиндрических деталей.

Аналогичные приспособления применяют на шлифовальных станках, вследствие чего одновременно можно шлифовать и суперфинишировать изделие за одну установку.



Фиг. 35. Приспособление „ультра-кин“.

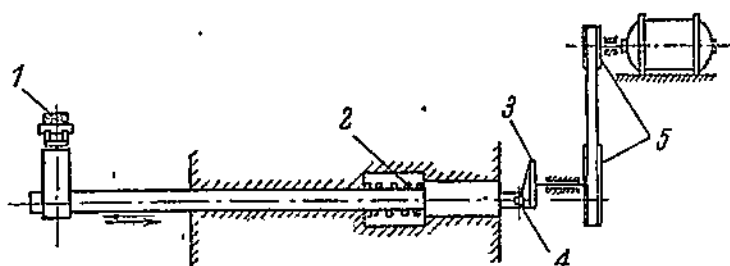
Некоторые фирмы в США, выпуская аналогичные приспособления, дают процессу другое название. Например, фирма Годсвилл Твист Дрилл Компани построила такое приспособление для доводки режущих кромок разверток (фиг. 35) и назвала процесс «ультра-кин», хотя последний ничем не отличается от суперфиниша.

Применение суперфиниша в СССР

Заводы и научные институты Союза начали изучать суперфиниш в 1939 г., причем стали конструировать приспособления, для токарных и шлифовальных станков, а не специальные станки.

На ИГПЗ сконструировали и изготовили приспособление для внутришлифовального станка Вотан (фиг. 36), с тремя различными головками для крепления абразивов (фиг. 37).

Опыты обработки цилиндрических и конических поверхностей, проводившиеся как в лабораторной, так и в цеховой обстановке при вращении изделия со скоростью 150—350 об/мин., 400—1000 возвратно-поступательных движений абразива в минуту и давлении абразива 0,1—4,5 кг/см², показали, что основные шерохова-



Фиг. 36. Кинематическая схема приспособления для суперфиниширования ободов подшипников.

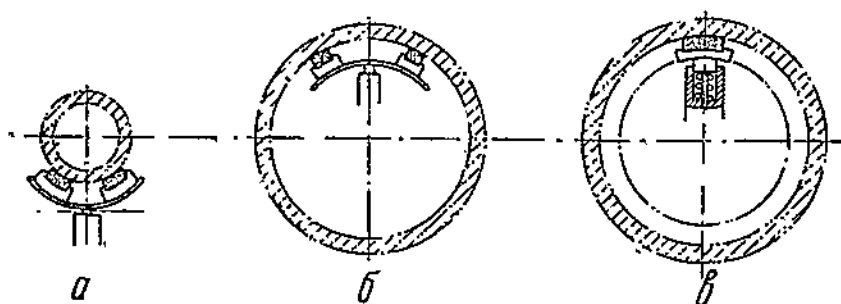
1—абразив; 2—пружина, сообщающая возвратное движение; 3—сменный кулачок; 4—ролик; 5—сменные шкивы.

тости снимаются в первые 10—15 сек., а по мере уменьшения неровностей процесс замедляется (фиг. 38).

При этом оказалось, что чем грубее была отшлифована поверхность и чем хуже ее геометрия, тем больше времени требует суперфиниширование ее.

Влияние числа двойных ходов абразива на качество поверхности представлено на фиг. 39.

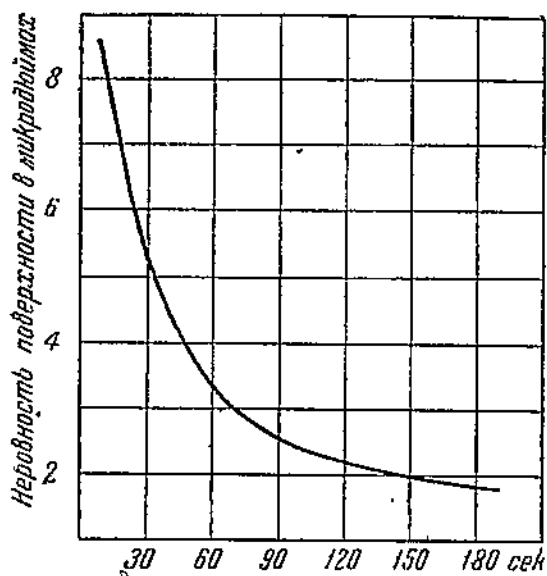
Опыты также подтвердили, что изменение величины давления должно находиться в определенном соотношении со скоростью



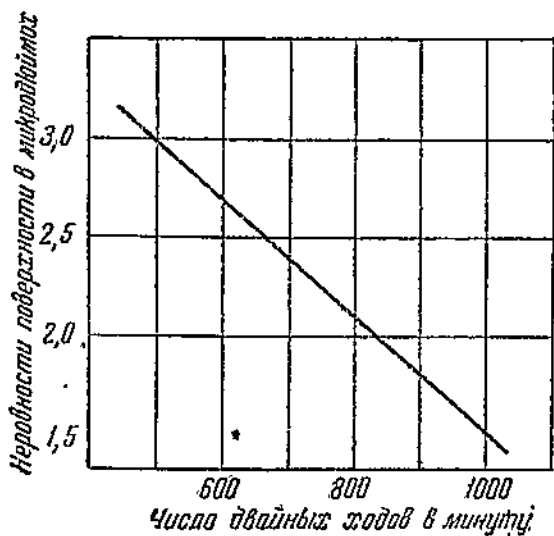
Фиг. 37. Схема обработки.

а—наружных цилиндрических поверхностей; б—внутренних цилиндрических поверхностей; в—внутренних конических поверхностей.

снятия гребешков с обрабатываемой поверхности (фиг. 40), т. е. с увеличением контактной площади абразива и изделия давление должно возрастать, обеспечивая в то же время возможность получения защитной масляной пленки. При сильном давлении могут появиться крупные царапины, создаваемые выкрошившимися из

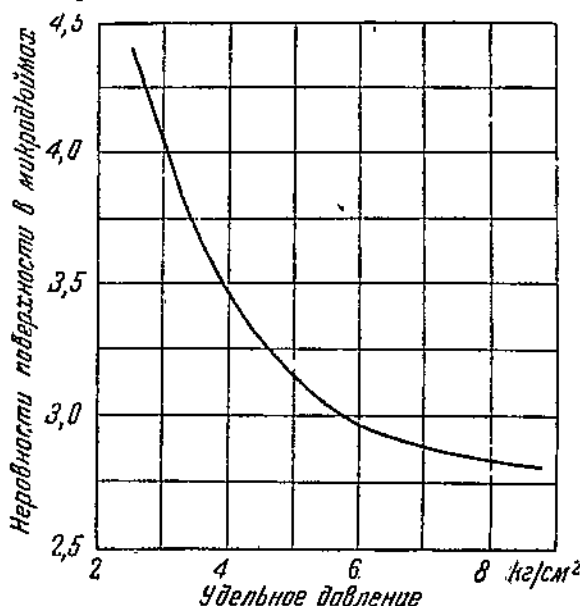


Фиг. 38. Влияние фактора времени на качество поверхности при суперфинишировании.



Фиг. 39. Влияние числа двойных ходов абразива на качество поверхности при суперфинишировании.

связки зернами абразива. При уменьшении давления увеличивается продолжительность обработки.



Фиг. 40. Влияние давления на качество поверхности при суперфинишировании.

Путем испытания абразивов с различной зернистостью, твердостью и связкой установлено, что для избежания выкрашивания неотработавших зерен абразива, твердость его связки следует выбирать в зависимости от обрабатываемого материала. Так при обработке подшипниковой стали наиболее производительными оказались алундовые абразивы зернистостью 170—320, твердостью SM_1-C_2 на керамической или бакелитовой связке. Бруски, дающие среднее качество поверхности и среднюю производительность, должны иметь зернистость 400—500, а лучшая

поверхность получалась при обработке абразивами зернистостью 600 на бакелитовой связке.

При опытах употребляли охлаждающие (смазывающие) жидкости следующего состава:

I

Керосин	10 ч.
Турбинное масло	1 ч.

II

Керосин	8 ч.
Веретенное масло № 2	2 ч.

Необходимо отметить, что при опытах не удалось добиться в конце суперфиниширования образования непрерывной (защитной) масляной пленки, предохраняющей полученную гладкую поверхность от дальнейшего соприкосновения с абразивом, и съем металла продолжался непрерывно, сколько бы ни продолжали обработку. Это показывает, что, во-первых, смазывающая жидкость подобрана недостаточно удачно, и, во-вторых, это явление возможно лишь при чрезмерно завышенном давлении абразива.

Опыты дали возможность установить следующие оптимальные режимы суперфиниширования подшипниковых сталей:

Число возвратно-поступательных колебаний абразива	800—1000 в мин.
Скорость вращения изделия	150—350 об/мин.
Давление абразива	1,5—2,5 кг/см ²
Амплитуда колебаний	3—8 мм

Припуск на обработку 0,005—0,01 мм на диаметр в зависимости от чистоты предварительной шлифовки.

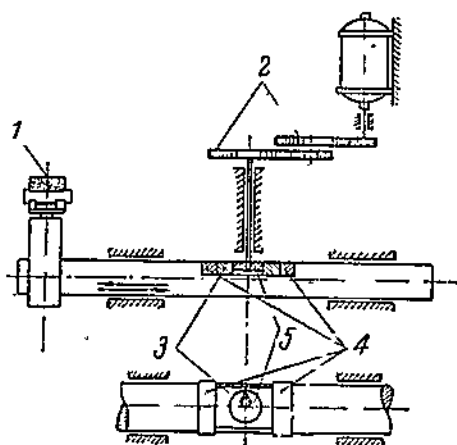
Качество поверхности после обработки достигало около 0,5 микродюйма. Применение суперфиниша увеличило площадь контакта ролика с беговой дорожкой подшипника с 15—20 до 90—95%.

Экспериментально-научный институт металлорежущих станков (ЭНИМС) сконструировал приспособление (фиг. 41), имеющее много общего с приспособлением 1ГПЗ. Основное различие заключается лишь в способе сообщения абразиву возвратно-поступательных движений. Испытание этого приспособления, проведенное на том же станке, на котором испытывали приспособление 1ГПЗ, и на тех же деталях, дало аналогичные результаты.

Центральный институт авиамоторостроения (ЦИАМ) производил опыты по замене хонингования гильз цилиндров суперфинишированием.

Разработанное ЦИАМ приспособление аналогично приспособлению 1ГПЗ и отличается лишь способом крепления абразивов и сообщения им давления. Держатели абразивов жесткого типа и давление их на изделие осуществляется спиральной пружинной, надетой на ось держателя абразивов. Кроме того, приспособление ЦИАМ снабжено рукояткой для отвода абразивных брусков от обрабатываемой поверхности во время работы без отвода всего приспособления целиком, что является полезным дополнением.

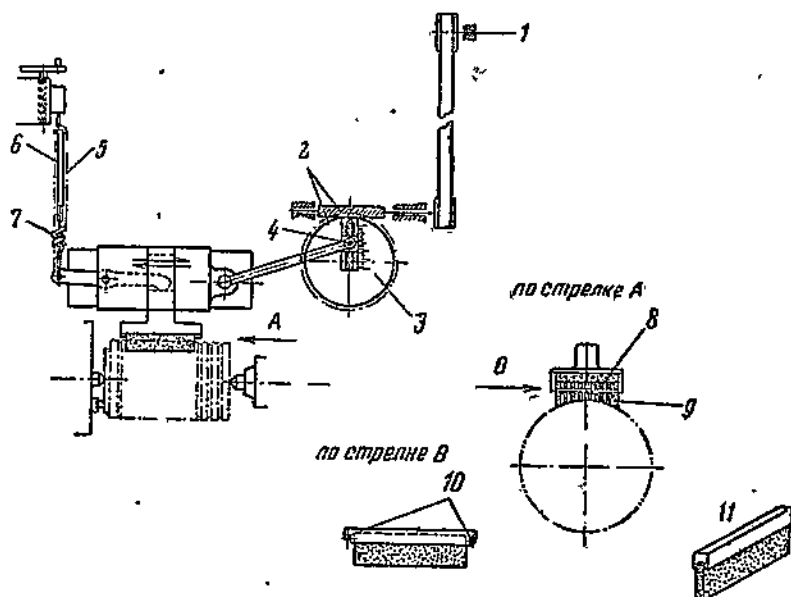
Лаборатория резания автозавода им. Сталина сконструировала приспособление, устанавливаемое на головке универсального круглошлифовального станка ЗГ12 (фиг. 42). Вместо шлифовального круга на шпиндель станка надевают шкив 1, вращение которого посредством ременной передачи сообщается механизму приспособ-



Фиг. 41. Кинематическая схема приспособления ЭНИМС.

1—абразив; 2—спиральная пружина; 3—медный сухарь; 4—закаленные планки; 5—эксцентрик.

ления, приводящего абразивы в возвратно-поступательное движение. Этот механизм представляет кривошипно-шатунную передачу, дающую возможность изменять величину колебаний абразивов вдоль оси обрабатываемого поршня. Для изменения расстояния между центром пальца кривошипа и центром вращения диска 3, укрепленного на червячной шестерне 2, сухарь 4 с укрепленным в нем пальцем кривошипа перемещают по прорези диска 3. Абразив давит на обрабатываемую поверхность под действием пружи-



Фиг. 42. Кинематическая схема приспособления ЗИС.

1—шпиндель шлифовального круга; 2—червячная пара; 3—диск; 4—сухарь и направляющие салазки; 5—пружина; 6—линейка с делениями; 7—указатель давления; 8—резиновая губка; 9—абразивные бруски; 10—шпильки, стягивающие набор брусков; 11—крепление отдельного бруска.

ны 5, прикрепленной к рычагу. Натяжение пружины можно регулировать рукояткой. К одному концу спиральной пружины 5 прикреплена линейка 6 с делениями, а к другому концу прикреплена стрелка-указатель 7, показывающая величину давления абразива. Величина давления при работе неизменна и составляет $0,8-1 \text{ кг/см}^2$.

При конструировании головки были учтены результаты опытов, показавшие, что увеличение площади контакта абразива с поверхностью обрабатываемой детали увеличивает производительность процесса и улучшает качество поверхности. Поэтому абразивная головка представляет набор из 10 отдельных абразивных брусков 11; каждый из них закреплен при помощи нитролака в металлической обойме и может самоустанавливаться на поверхности обрабатываемой детали. Для предупреждения от продольного переме-

щения набор брусков скреплен двумя шпильками 10, на которых висят отдельные бруски. Чтобы отдельные бруски могли перемещаться в вертикальном направлении, самоустанавливаясь по поверхности обрабатываемого изделия, и оказывали на него давление, под них подложена резиновая губка 8. Толщина абразивных брусков составляет 2—3 мм. По длине брусков сделаны канавки, в которых скопляются отработанные частицы абразива и снятого металла.

Приспособление, разработанное ЗИС, наиболее совершенно, компактно и просто. Поршень, предварительно шлифуют на бесцентровошлифовальном станке, а затем подвергают суперфинишированию, устанавливая в центрах.

Опыты по определению оптимальных режимов еще не закончены, но на основании полученных данных можно установить, что скорость вращения изделия во время суперфиниширования надо увеличивать, делая это не равномерно, а скачкообразно. При опытах удалось добиться жидкостного трения между абразивом и обрабатываемой поверхностью, т. е. в конце обработки истирание металла прекращалось и между абразивом и обрабатываемой поверхностью получалась непрерывная масляная пленка.

Припуск, снимаемый при суперфинишировании различных деталей, составлял 0,003—0,005 мм на диаметр, т. е. величина припуска не выходила за пределы допусков детали.

Смазывающая жидкость состояла из 10 частей керосина и 1 части масла SAE-10.

Опыты автозавода им. Сталина показали, что большую роль играет подготовка поверхности детали для суперфиниширования и что применяемые технологические процессы обработки еще весьма несовершенны.

Например, поршень, отшлифованный на бесцентровом станке и обработанный методом суперфиниша, имеет своеобразную пятнистую поверхность. Это объясняется тем, что суперфиниш не исправляет геометрии поверхности и только выпуклые места при суперфинишировании обрабатываются, а остальная поверхность остается шлифованной. Кроме того, так как стенки поршня довольно тонкие, то они легко деформируются во время предыдущей обработки; бесцентровая же шлифовка не удаляет всех погрешностей поверхности поршня, которые еще усиливаются от действия возникающих при отливке внутренних напряжений. Пятнистость суперфинишированного поршня может быть устранена лишь путем изменения технологического процесса предыдущих операций.

ЛИТЕРАТУРА

- Большой станок для суперфиниша кривоколенного вала, работающий на двух подшипниках, *Machinist*, vol. 83, No. 34, 1939.
Будущее суперфиниша с точки зрения металлургии, *Iron Age*, vol. 143, No. 20, 1939.
Денхем, Поверхности, обработанные процессом суперфиниш, *Machinist*, vol. 82, No. 29, 1938.

- Денхем, Поверхности, обработанные процессом суперфиниш, *Machinist*, vol. 82, No. 31, 1938.
- Инструмент для измерения степени обработанности поверхности, *Machinery*, L., No. 1340, 1938.
- Работы по суперфинишу тормозного барабана на предприятии „Плимут“, *Machinist*, vol. 83, No. 40, 1939.
- Сверхсовременные методы обработки на заводе Крайслер, *Mill and Factory*, vol. 24, No. 3, 1939.
- Сокращение времени установки станков при применении револьверных, токарных станков и станков для суперфиниша фирмы Фостер Мэшин Компани, *Machinist*, vol. 83, No. 38, 1939.
- Станок для суперфиниша, *Western Machinery*, vol. 30, No. 10, 1939.
- Станок для суперфиниша коленчатых валов тракторов, *Machinery N.Y.*, vol. 45, No. 12, 1939.
- Станок для суперфиниша тормозного барабана, *Machinery*, L., No. 1416, 1939.
- Станок для суперфиниша цилиндрических поверхностей, *Machinist*, vol. 83, No. 26, 1939.
- Станки для суперфиниша, *Canadian Machinery*, vol. 50, No. 8, 1939.
- Сунгерт, Суперфиниш — новый метод механической обработки поверхностей, *Machinist*, vol. 83, No. 26, 1939.
- Суперфиниш, *Iron Age*, vol. 143, No. 20, 1939.
- Суперфиниш облегчает испытание машин, *Iron Age*, vol. 144, No. 4, 1939.
- Суперфиниш — основной новый метод для доводки поверхностей, *Machinery*, N.Y. vol. 44, No. 12, 1938.
- Суперфиниш — совершенно новый метод окончательной обработки поверхностей, *La machine moderne*, n° 363, 1938.
- Универсальные станки для суперфиниша, *Canadian Machinery*, vol. 50, No. 6, 1939.
- Шерман, Новейший метод доводки поверхностей суперфиниш. Описание, развитие, оборудование, методы измерения, *Iron Age*, vol. 142, No. 9, 10, 12, 1938.
- Кугель, Суперфиниш, „Автотракторное дело“, № 4, 1939.
- Моисеев, Суперфиниш — новый метод окончательной обработки рабочих поверхностей деталей в автомобильной промышленности США, „Американская техника и промышленность“ № 7, 1939, стр. 332—336.
- Сверхдоводка обработанных поверхностей, „Новости техники“, № 31—32, 1938.
- Школьников, Суперфиниш — новый способ чистовой обработки поверхностей, „Машиностроитель“, № 2—3, 1939.
- Р. В. Кугель, Новый метод доводки поверхностей, „Подшипник“, № 1, 1939.
- Гешелин, Новый метод отделки поверхностей — суперфиниш, *Automotive Industry*, vol. 79, No. 11, 1938.
- Устранение износа поверхностей методом чистовой обработки — суперфиниш, 11, № 2, 1939.
- Новый метод отделки поверхностей — суперфиниш, *Steel*, vol. 103, No. 13, 1939.
- Суперфиниш, *SAE*, vol. 48, No. 8—9, 1938.
- В. Ф. Демкин, Суперфиниш поверхностей подшипников, „За советский подшипник“, № 51, 1940.
- Е. Л. Х. Обработка методом суперфиниш, *Machinery L.*, vol. 56, No. 1447, 1940.
- Хэмингуэй, Обработка методом суперфиниш. *Aircraft Engineering*, vol. 12, No. 137, 1940.
- И, Т. Семенов, Процесс суперфиниш и его применение, „Авиапромышленность“, № 11, 1939.
- А. М. Сунгерт, Доводка — самое важное. *Machinist*, vol. 84, № 1, 1940.
- Новый метод доводки поверхностей. *English Mechanics*, vol. 26, № 670, 1939.

Новые методы суперфиниша. La pratique des industries mecaniques, vol. 22, No. 7, 1939.

Улучшение отделки поверхностей. Western Machinery, vol. 30, No. 7, 1939.

В. Ф. Демкин, Доводка дорожек качения роликовых подшипников по методу суперфиниш, „Машиностроитель“ № 3, 1940.

Г. Шлезингер, Доводка поверхности, Machinery L. vol. 55, No. 1433, 1940.

Г. Мейер, Сверхчистовая обработка суперфиниш, DMZ No. 8, 1939.

Г. Шлезингер, Доводочные процессы. The Machinist, vol. 84, No. 11, 1940.

В. Ф. Демкин, Суперфиниш рабочих поверхностей подшипников качения. „Вестник металлопромышленности“, № 4—5, 1940.

С. М. Кедров, Экспериментальные исследования суперфиниширования подшипниковых колец. „Вестник металлопромышленности“, № 4—5, 1940.

Станок Фостер с 12 шпинделями. Machinist, vol. 84, No. 9, 1940.

V. АЛМАЗНАЯ ОБРАБОТКА

Развитие и сущность алмазной обработки

Твердость алмаза и наличие на нем естественных режущих кромок издавна привлекали к нему внимание техников, занимающихся обработкой металлов резанием. В 1885 г. англичанин Джон Лэмпсон сообщил о способе обработки меди при помощи алмаза. По имеющимся сведениям Д. Лэмпсон обтачивал паровозную арматуру, причем, держа фрез в руках, поэтому можно считать, что он, повидимому, зачищал неровности от предыдущей обработки.

Открытие стали Мюшета и работы Тейлора по рациональному использованию этой стали отвлекли внимание от использования алмаза в качестве режущего инструмента.

В связи с увеличением требований, предъявляемых к качеству обработанной поверхности, и стремлением повысить скорости резания фирма Крупп в 1927 г. выпустила твердый сплав «видиа», что соответствует: «как алмаз».

В дальнейшем выяснилось, что при обработке цветных сплавов, содержащих большой процент кремния (например, алюзил), резцы из твердых сплавов истираются. Вследствие этого вновь возник вопрос об использовании алмаза, и в 1928 г. фирмы Экселло и Хилд начали строить станки для алмазной обработки. Наряду с этим развитие абразивной промышленности позволило доводить режущую кромку резцов из твердых сплавов, что значительно увеличило стойкость последних. В настоящее время резцы из твердых сплавов с успехом заменяют алмаз.

В настоящее время под общим названием «алмазная обработка» объединены процессы резания резцами с режущим элементом из алмаза или твердого сплава, дающие поверхности высокого качества и большой точности.

Алмазная обработка обеспечивает получение изделий правильной геометрической формы, с гладкой поверхностью, причем сохраняется ее структура. Вместе с тем алмазная обработка отличается высокой производительностью.

Все это объясняется, главным образом, тем, что алмазную обработку производят при высоких скоростях, малой глубине резания и весьма малых подачах. После алмазной обработки не тре-

буется никакой дополнительной обработки, и поэтому абразивная пыль и другие посторонние тела не проникают в поры металла.

При скоростях резания, применяемых при алмазной обработке, и отсутствии сродства между металлической стружкой и кристаллом алмаза на режущей кромке не образуется нароста, а у резца с пластиной твердого сплава — благодаря наличию доведенной режущей кромки. Вследствие этого поверхность детали получается гладкой и почти неразрушенной.

При алмазной обработке дают столь малые глубины резания ($0,1—0,3$ мм) и подачи ($0,01—0,1$ мм), что возникающее радиальное давление на резец не отклоняет его от оси. Благодаря этому люфт в подшипниках шпинделя также не отражается на изделении. В результате поверхность детали получается высокой точности (порядка $0,005—0,008$ мм) и высокого качества (высота гребешка $0,001—0,004$ мм), а поверхностный слой разрушается весьма незначительно.

Технология алмазной обработки

Алмазную обработку применяют в качестве окончательной отделочной операции при обработке наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, пользуясь в качестве инструмента алмазом или резцом из твердого сплава. Алмаз применяют, главным образом, для обработки цветных сплавов, а черные металлы (сталь, чугун) обрабатывают твердыми сплавами с тщательно доведенными режущими кромками. Малая величина усилия резания и, в частности, его радиальной составляющей позволяет обрабатывать тонкостенные детали, а также со стенками неодинаковой толщины, не опасаясь деформирования этих стенок. Это же обстоятельство позволяет сравнительно слабо закреплять детали при обработке и тем самым значительно облегчает изготовление легко деформируемых деталей.

Средняя точность, достигаемая при алмазной обработке, составляет $0,005—0,008$ мм; овальность не превосходит $0,003—0,005$ мм. Параллельность или перпендикулярность осей, а также расположение относительно баз можно выдержать с точностью до $0,02—0,03$ мм на 100 мм длины и выше. Алмазную обработку удобно применять для глухих отверстий, так как резец может доходить на $0,1$ мм до дна отверстия и даже ближе, благодаря чему отпадает надобность растачивать канавку около дна.

Все операции при алмазной обработке выполняют по способу точения, совершенно аналогично обычным методам токарной обработки.

Чтобы получить поверхность более высокого качества, глубина резания должна быть возможно меньше ($0,1—0,2$ мм), но учитывая необходимость снять слой металла, в котором осталась деформация от чернового прохода, на алмазную обработку дают припуск $0,3—0,6$ мм на диаметр. Такой припуск обычно снимают в два прохода, причем при растачивании для сокращения времени

Обрабатываемый материал	Операция	А л м	
		скорость резания ¹ м/мин	подача мм/об
Алюминий	Обтачивание	480—420	0,06—0,08
Алюминий	Растачивание	370—330	0,015—0,05
Бронза	"	560—380	0,02—0,05
Баббит	"	470—384	0,02—0,03
Латунь	"	450	0,028
Медь	Обтачивание	1000	0,01
Чугун	Растачивание	—	—
Сталь	"	—	—

на обработку целесообразно в одной оправке закреплять два-три резца.

Установка инструмента. Обычно для предварительной обработки устанавливают резцы из твердых сплавов, а для окончательной — алмазный резец. При установке резца для окончательного растачивания его устанавливают по размеру ближе к верхнему пределу допуска с тем, чтобы по мере истирания он постепенно приближался к размеру нижнего предела допуска. Неточность установки по отношению к оси шпинделя должна находиться в пределах середины припуска на сторону. Установку деталей производят при помощи специальных приспособлений, или «ловителей». Ловителем называется калиброванный стержень, который закрепляют в шпинделе станка для центрирования отверстий детали. Ловитель можно закреплять на борштанге или вставлять в конус шпинделя.

При единичном или мелкосерийном производстве растачивать можно на быстроходном токарном станке, устанавливая изделие по методу «координатного растачивания».

Скорость и глубина резания; величина подачи. Определение режимов резания представляет одну из наиболее важных задач при проектировании технологического процесса алмазной обработки. В основу резания положен скоростной принцип использования как оборудования, так и инструмента, характеризующийся высокими скоростями и малыми подачами и глубинами резания (табл. 1).

¹ Скорости резания в значительной степени ограничиваются максимальным числом оборотов, при котором нет вибраций станка.

² За величину производительности принято число квадратных миллиметров поверхности изделия, обрабатываемых в 1 сек. за один проход (по машинному времени).

а з		Т в е р д ы й с п л а в			
глубина резания мм	производи- тельность ² мм ² /сек	скорость резания м/мин	подача мм/об	глубина резания мм	производи- тельность мм ² /сек
0,1—0,3	470—535	—	—	—	—
0,25	295—310	280	0,05	0,06	225
0,1—0,25	372—270	210—205	0,02—0,048	0,2—0,25	66—157
0,18—0,25	146—180	—	—	—	—
0,13	200	—	—	—	—
0,3	160	—	—	—	—
—	—	230—116	0,02—0,18	0,2—0,36	650—335
—	—	209—120	0,03—0,148	0,12—0,19	350—270

Припуски. Величина припуска, оставляемого для алмазной обработки, зависит от характера предварительной обработки поверхности, диаметра и материала изделия; она составляет 0,3—0,6 мм на диаметр.

При растачивании в большинстве случаев припуски снимают в два прохода, а при обтачивании — в один проход. Если же требуется, чтобы обработанная поверхность была особенно гладкой, то обтачивают также в два прохода.

При обработке в два прохода за первый проход снимают примерно $\frac{2}{3}$ припуска, а при втором проходе — остальное.

В авиационной промышленности алмазную обработку применяют, главным образом, для обработки цветных металлов.

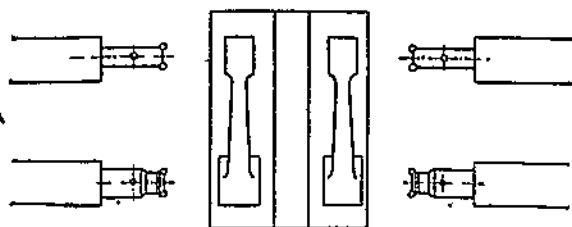
Охлаждающие жидкости. Охлаждение не играет решающей роли при алмазной обработке, так как стойкость инструмента обеспечивается его физическими качествами. Кроме того, некоторые исследования показали, что охлаждение эмульсией места отделения стружки вызывает местное парообразование; жидкость на режущих кромках кипит и делает охлаждение неравномерным, вследствие чего на алмазе или твердом сплаве образуются трещины.

При алмазной обработке охлаждение применяют, главным образом, для удаления стружки, так как она, заклиниваясь между режущей кромкой и обрабатываемым изделием, портит его поверхность. Кроме того, при больших скоростях резания очень мелкая стружка раскаляется и, отскакивая от изделия, может производить ожоги. Для удаления стружки применяется как воздушное, так и жидкостное охлаждение. Так на одном авиамоторном заводе применяют следующий охлаждающий состав: 65% керосина и 35% отработанного масла. На другом заводе употребляют 3,5% эмульсии, 0,2% соды и 96,3% воды.

Станки для алмазной обработки

По технологическому признаку станки разделяются следующим образом:

- 1) станки для обработки внутренних поверхностей (цилиндрических и конических);
- 2) станки для обработки наружных поверхностей (цилиндрических и конических);
- 3) токарно-универсальные станки, на которых можно обрабатывать поверхности любых геометрических форм. Станки этого типа применяют главным образом в единичном и мелкосерийном производствах, а также в экспериментальных цехах.



Фиг. 1. Схема растачивания шатунов на станке Эксселло.

В авиамоторостроении получили распространение станки первых двух типов, которые в свою очередь можно подразделить на:

- 1) горизонтально-расточные одно- и двухсторонние, одно- и многошпиндельные;
- 2) вертикально-расточные, в большинстве случаев одношпиндельные;

3) токарные многолезцовые.

Горизонтально-расточные станки, главным образом двухсторонние, широко применяют для чернового и чистового растачивания отверстий шатунов, поршней, шестерен и всевозможных гладких и с бортиками втулок. У деталей с заранее заданными расстояниями между центрами, как, например, у шатунов, растачивают одновременно два отверстия, применяя двухместное приспособление. Станок может работать по принципу перекрытия ручного времени, т. е. детали с левой стороны приспособления устанавливают во время растачивания детали правой парой шпинделей (фиг. 1).

Стол с деталью попеременно подходит то к левой, то к правой паре шпинделей. Станина станка позволяет монтировать от 2 до 6 шпиндельных головок, располагая их симметрично с каждой стороны. Таким образом можно одновременно растачивать шесть изделий.

Принципиальным отличием двухстороннего станка является возможность производить грубую и чистовую обработку с одной установки детали или перекрывать ручное время при обработке нескольких деталей в один проход.

Станки этого типа с автоматической подачей стола и автоматической или ручной подачей поперечного супорта строят фирмы Эксселло, Хилд, Симплекс, Асквит и др., а у нас завод им. Ленина (Одесса).

Вертикально-расточные станки предназначены, главным образом, для окончательной отделки цилиндров.

Цикл работы станка автоматизирован и состоит из: 1) ускоренного подвода шпинделя, 2) рабочей подачи и 3) ускоренного возврата шпинделя в исходное положение.

Станки снабжены миниметром для контроля размеров изделия и установки резца.

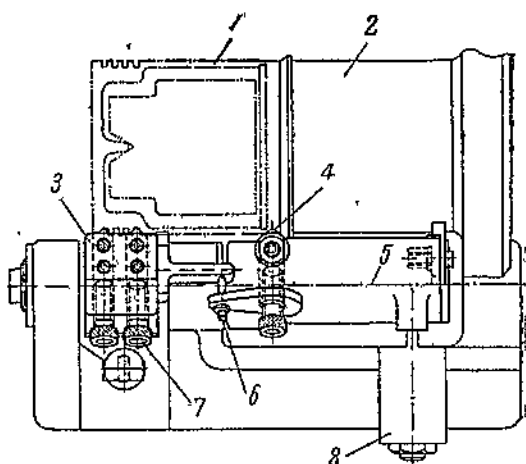
Станки этого типа с автоматической подачей шпинделей и автоматической или ручной подачей стола или без нее строят фирмы Краузе, Коултер, Хей и др., а у нас завод им. Ленина (Одесса).

На этих станках помимо цилиндров можно обрабатывать втулки кулачковых шайб и другие детали.

Станки для наружной обработки в авиамоторостроении применяют преимущественно при обработке поршней (фиг. 3). На фиг. 2 показана схема обтачивания. Резцы укрепляют на качающемся резцедержателе, связанном с копиром, имеющим форму поверхности поршня с заданной эллиптичностью и конусностью. Рабочие циклы станков автоматизированы. Моторы шпинделей и гидравлической подачи включают кнопками, но шпиндели начинают вращаться лишь после опускания массивного кожуха, закрывающего всю обработочную зону станка; одновременно автоматически включается охлаждение (подача эмульсии). После окончания прохода шпиндели и подача эмульсии автоматически выключаются. Станки этого типа строят для нужд авиамоторостроения, главным образом, фирмы Экселло и Хилд.

Конструктивные особенности. Станки для алмазной обработки независимо от типа должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) большое число оборотов (1000—6000 об/мин.);
- 2) величина подачи 0,01—0,2 мм/об;
- 3) точность работы, обеспечивающая получение изделий с допуском 0,005—0,008 мм на диаметр при овальности и конусности не более 0,003 мм;
- 4) отсутствие вибраций;

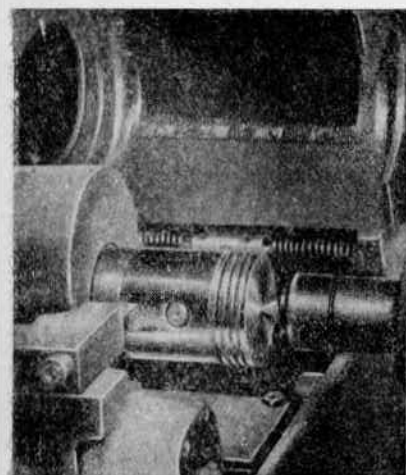


Фиг. 2. Обтачивание поршня авиационного мотора.

1—поршень; 2—копир; 3—резцедержатель для резцов из твердого сплава; 4—алмазный резец; 5—ось вращения резцедержателя; 6—дополнительная регулировка резцедержателя передних резцов; 7—регулирующий винт; 8—пружинное устройство для прижатия резцедержателя к копии.

- 5) быстрый и удобный отвод стружки;
- 6) удобство обслуживания, в частности, точная установка и регулирование инструмента.

Чтобы удовлетворить этим требованиям, станки для алмазной обработки отличаются следующими особенностями:



Фиг. 3. Схема обработки поршня.

- 1) конструкция станины и других деталей весьма массивная, предупреждающая появление вибраций при большом числе оборотов;

- 2) вращающиеся части отбалансированы;

- 3) моторы и насосы расположены отдельно от станины или установлены на ней на особых эластичных прокладках;

- 4) надежное устройство для смазки подшипников;

- 5) применение для главного движения передач гибкой связи или гидравлической;

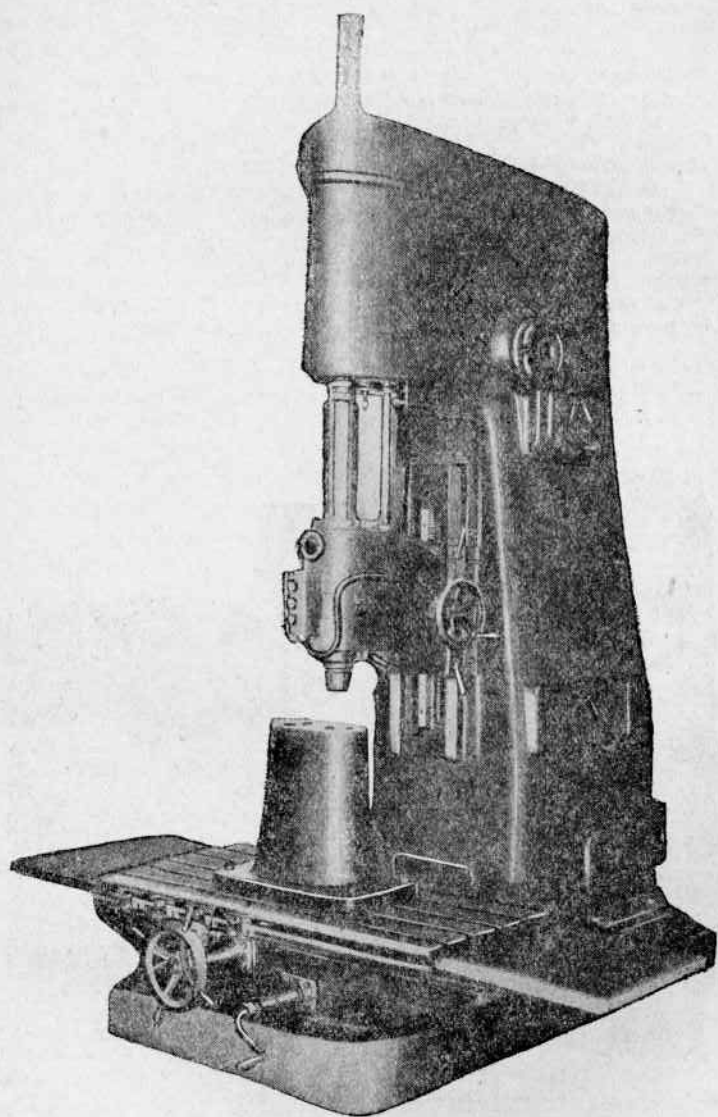
- 6) разгрузка шпинделя от натяжения ремня;

- 7) применение подшипников качения высшей точности, регулируемых с предварительным натягом.

Завод им. Ленина (Одесса) выпускает алмазносточные станки двух типов: вертикалнорасточный станок модель 269 (фиг. 4) и горизонталнорасточный станок Л-3 (фиг. 5).

Вертикальный станок модель 269 характеризуется следующими данными:

Количество шпинделей	1
Диаметр растачивания	60—150 мм
Наибольшая глубина растачивания	375 "
Число ступеней скоростей шпинделя	10
Скорость вращения шпинделя	225—1125 об/мин.
Число ступеней подачи	10
Величина подачи	0,01—0,25 мм/об
Вылет шпинделя	380 мм
Ход шпинделя	400 "
Наибольшее вертикальное перемещение кронштейна	400 "
Число борштанг и сменных подшипников	до 2
Диаметры борштанг	58 и 90 мм
Скорость ускоренного подвода и отвода шпинделя	2,4 м/мин
Размеры крепительной площади стола	580×1410 мм
Наибольшее продольное перемещение стола	800 "
Наибольшее поперечное перемещение стола	100 "
Конус Морзе в борштанге	№ 4 и 5
Количество Т-образных пазов	5

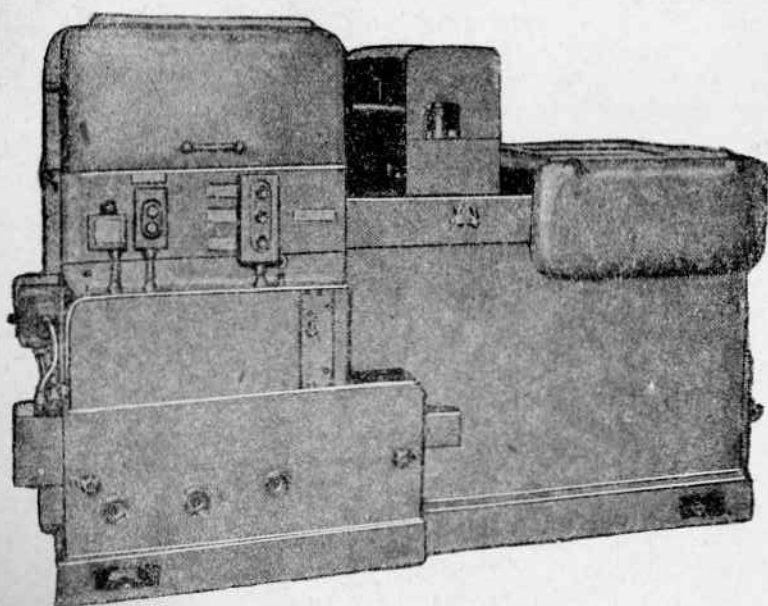


Фиг.4. Станок 269 завода им. Ленина.

Ширина Т-образных пазов	18 мм
Расстояние между Т-образными пазами . .	110 "
Наибольшее расстояние от стола до режущей кромки резца	620 "
Размер крепительной площади плиты . . .	700×870 "
Количество Т-образных пазов	3
Ширина Т-образных пазов	28 мм
Расстояние между Т-образными пазами . .	285 "
Наибольшее расстояние от плиты до режущей кромки резца	870 "
Габариты станка	2085×3300×2740 мм
Насос для подачи охлаждения ЭНТС-1 завода ЭМОС, делающий	2800 об/мин.
Количество подаваемой жидкости	9 л/мин
Мощность мотора ускоренной подачи . .	0,52 квт
Число оборотов	1500 об/мин.
Мощность приводного мотора	3,7 квт
Число оборотов	1500 об/мин.
Пусковое устройство	кнопочное

Станок состоит из следующих узлов:

1) привод скоростей (коробка скоростей со сменными шестернями);



Фиг. 5. Станок Л-3 завода им. Ленина.

2) коробка подач с механизмами ускоренной подачи и автоматического переключения;

3) кронштейн со сменными борштангами;

4) шпиндель и шпиндельная бабка;

5) Фундаментальная плита, тумба, колонна;

6) крестовый стол;

7) насос автоматической централизованной смазки и электро-насос для охлаждения;

8) электроаппаратура для автоматизации работы станка.

Электропривод установлен на фундаментной плите и изолирован от колонны. Между фундаментной плитой и колонной расположена тумба, в которой установлены электромотор, насосы и электроаппаратура. В колонне установлены коробка скоростей и коробка подач, а сверху на колонне расположен ременный привод шпинделя, закрытый кожухом. К передней части колонны прикреплена шпиндельная бабка, к направляющим колоннам прикреплен кронштейн. Крестовый стол установлен на передней части плиты.

Автоматический цикл работы и глубину растачивания устанавливают посредством кулачков на градуированном лимбе, находящемся с правой стороны колонны.

Вращение электромотора (фиг. 6) через коробку скоростей сообщается вертикальному валу, а от него шпинделю посредством ременной передачи с натяжным роликом. Этот же натяжной ролик через коробку подач, наклонный вал, пару конических и пару цилиндрических шестерен сообщает вращение винту шпинделя; при вращении этого винта перемещаются гайка и скрепленный с ней шпиндель.

Для ускоренного подвода и отвода шпинделя служит второй мотор мощностью 0,52 кВт, вращение которого через пару винтовых и пару конических шестерен и наклонный вал передается шпинделю.

Для подачи шпинделя вручную служит маховичок, расположенный слева от кронштейна.

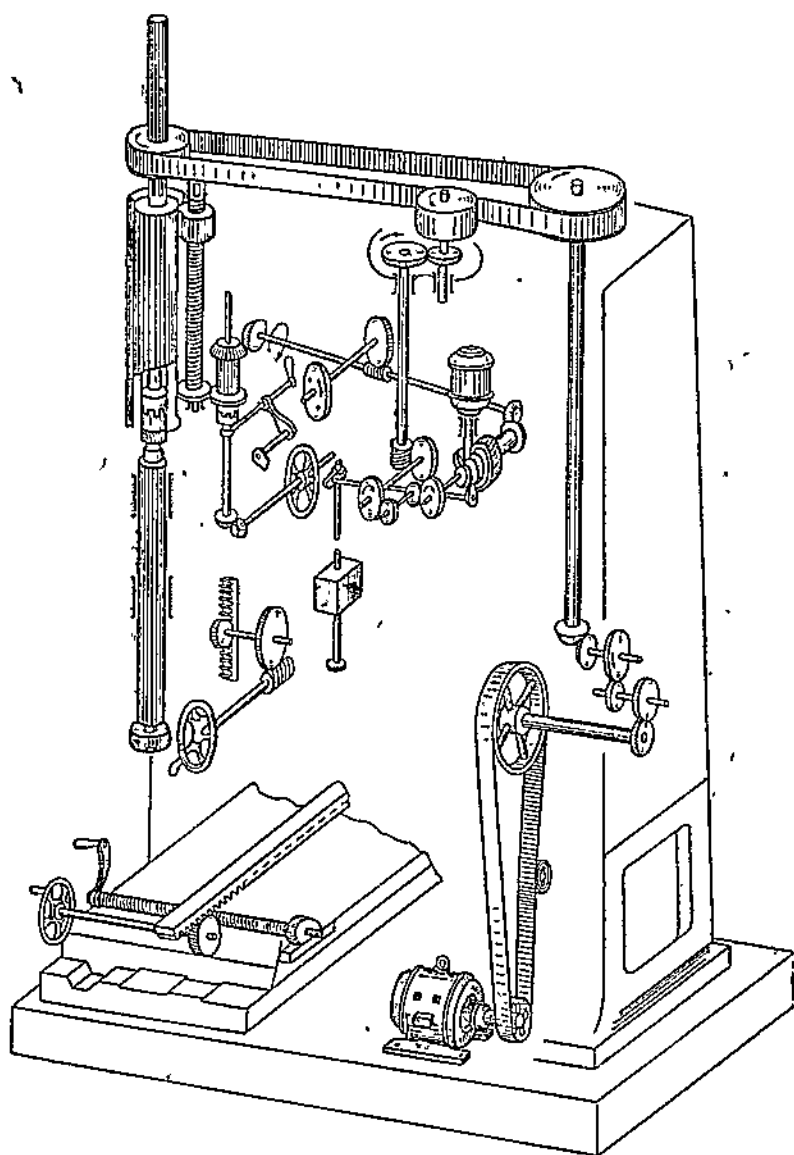
Крестовый стол может двигаться в продольном и поперечном направлении.

Горизонтальный станок Л-3 характеризуется следующими данными:

Расстояние между осями шпинделей	240 мм
Высота центров шпинделей над столом	205 "
Длина хода стола	140 "
Рабочая площадь стола	420×470 "
Число оборотов 1-го шпинделя	2182 об/мин. *
Число оборотов 2-го шпинделя	1780 "
Величина подачи	0,04—0,12 мм/об
Мощность электромотора шпинделя	3,7 кВт
Мощность электромотора стола	1,3 "
Габариты станка	1870×1050×1325 мм
Вес станка	3000 кг

Станок Л-3 (фиг. 7) предназначен для растачивания верхней и нижней головок шатунов, отверстий для пальца поршня и т. д. Путем замены смежных шкивов привода шпинделей режим работы может быть изменен. Подача стола осуществляется по копиру (пазовая кривая на барабане, расположенном внутри станины).

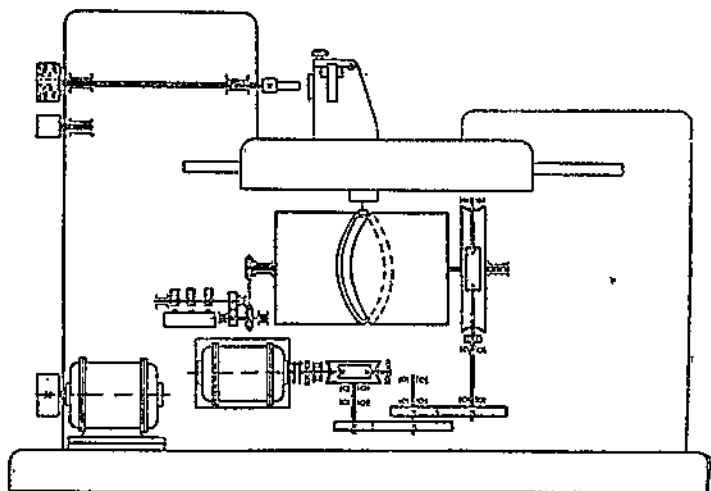
Ведущий ролик стола, имеющий вид шариковой опоры, укреплен на жестком кронштейне и расположен под углом 15° к вертикали, что при определенном направлении вращения барабана



Фиг. 6. Кинематическая схема станка 269 завода им. Ленина.

создает вертикальную слагающую силу, которая во все время работы станка прижимает стол вниз к направляющим станины. Боковые усилия воспринимаются конусным регулируемым клином.

Ускорение обратных и холостых ходов и холостых перебегов стола достигают изменением углов наклона кривой. При увеличении или уменьшении длины кривой на барабане длина хода стола может быть соответственно увеличена или уменьшена.



Фиг. 1. Кинематическая схема станка Л-3 завода им. Ленина.

При выборе станка для алмазной обработки следует руководствоваться следующими соображениями:

1. При обработке деталей, у которых длина растачиваемого отверстия не более 1,5 диаметра, следует применять горизонтально-расточные станки двухсторонние, двух- и шестишпиндельные (Хилд, Эксцелло и завода им. Ленина).

2. Для растачивания деталей, длина отверстия которых больше 1,5 диаметра или же габариты и вес деталей создают неудобства для крепления их на горизонтально-расточном станке, следует применять вертикально-расточные станки Краузе и завода им. Ленина.

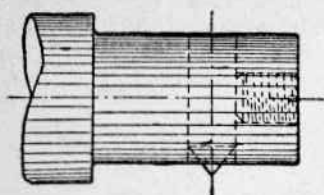
3. Для обтачивания следует применять станки Хилд, Болей, Вайнерт и др.

Приспособления для алмазной обработки

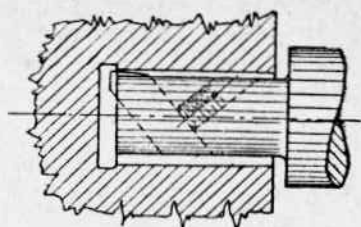
Приспособления, применяемые при алмазной обработке, можно разделить на три группы:

- 1) приспособления-держатели для крепления резцов;
- 2) приспособления-приборы для проверки установки резцов;
- 3) приспособления для установки и закрепления деталей.

Приспособления для крепления резцов в зависимости от способа обработки подразделяют на приспособления для крепления резцов в шпинделе станка (разного рода борштанги) и приспособ-



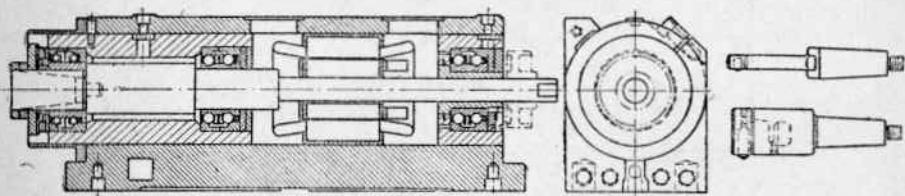
Фиг. 8. Перпендикулярное расположение прореза в борштанге.



Фиг. 9. Наклонное расположение прореза в борштанге.

ления для крепления резцов на столе или суппорте станка (разного рода резцедержатели).

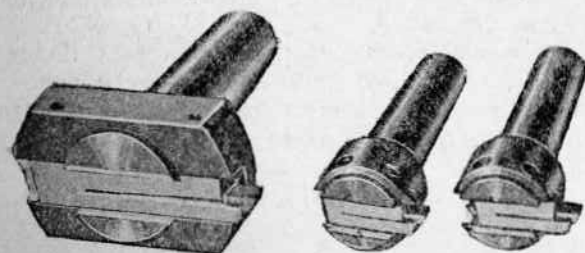
Резцы устанавливают в борштангах или резцовых головках. В зависимости от отверстия (сквозное или глухое) применяют при-



Фиг. 10. Крепление борштанги в шпинделе станка с затягиванием на резьбе.

способления с прорезом, расположенным перпендикулярно к оси (фиг. 8) или наклонно (фиг. 9).

Резец закрепляют одним или двумя винтами с внутренними шестигранныками вместо головок или гайками, связанными с устройством для регулировки размера.



Фиг. 11. Резцовые головки типа Краузе.

Для больших отверстий применяют резцовые головки типа Краузе с конусом Морзе № 4—5 (фиг. 11).

При установке резцов их регулируют или поворачивая регулирующий винт и контролируя путем пробного протачивания, или

пользуясь контрольным кольцом-калибром (фиг. 12), или применяя особые борштанги с эксцентренным креплением фирм Экселло и Хилд.

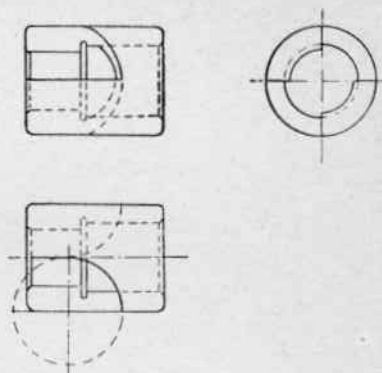
Для обработки малых отверстий делают отдельную головку и соединяют ее с борштангой эксцентрично, зажимая в нужном положении гайкой и контргайкой. Пределы регулировки составляют около 0,25 мм. На головке нанесена риска, а на краю борштанги деления со знаком $\pm$, показывающим направление вращения. Цена деления 0,005 мм. Поворот головки занимает 1,5—2 мин. Для установки размеров с точностью до 3—4 микрон необходимо два-три раза поворачивать головку и каждый раз делать пробное протачивание.

При обработке отверстий большого диаметра борштангу укрепляют эксцентрично к шпинделю. Окружность фланца накатана и на ней нанесена риска; на головке шпинделя имеются деления, указывающие величину подачи резца (фиг. 13).

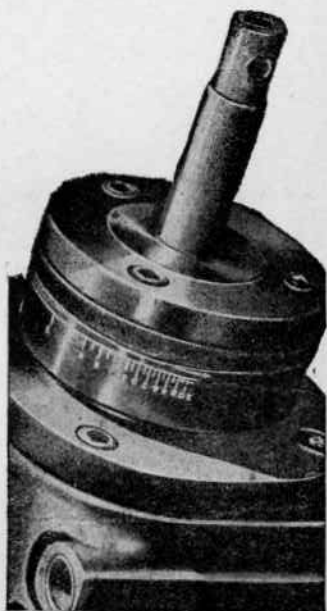
Эксцентренное крепление может несколько влиять на работу шпинделя, создавая боковые нагрузки, однако вследствие малого эксцентриситета на работе станка это не отражается. Если отбросить указанный недостаток, то эксцентренная регулировка наиболее удобна, так как нет надобности применять для проверки установки резца сложную аппаратуру. На фиг. 14—17 изображены борштанги, применяемые автозаводом им. Молотова для растачивания отверстий в шатунах и поршнях.

Для проверки установки резца на размер применяют следующие приспособления-приборы:

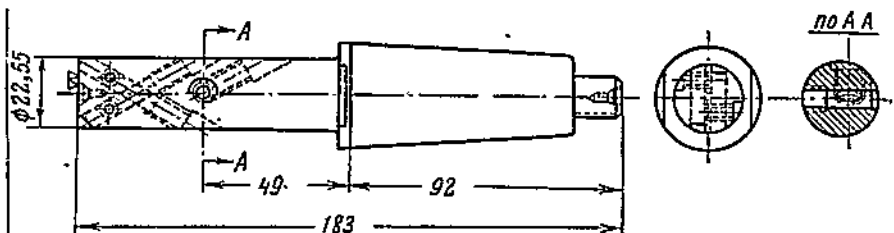
1. Защитный колпачок-визир фирмы Винтер (фиг. 18) служит как для защиты режущей кромки алмазных резцов, так и для точного соблюдения вспомогательного угла, величина которого в плане 2° . Соответственно фасеткам алмаза кромка визира имеет подобные грани, но сдвинутые на 2° . При установке резца грани визира устанавливают параллельно обрабатываемой поверхности,



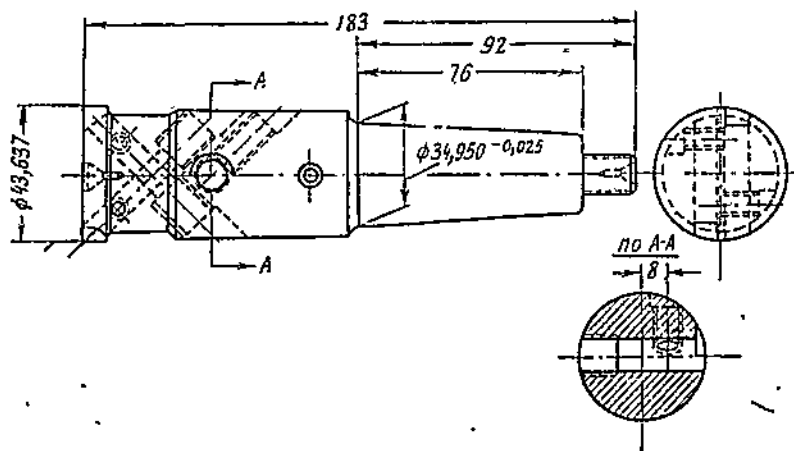
Фиг. 12. Контрольное кольцо-калибр для установки резцов.



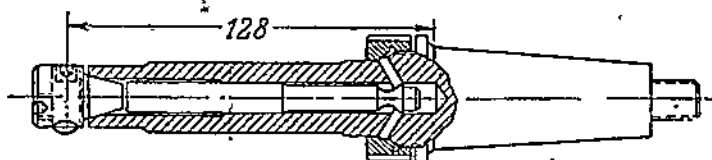
Фиг. 13. Борштанга с эксцентренным креплением.



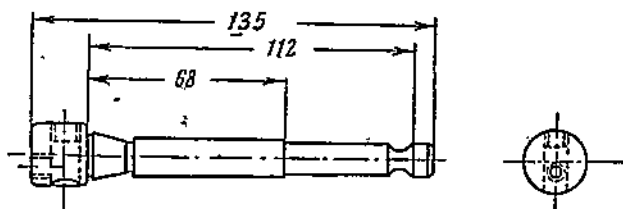
Фиг. 14. Комбинированная борштанга для предварительного и окончательного растачивания отверстий в шатуне для поршневого пальца.



Фиг. 15. Комбинированная борштанга для предварительного и окончательного растачивания отверстий в шатуне для шейки баля.



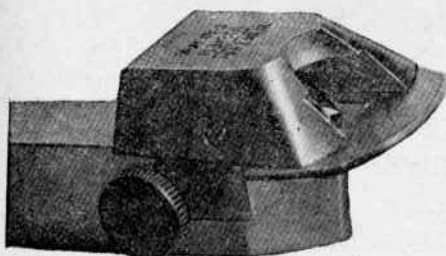
Фиг. 16. Борштанга для окончательного растачивания отверстия в поршне для пальца.



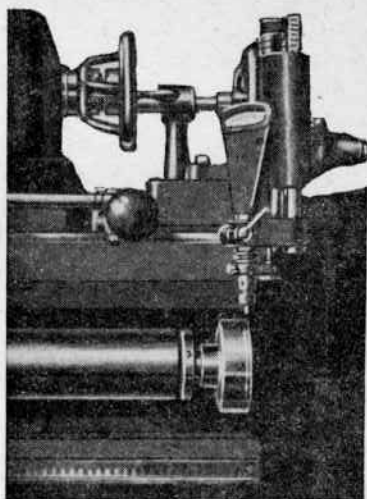
Фиг. 17. Борштанга для окончательного растачивания отверстия в поршне для пальца.

при этом резец автоматически устанавливается под углом 2° . Визир надевают на головку державки и зажимают винтом; снимают его только во время работы.

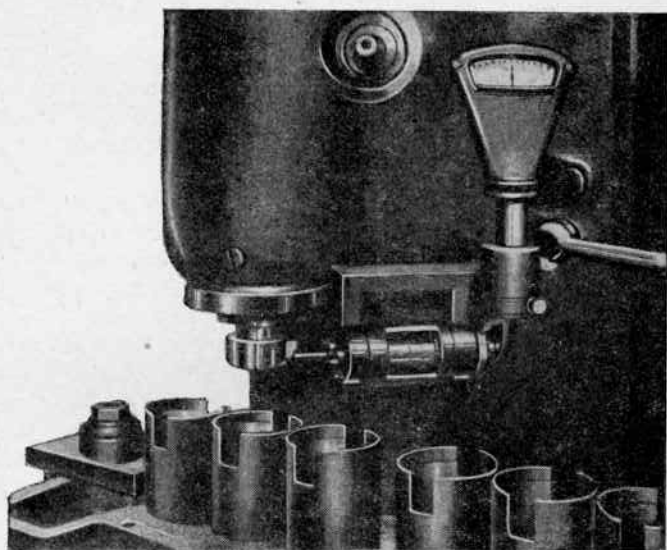
2. На станках типа Краузе, Майер и др. резец на нужный размер устанавливают при помощи специальных приборов, состоящих из микрометра и миниметра, дающих точность от-



Фиг. 18. Защитный колпачок-визир фирмы Винтер для установки резца.



Фиг. 19. Прибор с микрометром и миниметром для установки резца на нужный размер.



Фиг. 20. Прибор с микрометром и миниметром для установки резца на нужный размер.

счета до $0,001 \text{ мм}$ (фиг. 19 и 20). Для настройки приборов такого типа необходим соответствующий эталон, который вставляют в

шпиндель станка, а после настройки прибора заменяют резцовой головкой.

Фирма Хилд применяет более простое приспособление, состоящее из индикатора и микрометра с хомутиком (фиг. 21). Точность отсчета 0,01—0,005 мм.

При креплении детали или приспособления на шпинделе станка вследствие развивающейся центробежной силы необходимо усиливать крепление детали, отчего она часто деформируется. Поэтому при растачивании лучше укреплять приспособление на столе, а не на шпинделе. Соответственно этому различают приспособления, устанавливаемые на столе, и приспособления, устанавливаемые на шпинделе. Приспособления обоих типов делают с механическим, пневматическим или гидравлическим (от гидравлической системы станка) зажимом.

Основное требование, предъявляемое к приспособлениям, состоит в том, что посадочные места должны быть обработаны весьма точно. При обработке длинных отверстий малого диаметра, когда отношение длины к диаметру превышает 6—8, приспособление снабжают задней направляющей втулкой, смонтированной на шарикоподшипниках (фиг. 22). Примером может служить растачивание детали длиной 250 мм и диаметром 27 и 12,15 мм, причем точность обработки составляет 0,0127 мм.

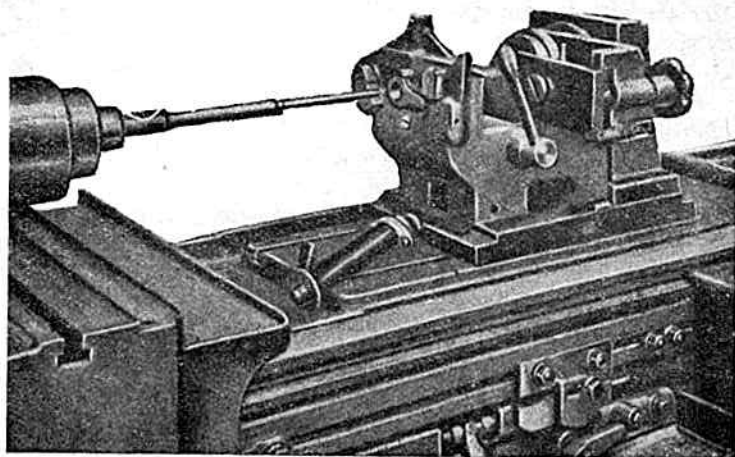
Фиг. 21. Приспособление фирмы Хилд с индикатором и микрометром с хомутиком для установки реза.

Приспособления для установки и закрепления деталей на шпинделе представляют различные патроны и цанги с механическим, пневматическим или гидравлическим зажимами.

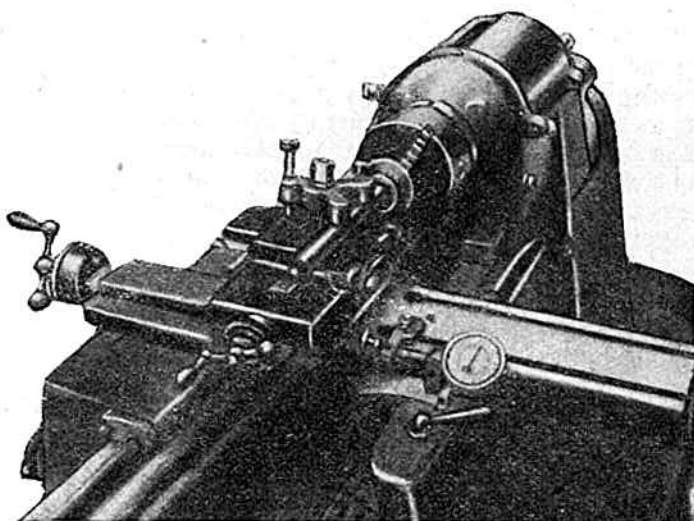
К приспособлениям следует отнести различные индикаторные упоры, обеспечивающие высокую точность и производительность обработки (фиг. 23). Применение миниметра позволяет производить установку резца на глубину резания с точностью до 0,002 мм. Особенно удобно такое устройство для точной подачи резца, чтобы компенсировать его износ при обработке больших серий изделий.

Работа на станках для алмазной обработки

Алмазную обработку применяют для обтачивания наружных поверхностей и растачивания отверстий. При обработке наружных поверхностей обрабатываемая деталь вращается, а инструмент по-



Фиг. 22. Растачивание детали на горизонтальном станке.



Фиг. 23. Применение индикаторного упора для точного растачивания на станке Кергер.

лучает продольную подачу. Поперечной подачей в основном пользуются для врезания резца на заданную глубину резания.

Так как резец устанавливают в специальной резцедержавке для obtачивания на определенный размер, то вся партия деталей получается одинаковых размеров с высокой точностью (до 1-го класса) и чистотой обработки. По мере износа резец вновь подается посредством микрометрического винта. Проверка правильности установки резца несложна, так как измерение обрабатываемой детали с необходимой точностью никаких затруднений не вызывает.

При растачивании отверстий инструмент (оправка с резцом) вращается, а детали сообщают продольную подачу. В этом случае установка на размер сложнее, так как определение действительного размера расточенного отверстия представляет некоторые трудности.

Станки для алмазного растачивания налаживают следующим образом. При установке приспособления с деталью на стол станка прежде всего проверяют совпадение горизонтальных осей изделия и расточной оправки. Несовпадение осей надо устранить посредством подшабривания подкладок и т. п.

Выверенное приспособление окончательно закрепляют и головки перемещают в поперечном направлении, пока их оси не совпадут с осями растачиваемых отверстий. При выверке и установке можно применять индикаторы и контрольные оправки, вставленные в приспособление и шпиндели.

Следующим этапом наладки является настройка движения стола на нужную величину холостого и рабочего ходов. После установки стола в исходное положение устанавливают и закрепляют упоры. Для проверки правильности расположения упоров пускают стол станка и в зависимости от того, как оправка с резцом (при выключенных шпинделях) проходит обрабатываемую деталь, окончательно устанавливают упоры.

Предварительную установку резца производят при помощи специальных индикаторных приспособлений, обычных индикаторов или микрометром, пользуясь формулой

$$d = \frac{D - D_1}{2},$$

где d — наружный диаметр расточной оправки до острия резца;

D — окончательный диаметр расточенного отверстия;

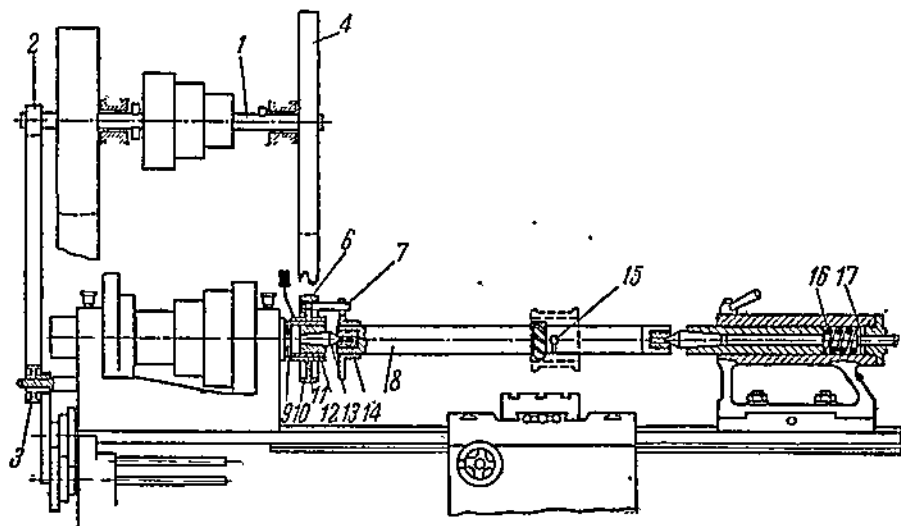
D_1 — диаметр расточной оправки.

Окончательную регулировку вылета державки производят путем пробного растачивания и измерением отверстия калибром или индикаторным приспособлением. Без такой проверки невозможно заранее учесть величину биения оправки и величину ее отжима при данных условиях обработки.

Алмазная обработка на обычном токарном станке

Основным препятствием для широкого применения на наших заводах алмазной обработки является, главным образом, недостаток специальных станков, делающих до 6000 об/мин., с невибрирующим шпинделем и мелкими подачами (0,01—0,2 мм/об).

На одном из наших заводов был проведен опыт растачивания вкладышей из специальной бронзы на обыкновенном токарном станке со ступенчатым шкивом, который был переделан и приспособлен, чтобы можно было получать весьма малые подачи и не-



Фиг. 24. Приспособление токарного станка для алмазного растачивания.

редавать вращение борштанге не от шпинделя, так как он вследствие неточности подшипников может давать биение, эллипс и т.п.

От вала контрпривода (фиг. 24), приводимого во вращение электромотором, идут две ременные передачи. Первая передача связывает шкив 2 со шкивом 3 на механизме подачи и сообщает продольное перемещение супорту, причем вращение передается ходовому валу через четыре пары сменных шестерен. Вторая передача через шкивы 4 и 6 приводит во вращение борштангу. На нарезанный конец шпинделя 12 навинчена бронзовая втулка 9, на которую надет поводковый шкив 6. Поводковый шкив свободно вращается на втулке, а сбегание его со втулки предупреждает стопорная гайка 11. В шкиве закреплен палец поводка 7. В конусный конец шпинделя вставляют центр 13. Между центрами устанавливают борштангу 8 с поводковой шайбой 14. Палец поводка 7 входит в прорезь поводковой шайбы. Таким образом шпиндель станка вместе со ступенчатым шкивом не вращается, борштанга же вращается в центрах, причем вращение ей передается от поводкового шкива.

Чтобы борштанге не передавались толчки от мест сшивки ремня, вызывающие образование на поверхности вкладыша небольшой ряби, на поводковый палец надевают резиновую трубку.

Для смазки втулки поводкового шкива в заднем выступе бронзовой втулки шпинделя просверлено отверстие, в которое вставлена трубка с масленкой. На поверхности трубки имеются желобки, в которых задерживается смазка. Во время работы теплота резания передается от инструмента борштанге. Так как от этого борштанга удлиняется, то чтобы она не изогнулась, в корпусе задней бабки поставлена спиральная пружина 16, которая нажимным винтом 17 прижимает задний центр к борштанге. Силу нажатия можно регулировать этим винтом.

Борштанга должна быть выбалансирована и отшлифована. Алмазный резец 15 вставляют в борштангу и закрепляют стопорным винтом.

Резец устанавливают по индикатору. Для предупреждения быстрого изнашивания центров их наплавляют стеллитом; в борштанге ставят вставки из закаленной стали. Чтобы удалять сбегющую стружку, которая, заклиниваясь между резцом и телом детали, может испортить обрабатываемую поверхность, применяют сжатый воздух или на борштангу надевают изготовленную из тонкого листового железа крыльчатку вентилятора. При значительном числе оборотов борштанги крыльчатка выдувает всю стружку из внутренней полости вкладыша.

На этом станке можно также обрабатывать алмазом наружные поверхности. Для этого деталь устанавливают в центрах, а резцы закрепляют в супорте станка. Это простое устройство позволяет применять весьма успешно алмазную обработку в тех случаях, когда нет специального быстроходного токарного станка.

Инструмент для алмазной обработки

Свойства алмаза. Для алмазной обработки употребляют алмазы или пластинки твердых сплавов.

Различают следующие разновидности алмазов:

1) борт или бортс — неправильные кристаллы, сростки и шарообразные лучистые агрегаты;

2) баллас — шарообразные бортсы, имеющие структуру ядра, покрытого тонкой зернистой коркой, и

3) карбонадо — тонкозернистые пористые агрегаты овальной формы, окрашенные в буровато-черные цвета; от обычного алмаза карбонады отличаются большей твердостью и отсутствием спайности.

Алмаз как режущий инструмент обладает следующими ценными свойствами:

1) высокая твердость (10 единиц по шкале Мооса);

2) большое сопротивление истиранию; если принять сопротивление истиранию корунда равным единице, то сопротивление истиранию алмаза составляет 90—140;

3) низкая теплопроводность;
4) отсутствие сродства с обрабатываемыми материалами;
5) наличие естественных граней, которые могут служить режущими кромками, причем при затуплении одной грани в работу можно ввести другую грань;

6) чрезвычайно малый коэффициент трения отходящей стружки с полированной (доведенной) передней гранью алмаза, что облегчает отвод стружки;

7) высокая стойкость, измеряемая обычно или сотнями часов машинного времени, или длиной пути, пройденного режущей кромкой, и составляющего около 3500 км.

8) сохранение твердости режущей кромки до температуры 1600—1800°;

9) полное использование алмаза, так как крошку и алмазную пыль можно употреблять для доводки инструмента и иных целей.

Наряду с этим алмаз обладает известной хрупкостью, вследствие чего с ним надо осторожно обращаться как при эксплуатации, так и хранении.

Конструирование алмазных резцов

Алмазные резцы делят на проходные, расточные, подрезные и прорезные, причем каждый резец состоит из режущей части и державки (оправки).

Для резцов употребляют как карбонады, так и бортсы бразильские желтые и африканские коричневые в виде целого кристалла без пороков (трещин и пузырьков) весом 0,5—0,75 карата¹, во всяком случае не более 1 карата (фиг. 25).

Применять алмазы больших размеров нет необходимости, так как при алмазной обработке глубина резания и подача невелики. Прочность алмаза зависит от направления действующих на него сил и достигает наибольшей величины при совпадении направления действующей силы с направлением кристаллографической оси. Поэтому при конструировании инструмента надо рассчитать направление и величину действующих на резец сил и указать на чертеже расположение оси алмаза по отношению к оси державки.



0,25

0,33

0,42



0,50

0,65

0,75



0,85

1,0

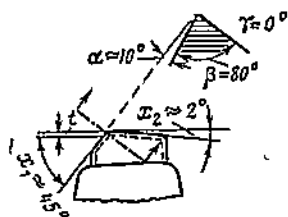
1,5

Фиг. 25. Алмазы в натуральную величину.

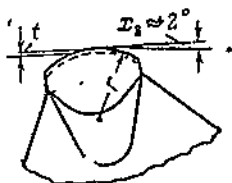
¹ Карат—единица веса алмаза, равная 0,2 г.

При конструировании расточных алмазных резцов необходимо вычертить положение резца в растачиваемом отверстии.

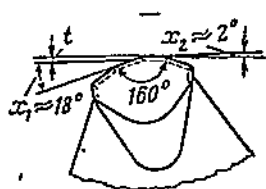
В зависимости от формы обработанного алмаза и для ускорения шлифования углы у вершин алмаза с так называемыми фасетками



Фиг. 26. Алмазный резец с главной и вспомогательной кромками.

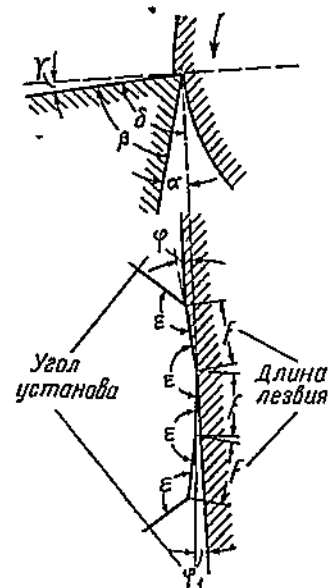


Фиг. 27. Алмазный резец с кромкой в виде плавной кривой.



Фиг. 28. Алмазный резец с кромкой, состоящей из фасеток.

ными режущими кромками составляют $150\text{--}175^\circ$, а ширина лезвий $0,4\text{--}1,0$ мм. Наилучшие результаты получаются при ширине лезвия $0,6\text{--}0,8$ мм и угле у вершины $160\text{--}170^\circ$.



Фиг. 29. Углы резания алмаза с фасетными режущими кромками.

Геометрия режущей части алмазного резца зависит от его назначения (расточивание или обтачивание) и от обрабатываемого материала. По форме режущих кромок алмазные резцы подразделяются на три группы:

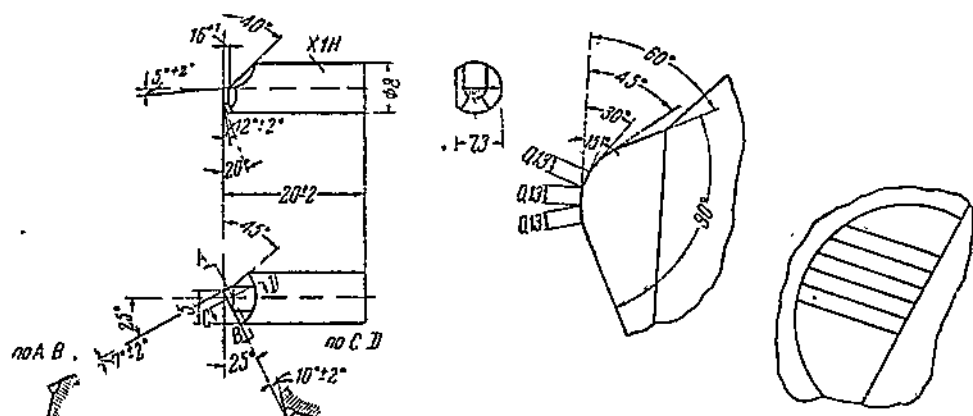
а) резец имеет главную и вспомогательную режущие кромки (фиг. 26); такие резцы употребляются для наружного обтачивания и растачивания;

б) режущая кромка представляет плавную кривую (фиг. 27); эти резцы употребляются для наружного обтачивания;

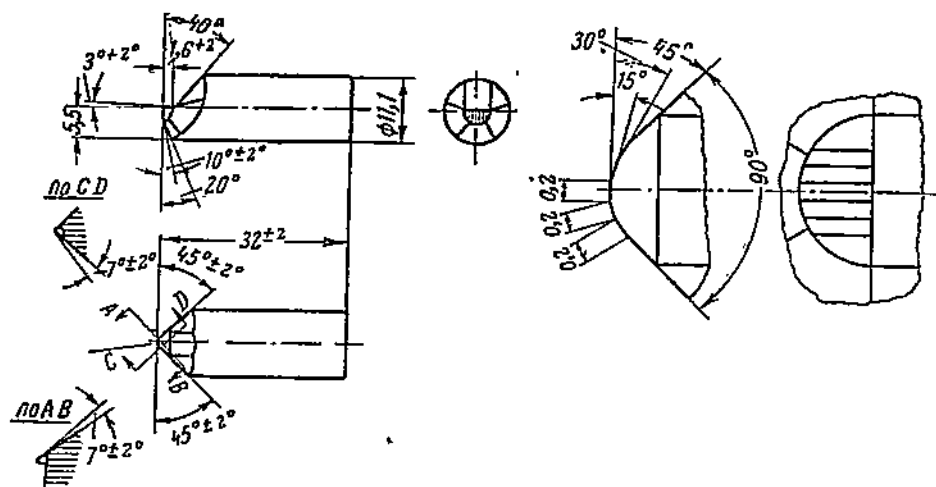
в) режущая кромка представляет ряд фасеток (фиг. 28); такие резцы употребляются только для наружного обтачивания, так как чрезвычайно трудно правильно установить фасетку.

Механическое крепление алмаза у нас почти не применяют и поэтому не употребляют глухих оправок (американский тип) или разъемных (немецкий тип). Эти оправки громоздки и изготовление их сложно, кроме того эти оправки не-

достаточно крепко удерживают алмазы. Вследствие этого у нас применяют оправки, в которых алмаз запаивают латунию. Для обработки изделий диаметром до 50 мм применяют оправки диаметром 8 мм, а для изделий свыше 50 мм — оправки диаметром $11,1$ мм. На фиг. 29—33 изображены алмазные резцы и



Фиг. 32. Алмазный расточной резец для обработки свинцовистой бронзы.



Фиг. 33. Алмазный резец для обработки баббита и алюминия.

оправки, применяемые на заводе им. Фрунзе, а на фиг. 34 — резцы, применяемые на заводе им. Молотова.

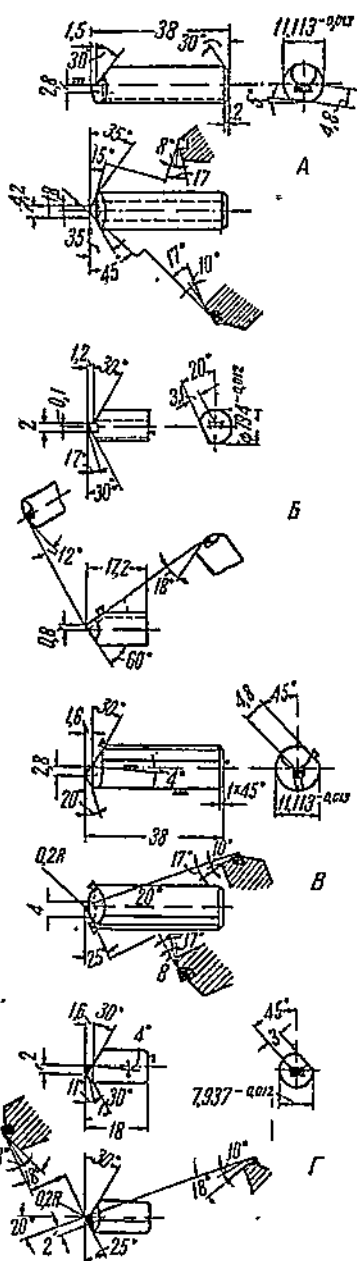
Влияние геометрии алмазного резца

Задний угол α , который облегчает свободное продвижение инструмента (без трения), не влияя непосредственно на качество поверхности, сильно отражается на прочности алмаза. При малом заднем угле резец работает затылком, отчего увеличивается радиальное усилие, и алмаз обычно начинает выкрашиваться. Большой задний угол не менее опасен, чем малый, так как от этого уменьшается угол заострения β , что уменьшает прочность алмаза.

При обработке твердых материалов берут небольшой задний угол, а для мягких материалов этот угол делают больше. По иностранным данным величина заднего угла колеблется от 4 до 12°; рекомендуется применять задний угол в 8°. Завод им. Фрунзе рекомендует применять задние углы для обтачивания 6—10°, а для растачивания 8—15°.

Передний угол обеспечивает сход стружки и влияет на качество обрабатываемой поверхности и стойкость резца. Для обработки мягких материалов, например баббита, мягких цветных сплавов, следует применять передний угол в 7°, а для красной меди, бронзы и твердых цветных сплавов от +5° до -5°. Завод им. Фрунзе рекомендует применять для баббитов передний угол в 3—5°, а для бронзы и специальной свинцовистой бронзы от 0 до -7°.

Величина главного угла в плане ϕ (фиг. 29) сильно отражается на качестве обрабатываемой поверхности, так как с увеличением главного угла в плане высота гребешка понижается.



Фиг. 34: Алмазные резцы для обтачивания и растачивания.

А и Б — алюминиевых сплавов;
В — баббита; Г — бронзы.

Однако вследствие незначительных глубин резания и подачи при алмазной обработке главная режущая кромка не участвует в работе и резание происходит закруглениями при вершине резца.

По данным завода им. Фрунзе, для резцов, работающих в один проход (расточных), главный угол в плане 60° , а для резцов, работающих на два прохода, как для расточных, так и резцов для наружного обтачивания, главный угол в плане 45° . По иностранным данным, при прямом лезвии резца главный угол в плане должен составить 45° , а при закругленном лезвии 18° .

Вспомогательный угол в плане φ_1 еще больше, чем главный угол, влияет на качество обрабатываемой поверхности. По иностранным данным, вспомогательный угол в плане должен быть не больше 2° , так как тогда режущая кромка оказывает уплотняющее и полирующее действие на обрабатываемую поверхность.

Завод им. Фрунзе, учитывая, что резание происходит закруглением при вершине резца, исключая, таким образом, вспомогательную режущую кромку, рекомендует для резцов, работающих в один проход (расточных), брать $\varphi_1 = 30^\circ$, а для резцов, работающих в два прохода (при растачивании и обтачивании), $\varphi_1 = 45^\circ$.

Угол заострения β меняется в зависимости от величин передних и задних углов, но величину его надо выбирать возможно больше, чтобы сделать резец более прочным.

Угол наклона режущей кромки λ чаще принимают равным 0° , но проведенные на заводе им. Фрунзе исследования показали, что при обработке бронзы и бронзовых сплавов при $\gamma = 0^\circ$ и $K_1 = 60^\circ$ наилучшие результаты (качество поверхности) получались при наклоне режущей кромки $5-7^\circ$. Поэтому при обработке на заводе алюминия и алюминиевых сплавов режущей кромке сообщают наклон 5° .

Радиус алмазного резца оказывает решающее влияние на чистоту обрабатываемой поверхности и стойкость резца. Завод им. Фрунзе рекомендует для расточных работ по бронзе принимать $r = 0,3-0,5$ мм, для обработки баббита $r = 0,8-1$ мм, а для алюминия и его сплавов $r = 0,5-1$ мм.

Изготовление алмазных резцов

Механические свойства алмаза в разных направлениях неодинаковы и меняются в зависимости от расположения оптической (кристаллографической оси). Если шлифовать алмаз вдоль оптической (кристаллографической оси), то время на изготовление алмазного резца составляет 36 час. При шлифовании же поперек оси и наличии твердых включений, представляющих собой мельчайшие кристаллы, оси которых не совпадают с основной осью алмаза, обработка длится значительно больше.

Вследствие этого при доводке передней грани надо запаять алмаз таким образом, чтобы направление плоскостей спайности было параллельно плоскости шлифующего круга и приблизительно

но перпендикулярно геометрической оси оправки. Доводочный круг должен вращаться навстречу режущей кромке, иначе будут получаться зазубрины. Направление плоскостей спайности определяется по характерному звуку — свисту. Когда круг режет алмаз, то свиста не слышно, если же резания не происходит, то круг трет переднюю грань алмаза, отчего возникает характерный свист. Круг должен вращаться со скоростью 12—25 м/сек, а давление резания составлять 1,0—2,0 кг.

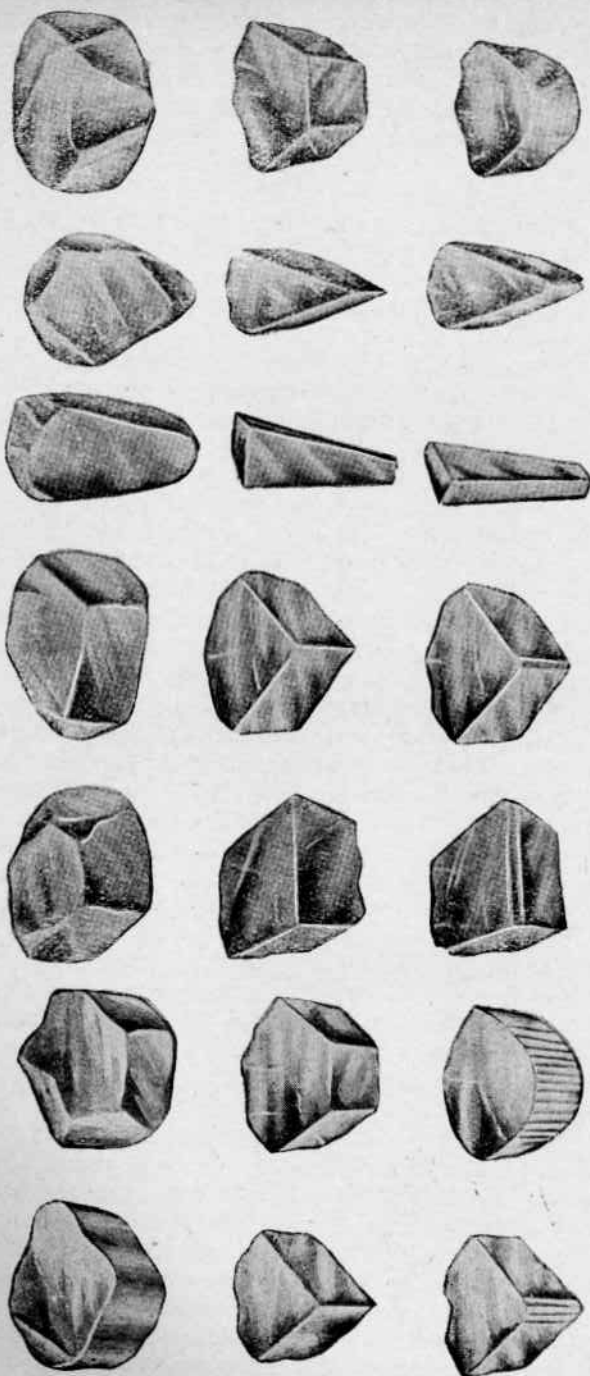
При выборе формы алмаза необходимо, чтобы требуемая геометрия приблизительно совпадала с естественной формой алмаза. На фиг. 35—37 показаны последовательные изменения формы алмаза при его огранке. Соприкосновение алмаза с кругом должно быть эластичным.

Круг, употребляемый для доводки алмазных резцов, должен быть тщательно отбалансирован. Поверхность его шлифуют и шаржируют алмазной пылью, разведенной в масле (прованском) до консистенции жидкой сметаны. Шаржирование производят победитовой пластинкой до тех пор, пока алмазная пыль не будет приставать к пальцу, если провести им по диску. В чугунный круг площадью 65 000 мм² втирают 1 г алмазной пыли, что достаточно для доводки 25—30 резцов. В зависимости от характера шлифовки употребляют алмазную пыль различной зернистости. Алмазную пыль до № 5 применяют для грубого обдирочного шлифования, а последующие номера — для чистового шлифования.

Алмазная пыль имеется в продаже, однако некоторые заводы и частично московская фабрика граненых инструментов приготавливают алмазную пыль сами. Для этого пользуются ступкой диаметром 30 мм и длиной 100 мм, закладывая в нее осколки и крошки сработанных алмазов и размельчая их до состояния пудры; после этого пыль отмучивают. Для получения алмазной пыли № 1 отстаивание длится 1 час, для № 2 — 1,5 часа, а для № 7 и 8 — 48 час. Перед отстаиванием алмазную пыль надо просеивать через шелковое сито с ячейками 0,008 мм. При работе чугунный диск периодически очищают.

Огранку алмазов производят двумя способами.

При механическом креплении отшлифованный алмаз вставляют и закрепляют в предварительной оправке. В случае закрепления алмаза посредством паяния необходимо выполнить ряд дополнительных операций. Сначала изготавливают оправку или державку и прорезают паз точно по чертежу, соблюдая угол наклона, равный переднему углу резца. Затем паз подгоняют по алмазу и с торца удаляют излишек материала. Можно рекомендовать клинообразную форму алмаза, когда его толщина уменьшается от главной режущей кромки к вспомогательной. Пригонять алмаз надо очень осторожно, периодически проверяя паз на просвет. В пригнанный паз вставляют алмаз, оставляя по бокам припуск до 0,4 мм на сторону для оконтуривания выступающей части алмаза (фиг. 38). Если алмаз плохо пригнан или вследствие неудобной формы спадает набок, то его надо подпереть с боков кусочками воска, что-



Фиг. 35. Изменение формы алмаза при огранке.

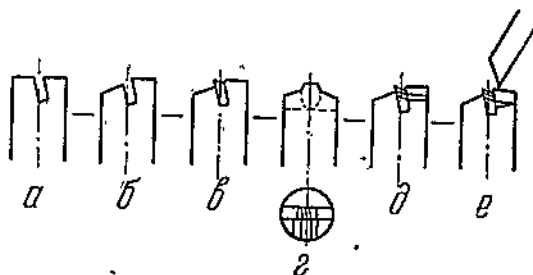
Фиг. 36. Изменение формы алмаза при огранке.

Фиг. 37. Изменение формы алмаза при огранке.

бы при чеканке он не качался и отпала необходимость его под-
держивать.

Алмаз зачеканивают со стороны опорной поверхности небольшо-
шим зубилом, причем это лучше делать не сразу, а в три приема:
1) надсечь угол пятки у оправы с широкой стороны паза, 2) за-
чеканить с узкой стороны, чтобы предупредить поворачивание ал-
маза при зачеканивании, 3) зачеканить окончательно посредине
пятки. Малейшая неосторожность при зачеканивании может испор-
тить алмаз, поэтому при зачеканивании надо лишь слегка пригнать
алмаз, чтобы он не мог сдвинуться при заливке.

Державку с зачеканенным алмазом обматывают асбестовым
шнуром, который должен выступать за алмаз на 10—15 мм. Затем
обыкновенной паяльной
лампой или горелкой на-
гревают конец оправки
до светлокрасного кале-
ния, посыпают бурой и
кладут припой. После
расплавления припоя и
заполнения им всех пу-
стот, что заметно по осе-
данию припоя, нагревают
его еще некоторое вре-
мя, чтобы припой мог
окончательно соединить-
ся с оправой и алмазом.
Припой должен быть лег-
коплавким и жидкоплав-
ким, но в то же время твердым и вязким; обычно употребляют
серебряный припой.



Фиг. 38. Различные стадии пригонки оправки
и крепления в ней алмаза.

а—оправка прорезана; б—предварительно снят сверху
лишшек; в—паз пригнан по камню; г—алмаз поставлен
на место; д—алмаз окончутрен, лишний материал снят;
е—зачеканивание алмаза.

Следующей наиболее кропотливой операцией является снятие
лишнего материала и отделка державки у запаянного алмаза. Из-
лишки припоя опиживают со всех сторон до тех пор, пока кусок
припоя, охватывающий алмаз, не будет выделяться от остального
металла тонким контуром алмаза. Напильником окончательно от-
деляют державку вокруг алмаза и припой удаляют; он легко
сходит при слабом нажиме. Затем отрезают лишнюю часть оправ-
ки, прорезывают шлицы и зачищают заусенцы.

Станки для затачивания алмазов

Станки для обработки алмазов должны удовлетворять следую-
щим требованиям:

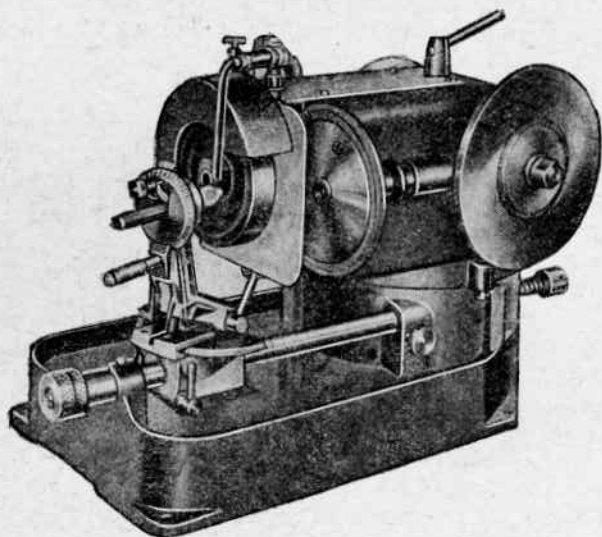
- 1) иметь механизм, позволяющий получать закругление при
вершине резца;
- 2) делать большое число оборотов, обеспечивающее скорость
вращения доводочного круга 20—25 *м/сек*;
- 3) быть свободным от вибраций;

4) иметь механизм, обеспечивающий эластичное соприкосновение алмазного резца с кругом, и

5) механизм, позволяющий придавать алмазному резцу требуемые углы резания.

Для огранки-притирки алмазов употребляют станки Хилд и Эксцелло, однако эти станки не получили широкого распространения на наших заводах, так как они допускают затачивание только одного резца.

На станках Хилд (фиг. 39) можно не только притирать грани под заданными углами, но и получать закругление у вершины рез-



Фиг. 39. Станок Хилд.

ца с точным радиусом. Вместе со станком фирма Хилд дает набор, состоящий из алмаза, пасты и шотландского камня для очистки диска.

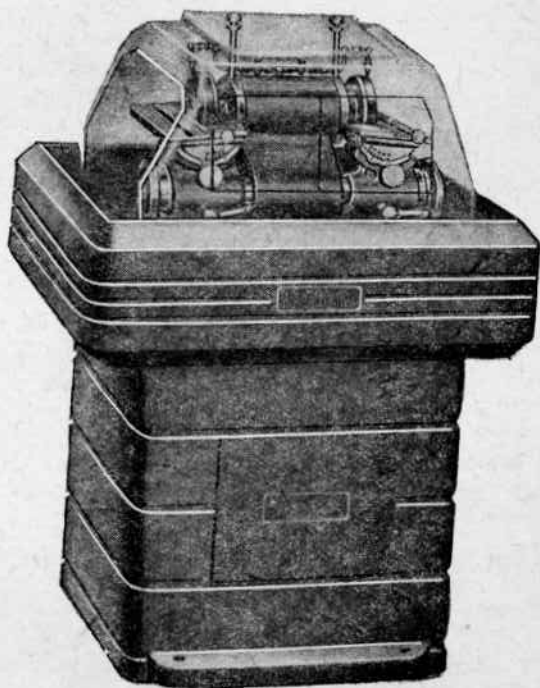
Во время притирания резец зажимают в отверстие в специальной державке и подают его при помощи микрометрического винта.

Станки Эксцелло (фиг. 40) имеют по два диска — для грубого и окончательного притирания. Требуемые углы придают резцу при помощи поворотных столиков, устанавливающих резец под разными углами.

Станок, сконструированный заводом им. Фрунзе (фиг. 41), состоит из массивной колонны 1, к которой прикреплен корпус 2 со съемным стаканом, что позволяет быстро и удобно заменять сработанные центры. В стакане помещен деревянный центр 4 из белого бука или самшита и залит маслом, что обеспечивает обильную смазку и предохраняет подшипники от самовозгорания. Сальник 5 предупреждает разбрызгивание масла. В верхней части ко-

лонны запрессована массивная стальная стойка 6, на которую насажен верхний поворотный кронштейн 7 с верхним подшипником, насаженным в зажимной цапге, которая может перемещаться гайкой 8. Вращая маховик 9, заставляют вращаться червячный винт 10, который при этом перемещает гайку 11, нажимающую на пружину 12, отчего стакан 13 опускается и регулирует натяг. Таким образом пружина 12 способствует как бы самоустанавливанию центра, устраняя люфты и износ центров.

Стол не соединен с корпусом станины, чтобы вибрации не передавались приспособлению для закрепления алмазных резцов. При перестановке шпинделя и замене центров корпус 7 отводят в сторону. Кронштейн 16 служит для центрирования шпинделя и предупреждения выскакивания его из центров вследствие большого числа оборотов и сравнительно слабого крепления. Квадратный стол 17 изготовлен из швеллера и закрыт с боков съемными железными щитами, а сверху снабжен деревянной крышкой с пятью приспособлениями 18 для доводки алмазных резцов.



Фиг. 40. Станок Эксцелло.

Доводочный диск 15 изготовляют из перлитового чугуна однородного строения, обладающего твердостью, соответствующей диаметру отпечатка по Бринеллю 4,0—4,5 мм.

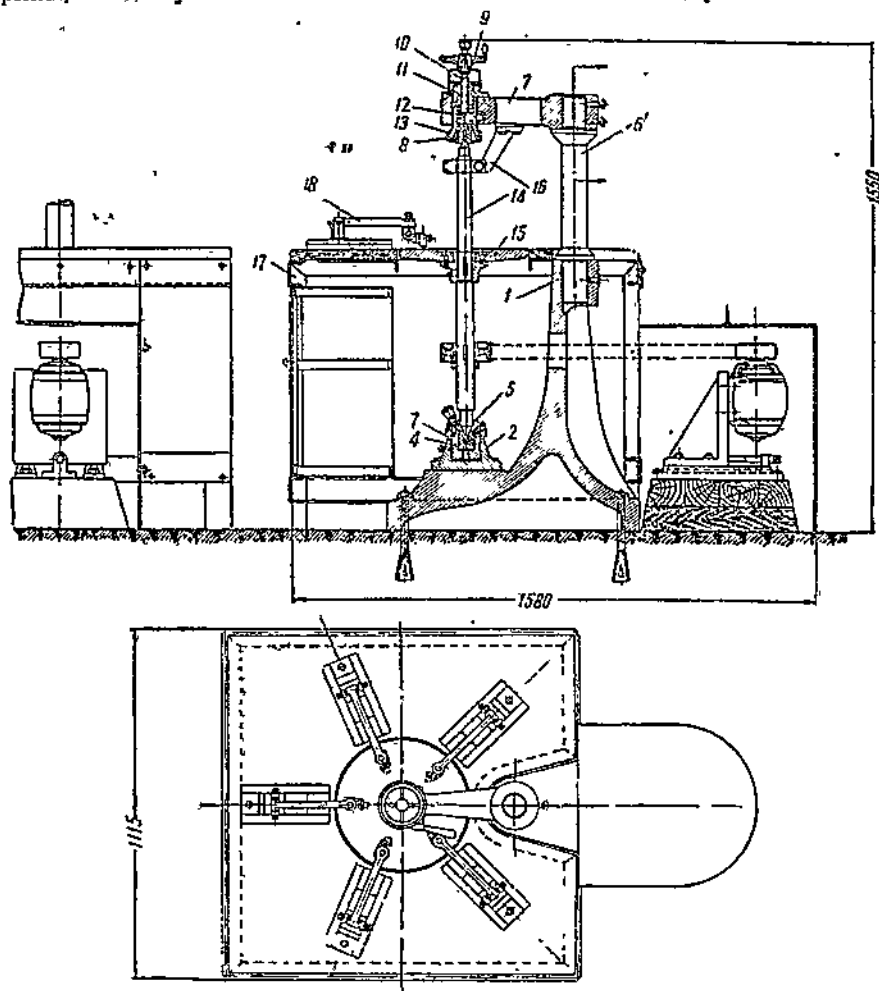
Восстановление и перетачивание алмазных резцов

При выкрашивании одной или несколько фасеток делают дополнительные фасетки на передней грани резца. Если повреждение режущих граней более серьезное, то необходимо алмаз выпаять из державки и обработать алмаз заново, как при изготовлении нового резца.

При затачивании алмазных резцов стремятся снять возможно меньший слой. Таким образом при затуплении закругления достаточно заточить только это закругление; если затупилась режущая

кромка, то достаточно заточить только ее, не затачивая остальных частей, за исключением передней грани.

Если заднюю грань или закругления затачивают раньше, чем переднюю грань, то на режущей кромке обычно остаются зазубрины, поэтому после затачивания какой-либо части резца необходимо



Фиг. 41. Станок завода им. Фрунзе.

димо заточить переднюю грань. При затачивании необходимо следить, чтобы алмаз стачивался равномерно как по высоте, так и по площади.

При нормальном затуплении алмазного резца в среднем при каждом перетачивании теряется 10 мг. Таким образом алмаз в 0,5—0,75 карата выдерживает 6—10 переточек. Отдельные резцы выдерживали до 15 переточек.

Эксплуатация алмазных резцов

Поступающие алмазы надо исследовать, чтобы определить их качество, структуру и наружный вид. Для каждого совершенно готового граненого алмаза составляют паспорт, в который заносят полную характеристику алмаза и эскиз его контура. Таким образом при восстановлении и затачивании не приходится вновь определять направление оптических осей (плоскостей спайности). В паспорте указана геометрия резца, а также для какого станка и материала он предназначен, характер затупления и стойкость при определенном режиме. В паспорте делают соответствующие отметки после каждого перетачивания резца.

Резцы с пластинками твердого сплава

Резцы с пластинками твердого сплава широко применяют при алмазной обработке стали и чугуна (цилиндрические гильзы, цилиндры и т. д.). Что касается замены алмазного резца резцом из твердого сплава при обработке цветных металлов, то укоренилось мнение, что алмазный резец лучше.

На автозаводе им. Молотова были испытаны в заводской обстановке резцы из твердых сплавов сергонит и победит альфа-21. Полученные данные показали, что для алмазной обработки с успехом можно применять резцы из твердых сплавов.

В настоящее время шатуны мотора растачивают резцами из победита альфа-21, причем применяют следующий режим обработки: скорость резания 210 м/мин, число оборотов 2650 об/мин.; величина подачи 0,07 мм, машинное время 0,48 мин., норма в час — 95 шт. Черновые резцы не регулируют; стойкость их около 1,5 смены (по бронзе).

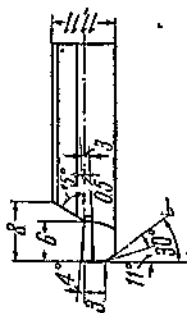
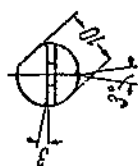
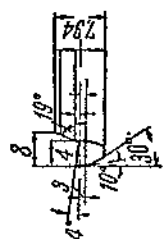
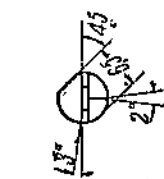
На стойкость резцов сильно влияет качество пластин, сильно различающееся в разных партиях одной и той же марки сплава.

При растачивании применяют охлаждение эмульсией. Резцы устанавливают при помощи индикатора с точностью отсчета в 0,001", тогда как требуемая точность регулировки 0,0001"; это сильно затрудняет работу. Смена и установка резцов занимают около двух часов. Брак из-за несоблюдения размера не превышает 1—2%. На фиг. 42—44 изображены резцы из твердого сплава, применяемые на автозаводе им. Молотова.

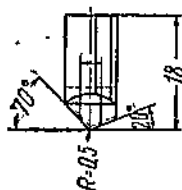
Изучение влияния притирания лезвия на стойкость резцов из твердых сплавов подтвердило недопустимость работы с недоведенными лезвиями. Поэтому все резцы для алмазной обработки доводят на специальных кругах с пастой из карбида бора.

Применение алмазной обработки в авиационном моторостроении

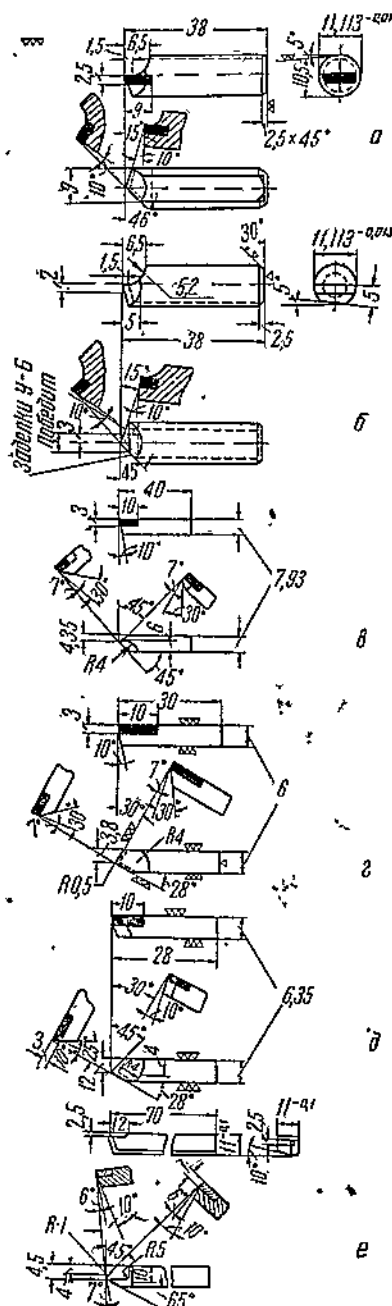
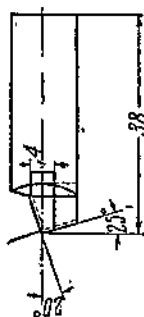
Обработка поршней мотора «Пегас». Поршни диаметром 145 мм (5,7") из алюминиевого сплава обтачивают на станке фирмы Болей (фиг. 45). Поворотный резцедержатель несет



Фиг. 43. Резец с пластиной сергонита или стинкой победита для растачивания в шатуне отверстия для поршневого пальца.

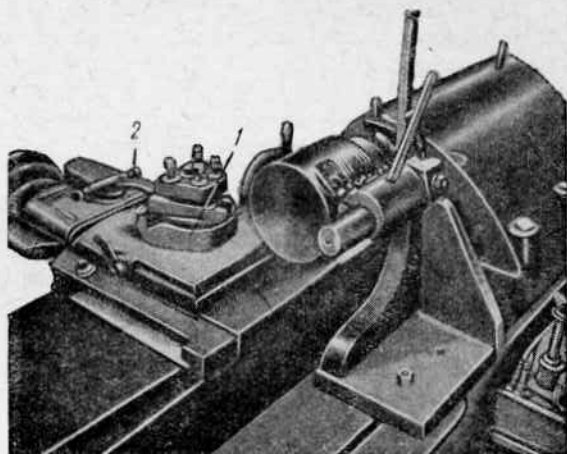


Фиг. 42. Резец с пластиной победита для растачивания отверстия в шатуне для шейки коленчатого вала.



Фиг. 44. Резцы из твердого сплава для обтачивания и растачивания.
а, б—алюминиевых сплавов; в—баббита;
г—бронзы; д—алюминиевого сплава;
е—чугуна.

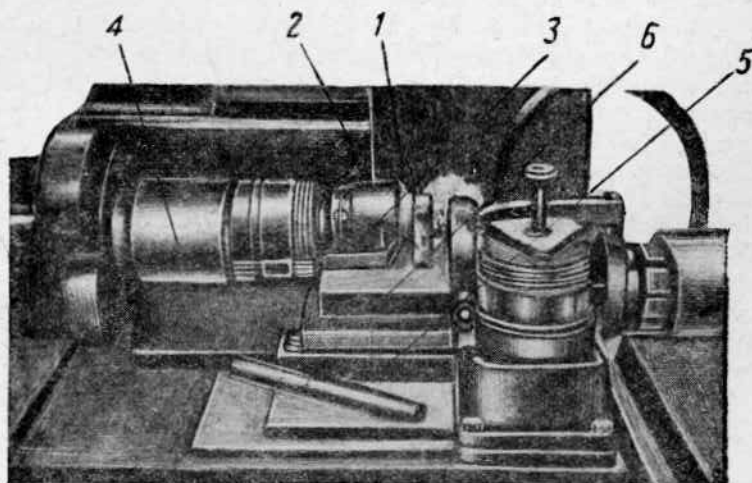
два резца: один 0,38 мм, наваренный сплавом Вимет, и другой алмазной обработки. Для ограничения вращения резцедержателя служат винты 1, препятствующие передвижению прикрепленного к суппорту рычага. Когда рычаг упирается в один из двух винтов 2, выдвигается наваренный резец, когда же рычаг упирается в другой винт, — выдвигается алмазный резец.



Фиг. 45. Обтачивание поршня на станке Болей.

Поршень устанавливают по выточке в юбке (пояску). Допуск по наружному диаметру составляет 0,025 мм, а по внутреннему диаметру юбки (по пояску) $+0,0178$ мм; шпиндель делает 1700 об/мин.

Обработка поршня мотора «Мерлин». Обтачивание поршня и растачивание отверстия для пальца производят на станке Хилд Борматик № 49 (фиг. 46).



Фиг. 46. Одновременное обтачивание и растачивание отверстия для поршневого пальца на станке Хилд Борматик.

Станок имеет два шпинделя, расположенных друг против друга. На одном шпинделе укреплен патрон для установки поршня во

время обтачивания, а на другом укреплен алмазный резец для растачивания отверстия.

Задний резцедержатель установлен на салазках, перемещающихся перпендикулярно шпинделю, что необходимо для придания юбке поршня овальной формы. Движением салазок, на которых укреплен алмазный резец 1, управляют вставки из бакаута 2 и твердой резины 3, которые прижимаются к копиру — овальному фасонному цилиндру 4, укрепленному на шпинделе.

В передней части стола установлено приспособление для закрепления поршня при растачивании отверстия для поршневого пальца. Поршень центрируют по выточке в юбке. Перед растачиванием палец 5 вводят в предварительно обработанные отверстия и прижимают к передвижному упору 6.

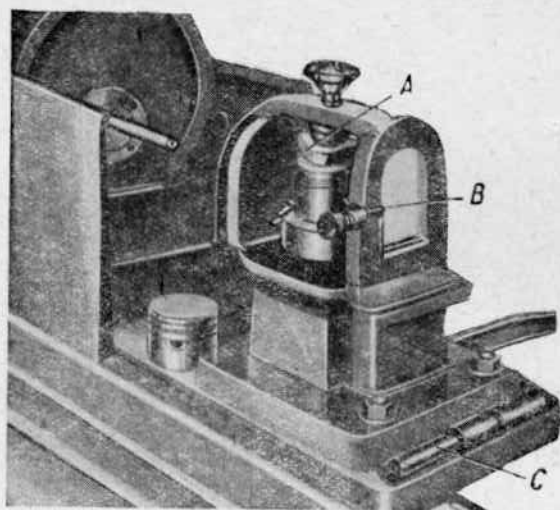
Во время обтачивания поршня стол медленно подается влево, причем вращается левый шпиндель; при растачивании отверстия для поршневого пальца алмазным резцом стол передвигается вправо. В промежутках между рабочими ходами включается ускоренный ход стола. Пока происходит обработка поршня, укрепленного на одной стороне стола, на другой стороне можно устанавливать второй поршень.

Шпиндель делает 1400 об/мин., подача 0,05 мм/об. В среднем снимают припуск около 0,22 мм на диаметр. При растачивании отверстия шпиндель делает 2200 об/мин.; при предварительном проходе снимают примерно 0,45 мм, оставляя припуск 0,15 мм на окончательный проход. При растачивании подача стола 0,05 мм/об.

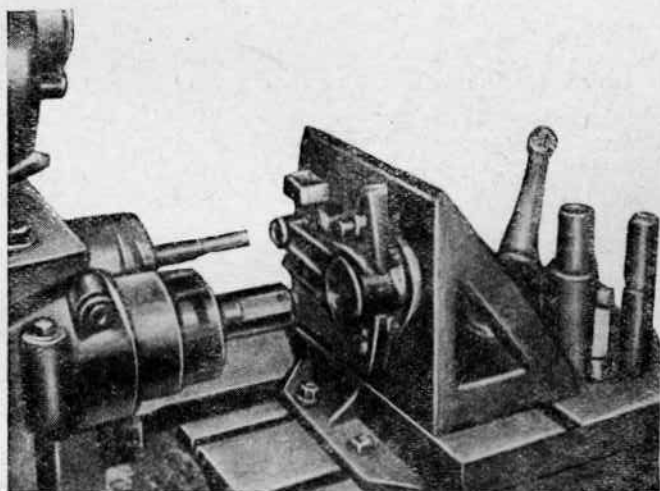
Обработка поршней мотора «Ниагара». Юбку поршня и пояски между канавками обрабатывают начисто на быстходном токарном станке БСА. Резцы укрепляют в переднем суппорте. Юбку обрабатывают начисто алмазным резцом с точностью до 0,025 мм, а пояски между канавками двумя резцами, наваренными пластинками Вимет, с точностью 0,1 мм. Шпиндель делает 1500 об/мин.; подача составляет 102 мм/мин. Отверстие для поршневого пальца растачивают алмазным резцом на станке Хилд Борматик.

Поршень устанавливают в приспособлении и закрепляют зажимом А (фиг. 47), фиксируя положение отверстия при помощи ловителя С, который вводят в отверстие до соприкосновения с винтом В; после закрепления поршня ловитель удаляют. Шпиндель делает 2560 об/мин., подача составляет 0,015 мм/об. Отверстия обрабатывают с допуском $+0,005$ мм.

Обработка шатуна мотора «Дагер». Отверстия в большой и малой головках шатуна растачивают после запрессовывания вкладышей и втулки на алмазнорасточном станке Эксцелло регулируемые алмазными резцами (фиг. 48). Оба отверстия растачивают одновременно, снимая с каждого отверстия слой в 0,076 мм. Шпиндель делает 3500 об/мин., подача 0,025 мм/об. Для установки шатуна пользуются пробками, которые вставляют в отверстия малой и большой головки и вынимают перед закреплением шатуна в надлежащем положении. Допуски на диаметр втул-

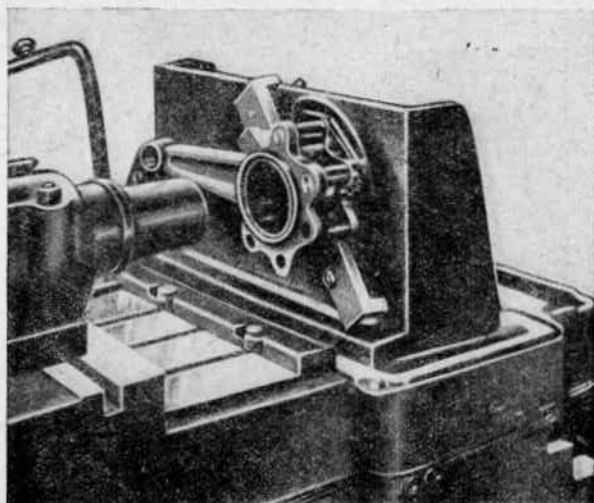


Фиг. 47. Растачивание отверстия для поршневого пальца на станке Хилд Борматик.



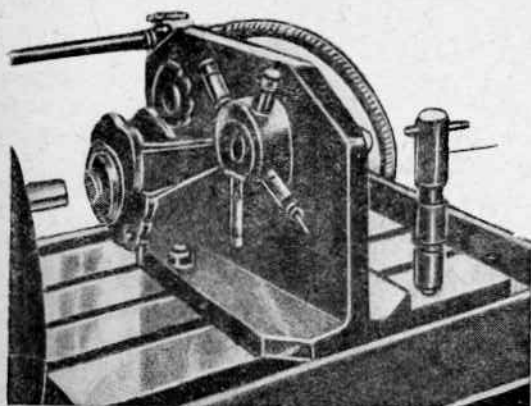
Фиг. 48. Растачивание отверстий в головках шатуна на станке Эксцелло.

ки малой головки 0,0635 мм, на диаметр вкладышей большой головки 0,025 мм и на расстояние между центрами ($\pm 0,051$ мм).



Фиг. 49. Растачивание отверстий в большой и малой головках шатуна на станке Хилд.

Обработка шатуна мотора «Пелид» состоит в алмазном растачивании залитой баббитом большой головки и запрессованной в малой головке втулки из фосфористой бронзы. Обе операции выполняют одновременно на станке Хилд, снабженном двумя расточными головками с алмазными резцами (фиг.49).



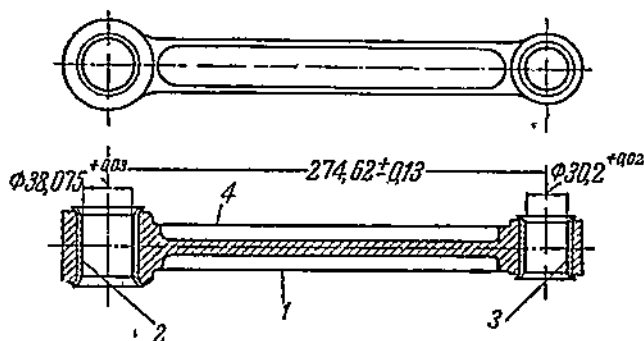
Фиг. 50. Растачивание отверстия в малой головке шатуна на станке Хилд Борматик.

Базой для обоих отверстий служат гнезда для прицепных шатунов. Оба шпинделя вращаются со скоростью 2500 об/мин., подача составляет 0,038 мм/об. При обработке каждого отверстия снимают около 0,203 мм на диаметр.

Обработка шатунов мотора Бристоль. Для алмазного растачивания отверстия во втулке из фосфористой бронзы после ее запрессовывания в малую головку главного шатуна применяют станок Хилд Борматик (фиг. 50).

Шатун укрепляют на угольнике, причем отверстие большой головки надевают на оправку. Для установки отверстия малой головки пробку пропускают сзади через шлифованное отверстие в угольнике и через отверстие малой головки и зажимают головку винтом, после чего пробку вынимают. При растачивании снимают припуск 0,178—0,203 мм, причем допуск составляет 0,015 мм. Алмазный резец, установленный в шпинделе, делает 3640 об/мин.

Обработка прицепного шатуна на одном из наших заводов. Растачивание алмазом отверстий во втулках из фосфористой бронзы после их запрессовывания в оба отверстия шатуна производят на станке Экселлю. Шатун (фиг. 51) устанавливают в приспособлении поверхностью 1, фиксируя его



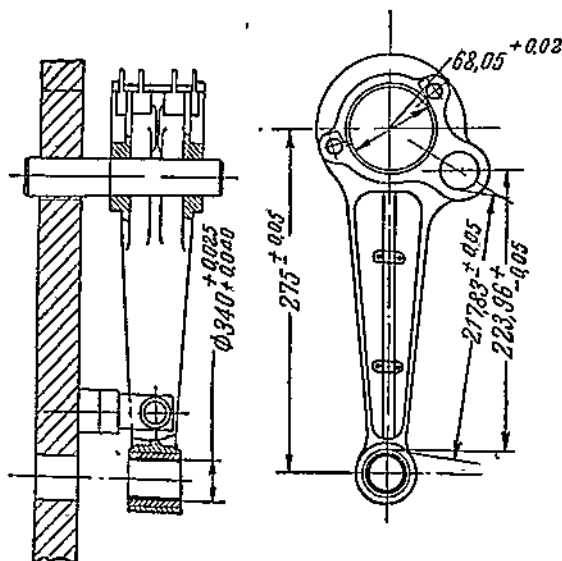
Фиг. 51. Прицепной шатун авиадвигателя.

положение пробками, входящими в отверстия 2 и 3. После закрепления шатуна по поверхности 4 пробки вынимают и одновременно растачивают оба отверстия. Отклонение от параллельности этих отверстий не должно превышать 0,07 мм на 100 мм и от перпендикулярности продольной оси 0,17 мм на 100 мм. Скорость резания 365—285 м/мин, припуск 0,3 мм на диаметр, подача 0,02—0,04 мм/об.

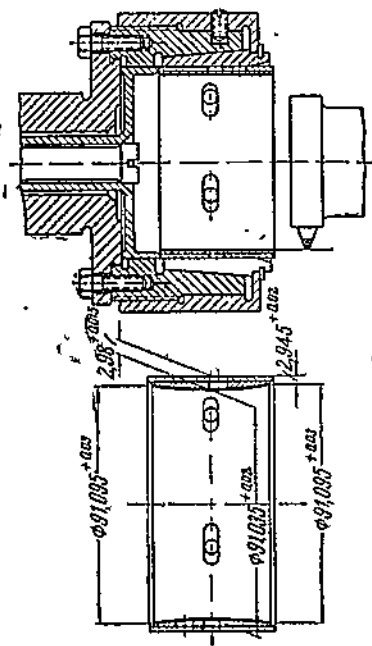
Обработка главного шатуна на одном из наших заводов. Стальной вкладыш, залитый свинцовистой бронзой, после запрессовки его в большую головку главного шатуна обтачивают алмазом на станке Келенбергер. Шатун устанавливают в приспособлении, причем базой служит отверстие для прицепного шатуна; величина биения при установке не должна превышать 0,02 мм. Шпиндель делает 465 об/мин., подача 0,055 мм/об и глубина резания 0,15 мм. Общее время обработки шатуна 8,67 мин. Малую головку шатуна с запрессованной бронзовой втулкой для поршневого пальца предварительно растачивают на другом станке той же фирмы, закрепляя таким же образом (фиг. 52). Шпиндель делает 698 об/мин., подача 0,04 мм/об и глубина резания 0,4 мм. Общее время обработки шатуна 6,3 мин. Для окончательного растачивания малой головки применяют алмазный

резец, снимая $0,12$ мм на диаметр, при 800 об/мин. борштанги и подаче $0,03$ мм/об.

Обработка вкладышей промежуточного подшипника коленчатого вала. Вкладыши из свинцовистой бронзы растачивают на станке Испано-Сюнза. Операция эта чрезвычайно ответственная, так как толщина стенок вкладыша равна $2,945$ мм, допустимая разностенность не более $0,01$ мм, а конусность и эллиптичность отверстия не более $0,01$ мм. Вкладыш устанавливают в приспособлении по наружному шлифованному диаметру (фиг. 53) и растачивают при скорости резания 276 м/мин, подаче $0,035$ мм/об и глубине резания $0,112$ мм.



Фиг. 52. Установка главного шатуна авиамотора при растачивании отверстий в большой и малой головках.



Фиг. 53. Установка вкладыша при растачивании.

Обработка главного шатуна. Втулки большой и малого отверстий главного шатуна после их запрессовывания обрабатывают на двухшпиндельном станке Хилд. Растачивают одновременно втулки обоих отверстий. Втулка большой головки — стальная и залита свинцовистой бронзой, а втулка малой головки — из фосфористой бронзы. Диаметры отверстий 88 и 34 мм (фиг. 54). Режим обработки: скорость резания 276 м/мин, подача $0,035$ мм/об.

Непараллельность между отверстиями на длине 100 мм в плоскости их осей не должна быть больше $0,05$ мм, а в перпендикулярной плоскости не более $0,1$ мм. Овальность и конусность отверстий не более $0,01$ мм.

Таблица 2

Режимы алмазной обработки по данным завода им. Фрунзе

№ по пор.	Операция	Материал	Размер обработки			Станок		Режим обработки				Охлаждение	Производительность шт/час	Стойкость резца мин.
			диаметр мм	длина в мм	класс точности	фирма	модель	число оборотов в минуту	скорость резания м/мин	припуск на диаметр мм	показатель $\phi/\pi m$			
1	Обтачивание	Алюминий	159,85	111,5	3-й	Хилд	49	650	330	0,2	0,03	—	5	5000
2	"	"	159,68	102,3	3-й	Людвиг Левер	404	980	490	0,3	0,03	—	10	5000
3	Растачивание	"	38	72	2-й	Экселло	215	1780	212	0,35	0,06	Воздух	10	300
4	"	Свинцовистая бронза	19,83	32,3	2-й	"	1212	3200	200	0,15	0,03	—	15	1000—1500
5	"	"	27	54	2-й	"	1212	3200	260	0,3	0,035	Эмульсия	12	1000—1500
6	"	"	33	60 и 100	1-й	"	1212	3200	330	0,3	0,035	"	6	1000—1500
7	"	"	38	49	2-й	"	112	2780	285	0,3	0,05	"	12	2000
8	"	"	30,2	85	2-й	"	2112	3000	360	0,3	0,04	"	20	2500
9	"	"	38,075	46	1-й	"	112	2400	620	0,3	0,02	"	5	3500
10	"	Баббит	80	62	2-й	"	2112	2150	540	0,4	0,035	"	12	2500
11	"	"	95	72	2-й	УГМ	—	1560	465	0,3	0,07	—	9	2500
12	"	Свинцовистая бронза	95	47—86	2-й	"	—	1560	465	0,3	0,035	—	7—9	2500
13	"	Бронзовый сплав	25,6	27	2-й	"	—	1560	125	0,4	0,04	—	15	3000—4000
14	"	"	37	17	2-й	"	—	1560	180	0,4	0,03	—	20	3000—4000
15	"	Свинцовистая бронза	50	50	2-й	Хиндей	14X	647	138	0,5	0,04	—	5	—

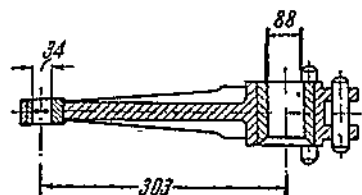
Операция	Тип реза	Глубина резания мм	Подача об/мин.	Число оборотов в минуту	Диаметр обработки мм	Скорость резания м/мин	Стойкость инструмента	
							в мин.	в шт.
Растачивание отверстий для пальца (бронза)	Алмазные рас- точники	0,1	0,05/140	2800	25,2	224	145	525
		0,05	0,05/140	2800	25,4	225	1260—2520	—
Растачивание отверстий для шейки вала (баббита)		0,4	0,05/140	2800	46,55	410	210	790
		0,1	0,05/140	2800	47,55	418	1260—2520	—

Таблица 4

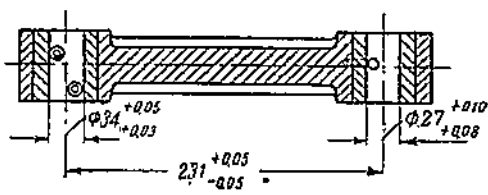
Режимы алмазной обработки по данным ЭНИМС

№ по пор.	Изделие	Материал	Инструмент	Скорость резания м/мин	Глубина резания мм	Подача м.м/об	Отверстие		Допуск по диаметру мм
							диаметр мм	длина мм	
1	Шатун авиамотора	Бронза	Алмаз	480	0,12	0,020	38	50	0,006
2	"	"	"	275	0,13	0,017	45	—	0,005
3	"	"	"	264	0,10	0,020	35	19	0,005
4	Корпус насоса	Латунь	"	450	0,13	0,028	36	42	0,005
5	Шатун авиомотора	Баббит	"	390	—	0,020	52	35	—
6	"	"	"	470	0,18	0,020	60	32	0,010
7	Поршень авиамотора	Алюминиевый сплав	"	370	0,25	0,015	29	90	0,015
8	Картер	"	"	600	—	0,022	80	—	—
9	Шатун авиомотора	Бронза	Видна	210	0,25	0,020	22	30	0,010
10	"	Баббит	"	390	0,20	0,020	50	55	0,010
11	Блок цилиндров авиомотора	Чугун	"	230	—	0,020	64	140	—
12	"	"	"	150	0,20	0,100	70	185	0,010

Обработка прицепного шатуна. Обе втулки отверстий прицепного шатуна обрабатывают алмазом на двухшпиндельном станке Хилд, одновременно. Растачиваемый материал — фосфористая бронза (фиг. 55).



Фиг. 54. Главный шатун авиамотора.



Фиг. 55. Прицепной шатун авиамотора.

Режим обработки: скорость резания 107 об/мин., подача 0,05 мм/об, припуск 0,15 мм.

В табл. 2—4 приведены режимы алмазной обработки по данным завода им. Фрунзе, автозавода им. Молотова и ЭНИМС.

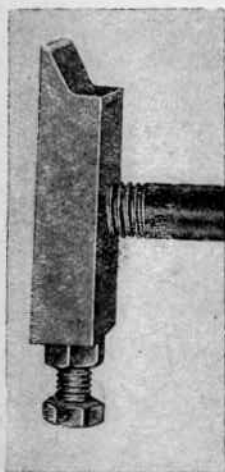
ЛИТЕРАТУРА

- Белецкий (ЭНИМС), Алмазная обработка.
 Соколовский, Основы технологии машиностроения.
 Каширин, Основы проектирования технологических процессов.
 Веллжев, Британское авиационное моторостроение.
 Сборник докладов на конференции по резанию Академии наук СССР.
 Паруи-Саркисов, Обработка поверхностей деталей авиа- и автодвигателей
 „Станки и инструмент“ № 9, 1934; № 4, 1935; № 4, 1936; № 3, 1938.
 La machine moderne n° 362, 1938.
 Werkstattstechnik, Nr. 12, 1931; Nr. 4, 1932; Nr. 3, 1937.
 Die Schleif u. Poliertechnik, Nr. 2, 1938.
 Каталоги фирм Vomag; Winter; Krause; Sfinx; Industrie Deindond C°; Smit; Hahns
 Kolb; Ex-Cello-O.

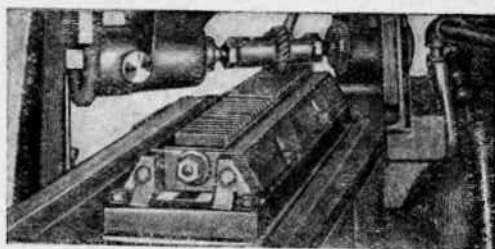
VI. ШЕВИНГ-ПРОЦЕСС

Развитие шевинг-процесса

В 1928 г. фирма Пратт Уитни представила ассоциации зуборезных фирм доклад об изобретении ею нового способа обработки шестерен, назвав этот способ шевинг-процессом. Название «шевинг» происходит от английского слова «to shave», означающего «брить». Повидимому, это название принято в связи с характером движения инструмента при обработке. В качестве инструмента фирма применяла резцы (фиг. 1) из углеродистой стали твердостью $R_c = 63-65$. Этот способ не получил широкого распространения вследствие недоста-



Фиг. 1. Резец к шевинг-станку Пратт Уитни.



Фиг. 2. Обработка шестерни на шевинг-станке Мичиган Тул Компани.

точной чистоты поверхности и возникновения некоторого наклепа. В 1932 г. фирма Мичиган Тул Компани выпустила станок для обработки шестерен шевинг-процессом, причем инструментом служила рейка, состоящая из отдельных зубьев, смонтированных в специальном корпусе и снабженных канавками, образующими режущие кромки (фиг. 2).

Примерно в то же время фирма Нейшенел Броуч Компани предложила способ окончательной обработки шестерен при помо-

щи инструмента, представляющего режущую шестерню со спиральными зубьями (фиг. 3), на боковых поверхностях которых прорезаны узкие канавки, образующие режущие кромки.

Сущность шевинг-процесса

Шевинг-процессом называют окончательную обработку зубьев некаленных шестерен при помощи специального инструмента — шевера, соскабливающего очень мелкие стружки, чтобы получить зубья с весьма точным профилем и гладкой поверхностью.

Процесс резания при шевинговании напоминает шабрение, так как при шевинг-процессе получается стружка толщиной 0,005—0,01 мм, слегка скручивающаяся, аналогично стружке скобления, получающийся при шабрении.

Однако шабрение есть процесс местного исправления поверхностей, тогда как шевинг-процессом удаляют сплошной тонкий слой металла с обрабатываемой поверхности.

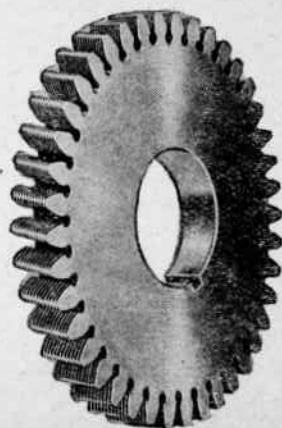
След обработки от шевинг-процесса направлен не вдоль зуба, как это получается при зубодолблении и зубофрезеровании, а под некоторым углом (переменным по высоте зуба) по отношению к рискам от предыдущих операций. Это весьма важно, так как вследствие этого счищаются продольные риски и царапины, оставшиеся на поверхности зуба после нарезания шестерни.

Шевер, представляющий собой шестерню или рейку, на зубьях которой прорезаны канавки, совершает относительные перемещения вдоль оси шестерни, вращающейся со скоростью 100—250 м/мин. При снятии стружки происходит выравнивание и исправление отдельных элементов шестерни.

Срезание стружки может быть осуществлено путем перемещения шевера вдоль оси шестерни при параллельных осях (станок Феллоу № 18) или вследствие относительного скольжения зубьев шевера и шестерни при перекрещивающихся осях.

Процесс резания при шевинге характеризуется: а) наличием режущих канавок на боковой поверхности зуба шевера; б) перемещением зубьев шевера относительно зубьев шестерни; в) давлением врезания шевера в обрабатываемую шестерню.

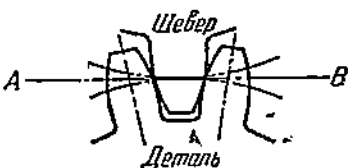
Режущие канавки. Прямоугольные канавки на боковой поверхности зуба шевера являются его режущими элементами. Для выявления геометрии режущих канавок пересечем шевер и шестерню плоскостью АВ, касательной к их делительным окружностям (фиг. 4—5).



Фиг. 3. Шевер-шестерня.

Сечения зуба шевера, проведенные параллельно торцам, постепенно увеличиваясь вследствие спиральности зуба, в положении CD достигают наибольшего размера. Поэтому режущие кромки зуба шевера вступают в работу последовательно и в сечении CD являются калибрующими, т. е. придают окончательные размеры зубу обрабатываемой шестерни.

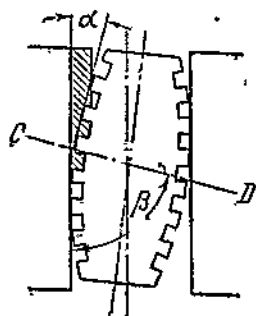
Углом резания в плоскости AB является угол β , а задним углом — угол α . Нахождение действительных углов резания на зубе шевера значительно сложнее, так как направление резания происходит не по прямой, параллельной оси шестерни, а по сложной кривой, зависящей от многих факторов.



Перемещение зуба шевера относительно зуба шестерни. Непременным условием шевинг-процесса является перемещение зуба шевера относительно зуба шестерни.

Чаще всего этого достигают путем скрещивания осей шевера и шестерни и дополнительного медленного продольного перемещения шестерни (параллельно ее оси) по отношению к шевру (станки 571 и Нейшенел Броуч Компани). При параллельных осях необходимые перемещения достигаются большим числом возвратно-поступательных движений (540 ходов в минуту), как это осуществлено на шевинг-станках Феллоу № 18.

Фиг. 4—5. Схема работы зуба шевера.



В станках, работающих по принципу скрещенных осей, скольжение профилей обуславливается, главным образом, работой шевера и шестерни как винтовой пары.

Скорость скольжения определяется скоростью профильного скольжения, скоростью скольжения вдоль зуба вследствие наличия перекрещивающихся осей и скоростью перемещения шестерни вдоль своей оси.

Первые два фактора зависят исключительно от характера сцепления шевера и шестерни. Фактор скорости перемещения шестерни вдоль своей оси в станках типа Нейшенел Броуч Компани настолько мал по сравнению с фактическими скоростями, что его в расчет не принимают. Фактор профильного скольжения также весьма незначителен по сравнению с продольным скольжением вдоль зуба.

Из теории винтовой передачи известно, что относительная скорость продольного скольжения винтовых шестерен выражается следующей формулой:

$$v = R_1 \omega_1 \sin \varphi_1 \pm R_2 \omega_2 \sin \varphi_2, \quad (1)$$

где R_1 — радиус делительной окружности ведущей шестерни;

R_2 — радиус делительной окружности ведомой шестерни;

ω_1 — угловая скорость ведущей шестерни;

ω_2 — угловая скорость ведомой шестерни;

φ_1 — угол спирали ведущей шестерни;

φ_2 — угол спирали ведомой шестерни.

Знаки плюс или минус указывают на совпадение или несовпадение направления спиралей у обеих шестерен. В случае одинакового направления спиралей применяют знак плюс, в случае разноименного направления — минус.

Для зацепления шестерни и шевера формулу (1) можно преобразовать следующим образом:

$$v = v_1 \sin \varphi_1 \pm v_2 \sin \varphi_2,$$

где v_1 — окружная скорость шестерни;

v_2 — окружная скорость шевера;

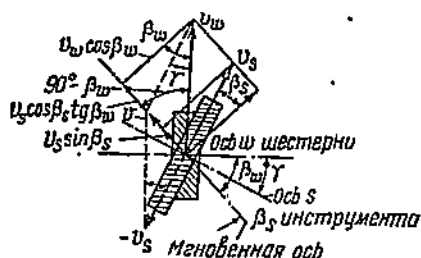
φ_1 — угол спирали шестерни;

φ_2 — угол спирали шевера.

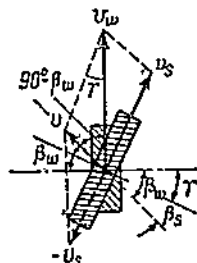
Для прямозубой шестерни $\varphi_1 = 0$. Тогда

$$v = v_2 \sin \varphi_2.$$

Скорость продольного скольжения можно определить по методу, предложенному инж. Поль (Werkstattstechnik, № 22, 1935).



Фиг. 6. Определение скорости продольного скольжения (1-й способ).



Фиг. 7. Определение скорости продольного скольжения (2-й способ).

На фиг. 6 и 7 изображены схемы зацепления, причем взят наиболее общий случай, когда шевёр и шестерня имеют разноименное направление спиралей.

Обозначим:

w — ось обрабатываемой шестерни;

S — ось шевера;

β_w — угол спирали обрабатываемой шестерни;

β_s — угол спирали шевера;

γ — угол скрещивания осей шевера и обрабатываемой шестерни;

v_w — окружная скорость обрабатываемой шестерни;

v_s — окружная скорость шевера (для рейки — ее поступательная скорость).

При разноименном направлении спиралей шевера и шестерни

$$\gamma = \beta_w - \beta_s.$$

Тогда скорость продольного скольжения

$$v = v_w \sin \beta_w - v_s \sin \beta_s, \quad (2)$$

т. е. скорость продольного скольжения есть разность произведения окружных скоростей сопрягаемых шестерни и шевера, помноженных на синусы углов их спиралей.

Уравнение (2) несколько неудобно тем, что в него входит скорость v_w шестерни, требующая вычисления.

Поэтому выразим v_w через известную скорость шевера v_s .

Из фиг. 6 видно, что

$$v_w \cos \beta_w = v_s \cos \beta_s, \quad (3)$$

откуда

$$v_w = \frac{v_s \cos \beta_s}{\cos \beta_w}. \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в уравнение (2), получаем

$$v = v_s \operatorname{tg} \beta_w \cos \beta_s - v_s \sin \beta_s, \quad (5)$$

или

$$v = v_s (\operatorname{tg} \beta_w \cos \beta_s - \sin \beta_s). \quad (6)$$

Согласно другому способу, предлагаемому тем же автором (фиг. 7), находим

$$\frac{v}{\sin \gamma} = \frac{v_s}{\sin (90^\circ - \beta_w)}, \quad (7)$$

откуда

$$v = \frac{v_s \sin \gamma}{\sin (90^\circ - \beta_w)} = \frac{v_s \sin \gamma}{\cos \beta_w}. \quad (8)$$

Но

$$\gamma = \beta_w - \beta_s; \quad \sin \gamma = \sin (\beta_w - \beta_s) = \sin \beta_w \cos \beta_s - \cos \beta_w \sin \beta_s.$$

После подстановки в уравнение (8) получаем

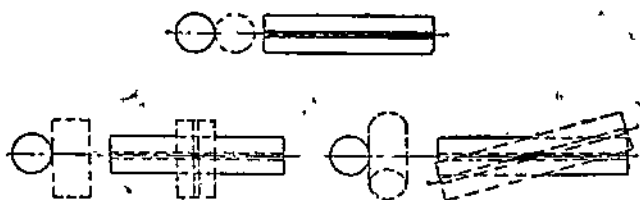
$$\begin{aligned} v &= v_s \cos \beta_s \operatorname{tg} \beta_w - v_s \sin \beta_s = \\ &= v_s (\cos \beta_s \operatorname{tg} \beta_w - \sin \beta_s). \end{aligned} \quad (9)$$

Угол установка шевера (скрещивание осей) и изделия обычно выбирают в пределах $10-15^\circ$.

При увеличении этого угла улучшаются условия резания (увеличивается скорость резания, уменьшается угол резания и т. д.), но вместе с тем уменьшается ширина зоны соприкосновения зуба шевера с зубом обрабатываемой шестерни и тем самым уменьшается направляющее действие инструмента. Наоборот, направляющее действие увеличивается с уменьшением угла установка, но при этом ухудшаются условия резания. При угле скрещивания, равном нулю, движение переходит в простую обкатку.

Зоны соприкосновения зуба шевера с зубом изделия можно наглядно представить, если заменить зубья цилиндрами. На фиг. 8 сверху показан контакт двух цилиндров при параллельных осях, внизу слева — контакт при скрещивании под углом 90° , внизу справа —

ва — контакт при угле в 15° . Поверхность соприкосновения параллельных цилиндров имеет вид прямоугольника, длина которого равна длине цилиндров, а ширина зависит от их диаметра, давления и упругости материала. При увеличении угла, образуемого осями цилиндров, от 0 до 90° площадь соприкосновения имеет форму параллелограмма, но постепенно уменьшается и достигает минимума при угле 90° .



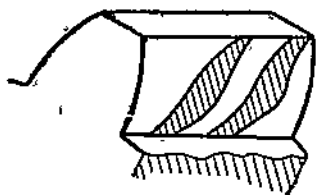
Фиг. 8. Контактные зоны при разных углах скрещивания.

В сопряжении шестерни и шевра поверхность соприкосновения также меняется в зависимости от угла скрещивания.

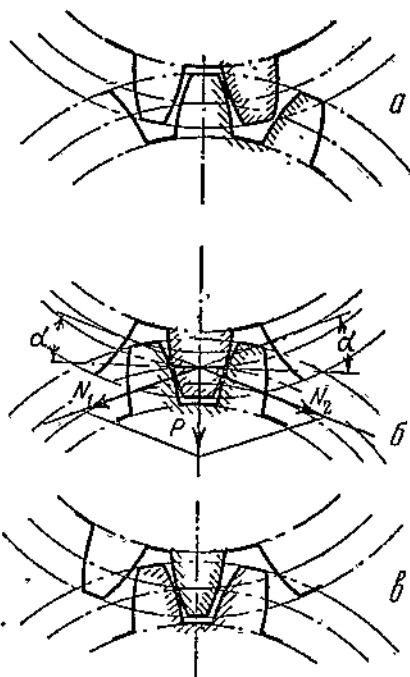
В соответствии с этим подсчитывают продолжительность зацепления или, что то же, величину перекрытия шестерен, пользуясь известными формулами зацепления винтовых пар. Продолжительность зацепления оказывает влияние на давления, возникающие при шевинг-процессе.

Характер следа снимаемой стружки показан на фиг. 9. Больше всего снимается металла в зоне начальной окружности, как условно показано штриховкой следа.

Давление врезания шевра в обрабатываемую шестерню. Давления, возникающие при работе шевра с



Фиг. 9. Следы снимаемой стружки (увеличено).



Фиг. 10. Давление врезания шевра.

шестерней, отличаются от тех давлений, которые имеются в обычных зубчатых передачах. При передаче усилий через шестерни всегда имеются зазор между зубьями и усилие давления, яв-

ляющееся результатом окружного усилия. При работе шевера не только отсутствует зазор между зубьями, но работа происходит со значительным межцентровым усилием, достигающим до 200—230 кг.

На фиг. 10 показаны положения шевера в работе: начало входа (фиг. 10, а), среднее положение (фиг. 10, б) и выход зуба из зацепления (фиг. 10, в). Усилие P , действующее на шестерню, перпендикулярно оси, направлено по линии центров. В точках касания зубьев усилие P разлагается по нормальным к соприкасающимся профилям на силы N_1 и N_2 , направленные по линиям зацепления, проходящим через полюс зацепления.

Для среднего положения

$$N_1 = N_2 = \frac{P}{2 \sin \alpha}.$$

Переменные усилия N на разных участках профиля зависят от положения профиля и от величины перекрытия (продолжительность зацепления). При величине перекрытия, больше единицы полученного путем подсчетов, на отдельных участках в зацеплении участвуют различные числа зубьев. Например, при величине перекрытия 1,5 на некотором участке в зацеплении участвуют два зуба, а на другом участке один зуб. Несмотря на то, что величина перекрытия характеризует среднее число зубьев, находящихся в зацеплении, фактически в зацеплении участвует только целое число зубьев. В тех случаях, когда на линии зацепления находятся в сопряжении четыре профиля, действующее усилие разлагается на все сопряженные профили.

Из анализа действующих усилий на отдельных участках профиля следует, что величина усилий, действующих на профиль зуба, принимает наибольшее значение в зоне делительной окружности и уменьшается в зонах головки и ножки зуба.

Анализ работы зуба шевера с момента его вступления в зацепление до момента его выхода из зацепления характеризуется тремя положениями.

1. Ножка зуба шевера давит на головку шестерни (фиг. 10, а). Это положение характерно тем, что в зоне головки отшвингованная шестерня имеет риски большие, чем в других зонах. Иногда даже наблюдаются вырывы металла, особенно при затупившемся шевере. Это явление можно объяснить тем, что при перемещении центра напряжений к головке зуба удельное давление возрастает. При остром шевере материал срезается, при затупившемся шевере возникшее большое удельное давление приводит к вырывам. При обработке вязких материалов затупившийся шевёр создаёт заусенцы на кромке обрабатываемого зуба.

2. Среднее положение зуба шевера характеризуется наибольшим давлением в зоне делительной окружности (фиг. 10, б). Этим можно объяснить установленный факт наибольшего съёма металла в зоне делительной окружности, т. е. искажение профиля зуба шестерни по сравнению с профилем зуба шевера. Вследствие это-

го возникает необходимость заведомо вносить в профиль зуба шевера такие искажения, которые впоследствии могли бы компенсировать явление наибольшего съема в зоне делительной окружности.

3. Головка зуба шевера давит на ножку зуба шестерни (фиг. 10, в). На обработанном зубе это положение характеризуется отпечатками, оставшимися на ножке зуба от шевера. Зуб шевера сминает металл и оставляет свои следы на зубе шестерни. Такого рода отпечатки встречаются почти на всех шестернях, но четкость их зависит от материала заготовки и степени остроты режущих кромок на зубе шевера.

Место, занимаемое шевинг-процессом в технологии шестерен

Чистовая обработка зубьев шестерен складывается из следующих процессов:

до закалки: 1) зубофрезерование, 2) зубодолбление, 3) шевинг;
после закалки: 1) зубошлифование, 2) притирание, 3) прираба-
тывание.

Для построения технологии чистовой обработки зубьев шестерен в зависимости от класса точности шестерен, серийности производства и наличного оборудования эти процессы сочетают с черновыми операциями. При построении технологии обработки зуба необходимо также сделать расчеты и подобрать наиболее экономичные процессы.

Для некаленных шестерен весьма целесообразную комбинацию представляют зубофрезерование и шевинг. Чтобы оставить необходимые и равномерные припуски для шевинга, нужно употреблять шлифованные червячные фрезы, поддерживая зубофрезерные станки в хорошем состоянии. Если невозможно удовлетворить этим условиям, то применяют черновое зубофрезерование — зубодолбление — шевинг.

Значительно сложнее обработка закаливаемых шестерен. В этих случаях наиболее производительный процесс шевинг может быть только предварительным. Окончательно зуб надо обрабатывать шлифованием или притиранием.

Рассмотрим варианты обработки закаливаемых шестерен:

- 1) зубофрезерование — шевинг — (закалка);
- 2) черновое зубофрезерование — зубодолбление — шевинг (закалка) — притирание;
- 3) зубофрезерование — шевинг — (закалка) — зубошлифование;
- 4) зубофрезерование — (закалка) — зубошлифование.

Возникает вопрос о целесообразности шевинга перед закалкой, учитывая наличие значительных деформаций закаленных шестерен. Однако практика наших заводов показывает, что при совершенных методах термической обработки (газовая цементация, цианирование, охлаждение под прессом) шестерни, обработанные до закалки с высокой точностью, получают такие искажения, которые исправляет последующее притирание. Это не относится к особо точным

каленным шестерням для передачи больших чисел оборотов, для которых зубошлифование обязательно (практика авиамоторных заводов).

Данные о полной стоимости одного зуба, обработанного разными методами, приведены в табл. 1, откуда видно, что зубодолбление увеличивает стоимость обработки, а для тех шестерен, которые необходимо шлифовать, выгоднее применять фрезерование, шевинг, закалку и шлифование.

Таблица 1

Стоимость обработки одного зуба шестерни (в копейках)
(по данным ЗИС и ЭНИМС)

Операция	Варианты обработки				Количество обрабатываемых зубьев в 1 час
	I	II	III	IV	
Черновое зубофрезерование . . .	—	1,24	—	—	450
Получистовое зубофрезерование	2,55	—	2,55	2,55	476
Зубодолбление для шевинга . .	—	1,49	—	—	275
Шевинг	0,7	0,7	0,7	—	785
Черновое зубошлифование (станок «Оркут»)	—	—	—	1,5	300
Чистовое зубошлифование (станок «Оркут»)	—	—	1,5	1,5	300
Притирание зубьев (станок «Мичиган»)	0,6	0,6	—	—	1200
Полная стоимость одного зуба .	3,85	4,03	4,75	5,55	—

Данные о стоимости зубошлифования на станках «Оркут» относятся только к прямозубым шестерням. Стоимость обработки на зубошлифовальных станках «Маат» значительно выше, чем на более производительных станках «Оркут».

Помимо чисто экономических выгод, применение шевинг-процесса обуславливает также следующие преимущества:

- 1) высокую точность обработки, не достижимую при зубодолблении и зубофрезеровании;
- 2) высокое качество поверхности и отсутствие наклепа на зубьях;
- 3) менее сложные в эксплуатации и ремонте шевинг-станки.

Наибольшее затруднение при внедрении шевинг-процесса на небольших мелкосерийных заводах представляет затачивание шевров.

Точность шевинг-процесса

Шевинг не является зубообразующим, а только исправляющим процессом. С этой точки зрения точность обработки, полученная при шевинг-процессе, непосредственно зависит от тех отклонений, которые имеются на предварительно обработанных шестернях.

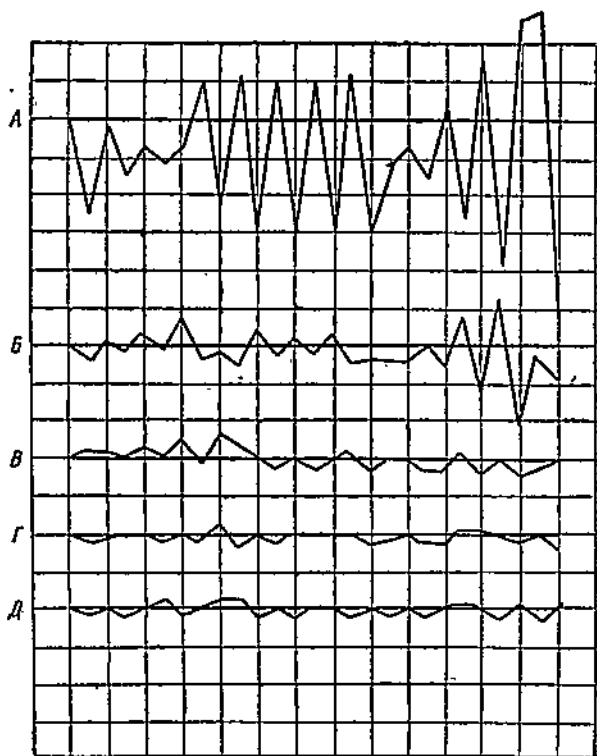
Опыт показывает, что шестерни с различными отклонениями основных элементов, обработанные одним и тем же шевером, получают различную исправляемость. Если при фрезеровании, долблении и шлифовании зубьев искажения от предварительных операций приводят только к изменениям припусков и режимов, не оказывая влияния на окончательную точность, то при шевинге эти искажения непосредственно влияют на точность окончательно обработанной шестерни. Устанавливая максимально допустимые припуски и отклонения перед шевингом, надо одновременно устанавливать необходимую точность после шевинга.

Основными элементами шестерни являются: шаг, концентричность делительной окружности, профиль зуба, направление зуба по отношению к оси, или спиральность, толщина зуба. Все эти элементы исправляются при шевинге.

Исправляемость по шагу

Опытные данные подтверждают, что шевинг-процесс дает исправляемость по шагу, соответствующую повышенным требованиям, предъявляемым к зубчатым передачам.

Обыкновенно после четвертого хода стола достигают такой точности, которая при последующих продольных ходах возрастает



Фиг. 11. Диаграммы отклонений по шагу.

А—основной шаг до шевинга; Б—после 4 ходов стола; В—после 6 ходов; Г—после 8 ходов; Д—после 12 ходов.
Масштаб 1000 : 1.

значительно медленнее. Объясняется это тем, что вследствие отсутствия в шевинг-станке цепи деления шевера вначале при резании снимает те участки, которые имеют отрицательные отклонения по шагу.

Диаграммы отклонений по шагу (фиг. 11) показывают характер исправляемости в зависимости от количества ходов стола.

В табл. 2 приведены данные, характеризующие исправляемость по шагу в зависимости от количества продольных ходов стола.

Таблица 2

Исправляемость шестерен по шагу

Погрешность	Величины погрешности, мм			
Нормальный шаг до шевинга	До 0,02	0,03—0,05	0,06—0,08	0,13
После 4 ходов стола . .	0,005—0,007	0,005—0,007	—	—
После 8 ходов стола . .	0,005	0,005	0,006—0,01	0,03—0,04
После 12 ходов стола .	0,005	0,005	—	—

При больших отклонениях по шагу кроме плохой исправляемости самого шага замечается также ухудшение профиля на зубьях, имеющих наибольшие отклонения.

Обычные отклонения по шагу (около 0,03 мм), получаемые на зубофрезерных и зубодолбежных станках, исправляют до 0,005 мм после 6—8 ходов стола.

Исправляемость биения делительной окружности

Следующим элементом, подвергающимся значительному исправлению при шевинг-процессе, является биение делительной окружности.

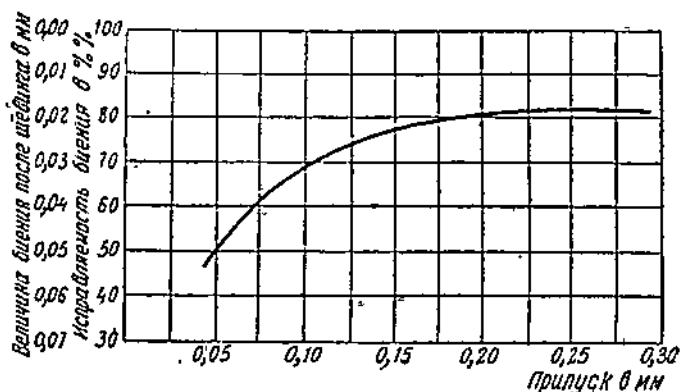
Опыты по исправляемости биения показывают, что в основном исправление по биению происходит при первых четырех-пяти ходах. Последующие ходы дают малые результаты, причем бывают даже случаи, что при последующих ходах биение делительной окружности увеличивается вследствие суммирования ошибок, связанных с люфтами в шпинделе шевера и подшипниках, вращающихся центров для шестерен. Биение после шевинга зависит от: 1) люфтов в шпинделе шевера, 2) биения оправки для шестерен, 3) биения центров бабок, 4) биения торцов шестерни и торцов оправки, 5) величины зазора в отверстии шестерни, посаженной на оправку, 6) биения шевера.

Все указанные факторы необходимо постоянно учитывать.

Величина биения после предварительных операций оказывает влияние на биение после шевинга в зоне больших биений (свыше 0,1 мм).

При нормальном биении после фрезерования и долбления в 0,05—0,07 мм и нормальном припуске 0,15—0,2 мм биение после шевинга может быть доведено до 0,01—0,025 мм (фиг. 12).

Исправляемость по профилю зуба. Точность профиля зуба, получаемого после шевинга, зависит от профиля зуба до шевинга и профиля зуба шевера. Согласно исследованиям шестерен на шум, теоретическая эвольвента не является наиболее желательным профилем, к которому нужно обязательно стремиться.



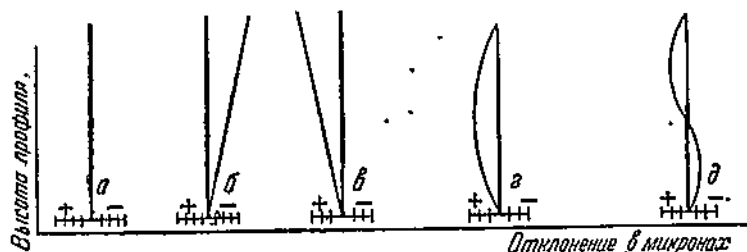
Фиг. 12. Зависимость исправляемости биения от величины снятого припуска. Биение заготовки до шевинга 0,1 мм.

В настоящее время нет каких-либо определенно установленных зависимостей, которые указали бы на необходимые отклонения от эвольвентного профиля зуба шестерни для снижения шума. Этот вопрос сейчас решают практическим путем, устанавливая необходимые отклонения после экспериментальных проверок и подбора. Кроме того, профиль зуба шевера не воспроизводит точно свой профиль на зубе шестерни. Вследствие различного профильного скольжения по высоте зуба на зубе шевера надо заранее создать такие отклонения от эвольвенты, которые давали бы желаемый профиль зуба шестерни.

Характер профиля зуба изображен на фиг. 13. Прямая вертикальная линия (фиг. 13, а) характеризует теоретическую эвольвенту, а отклонения по прямым линиям (фиг. 13, б, в) характеризуют правильную эвольвенту, только с отклонением в угле зацепления. Кривая (фиг. 13, г) характеризует одноименное отклонение в зоне делительной окружности. Разноименные отклонения в зонах головки и ножки зуба изображены на фиг. 13, д.

Под исправляемостью профиля зуба надо понимать достижение желаемого профиля на зубе шестерни, исходя из указанных соображений, но не обязательно теоретическую эвольвенту. Экспе-

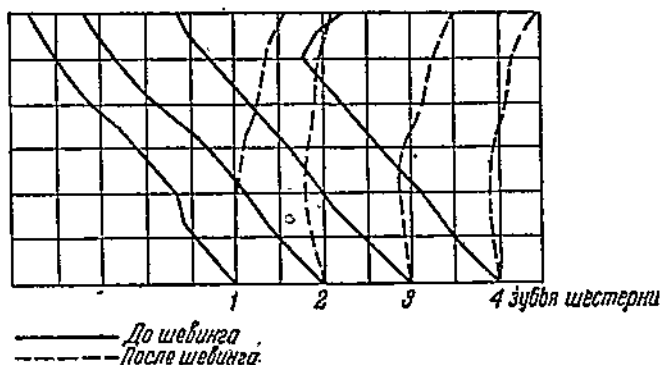
рименты показали, что в основном исправление профиля происходит при первых трех-четырех ходах. Характер исправляемости показан на фиг. 14. Профиль легко исправляется, если отклонения до шевинга составляют 0,025—0,03 мм и величина припуска не ниже 0,12 мм на зуб.



Фиг. 13. Диаграммы профиля зуба.

Исправляемость по направлению зуба. Опыты показывают, что шевинг-процесс дает хорошую исправляемость по направлению зуба, причем основное исправление происходит в течение первых двух-трех ходов. Дальнейшее исправление спиральности или направления зуба происходит значительно медленнее. При припуске 0,20 мм отклонение по спиральности до 0,05 мм на длине зуба 30 мм выправляется до 0,005—0,01 мм.

Указанные выше исправляемости по разным элементам зависят не только от предварительных искажений и припусков. На них

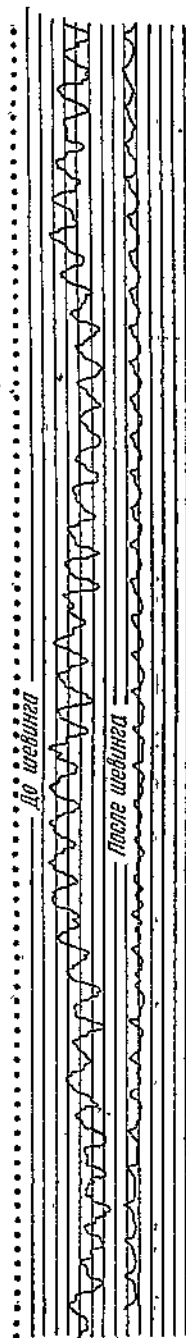


Фиг. 14. Исправляемость по профилю.

также влияет режим обработки. Например, притупление зубьев шевера резко понижает исправляемость всех элементов. Однако, приняв нормальные условия для шевинга, оказалось возможным составить таблицу допустимых отклонений до шевинга и получаемых после шевинга результатов (табл. 3—6).

Допускаемое биение делительной окружности (суммарная ошибка)

Класс точности	Модуль	Биение в мм при диаметре делительной окружности					
		до 50 мм		50—100 мм		100—200 мм	
		до шевинга	после шевинга	до шевинга	после шевинга	до шевинга	после шевинга
1-й	2—3	0,05	0,02	0,07	0,025	0,08	0,025
	3,5—5	0,06	0,025	0,08	0,03	0,09	0,03
2-й	2—3	0,06	0,025	0,09	0,03	0,10	0,035
	3,5—5	0,07	0,03	0,10	0,04	0,12	0,045



Фиг. 15. Диаграммы суммарных ошибок прямозубой шестерни до и после шевинга.

Таблица 4

Допускаемые отклонения по шагу

Класс точности шестерен	Модуль	Отклонения до шевинга, мм	Отклонения после шевинга мм
1-й	2—3	До 0,015	До 0,005
	3,5—5	До 0,02	До 0,01
2-й	2—3	До 0,02	До 0,008
	3,5—5	До 0,025	До 0,012

Таблица 5

Допускаемые отклонения профиля эвольвенты

Класс точности шестерен	Модуль	До шевинга мм	После шевинга мм
1-й	2—3	0,02	0,005
	3,5—5	0,03	0,010
2-й	2—3	0,08	0,010
	3,5—5	0,010	0,015

Таблица 6

Допускаемые отклонения по направлению зуба на 50 мм длины

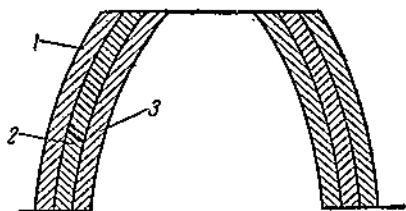
Класс точности	Модуль	До шевинга мм	После шевинга мм
1-й	2—3	$\pm 0,02$	$\pm 0,007$
	3,5—5	$\pm 0,03$	$\pm 0,01$
2-й	2—3	$\pm 0,03$	$\pm 0,015$
	3,5—5	$\pm 0,035$	$\pm 0,02$

Фиг. 16. Диаграмма, суммарных ошибок шестерни со спиральным зубом после шевинга.

Кривые, характеризующие суммарную ошибку одной и той же прямоугольной шестерни до и после шевинга, снятые на приборы Ред Лайнер (фиг. 15), показывают, что суммарные ошибки после шевинг-процесса сильно снижаются, причем исправляемость спиральных шестерен выше, чем прямоугольных (фиг. 16).

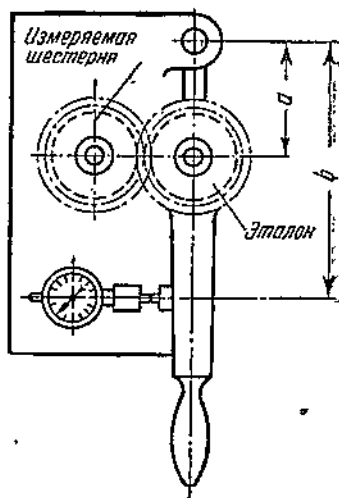
Поверхность, получаемая при шевинг-процессе, близка по качеству к шлифованной.

Припуски для шевинга. Все допустимые отклонения до шевинга в сумме определяют величину припуска. Припуск складывается из: 1) исправления шага, 2) исправления биения делительной окружности; 3) ис-



Фиг. 17. Схема припусков для шевинга.

1—для снятия биения; 2—для снятия следов предварительной обработки и исправления шага и профиля; 3—для исправления спирали.

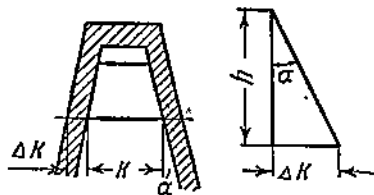


Фиг. 18. Схема промера радиального припуска.

правления профиля, 4) исправления по направлению зуба, 5) снятия следов после предварительной обработки (фиг. 17).

Припуск можно задавать по толщине зуба, промеряя зуб зубомером, или по расстоянию между осями обрабатываемой и эталонной шестерен.

В производстве удобнее пользоваться специальным прибором, измеряющим припуск между осями (фиг. 18), так как исключается ряд субъективных моментов и случайностей, характерных при пользовании зубомером. В этом случае припуск по толщине должен быть пересчитан на радиальный припуск, замеряемый на приборе.



Фиг. 19. Расчет радиального припуска.

Радиальный припуск h (фиг. 19) подсчитывают в зависимости от припуска по толщине m по формуле:

$$m = 2\Delta k = 2h \operatorname{tg} \alpha; \quad h = \frac{m}{2 \operatorname{tg} \alpha}.$$

для угла зацепления $\alpha = 20^\circ$

$$h = 1,73 m.$$

В результате экспериментальных работ были установлены следующие радиальные припуски для шевинга, суммированные из отдельных элементов (табл. 7). При пользовании этими данными необходимо соблюдать пределы отклонений предварительной обработки до шевинга, которые даны выше.

Таблица 7

Радиальные припуски для шестерен с модулем 2—5 мм
под шевинг в мм

Класс точности	Диаметр		
	до 50 мм	50—100 мм	100—200 мм
1-й	0,13—0,19	0,15—0,21	0,22—0,26
2-й	0,15—0,21	0,18—0,24	0,19—0,26

Режимы при шевинг-процессе

Режимы резания состояются из: 1) скорости резания, 2) вертикальной подачи, 3) продольной (горизонтальной) подачи, 4) числа режущих ходов стола за время обработки одной детали, 5) числа калибрующих ходов стола за время обработки одной детали, 6) длины хода стола.

Рассматривая каждый элемент в отдельности и в сочетании с другими, надо учитывать ряд факторов, влияющих на выбор режимов:

- 1) припуски под шевинг после зубодолбления и зубофрезерования;
- 2) необходимую точность и чистоту поверхности для шевингованных шестерен;
- 3) материал шестерен;
- 4) состояние станка;
- 5) качество шеверов и их износоустойчивость.

Все приводимые ниже соображения и данные относятся только к работе на станках 571 или Нейшенел Броуч Компани, преимущественно применяемых в машиностроении.

Скорость резания при шевинг-процессе есть скорость перемещения режущей кромки шевера вдоль обрабатываемой поверхности шестерни. Значения скорости резания отождествлены со скоростью относительного скольжения профилей шевера и шестерни; их определяют по формуле:

$$v = v_1 \sin \varphi_1 \pm v_2 \sin \varphi_2^*,$$

где v — окружная скорость шестерни;

v_2 — окружная скорость шевера;

φ_1 — угол спирали шестерни;

φ_2 — угол спирали шевера.

* См. стр. 195.

При одноименных направлениях спиралей у шевера и у шестерни применяют знак плюс, при разноименных — минус.

Скорость относительного перемещения профилей различна по величине и направлению на разных участках по высоте профиля. Наибольшие значения скорости имеет в зоне делительной окружности; соответственно этому производят расчеты.

Окружные скорости шевера v_2 и шестерни v_1 на делительных окружностях равны между собой, т. е.

$$v_1 = v_2 = \frac{\pi D_{\text{шес}} n_{\text{шес}}}{1000}.$$

Приняв число оборотов $n_{\text{шес}} = 250$, получим¹

$$v_1 = v_2 = \frac{\pi D_{\text{шес}} 250}{1000} = 0,79 D_{\text{шес}} \text{ м/мин.}$$

Вертикальная подача определяется уменьшением межосевого расстояния шевера и шестерни за один продольный ход стола. Вертикальная подача в станках типа Нейшенел Броуч Компани осуществляется подъемом стола. Величину подачи регулируют числом зубьев, на которое поворачивается храповик вертикальной подачи. При повороте на один зуб подача составляет 0,02 мм. Опыты показали, что изменение вертикальной подачи в пределах 0,02—0,06 мм на один ход стола не влияет на точность обработанных шестерен. Однако увеличение подачи усиливает износ станка, причем наиболее слабыми узлами станка являются подшипники центров бабок. С другой стороны, необходимо учесть, что при обработке вязких сталей и при малых подачах (0,02 мм на один ход) происходит подминание материала, особенно заметное при затупившемся шевере. Чаще всего величина вертикальной подачи составляет 0,02—0,04 мм на один ход.

Продольная подача определяется величиной горизонтального перемещения обрабатываемой шестерни вдоль своей оси за один ее оборот:

$$S_{\text{гориз}} = \frac{S_{\text{шип}} Z_{\text{шес}}}{n_{\text{шес}} Z_{\text{шев}}},$$

где $S_{\text{гориз}}$ — продольная подача стола в мм за один оборот шестерни;

$S_{\text{шип}}$ — продольная подача стола в мм/мин;

$Z_{\text{шес}}$ — число зубьев шестерни;

$Z_{\text{шев}}$ — число зубьев шевера;

$n_{\text{шес}}$ — число оборотов шевера в минуту.

Фирма Нейшенел Броуч Компани рекомендует применять продольные подачи 0,2—0,25 мм/об. Опыты показали, что продольная подача до 0,45 мм/об не ухудшает точности шестерен, но, начиная с подачи 0,33 мм/об, чистота поверхности зуба становится хуже.

¹ На станках 571 число оборотов постоянное (250 об/мин.)

Число режущих ходов стола, необходимых для снятия припуска, зависит от величин припуска и вертикальной подачи:

$$n_{\text{рез}} = \frac{\Delta}{S_{\text{верт}}},$$

где $n_{\text{рез}}$ — число режущих ходов стола;

Δ — радиальный припуск в мм;

$S_{\text{верт}}$ — величина вертикальной подачи стола в мм на один ход стола.

При нормальном радиальном припуске 0,2—0,25 мм на один ход стола

для $S_{\text{верт}} = 0,02$ мм на один ход

$$n_{\text{рез}} = \frac{0,25}{0,02} = 12,$$

для $S_{\text{верт}} = 0,04$ мм на один ход

$$n_{\text{рез}} = \frac{0,25}{0,04} = 6.$$

Число калибрующих ходов стола, зачищающих поверхности зуба при выключенной вертикальной подаче, обычно определяют в зависимости от числа режущих ходов в отношении 1:2. Опыты показали, что увеличение числа калибрующих ходов больше двух не дает заметного повышения точности и чистоты поверхности.

Длина хода стола. По данным фирмы Нейценел Броуч Компани, длину хода стола в направлении оси шестерни надо устанавливать так, чтобы середина зуба шевера была выведена за торец зуба шестерни на 2,5—3 мм. Это рекомендуется для того, чтобы не оставалось необработанной части поверхности зуба. По данным инж. Чапаева, расход стола должен составлять $B+10$ мм, где B — длина зуба шестерни.

Инж. Клепиков дает сложную формулу для расчета длины хода стола:

$$L = B - 1,6m \sin \beta_{\text{шев}} + \frac{2 \sqrt{D_{\text{шев}} S_{\text{верт}}}}{\sin \beta_{\text{шев}}},$$

где B — длина зуба шестерни;

m — модуль;

$\beta_{\text{шев}}$ — угол спирали шевера.

По этой формуле длина хода получается значительно больше длины зуба шестерни.

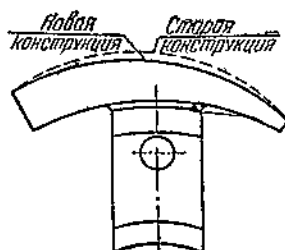
Исследования ЗИС и ЭНИМС дают интересный материал для установления так называемого «короткого» хода. В этой работе теоретически доказано и опытами подтверждено, что длину хода стола для шестерен модулей 2—5 можно устанавливать равной $B-10$ мм.

На автозаводе им. Сталина обработку некоторых шестерен перевели на «короткий» ход, что повысило производительность на 40—50%. Для устранения перегрузки станка в момент вертикаль-

ной подачи стола применяют специальную конструкцию кулачков вертикальной подачи (фиг. 20).

При существующей конструкции фирменных кулачков вертикальная подача стола происходит рывком в момент реверса шевера и стола. При усилии вертикальной подачи на 200—230 кг эти рывки вызывают удары о подшипники центров, ускоряя их износ. Поэтому кривая подъема кулачка была сделана плавной, что обеспечило равномерную вертикальную подачу при продольном ходе стола и устранило рывки.

Машинное время на обработку одной детали можно подсчитать по формуле:



Фиг. 20. Кривые подъема кулачка для вертикальной подачи.

$$T = \left(\frac{\Delta}{S_{\text{верт}}} + K \right) \frac{L}{S_{\text{пл}}},$$

где T — машинное время в минутах;

Δ — радиальный припуск в мм;

$S_{\text{верт}}$ — вертикальная подача стола в мм за один ход стола;

K — число калибрующих ходов;

L — длина хода стола в мм;

$S_{\text{пл}}$ — продольная подача стола в мм/мин.

На основании опытов для станка 571 можно рекомендовать режимы, приведенные в табл. 8.

Таблица 8

Режим обработки на станке 571 (по данным ЗИС-ЭНИМС, Методы производства высококачественных зубчатых колес*)

Материал	Горизонтальная подача в мм/об заготовки	Вертикальная подача в мм/ход стола	Число режущих ходов	Число калибрующих ходов	Длина хода стола
Ст. 15	0,2—0,3	0,04	4—6	2—4	B
Ст. 18ГМ	0,25—0,35	0,04—0,06	4	2	$B-6$
Ст. 45	0,15—0,25	0,002—0,04	6—8	2—4	B
Ст. 3150	0,2—0,3	0,04	4	2	$B-6$

В числителе даны режимы для шестерен, принимаемых на шум, а в знаменателе — для шестерен, принимаемых только по геометрическим элементам.

В табл. 9 и 10 приведены данные о существующих режимах шевинг-процесса на автозаводе им. Сталина и на заводе им. Фрунзе.

Таблица 9

Режимы шевинг-процесса шестерен коробки скоростей ЗИС-101

№ детали	Материал	Модуль, число зубьев и ширина шестерни	$S_{гориз}$ мм/об	$S_{гориз}$ мм/мин	$S_{верт}$ мм/ход	$n_{рез}$	$n_{калбр}$	Длина хода стола, мм
504-041	3150A	$3 \times 35 \times 27$	0,26	100	0,04	6	2	27
504-041	3150A	$3,25 \times 27 \times 28$	0,25	122	0,04	6	2	28
504-041	3150A	$3,75 \times 20 \times 21$	0,25	142	0,04	6	2	21
504-041	3150A	$3,75 \times 16 \times 23$	0,20	142	0,04	6	2	23
504-021	3150A	$3 \times 20 \times 28,5$	0,25	142	0,04	6	2	28
504-0318	3150A	$3,25 \times 27 \times 28$	0,25	122	0,04	6	2	28
504-032	3150A	$3,75 \times 33 \times 23$	0,25	86	0,04	6	2	23
504-051	3150A	$3,75 \times 18 \times 22$	0,27	167	0,04	6	2	22

Таблица 10

Режимы шевинг-процесса шестерен, применяемые на заводе им. Фрунзе

№ детали	Число оборотов шевера в минуту	Число оборотов деталей в минуту	Скорость вращения шевера и детали м/мин	$S_{гориз}$ мм/об	$S_{гориз}$ мм/мин	$S_{верт}$ мм/ход	$n_{рез}$	$n_{кал}$	Длина хода стола, мм	Машинное время в мин.	Вспомогательное время в мин.	Прибавочное время в мин.	Общее время на 1 деталь в мин.	Норма в 1 час шт.
104905	165	561	88	0,08	46	0,02	6	2	29,575	5,2	0,45	0,25	6,2	9,7
104100	235	317	125	0,22	71	0,02	6	2	5,36	0,6	0,3	0,03	0,93	64,5
105164	235	317	125	0,22	71	0,02	6	2	5,36	0,6	0,3	0,03	0,93	64,5

Стойкость шеверов

Фирма Нейшенел Броуч Компани указывает, что стойкость шеверов от переточки до переточки составляет 6000—12000 обработанных шестерен при модуле 3 и 20 зубьях.

Статистика автозавода им. Сталина показывает в полтора-два раза меньшую стойкость шеверов, а в некоторых случаях в четыре-пять раз меньшую, что зависит, главным образом, от недостаточно высокого качества шеверов.

Основными критериями притупления шеверов являются ухудшение обработанной поверхности и увеличение нагрузки станка. Причины ухудшения поверхности зуба шестерни следующие:

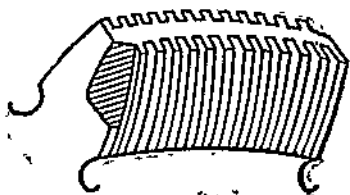
1) шевер с затупившимися режущими кромками больше отжимается и становится менее способным исправить предыдущие отклонения шестерни;

2) зуб шевера в процессе износа меняет свой профиль, отчего искажается профиль зуба шестерни;

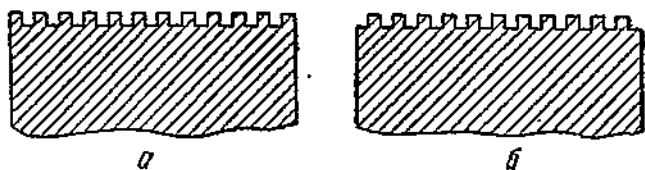
3) затупившийся шевер способствует образованию «волн» на поверхности зуба шестерни.

Износ шевера характеризуется: затуплением (закруглением) режущих кромок зуба шевера; износом по профилю зуба, причем вследствие наибольшей скорости скольжения и наибольшего давления в зоне делительной окружности наибольший износ замечается именно в этой зоне; выкрашиванием краев зубьев и, значительно реже, выламыванием зубьев.

Выкрашивание зубьев (фиг. 21) — весьма распространенное явление у круглых шеверов, причем обычно оно происходит в момент подвода шестерни к шевру вручную. В начале резания при



Фиг. 21. Выкрашивание зуба шевера.



Фиг. 22. Расположение канавок на зубе шевера.

неправильном направлении зуба вся нагрузка приходится на крайние режущие кромки шевера, которые по своему расположению наиболее склонны к поломке. Выкрашивание характерно для начала работы нового шевера. После дальнейшей перешлифовки выкрашивание наблюдается значительно реже. С этой точки зрения целесообразно взамен распространенного метода расположения канавок (фиг. 22, а) располагать их так, как показано на фиг. 22, б.

Важным фактором, способствующим увеличению износа и выкрашиванию режущих кромок у головки зуба шевера, является переходная кривая у ножки зуба шестерни. В последнее время получили некоторое распространение долбяки с уширением на головке зуба, создающим подрезку на ножке шестерни (фиг. 23). Подрезка, величина которой соответствует припуску, для шевинга, уменьшает износ шеверов. Для этого при шлифовании зубьев долбяков шлифовальный круг необходимо заправлять по специальному копиру-шаблону.



Фиг. 23. Образование подрезки на зубьях шестерен.

Забивание стружки в канавках сильно способствует износу шеверов. Чтобы избежать этого, надо вымывать стружку смазочно-охлаждающей жидкостью.

Смазочно-охлаждающие жидкости. Помимо обычных требований, предъявляемых к смазочно-охлаждающей жидкости, заключающихся

в охлаждении инструмента и смазывании обрабатываемого участка, при шевинг-процессе прибавляется еще вымывание стружек из канавок шевера.

На автозаводе им. Сталина для обработки стали применяют сульфозфрезол, содержащий 1% серы; на автозаводе им. Молотова — веретенное масло, сваренное с вытяжками свиного сала; на заводе им. Фрунзе — веретенное масло № 2.

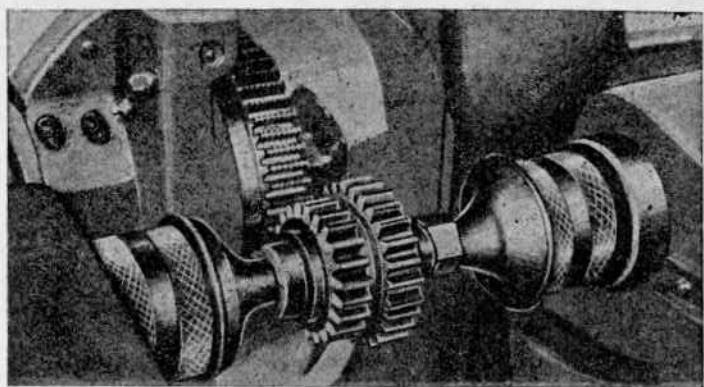
Смазочно-охлаждающую жидкость независимо от ее состава необходимо хорошо фильтровать.

Шевинг-станки

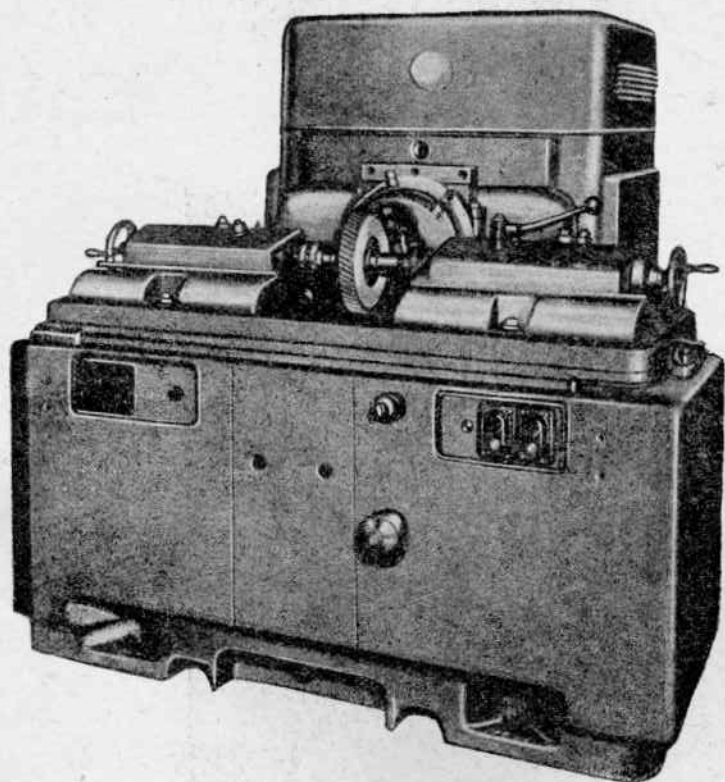
В настоящее время известно 14 типоразмеров шевинг-станков, из которых станки трех типоразмеров работают рейкой и одиннадцати — круглым шевеком. В СССР наиболее широкое распространение получили станки 571 завода «Комсомолец» типа станков Нейшенел Броут Компани.

В 1939 г. фирма Феллоу выпустила шевинг-станок для обработки прямозубых шестерен, работающий при параллельных осях шевера и шестерни (фиг. 24). В случае обработки спиральных шестерен головку станка поворачивают для скрещивания осей. Шевеком делает 540 возвратно-поступательных движений в минуту. Общий вид станка показан на фиг. 25.

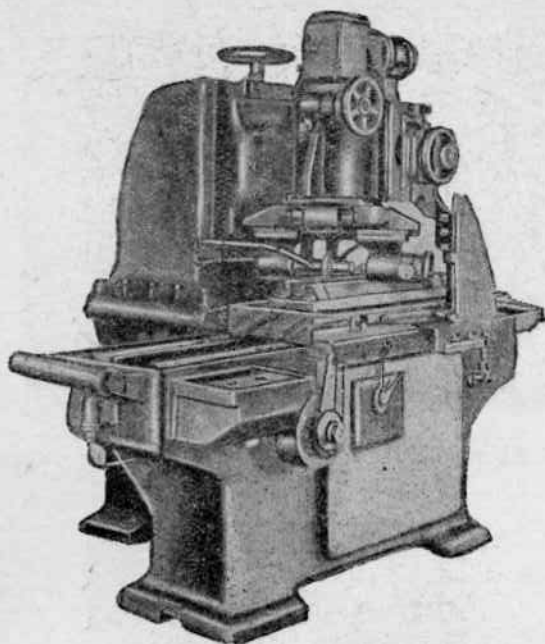
Станок Мичиган Тул Компани (фиг. 26 и 27). В качестве инструмента на шевинг-станке Мичиган Тул Компани применяется рейка, имеющая угол наклона зубьев, отличный от угла спирали обрабатываемой шестерни. Шестерня и рейка представляют собой винтовую зубчатую передачу, т. е. передачу со скрещивающимися осями, характерной особенностью которой является усиленное скольжение зубьев.



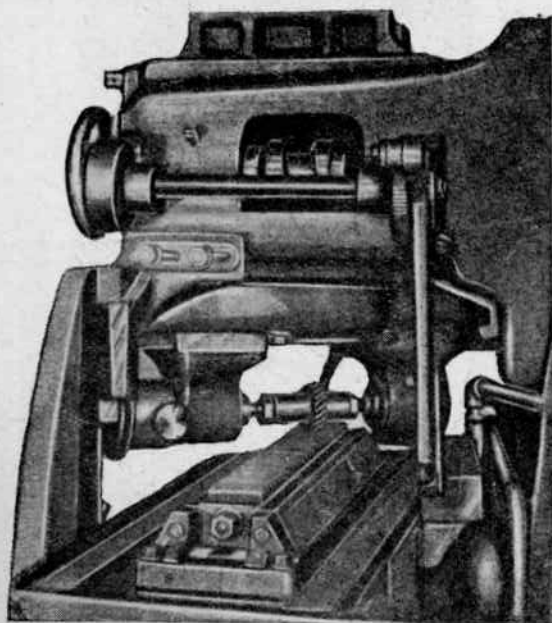
Фиг. 24. Обработка прямозубых шестерен на шевинг-станке Феллоу.



Фиг. 25. Шевинг-станок Феллоу.



Фиг. 26. Шевинг-
станок Мичиган
Тул Компани.



Фиг. 27. Рабо-
чая зона станка
Мичиган Тул
Компани.

Принцип работы этого станка основан на том, что в процессе взаимного обкатывания шестерни и рейки вследствие усиленного скольжения сопряженных зубьев режущие кромки инструмента соскабливают тонкие стружки с обрабатываемой поверхности зуба шестерни. Таким образом в этом станке отсутствует устройство специального движения для осуществления процесса резания. Этот процесс происходит за счет скольжения зубьев шестерни и рейки. Это скольжение, являющееся вредным фактором в обычной зубчатой передаче, в данном случае становится полезным, так как обеспечивает удаление припуска с обрабатываемой поверхности.

Вертикальная подача осуществляется гидравлической головкой, которая после каждого хода стола опускает и прижимает к рейке обрабатываемую шестерню, зажатую в центрах на оправке. Продольная подача стола с рейкой производится также гидравлическим агрегатом при помощи цилиндра высокого давления. На обработку одной шестерни требуется 12—24 ходов стола.

Для равномерного износа инструмента заготовка с поддерживающим ее суппортом после каждого хода стола подается поперек рейки.

Станок работает автоматически. Основные его данные следующие:

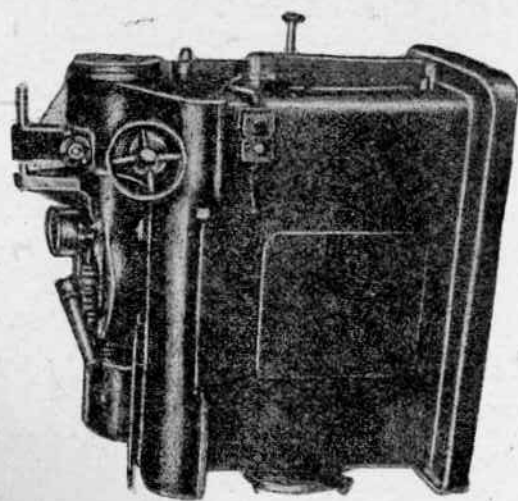
- максимальный диаметр обрабатываемой шестерни 200 мм;
- максимальная длина обрабатываемого зуба 50 мм;
- максимальное расстояние между центрами 250 мм;
- мощность мотора 5 л. с.;
- габаритные размеры станка 1500×1300 мм.

Шевинг-станок для шестерен с внутренним зацеплением фирмы Мичиган Тул Компани представлен на фиг. 28. Принцип работы этого станка состоит в том, что шестерня с внутренним зацеплением вращается в зацеплении с круглым шеве́ром, который ввиду усиленного скольжения сопряженных зубьев соскабливает тонкие стружки с поверхности обрабатываемого зуба. Оси шевера и заготовки скрепляются так же, как в станке с рейкой, вследствие чего между зубьями шевера и шестерни возникает усиленное скольжение.

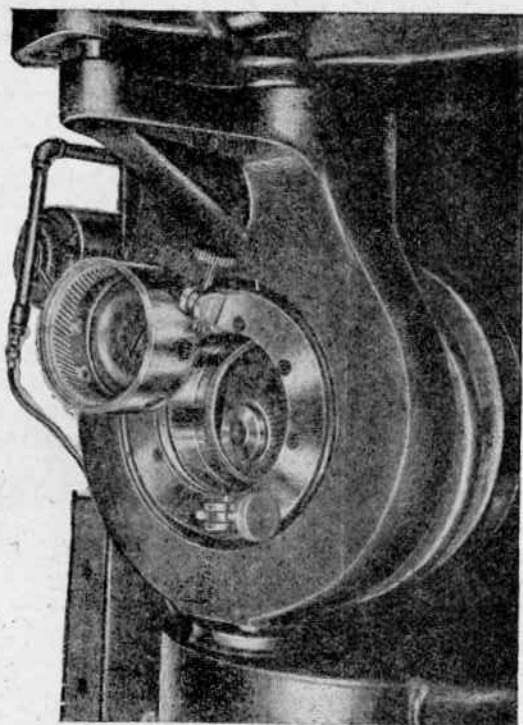
Шестерню укрепляют в кольцеобразном патроне, посаженном на шарикоподшипнике; патрон приводится во вращение шеве́ром (фиг. 29).

Шпиндель шевера получает вращение от мотора через сменные шестерни и пару конических шестерен, одна из которых укреплена на шпинделе инструмента. Шпиндель укрепляют в большой эксцентричной втулке, которая получает медленное вращение от мотора через сменные шестерни и червячную шестерню. Благодаря вращению втулки шпиндель инструмента во время работы получает медленное движение по дуге. Таким образом эксцентричная втулка сообщает движение подачи инструмента к заготовке, причем это происходит до тех пор, пока не будет снят весь припуск.

Расстояние между центрами регулируют при помощи маховичка, расположенного на передней части станка, а угловую установку



Фиг. 28. Шевинг-станок для шестерен с внутренним зацеплением фирмы Мичиган Тул Компани.



Фиг. 29. Рабочая зона для шевингования шестерни с внутренним зацеплением.

производят рукояткой, надеваемой на квадратный конец червячного вала. Проверяют эту установку двумя путями — по нониусу либо мерными плитками, устанавливаемыми между калибрами.

Шевинг-станок фирмы Нейшенел Броуч Компани — модель Red Ring (фиг. 30) представляет значительный интерес, так как этот станок наиболее распространен у нас в Союзе и в США. Такие станки выпускает завод «Комсомолец» в Егорьевске (модель 571).

Станок состоит из станины 1 (фиг. 31), рабочей головки 2, фартука 3, стола 4, передней бабки 5, задней бабки 6.

Кинематическая схема состоит из следующих трех цепей: цепи вращения шевера, цепи продольной подачи стола и цепи вертикальной подачи стола.

Шевер получает вращательное движение от специального мотора 7 мощностью 2,5 кВт. Редуктор мотора состоит из двух шестерен с шевронным зубом с передаточным числом $i = \frac{20}{78}$, понижающим число оборотов мотора с 1425 до 365.

Далее движение передается через пару цилиндрических шестерен с $i = \frac{28}{42}$ и коническую пару с $i = \frac{28}{28}$ на шпindel шевера, который вращается с постоянным числом оборотов (250 об/мин.).

Продольная подача стола осуществляется при помощи специального мотора мощностью 0,5 кВт, делающего 1000 об/мин., расположенного в задней части станка. Движение к столу от мотора передается через однозаходный червяк и червячную шестерню ($Z=60$), через сменные шестерни A и B и две конические пары шестерен, из которых каждая с $i = \frac{21}{21}$. Ведомая коническая шестерня, расположенная в столе, служит гайкой для укрепленного в столе ходового винта с шагом 6 мм. Вращение этой шестерни заставляет стол совершать медленное поступательное движение по направлению его продольной оси. Таким образом уравнение для скорости продольной подачи будет:

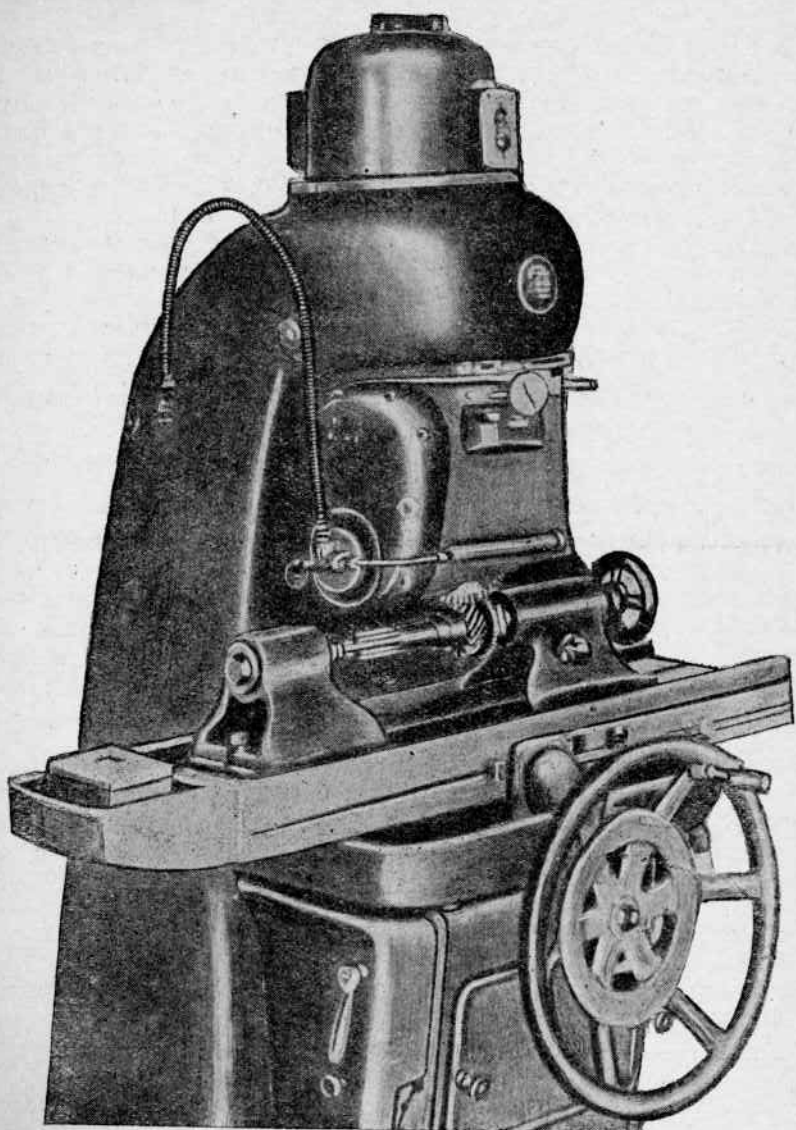
$$v_{\text{прод}} = 1000 \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{21}{21} \cdot \frac{21}{21} \cdot 6 \text{ мм/мин.}$$

Для настройки гитары сменных шестерен пользуются формулой

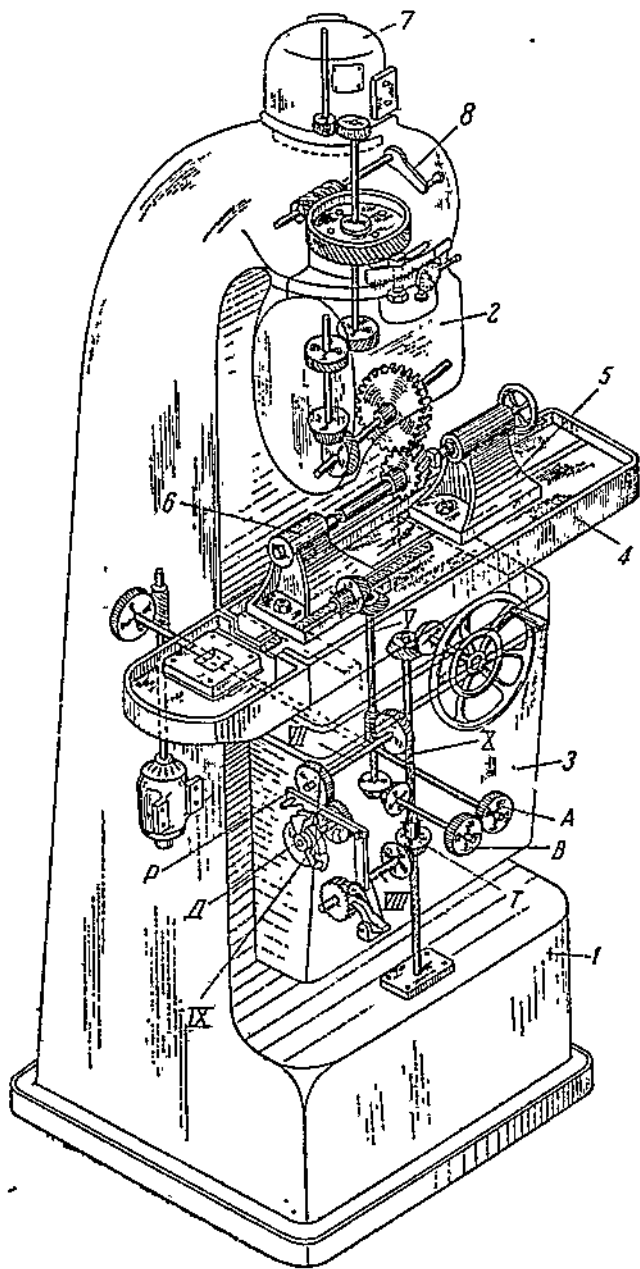
$$\frac{A}{B} = 0,01 v_{\text{прод}}$$

Максимальная длина продольного хода стола составляет 120 мм.

После каждого хода происходит вертикальная подача стола, величина которой колеблется от 0,02 до 0,08 мм на один продольный ход. Цепи продольной и вертикальной подачи стола связаны между собой. Вращение вала V посредством червячной передачи ($i = \frac{2}{20}$) передается валу VII , который посредством цилиндри-



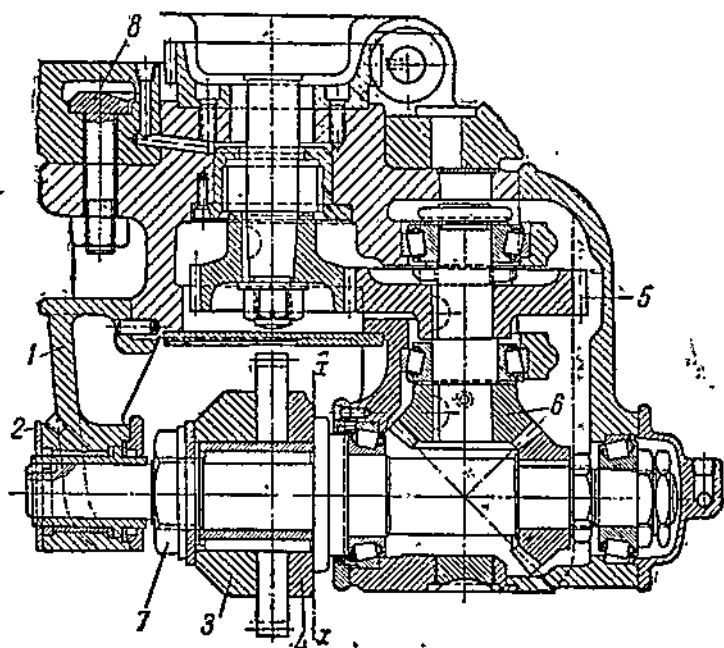
Фиг. 30. Швинг-станок фирмы Нейшенел Броуч Компани.



Фиг. 31. Кинематическая схема швейной-станки фирмы Нейшенел Броуч Компани.

ческих шестерен ($i = \frac{20}{24}$) и храпового колеса заставляет вращаться вал VIII. Отсюда вращение передается конической паре ($i = \frac{18}{36}$).

Ведомая коническая шестерня *T* с 36 зубьями закреплена при помощи скользящей шпонки на винте *X*, который, будучи связан с гайкой в корпусе стола, осуществляет движение вертикальной подачи. На валу IX вращается то в одну, то в другую сторону диск *D*. В момент окончания хода стола кулачок диска *D* нажи-



Фиг. 32. Крепление шевера.

мает на рычаг *P*, который при помощи собачки поворачивает храповое колесо и тем самым поднимает стол.

Наладка станка состоит из следующих последовательных операций:

- 1) подбор и установка инструмента;
- 2) установка изделия на столе;
- 3) установка шпинделя инструмента под соответствующим углом;
- 4) установка длины хода стола;
- 5) настройка вертикальной подачи;
- 6) настройка пилы продольной подачи стола;
- 7) установка продолжительности обработки;
- 8) смазка станка;
- 9) пуск.

Шевер изготавливают в соответствии с обрабатываемыми шестернями. При обработке прямозубых шестерен в определенных интервалах чисел зубьев можно применять один шевер с таким же модулем и углом зацепления, как у обрабатываемых шестерен.

Для установки шевера (фиг. 32) снимают серьгу 7, отвертывают гайку 7, удаляют кольцо 3 и устанавливается шевер. Толщина шайбы 4 должна быть такой, чтобы расстояние от середины зуба шевера до опорной плоскости $x-x$ составляло 25,4 мм. При обработке шестерни с заплечиком в зависимости от конструкции шестерни шайба 1 должна быть тоньше (фиг. 33 и 34).

При установке шестерни на столе применяют специальную оправку (фиг. 35).

Чтобы установить инструмент под требуемым углом, при помощи рукоятки 8 (фиг. 31) заставляют вращаться однозаходный червяк и червячную шестерню, которая связана с головкой шевера. При этом освобождают винты 8 (фиг. 32). Вследствие этого вся головка поворачивается на определенный угол, при этом шестерня 5 обрабатывается вокруг шестерни 6.

При одноименном направлении спирали у шевера и обрабатываемой шестерни угол скрещивания

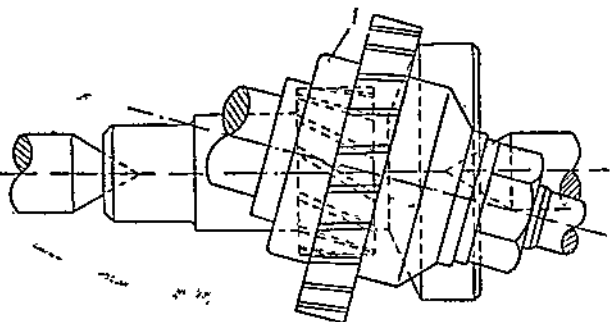
$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2,$$

где φ_1 — угол спирали обрабатываемой шестерни;

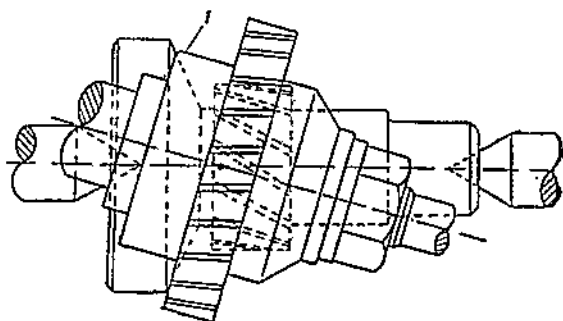
φ_2 — угол спирали шевера.

При разноименном направлении спиралей

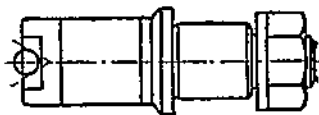
$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2.$$



Фиг. 33. Установка шевера при обработке шестерни с заплечиком. Заплечик расположен справа от шевера.



Фиг. 34. Установка шевера при обработке шестерни с заплечиком. Заплечик расположен слева от шевера.



Фиг. 35. Оправка для шевингуемых шестерен.

Для обработки прямозубых шестерен угол спирали шевера должен составлять 15° при правом или левом направлении спирали шевера.

Головка снабжена кониусом с делениями в градусах; этим пользуются при угловой установке. Однако ввиду того, что шкала недостаточно точна, для окончательной угловой установки применяют индикатор.

Для установки длины хода стола служит расположенная с передней стороны станка линейка с передвижными упорами. Эти упоры переключают рычаг, меняющий направления вращения шевера и хода стола. Помимо двух основных упоров устанавливают еще два предохранительных упора, которые в случае неисправности основных упоров вступают в действие и переключают продольный ход стола.

На основании опытных данных фирма Нейшенел Броуч Компани предлагает сохранять постоянную продольную подачу 0,25 мм/об шестерни.

Скорость продольной подачи подбирают в зависимости от диаметра обрабатываемой шестерни. Подбор шестерен А и В производят согласно табл. 11.

Таблица 11

Число зубьев сменных шестерен при продольной подаче 0,25 мм/об шестерни

Диаметр делительной окружности обрабатываемой шестерни, мм	Сменные шестерни		Диаметр делительной окружности обрабатываемой шестерни, мм	Сменные шестерни	
	А	В		А	В
40—50	56	24	112—125	37	43
50—62	51	29	125—138	35	45
62—75	47	33	138—150	33	47
75—88	44	36	150—162	31	49
88—100	41	39	162—173	29	51
100—112	39	41	173—188	26	54

При уменьшении продольной подачи по сравнению со стандартной (0,25 мм) передаточное число гитары продольной подачи определяют по формуле

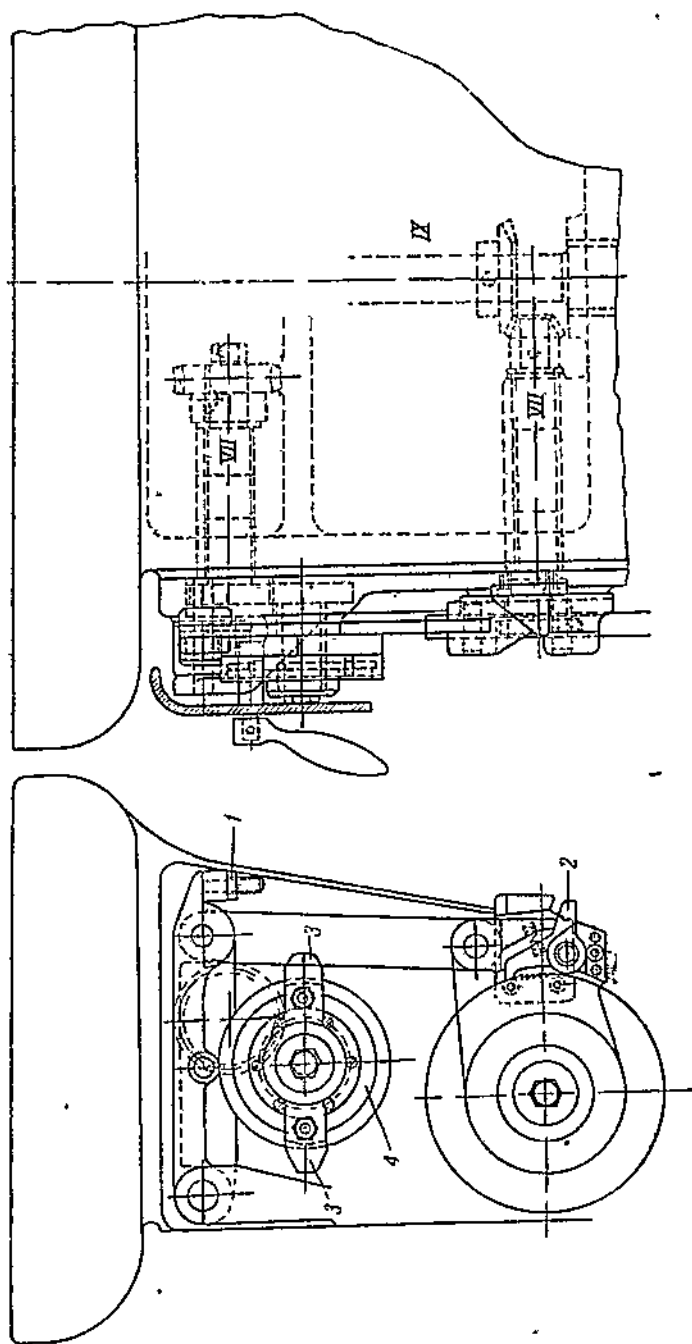
$$i = \frac{s_0 n}{100},$$

где s_0 — выбранная продольная подача в мм/об шестерни;

n — число оборотов шестерни в минуту;

100 — скорость продольной подачи стола в мм/мин.

Величина вертикальной подачи при наладке зависит от числа зубьев храпового колеса, на которое его нужно повернуть за один продольный ход стола. При повороте храпового колеса на a зубьев стол поднимается на величину вертикальной подачи $s_{\text{верт}}$.



Фиг. 36. Механизм вертикальной подачи.

Уравнение подачи имеет вид:

$$\frac{a}{Z_{\text{храп}}} \frac{18}{36} t_{\text{ход}} = s \text{ мм/ход},$$

где $t_{\text{ход}}$ — шаг винта, равный 6 мм;

$$Z_{\text{храп}} = 150.$$

Подставив эти значения, получаем $s_{\text{верт}}$ — величину вертикальной подачи стола при повороте храповика на один зуб:

$$s_{\text{верт}} = \frac{1}{150} \cdot \frac{18}{36} \cdot 6 = 0,02 \text{ мм}.$$

В зависимости от выбранной величины вертикальной подачи, вращая винт 1 (фиг. 36), устанавливают собачку 2 для поворота храпового колеса на определенное число зубьев.

Момент вертикальной подачи согласуют с концом продольного хода путем соответствующей установки кулачков 3 на диске 4. Вертикальная подача происходит периодически, причем момент

подъема стола совпадает с моментом окончания хода стола.

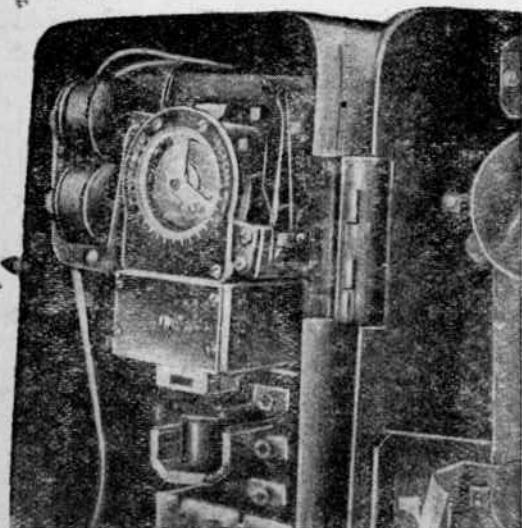
Для установки продолжительности обработки служит счетное реле, снабженное циферблатом, на котором нанесены числа продольных ходов стола (фиг. 37).

Конструирование и расчет круглых шеверов

В настоящее время существуют два способа обработки шестерен: 1) способ Мичиган Тул Компани, при котором в качестве инструмента применяют рейку, и 2) способ Нейшенел Броуч

Компани, при котором инструментом служит круглый шевер.

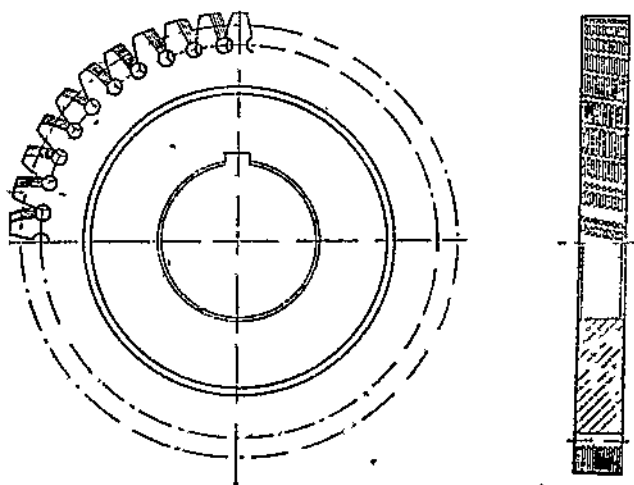
Круглый шевер по сравнению с рейкой имеет следующие преимущества: 1) инструмент обходится дешевле, 2) отвод стружки лучше и 3) возможно шевинговать шестерни с внутренним зацеплением и многовенцовые блоки. Благодаря этому круглый шевер широко применяют для окончательной обработки шестерен.



Фиг. 37. Счетное реле для установки продолжительности обработки.

Круглый шевёр представляет собой шестерню со спиральным зубом (фиг. 38). Расчет шевёра сводится к решению следующих задач:

- 1) определение основных размеров шевёра как шестерни со спиральным зубом с учетом того, что шевёр должен подвергаться нескольким перешлифовкам по профилю;
- 2) определение геометрии и конструктивных размеров шевёра как режущего инструмента;
- 3) установление такого профиля шевёра, при котором получится бы желаемый профиль зуба шестерни.

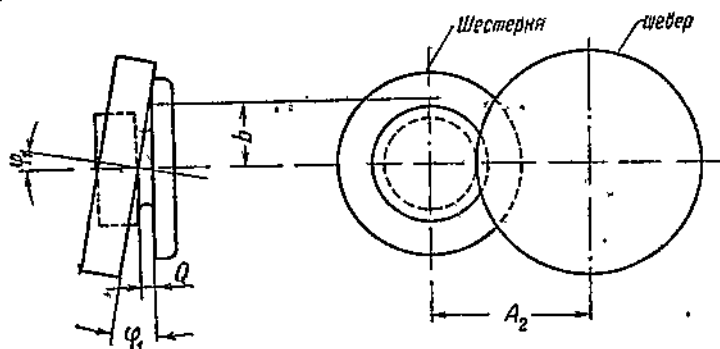


Фиг. 38. Шевёр-шестерня.

Шевёр как шестерня со спиральным зубом. Обычно угол скрещивания у шевёра с шестерней составляет $10-15^\circ$. Рабочую головку шевинг-станка для образования угла скрещивания можно поворачивать вокруг ее оси на 30° в обе стороны. Чтобы облегчить шлифование профиля шевёра угол наклона зуба у шевёра желательно делать минимальным. Для прямозубых шестерен шевёры можно делать как с левой, так и с правой спиралью и угол наклона в обоих случаях будет равен углу скрещивания. Для шевингования спиральных шестерен направление и величина угла спирали зуба шевёра зависят от этих же величин у шестерни, например для шестерен с углом спирали $41^\circ 35'$ шевёр делают с углом спирали $41^\circ 35' - 15^\circ = 26^\circ 35'$. Эта разница в углах, вызывающая установку шевёра под углом по отношению к обрабатываемой шестерне, обычно вполне достаточна для создания свободного резания. В некоторых случаях приходится выбирать угол, отличный от 15° . Так, при обработке шестерен с заплечиком при угле 15° зубья шевёра будут задевать за обод (фиг. 39). Вследствие этого приходится делать шевёр с меньшим углом спирали.

По углу наклона шевра к нормальному модулю шестерни определяют торцевой модуль шевра. При определении числа зубьев шевра руководствуются следующими соображениями:

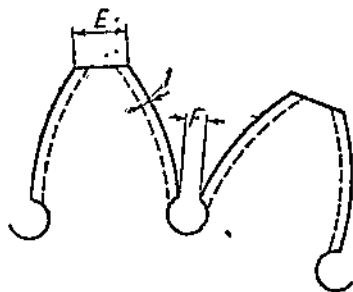
1) желательно, чтобы число зубьев было наибольшим для распределения нагрузки на большее число режущих кромок инструмента;



Фиг. 39. Расчет угла установки шевра при обработке шестерен с заплечиками.

2) число зубьев шевра ограничивается размерами наружного диаметра, который определяется конструкцией станка (для существующих станков наружный диаметр равен 188 мм);

3) число зубьев шевра желательно выбирать простым (например 53, 59 и т. д.) и во всяком случае не кратным числу зубьев обрабатываемой шестерни. Это необходимо для того, чтобы ошибки инструмента по шагу, профилю, углу наклона и биению распределялись на большее число зубьев шестерни.



Фиг. 40. Зубья шевра.

Выбор толщины зуба шевра является компромиссом ряда противоречивых требований: так как шевры перетачивают (перешлифовывают по профилю), то зуб желательно делать толще, но заострение головки зуба шевра E (фиг. 40) должно быть больше 2 мм, так как глубина канавок на зубе равна 1 мм.

Толщина зуба за счет смещения профиля ограничивается шириной впадины F , которая не может быть меньше 2 мм, так как ширина менее 1,8 мм практически не осуществима вследствие невозможности выхода нарезающей гребенки в отверстие канавки, а увеличение толщины зуба вызывает увеличение межосевого расстояния между шевером и шестерней, что приводит к уменьшению обрабатываемой активной части профиля зуба шестерни.

Ввиду уменьшения межосевого расстояния увеличивается обработанный участок профиля зуба шестерни. При этом возникает опасность поломки вершины зуба шевера вследствие возможного врезания зуба в переходную кривую, оставшуюся после долбления (фиг. 41). Это может иметь место особенно при шевинговании шестерен с малым числом зубьев, обработанных долбяком малого диаметра, так как в этом случае радиус переходной кривой относительно большой.

Глубина канавки на зубе принята равной 1 мм. Для работы после последней переточки глубина канавки должна оставаться не менее 0,2 мм. При этом допустимая величина снимаемого слоя на переточке составляет $1,0 - 0,2 = 0,8$ мм. В среднем за каждую переточку шевера снимается слой от 0,05 до 0,2 мм. Число переточек шевера 4—5, следовательно по толщине зуба можно снять 0,8 мм на сторону. Наиболее удобно этот припуск распределить таким образом, чтобы половина припуска располагалась в сторону увеличения и половина припуска располагалась в сторону уменьшения наружного диаметра шевера. В отдельных случаях нельзя давать припуск на переточку в плюс, так как это лимитируется шириной головки зуба шевера. Для модуля меньше 2 мм выгодно давать отрицательный припуск.



Фиг. 41. Врезание зуба в переходную кривую.

Расчет толщины зуба ведется в нормальном сечении.

Ввиду увеличения или уменьшения толщины зуба по делительной окружности меняется межосевое расстояние, а следовательно, угол зацепления и диаметр делительной окружности шевера и шестерни.

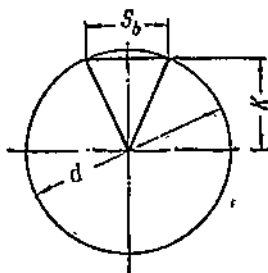
Определение конструктивных размеров шевера как режущего инструмента. Единственным конструктивным элементом, определяющим шеверы как режущий инструмент, являются канавки, прорезаемые концентрично профилю зуба. По данным фирмы Нейшенел Броуч Компани, канавки шевера должны быть глубиной 1 мм и шириной 0,7 мм. Для большей прочности крайние канавки должны отстоять на 4 мм от торцевой плоскости или же первую канавку следует делать у самого торца. При такой конструкции шевер будет меньше выкрашиваться у краев. Есть основание полагать, что канавки лучше делать не перпендикулярно оси вращения, а перпендикулярно винтовой линии зуба (в настоящее время фирма Нейшенел Броуч Компани изготавливает такие шеверы).

Для прорезания канавок у зубьев шевера необходимо делать отверстия для выхода гребенки. Диаметры выходных отверстий должны быть возможно меньше, чтобы не ослаблять зубья, и вместе с тем достаточными для выхода гребенки. Так как выходные отверстия сверлят под углом наклона винтовой линии, а канавки прорезают параллельно торцевой плоскости, то диаметр в торце-

вом сечении равен большей оси эллипса. Если принять минимальную ширину впадины для выхода гребенки равной 2 мм и прибавить по 1 мм на глубину канавки, то получится, что минимальный размер большей оси эллипса на торце будет 4 мм. Диаметр отверстия надо определять в зависимости от угла спирали. Для шеверов больших модулей ширину по впадинам для выхода гребенки можно делать несколько больше, что облегчает нарезание канавок.



Фиг. 42. Определение диаметра окружности центров выходных отверстий.



Фиг. 43. Определение положения центра выходного отверстия.

При определении диаметра окружности центров выходных отверстий принимают, что выходное отверстие проходит через две точки окружности впадин, расстояние между которыми равно ширине впадины (фиг. 42).

Если пренебречь разницей между длиной дуги и хордой у впадины на этой окружности, то из прямоугольного треугольника (фиг. 43) получается:

$$K = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{S_n}{2}\right)^2},$$

где d — диаметр выходного отверстия;

S_n — ширина впадины зуба шевера.

Отсюда диаметр центров выходных отверстий

$$D_{\text{ц}} = D_{\text{впад}} - 2 \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{S_n}{2}\right)^2}.$$

Ширину шевера, по данным фирмы Нейшенел Броуч Компани, делают обычно равной 19,2 мм. Для шестерен с заплечиками ширину шевера по буртикам делают 19,2 мм, а по зубьям уже. Выдерживать ширину у посадочного отверстия нужно для того, чтобы можно было получить постоянный размер опорной поверхности шевера и симметричное положение центра шевера. Это необходимо при наладке станка для получения определенного положения центра скрещивания.

Центральное отверстие у шевера делают диаметром 63,5 мм с нормальной шпоночной канавкой шириной 8 мм.

Геометрия профиля зуба шевера. По данным фирмы Нейшенел Броуч Компани, подтвержденным работой заводов СССР, профиль зуба шевера не воспроизводится точно на зубе шестерни. Опыты, проведенные в 1939 г. на автозаводе им. Сталина, подтвердили, что если профиль зуба шевера представляет собой теоретическую эвольвенту, то на зубе шестерни не получается точно такого же профиля и наблюдается больший

съем металла в зоне делительной окружности. Величина съема в этой зоне зависит от формы зуба, угла спирали, числа зубьев и модуля шестерни.

С уменьшением числа зубьев шестерни уменьшается продолжительность зацепления и радиус кривизны профиля. Это способствует увеличению выемки в зоне делительной окружности. С другой стороны, при увеличении угла спирали увеличивается радиус кривизны профиля в торцевом сечении зуба, что способствует уменьшению выемки. На основании ряда замеров и цеховых наблюдений можно считать, что начиная с угла спирали 20° и больше, выемки на зубе шестерни не образуется. Цеховые наблюдения показали, что спиральность зуба больше влияет на величину выемки, чем число зубьев. В результате исследований ЗИС и ЭНИМС рекомендуют следующие значения выемок:

Угол спирали шестерни
град

0—10

10—15

15—25

Свыше 25

Величина выемки при угле
зацепления 20°
мм

0,020—0,025

0,010—0,015

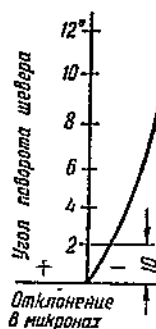
0,005

0,000

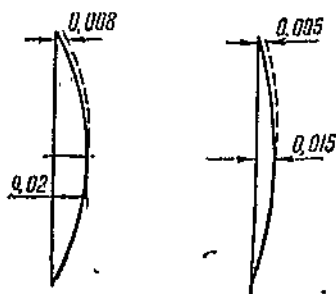
Ниже приведены диаграммы, характеризующие профиль зуба шестерни по сравнению с теоретической эвольвентой. В качестве примера подобная диаграмма изображена на фиг. 44. Замеры профиля производят на эвольвентомере. По оси абсцисс откладывают отклонения от теоретической эвольвенты, а по оси ординат — углы поворота шевера. Вертикальная линия изображает теоретическую эвольвенту.

Кроме приведенных выше выемок в зоне делительной окружности, наблюдаются также отклонения в зоне головки зуба, объясняющиеся упругой деформацией зуба шестерни. Отсюда следует, что угол зацепления у шевера надо делать несколько большим, чем у шестерни. Отклонение угла зацепления шевера задается не в угловых величинах, а в линейных. На фиг. 45 представлены две характерные диаграммы скорректированного профиля зуба шевера.

При выемке в 0,02 мм отклонение на головке 0,008 мм, при выемке в 0,015 мм — отклонение 0,005 мм. Следует указать, что

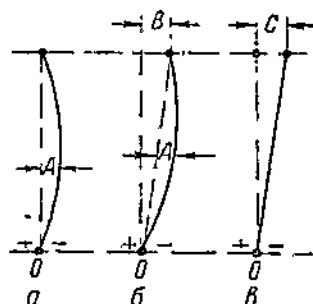


Фиг. 44. Построение диаграммы профиля зуба. Масштаб отклонений 1000:1.

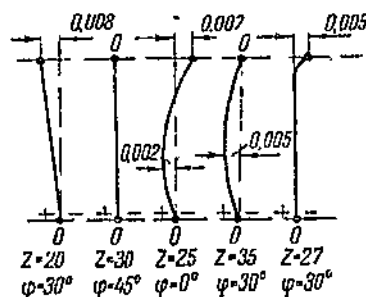


Фиг. 45. Диаграммы скорректированного профиля зуба шевера.

все рассуждения и диаграммы корригирования профилей относятся только к рабочей части профиля, т. е. к той части, которая участвует в зацеплении. По замерам шевингованных шестерен составляют диаграммы корригирования шевера при шлифовании профиля зуба. При измерении у шестерен профилей нескольких зубьев номинальным считается профиль, построенный по среднеарифметическим отклонениям. За последнее время фирма Нейшенел Броуч Компани стала выпускать шеверы, у которых линия измерения не только имеет форму кривой с большим радиусом кривизны, но и направление этой кривой делается наклонным (в сторону минус, как это показано на фиг. 46, б). Размер A (фиг. 46, а)



Фиг. 46. Обычные диаграммы корригирования профиля зуба шевера.



Фиг. 47. Необычные диаграммы корригирования профиля зуба шевера.

обычно составляет 0,007—0,01 мм, а размер B (фиг. 46, б) обычно делают 0,01—0,013 мм.

Для спиральных шестерен с углом спирали около 40° и углом зацепления 20° форма кривой зуба шевера представляет собой теоретическую эвольвенту (на диаграмме изображается в виде прямой линии), но с несколько увеличенным углом зацепления — кривая наклонена в сторону минус (фиг. 46, в). Величина этого отклонения (размер C) составляет 0,01—0,013 мм.

Следует отметить, что указанные величины можно считать лишь ориентировочными. В практике фирмы Нейшенел Броуч Компани часто встречаются отклонения от указанных правил, вызванные, с одной стороны, характерными особенностями нарезаемой шестерни (числом зубьев и модулем), а с другой стороны, материалом и термообработкой шестерен, например, из 22 типов фирменных шеверов восемь не соответствуют указанным правилам. Отклонения их приведены на фиг. 47.

Приведенные выше соображения о корригировании зуба шевера относятся к получению теоретической эвольвенты на профиле зуба шестерни. Но теоретическая эвольвента не является тем оптимальным профилем зуба, который обеспечивает наименьший шум. Многочисленные исследования в этой области доказали, что для шестерен, испытываемых на шум, должно быть введено дополнительное корригирование. В виду того, что закономерности

в корригировании профиля еще не установлены, в каждом отдельном случае наилучший контакт в зацеплении устанавливают опытным путем. По данным ЗИС и ЭНИМС, наименьший шум дает такой профиль зуба, при котором контакт находится в зоне делительной окружности, а длина и высота его достигают примерно следующих размеров: 80% длины зуба, 40% высоты профиля головки, начиная от делительной окружности, и 20% высоты профиля ножки ниже делительной окружности (фиг. 48).

Корригирование профиля шевера достигают при шлифовании зуба. По диаграммам корригирования изготавливают соответствующие копиры-шаблоны, по которым передвигают алмаз для заправки шлифовального круга. Таким образом шлифовальный круг, получив отклонение, соответствующее копиру-шаблону, воспроизводит его на профиле зуба шевера.

Расчет шевера для шестерен с прямыми и спиральными зубьями. Заданы следующие величины:



Фиг. 48. Наиболее желательный контакт при сцеплении цилиндрических шестерен.

m_n — нормальный модуль;

α_n — нормальный угол зацепления делительной окружности;

β_1 — угол спирали зуба обрабатываемой шестерни по делительной окружности;

Z_1 — число зубьев обрабатываемой шестерни;

Z_2 — число зубьев сопряженной шестерни;

h_{a1} — высота головки зуба обрабатываемой шестерни;

r_{o1} — наружный радиус обрабатываемой шестерни;

r_{o1} — радиус основной окружности обрабатываемой шестерни;

r_{i1} — внутренний радиус обрабатываемой шестерни;

r_{o2} — наружный радиус сопряженной шестерни;

r_{o2} — радиус основной окружности сопряженной шестерни;

r_d — радиус делительной окружности долбяка;

r_{od} — радиус основной окружности долбяка;

A — расстояние между центрами обрабатываемых шестерен;

A_1 — расстояние между центрами долбяка и обрабатываемой шестерни;

Δ — припуск на переточку, равный 0,4÷0,8 мм.

Расчет остальных величин приведен в табл. 12.

Для расчета шевера по предлагаемому методу кроме геометрии и элементов зацепления обрабатываемой шестерни должны быть известны:

r_d — радиус делительной окружности долбяка (так как для шевингования в большинстве случаев шестерни поступают после зубодолбления);

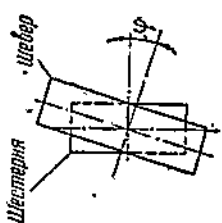
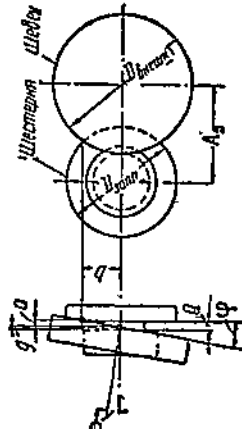
r_{od} — радиус основной окружности долбяка;

r_{o2} — наружный радиус сопряженной шестерни;

r_{o2} — радиус основной окружности сопряженной шестерни.

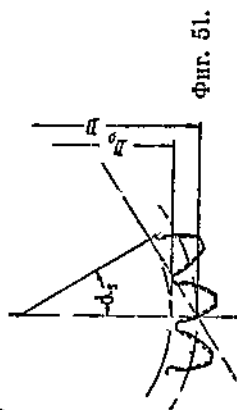
Эти сведения необходимы потому, что с уменьшением межосе-

Метод расчёта шевёра для шестерён с прямыми и спиральными зубьями

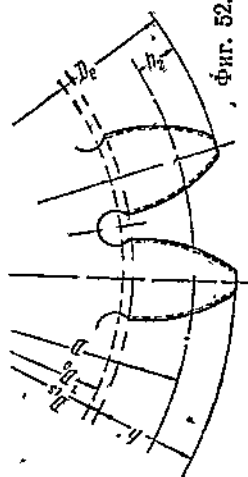
№ по порядку	Наименование определяемой величины	Обозначение	Расчётные данные
1	Угол скрещивания осей	φ	а) Для шестерён без буртика угол скрещивания φ равен 15° (фиг. 49). Обычно выбирают $\varphi = 15^\circ$. Фиг. 49. Угол скрещивания осей шевёра и шестерни без буртика.  б) Для шестерён с буртиком угол скрещивания равен 5°. Величины a и b (фиг. 50) определяют из формул: Фиг. 50. Угол скрещивания осей шевёра и шестерни с буртиком. 

№ по порядку	Наименование определяемой величины	Обозначение	Расчетные данные
2	Угол спирали шевера по начальной окружности	β_n	$\operatorname{tg} \varphi = \frac{a}{b};$ $a = Q - q - 0,5 \text{ мм};$ $b = 2 \frac{\sqrt{(A_2 + D_{\text{внеш}} + D_{\text{зат}})(A_2 + D_{\text{зат}})}}{A_2}$ $\frac{\sqrt{(A_2 + D_{\text{внеш}})(D_{\text{зат}} + D_{\text{внеш}})}}{A_2};$ где $A_2 = \frac{Z_1 + Z_n}{2};$ $m_S = \frac{Z_1 + Z_n}{2} m_n \cos \beta_1,$ m_S — торцевой модуль шевера; Z_n — число зубьев шевера. Величина q должна равняться 0,5 мм. Малые значения угла φ (около 5°) необходимо проверять графически
3	Направление спирали шевера		$\beta_n = \beta_1 \pm \varphi$ а) Для спиральных шестерен угол спирали шевера будет отличаться от угла спирали шестерни на величину угла скрещения φ с тем же знаком б) Для прямозубых шестерен спираль шевера обычно делается правой
4	Торцевой модуль	m_S	$m_S = \frac{m_n}{\cos \beta_n}$

№ по порядку	Наименование определяемой величины	Обозначение	Расчетные данные
5	Число зубьев	Z_u	$Z_u \leq \frac{C}{m_s} - 2,$
6	Торцевой угол зацепления начальной окружности (фиг. 51)	α_s	где C — наружный диаметр шестера (для станков «Комсомолец» и Нейшенел Броуч Компани $C_{\max} = 188 \text{ мм}$) $\lg \alpha_s = \frac{\lg \alpha_n}{\cos \beta_u}$
7	Диаметр делительной окружности (фиг. 52)	D	$D = \frac{Z_u m_n}{\cos \beta_u}$



фиг. 51.



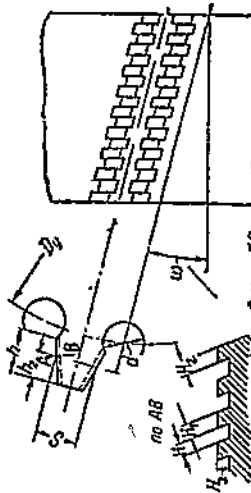
фиг. 52.

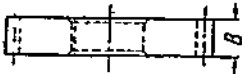
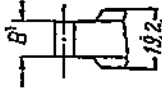
№ по порядку	Наименование определяемой величины	Обозначение	Расчетные данные
8	Диаметр основной окружности	D_0	$D_0 = D \cos \alpha_S$
9	Толщина зуба по дуге делительной окружности в нормальном сечении	S	$S = \frac{\pi m_n}{2} + \frac{\Delta}{2}$
10	Толщина зуба изношенного шевера	S'	$S' = \frac{\pi m_n}{2} - \frac{\Delta}{2}$
11	Условный радиус делительной окружности (радиус в нормальном сечении)	r'_n	$r'_n = \frac{D}{2 \cos^2 \beta_n}$
12	Условное число зубьев	Z'_n	$Z'_n = \frac{2 r'_n}{m_n}$
13	Условный радиус делительной окружности обрабатываемой шестерни	r'_1	$r'_1 = \frac{m_n Z_1}{2 \cos^2 \beta_1}$
14	Угол зацепления при новом шевере	α	$\text{inv } \alpha = \frac{\Delta}{4(r'_n + r'_1)} + \text{inv } \alpha_n$
15	Угол зацепления при изношенном шевере	α_1	$\text{inv } \alpha_1 = \frac{-\Delta}{4(r'_n + r'_1)} + \text{inv } \alpha_n$
16	Условное расстояние между осями (теоретическое)	A'	$A' = r'_n + r'_1$
17	Условное расстояние между осями при новом шевере	A''	$A'' = A' \frac{\cos \alpha_n}{\cos^2 \alpha}$

По полученному числовому значению $\text{inv } \alpha$ находят угол α в таблице полярных углов (см. Бармас и Кедринский "Зуборезное дело")

№ по порядку	Наименование определяемой величины	Обозначение	Расчетные данные
18	Условное расстояние между осями при изношенном шевере	A'''	$A''' = A' \frac{\cos \alpha_n}{\cos \alpha_1}$
19	Разность межосевого расстояния у изношенного и теоретического шеверов	a	$a = A''' - A'$
20	Разность межосевого расстояния у нового и теоретического шевера	a'	$a' = A'' - A'$
21	Наружный диаметр	D_e	$D_e = D + 2h_{e1} + 0,2m_n + 2a'$
22	Условный радиус основной окружности	r'_0	$r'_0 = r'_u \cos \alpha_n$
23	Условный радиус окружности впадин	r'_i	$r'_i = r'_u - h_{e1} - 0,1m_n - a \gg r'_0 + 1$
24	Шаг по дуге окружности впадин	t_i	$t_i = \frac{2\pi r'_i}{Z_u}$
25	Угол зацепления на окружности впадин	α_i	$\cos \alpha_i = \frac{r'_0}{r'_i}$
26	Толщина зуба шевера по дуге окружности впадин	S_i	$S_i = 2r'_i \left(\frac{S}{2r'_u} + \text{inv } \alpha_n - \text{inv } \alpha_i \right)$
27	Ширина впадин по дуге окружности впадин	S_b	$S_b = t_i - S_i$
28	Условный радиус окружности выступов	r'_e	$r'_e = r'_u + h_{e1} + 0,1m_n + a'$
29	Высота зуба шевера	h	$h = r'_e - r'_i$
30	Угол зацепления по наружному диаметру	α_e	$\cos \alpha_e = \frac{r'_0}{r'_e}$

№ по порядку	Наименование определяемой величины	Обозначение	Расчетные данные
31	Толщина зуба по дуге наружного диаметра	S_0	$S_0 = 2r'_e \left(\frac{S}{2 \cdot r'_u} + \text{inv } a_n - \text{inv } a_e \right)$
32	Диаметр окружности впадин по торцу	D_{IG}	$D_{IG} = D_0 - 2h$
33	Высота обрабатываемого профиля	h'	$h' = r_{01} - \sqrt{r_{01}^2 + (A''' \sin \alpha - \sqrt{r_e'^2 - r_0'^2})^2}$
34	Высота переходной кривой после дольки	f	$f = \sqrt{r_{01}^2 + (A_1 \sin a_n - \sqrt{r_a'^2 - r_{0a}'^2})^2} - r_{01}$
35	Радиус конца переходной кривой	r_a	$r_a = r_{01} + f$
36	Радиус шестерни, на которой начинается активный профиль при шевинге	r'_a	$r'_a = \sqrt{r_{01}^2 + (A'' \sin \alpha - \sqrt{r_e'^2 - r_0'^2})^2}$
37	Высота обрабатываемой переходной кривой	f_{ak}	$f_{ak} = r'_a - r_a$
38	Проверка зацепления профилей		Должно быть: $f_{ak} < 0,5$ Должно быть:
39	Толщина зуба по хорде	S_x	$A'' \sin \alpha - \sqrt{r_e'^2 - r_0'^2} > A \sin \alpha - \sqrt{r_e'^2 - r_0'^2}$ Для нового шевера $S_x \approx S$
40	Высота головки зуба (по зубомеру)	h_2	Для изношенного шевера $S_x \approx S'$ Для нового шевера $h_2 = r'_e - r'_u$ Для изношенного шевера $h_2 \approx r'_e - (a + a') - r'_u$

№ по порядку	Наименование определяемой величины	Обозначение	Расчетные данные								
41	Диаметр окружности центров выходных отверстий (фиг. 53)  Фиг. 53.	D_y	$D_y = D_{IS} - 2 \sqrt{\frac{d^2}{4} - \frac{S_n^2}{4}}$ <table><tr><th>m_n</th><th>d</th></tr><tr><td>2-3</td><td>4</td></tr><tr><td>3-4</td><td>4,5</td></tr><tr><td>4-5</td><td>5,5</td></tr></table>	m_n	d	2-3	4	3-4	4,5	4-5	5,5
m_n	d										
2-3	4										
3-4	4,5										
4-5	5,5										
42	Диаметр выходных отверстий (при долблении канавок)	d									
43	Шаг винтовой линии	T	$T = \pi D \operatorname{ctg} \beta_u$								
44	Угол наклона выходных отверстий	ω	$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D_y}{T}$								
45	Ширина канавки на зубьях шпера	H	$H = 0,7 \text{ мм}^*$								
46	Ширина выступа на зубьях шпера	H_1	$H_1 = 0,8 \text{ мм}^*$								
47	Ширина начального и конечного выступов	H_2	$H_2 \approx 1 \text{ мм}^*$								
48	Глубина канавки	H_3	$H_3 = 1 \text{ мм}^*$								

№ по порядку	Наименование определяемой величины	Обозначение	Расчетные данные								
49	Ширина шевера	B	а) Ширина шевера для шестерен без буртиков (фиг. 54)  $B = 19,2 \text{ мм}$								
50	Выбор диапазона чисел зубьев нарезаемой и сопряженной шестерен, которые можно обработать данным шевром (для прямозубых шестерен)		б) Ширина шевера для шестерен с буртиком (фиг. 55) 19,2 мм у ступицы и снижается у внешнего диаметра. Определяем активную часть профиля при соответствующем зацеплении  Фиг. 55. <table border="1" data-bbox="573 136 729 737"> <tr> <th>При зацеплении Z_1 с $Z_{1\min}$</th> <th>При зацеплении Z_1 с $Z_{1\max}$</th> <th>При зацеплении Z_1 с $Z_{2\max}$</th> <th>При зацеплении Z_1 с $Z_{3\min}$</th> </tr> <tr> <td>h'_1</td> <td>h'_2</td> <td>h'_3</td> <td>h'_4</td> </tr> </table> Должно быть: $h'_1 > h'_3; h'_1 > h'_4$	При зацеплении Z_1 с $Z_{1\min}$	При зацеплении Z_1 с $Z_{1\max}$	При зацеплении Z_1 с $Z_{2\max}$	При зацеплении Z_1 с $Z_{3\min}$	h'_1	h'_2	h'_3	h'_4
При зацеплении Z_1 с $Z_{1\min}$	При зацеплении Z_1 с $Z_{1\max}$	При зацеплении Z_1 с $Z_{2\max}$	При зацеплении Z_1 с $Z_{3\min}$								
h'_1	h'_2	h'_3	h'_4								

* Величины H , H_1 , H_2 и H_3 не рассчитаны; эти величины взяты по данным фирмы Нейшенел Броуч Компани и автоавода им. Сталина.

вого расстояния из-за вертикальной подачи возникает опасность поломки вершины зубьев шевера, так как они могут врезаться в переходные кривые во впадинах зубьев шестерни, оставшихся после долбления, особенно при обработке шестерен с малым числом зубьев, нарезанных долбьями малых диаметров.

Формулы 11, 12, 13, 16, 18, 23 и 28 (см. табл. 12) в наименовании определяемой величины содержат термин «условный», принятый потому, что толщина зуба шевера отличается от теоретической на величину Δ — припуск на переточку. В связи с этим меняются остальные элементы зуба.

Формула 2 дает два значения угла, из которых следует выбрать наименьшее, так как чем меньше угол наклона спирали, тем меньше давление между сопрягаемыми зубьями шевера и шестерни.

При расчете следует оперировать со знаками, как в алгебраических выражениях. Для правого направления спирали принят знак плюс, а для левого минус. Элементы зацепления, которые в отличие от теоретических (действительных) величин названы условными, влияют на величину активной части профиля шестерни.

В связи с изменением элементов зубчатого зацепления изменяется также угол зацепления.

Угол зацепления при работе новым и старым шевеком подсчитывают по формулам 14 и 15. Формула 14 получена путем преобразования уравнения Бакингема, что значительно упрощает пользование ею.

Если угол зацепления известен, то межосевые расстояния определяются по формулам 16, 17 и 18. Разность между вычисленными межосевыми расстояниями и теоретическими вычисляют по формулам 19 и 20. Теоретическая высота головки зуба шевера равна 1,1 модуля (m_n). При нестандартных размерах зуба шестерни высота головки шевера берется на 0,1 модуля m_n больше высоты головки зуба шестерни. Далее производится проверка толщины зуба у нового шевера по наружной окружности и ширины впадины по формулам 22—31. Остальные формулы пояснения не требуют.

Технические условия на изготовление шеверов. Шеверы изготавливают из быстрорежущей стали марки РФ1 (ОСТ 4957) или заменителей соответствующего качества. Для повышения стойкости их в работе все шеверы надлежит изготовлять из заготовок, прокованных не менее чем три раза.

Твердость режущей части шеверов должна быть не ниже $R_c = 62-64$. На режущей части шевера не должно быть обезуглероженных и мягких мест.

Шеверы изготавливают по размерам и допускам, указанным в рабочих чертежах, причем:

1) отклонение наружного диаметра от номинального не должно превышать допусков 5-го класса точности;

2) отклонение диаметра посадочного отверстия не должно превышать $+0,005$ мм;

3) отклонение на высоту шпоночного паза не должно превышать $+0,3$ мм;

4) отклонение ширины шпоночного паза не должно превышать $+0,05$ мм;

5) отклонение ширины шевера не должно превышать по рабочей части $-0,1$ мм, а по ступице $+0,1$ мм;

6) отклонение профиля зуба от теоретической эвольвенты не должно превышать для 1-го класса $\pm 0,0025$ мм и для 2-го класса $\pm 0,004$ мм;

7) разница в величине шагов двух смежных зубьев не должна превышать для 1-го класса $0,005$ мм, а для 2-го класса $0,0075$ мм;

8) суммарное отклонение от теоретического шага на полуокружности (180°) не должно превышать для 1-го класса $0,01$ мм, а для 2-го класса $0,015$ мм;

9) отклонение спирали зубьев на длине 20 мм не должно превышать для 1-го класса $0,015$ мм, а для 2-го класса $0,02$ мм;

10) допуск на толщину зуба между серийными шеверами и эталонным шевером не должен превышать для 1-го класса $0,03$ мм, а для 2-го класса $0,05$ мм;

11) биение наружного диаметра относительно оси отверстия не должно превышать для 1-го класса $0,02$ мм, а для 2-го класса $-0,025$ мм;

12) биение опорных торцов относительно отверстия не должно превышать для 1-го класса $0,01$ мм, а для 2-го класса $0,015$ мм;

13) радиальное биение профиля при проверке роликом с индикатором не должно превышать для 1-го класса $0,015$ мм, а для 2-го класса $0,02$ мм;

14) стороны зубьев шевера должны быть параллельными или с бочкообразной выпуклостью их до $0,03$ мм;

15) отклонение выступа и впадины канавки не должно превышать $\pm 0,03$ мм;

16) глубина канавок на зубьях при их долблении и при перешлифовке по профилю должна быть симметрична в пределах $0,1$ мм;

17) допуски на свободные размеры принимают по 7-му классу точности и располагают симметрично по отношению к номинальным размерам.

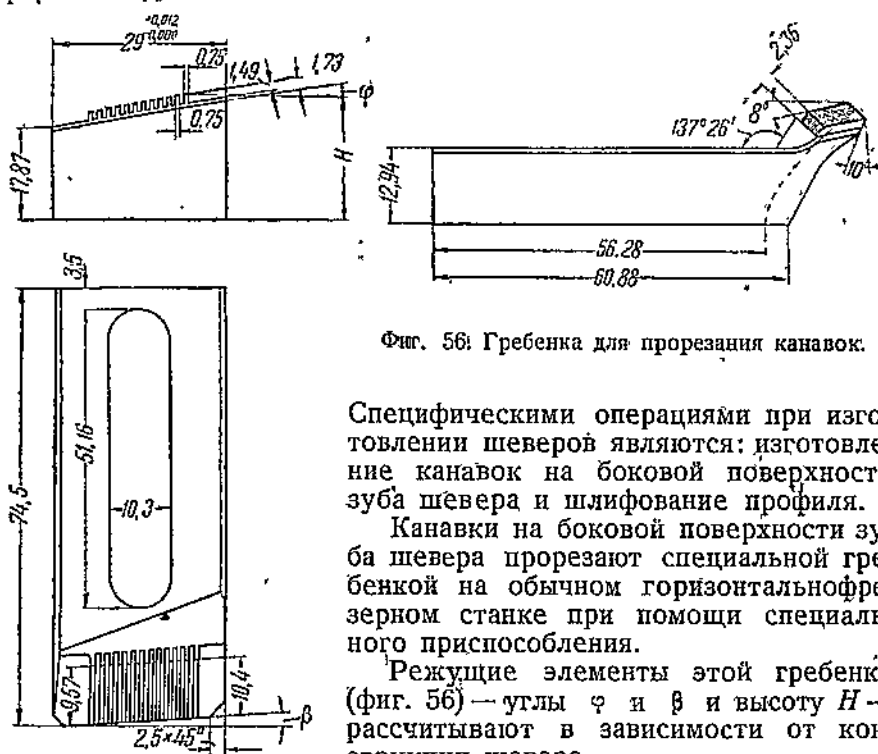
Шеверы 1-го класса предназначаются для обработки весьма точных шестерен, которые дополнительно контролируются на специальных станках для проверки шестерен на шум — спидерах. Для обработки всех остальных шестерен шеверы изготавливаются по 2-му классу.

При внешнем осмотре шевера надо проверить: 1) наличие, полноту и правильность маркирования; 2) качество обработки поверхностей, причем на них не должно быть трещин, заусенцев, забоин и зазубрин, а на шлифованных поверхностях не должно быть черновин, цветов побежалости и потемнения; наконец, отделка поверхностей шевера должна соответствовать эталонам обработки.

Маркирование шеверов надо производить методом травления, нанося следующие данные: 1) порядковый номер шевра; 2) номер обрабатываемой детали (шестерни); 3) модуль; 4) число зубьев шевра; 5) угол зацепления; 6) угол спирали шевра; 7) ее направление; 8) марка стали; 9) марка завода и 10) дата изготовления.

Изготовление шеверов

Трудности изготовления инструмента для шевинг-процесса заключаются не столько в сложности получения геометрических форм инструмента, сколько в требуемой точности изготовления.



Фиг. 56: Гребенка для прорезания канавок.

Специфическими операциями при изготовлении шеверов являются: изготовление канавок на боковой поверхности зуба шевра и шлифование профиля.

Канавки на боковой поверхности зуба шевра прорезают специальной гребенкой на обычном горизонтальнофрезерном станке при помощи специального приспособления.

Режущие элементы этой гребенки (фиг. 56) — углы φ и β и высоту H — рассчитывают в зависимости от конструкции шевра.

Примем следующие обозначения элементов конструкции шевра.

- α_0 — угол зацепления;
- α — угол спирали шевра на основном цилиндре;
- D_n — диаметр делительной окружности шевра;
- T — шаг спирали;
- D_0 — диаметр основной окружности шевра;
- φ_2 — угол спирали шевра на делительном цилиндре.

Угол наклона грани гребенки, на которой расположены ее режущие кройки, должен соответствовать углу спирали зуба на основном цилиндре шевра. Зная угол спирали на основном ци-

линдре, можно определить угол спирали на делительном цилиндре шевера.

Из теории винтовых передач (фиг. 57) получаем:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\pi D_0}{T}; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\pi D_n}{T}. \quad (2)$$

Разделив уравнение (1) на уравнение (2), получим:

$$\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_2} = \frac{D_0}{D_n} = \frac{r_0}{r_n} = \cos \alpha_0, \quad (3)$$

откуда

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \alpha_0. \quad (4)$$

Угол наклона режущих выступов гребенки β определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \varphi_2 \sin \alpha_0. \quad (5)$$

3. Высота гребенки определяется по следующей эмпирической формуле:

$$H = 1,143 \operatorname{tg} \varphi + 19 \text{ мм}. \quad (6)$$

Остальные размеры выбирают по конструктивным соображениям.

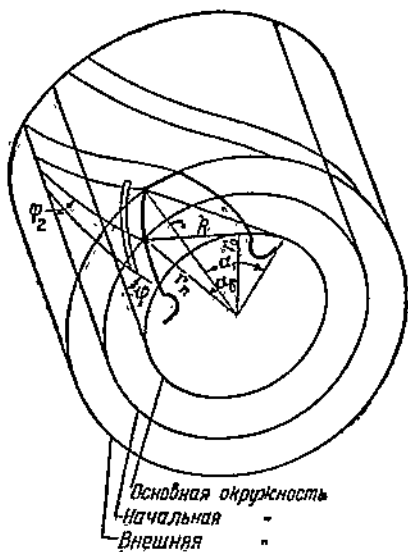
Идея приспособления для прорезания канавок (фиг. 58 и 59) заключается в обкатке зуба шевера по эвольвентному профилю вокруг неподвижной гребенки. Врезание гребенки на глубину канавки осуществляется постепенной подачей резцедержателя.

Относительные положения гребенки и обрабатываемого зуба в начале работы, в процессе резания и при окончании показаны на фиг. 60.

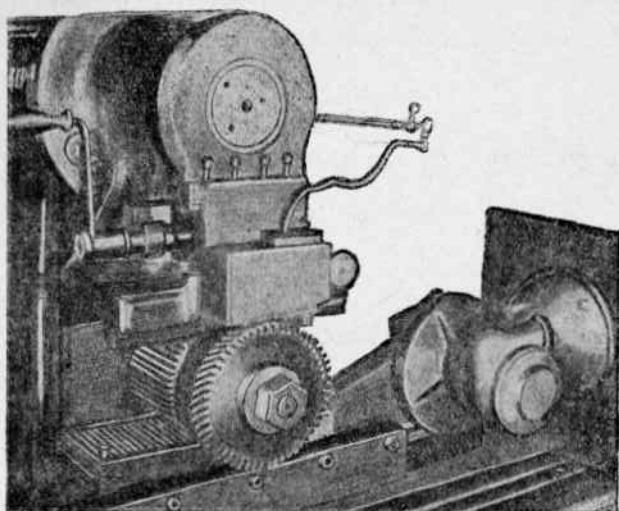
Гребенка, устанавливаемая вертикально, при движении шевера прорезает канавки на его зубьях до отверстия у основания зуба, служащего для выхода гребенки и отвода стружки.

Обрабатываемый шевер закрепляют на оправке, на которую насаживают также эталонную шестерню, диаметр делительной окружности которой равен основному диаметру шевера (фиг. 61). Эталонная шестерня находится в зацеплении с двумя эталонными рейками: с подвижной — снизу (на столе станка) и с неподвижной — сверху. Нижняя рейка получает возвратно-поступательное движение от кривошипно-шатунного механизма, приводимого в движение фланцевым мотором, прикрепленным к столу станка.

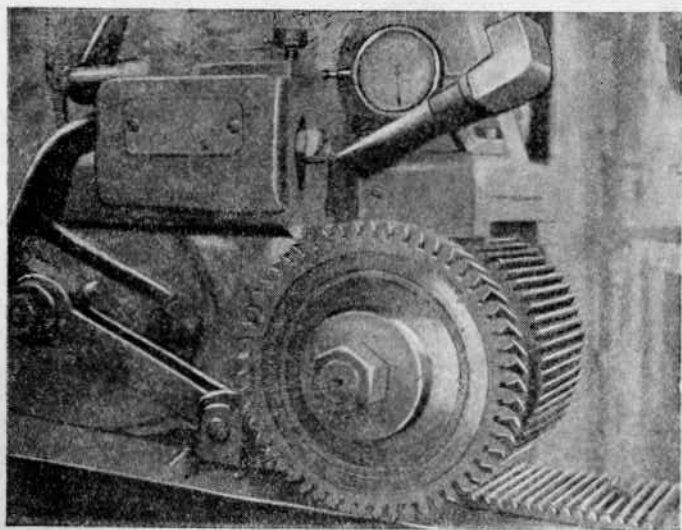
Гребенку устанавливают таким образом, чтобы ее режущие кромки находились приблизительно на основном цилиндре шевера.



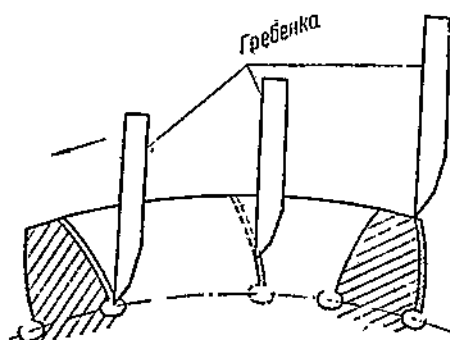
Фиг. 57. Схема построения боковой поверхности зуба шевера.



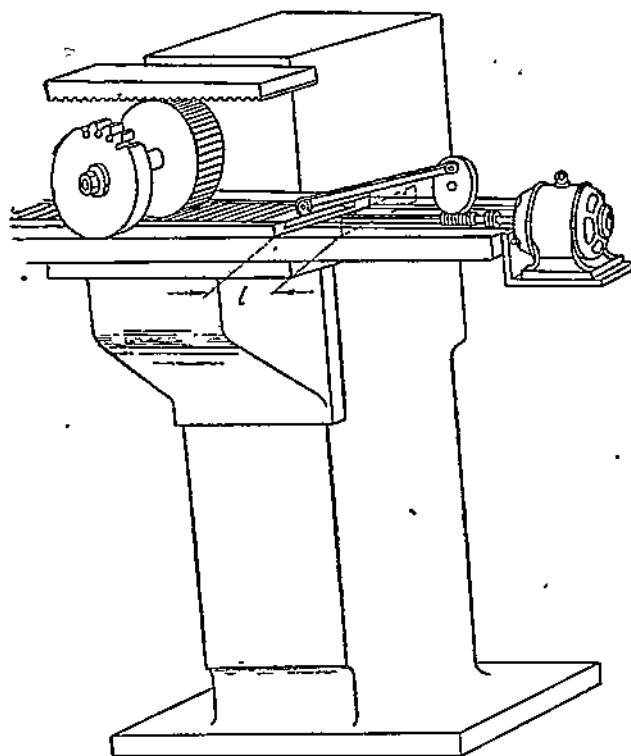
Фиг. 58. Общий вид приспособления для прорезания канавок.



Фиг. 59. Рабочая зона приспособления для прорезания канавок.



Фиг. 60. Схема образования канавок на боковой поверхности зуба.



Фиг. 61. Кинематическая схема приспособления для прорезания канавок.

Длина хода стола l должна быть определена исходя из угла поворота α_1 , необходимого для того, чтобы гребенка прорезала канавки от внешнего диаметра до диаметра основного цилиндра. Из фиг. 57 получаем

$$\cos \alpha_1 = \frac{r_0}{r} = \frac{D_0}{D} = \frac{r_n \cos \alpha_0}{r},$$

где α_1 — угол зацепления на внешней окружности шевра, т. е. на радиусе r ;

D_0 — основной диаметр шевра;

D — внешний диаметр шевра.

При повороте шестерни на 1° стол должен продвинуться на величину

$$l_1 = \frac{\pi D_0}{360^\circ}.$$

Для поворота шестерни на угол α_1 длина хода стола будет

$$l = \frac{\pi D_0 \alpha_1}{360^\circ}.$$

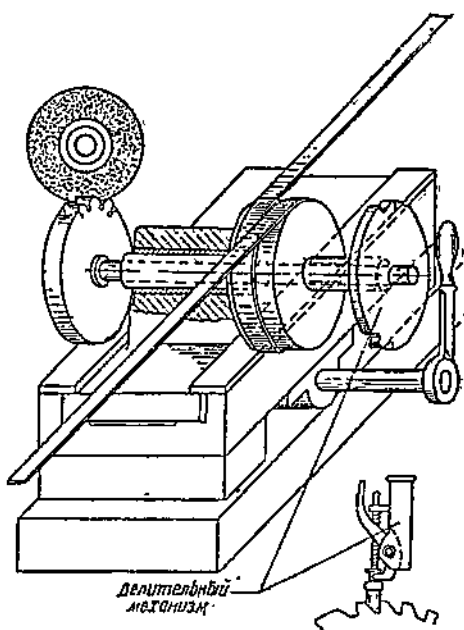
Канавки прорезают при подаче 0,025 мм на один ход стола. Режущие кромки гребенки должны быть всегда острыми, так как тупые кромки вызывают неровности и шероховатости на канавках шевра, что понижает качество поверхности зубьев обрабатываемых шестерен.

Профиль канавок шлифуют на тех же зубошлифовальных станках, на которых шлифуются долбяки Феллоу. Существенным отличием является требование в отношении точности обработки.

Для предварительного шлифования профиля можно использовать приспособления типа Мичиган Тул Компани, устанавливая их на плоскошлифовальных станках типа 372В, Абразив или Карл Юнг.

Схема приспособления изображена на фиг. 62. Эвольвентный профиль шлифуемого зуба получается вследствие развертки обкаточного диска,

диаметр которого равен основному диаметру шевра за вычетом удвоенной толщины обкаточной ленты. Деление на зуб осуще-



Фиг. 62. Схема приспособления для шлифования профиля зуба.

ствляется при помощи делительного диска, насаженного на ось шевера. Для настройки станка по углу спирали и профилю следует пользоваться эталонной шестерней.

Изготовление круглого шевера. На одном из наших заводов шеверы изготовляют в следующей последовательности:

1. Из стали РФ-1 или заменяющей ее отрезают механической пилой заготовку для поковки.

2. Заготовку три раза проковывают под пневматическим молотом, оставляя припуск на механическую обработку.

3. Поковку отжигают в термической мастерской.

4. Первой операцией механической обработки является предварительное обтачивание, причем с одной установки подрезают толщину, сверлят и растачивают отверстие для оправки, оставляя припуск 0,7 мм по диаметру. Кроме этого протачивают снаружи, оставляя припуск для шлифования 0,8 мм.

После этого заготовку шевера переставляют в патроне для обработки второго торца, оставляя припуск 0,4 мм на сторону для чистовой отделки.

После предварительной токарной обработки шевера на зубофрезерном станке специальной червячной фрезой предварительно фрезеруют зубья, оставляя припуск на окончательное фрезерование 0,5 мм на сторону зуба. При этой операции базой служит отверстие, расточенное в заготовке.

6. Отверстие для оправки шлифуют на внутришлифовальном станке фирмы Хилд, оставляя припуск 0,3 мм по диаметру для окончательной обработки отверстия. Заготовку шевера зажимают в патроне по наружной поверхности. Шевер устанавливают при помощи индикатора. За одну установку на этом станке шлифуют один из торцов.

7. Второй торец шлифуют на плоскошлифовальном станке фирмы Хилд или Абразив, оставляя припуск 0,4 мм на окончательную обработку обеих сторон. Базой служит уже шлифованный торец. После шлифования деталь размагничивают.

8. Далее на долбежном станке долбят шпоночную канавку и вручную зачищают фаски.

9. Окончательное фрезерование зубьев производят червячной фрезой на зубофрезерном станке, оставляя припуск на шлифование по профилю 0,1 мм на сторону зуба. Для предварительного контроля зуба пользуются зубомером.

10. Раньше чем прорезать канавки на боковой поверхности зубьев шевера, надо просверлить отверстия для выхода резца и стружки во впадине зуба шевера. Это производят в универсальном кондукторе на вертикально-сверлильном станке, причем корпус кондуктора устанавливают по углу спирали.

11. Оставшиеся после сверления заусенцы зачищают вручную или применяют прорезную фрезу.

12. Канавку с двух сторон зубьев прорезают при помощи специального приспособления и гребенки на горизонтально-фрезерном станке Горьковского завода фрезерных станков.

13. После прорезания канавок шевер подвергают следующей термообработке (для стали РФ-11): предварительный нагрев до 820° в течение 10—15 мин., окончательный нагрев до 1280° ; охлаждение в масле и отпуск при 560° в продолжение 4 час. Твердость $R_c = 62-63$.

14. После термической обработки удаляют окалину, промывая шевер в керосине с помощью щетки.

15. В термически обработанном шевере шлифуют отверстие и один из торцов на внутришлифовальном станке, оставляя припуск по диаметру для притирания отверстия 0,02—0,03 мм. Установку шевера проверяют по индикатору.

16. Второй торец шлифуют окончательно до требуемого размера на плоскошлифовальном станке Хилд, Абразив, или Нортон. Базой служит окончательно отшлифованный первый торец. Размер проверяют микрометром. После шлифования шевер размагничивают.

17. Отверстие в шевере для оправки окончательно притирают на сверлильном станке чугуниным притиром с мелким наждачным порошком и маслом. Диаметр отверстия проверяют калибром и пассометром.

18. Наружную поверхность шевера шлифуют на оправке по верхнему пределу допуска. Чтобы удобно было промерять наружный диаметр шевера с нечетным числом зубьев, необходимо одновременно шлифовать круглую шайбу.

19. Притертое отверстие служит базой для окончательного шлифования зубьев шевера. Шевер закрепляют на оправке и шлифуют на зубошлифовальном станке фирмы Сайкс или Нейшенел Тул Компани.

20. В тех случаях, когда толщина зуба оказывается меньше требуемой, дополнительно шлифуют наружную поверхность шевера.

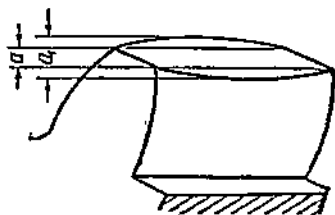
21. Готовый шевер маркируют и промывают в керосине.

Получение бочкообразного зуба

В последнее время стали применять цилиндрические шестерни с бочкообразным зубом (фиг. 63), получаемым при шевинг-процессе. Это вызвано наличием перекосов между осями шестерен, которые получаются при монтаже в агрегате. Если нет возможности компенсировать перекося между осями, то нет смысла добиваться высокой точности по направлению зуба. Характер контакта между зубьями шестерен с относительными отклонениями по направлению зуба такой же, как и при работе пары с точным направлением зуба, но с перекошенными осями (фиг. 64). Контакт, перемещенный к торцу зуба, увеличивает удельное давление и вызывает преждевременный и усиленный износ зубьев. Зная допуски по перекоосу осей и по направлению зуба (спиральности), нетрудно подсчитать необходимую бочкообразность, т. е. разницу между размерами a и a_1 (фиг. 63). Если принять обычный допуск на пе-

рекос между осями $\pm 0,015$ и допуск по направлению зуба $\pm 0,015$, то величина бочкообразности $a-a_1$ находится в пределах $0,02-0,03$ мм.

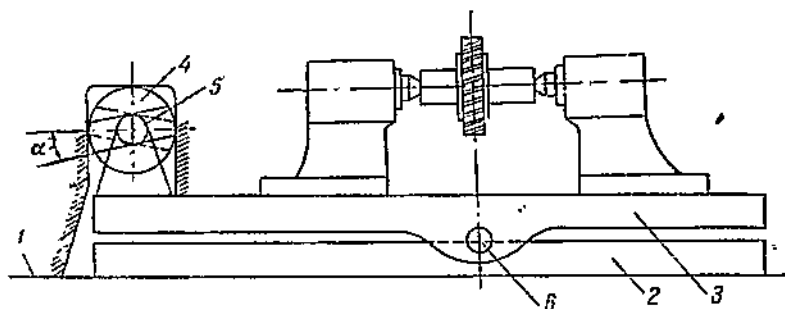
Бочкообразный зуб можно получить двумя способами: при помощи специального приспособления к шевинг-станку и специальным шевером с вогнутым зубом.



Фиг. 63. Бочкообразный зуб шестерни.

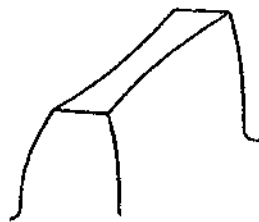


Фиг. 64. Смещенный контакт при перекошенных осях.



Фиг. 65. Схема приспособления для получения бочкообразного зуба при шевинг-процессе.

Подвижная часть стола приспособления к шевинг-станкам фирмы Нейшенел Броуч Компани (фиг. 65) состоит из двух узлов: 2 и 3. Верхняя часть 3 может колебаться на оси 6. К неподвижной станине станка 1 прикреплен кронштейн с головкой 4, которую можно поворачивать на требуемый угол α . При продольном движении стола 2, а с ним и верхней части 3, последняя будет совершать колебательные движения вокруг оси 6, так как ролик 5, соединенный жестко с верхней частью 3, будет скользить по пазам, наклоненным под углом α . Таким образом в крайних положениях стола при продольном ходе будут сближаться с шевером то один, то другой край шестерни. Зная длину хода стола, диаметр его качения и задавшись величиной бочкообразности,



Фиг. 66. Вогнутая форма зуба шевера.

можно подсчитать необходимые вертикальные перемещения краев шестерни, а отсюда и угол α . Длина хода стола должна быть подсчитана так, чтобы получить желаемую бочкообразность. Работать необходимо при коротких ходах.

Второй способ получения бочкообразного зуба заключается в специальной шлифовке зуба шевера, причем зуб по длине получает вогнутую форму (фиг. 66 см. стр. 251).

Кривизна вогнутости зуба шевера не равна кривизне выпуклости зуба шестерни.

При работе с таким шевером надо учитывать:

1. Зуб шевера должен быть сделан вогнутым на величину, равную желаемой выпуклости зуба шестерни плюс вогнутость, получаемая от перекрещивания осей, и плюс вогнутость, учитывающая продольный ход стола.

2. Ход стола должен быть возможно меньше (для станка Нейшенел Броуч Компани 4—5 мм), но не менее ширины двух шагов между канавками на профиле зуба шевера.

3. Ширина шевера должна быть на 2—3 мм больше ширины шестерни.

Если шлифуют на зубошлифовальных станках Нейшенел Тул Компани, то шлифовальный круг заправляют под некоторым углом; тогда шлифующая поверхность торца круга получается конической, а не плоской, как обычно (фиг. 67).

Фиг. 67. Получение вогнутой формы зуба шевера.

В продольном сечении профиль зуба представляет собой гиперболу. Величина вогнутости зависит от угла заправки круга.

ЛИТЕРАТУРА

- Каширин, Основы проектирования технологических процессов.
 Чапаев, Шевинг-процесс.
 ЗИС-ЭНИМС, Методы производства высококачественных зубчатых колес, ч. 2 и 3, 1939.
 Станкомпорт, „Технико-экономический бюллетень“ № 5, 1938.
 Клепиков, Шевингование шестерен на станках Нейшенел Броуч Компани, „Машиностроитель“ № 19, 1937.
 Генкин, Шевинг-процесс, „Машиностроитель“ № 6, 1936.
 Краюшкин, Применение шевинг-процесса для деталей с усложненной конфигурацией, „Органиформация“ № 12, 1936.
 Чапаев, Обработка шестерен шевинг-процессом, „Станки и инструмент“, № 2, 1937.
 Шатуриц, Шевинг-процесс на заводе Форда в Англии, „Автостроитель“, № 9, 1935.
 Каталоги фирм: „National Broach Machine Co“, „Michigan Tool Co“ и „Fellows Gear Shaper Co“.

VII. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

Общие понятия

До последнего времени контроль обработанных деталей; независимо от метода их обработки, сводился к проверке геометрических форм и размеров в зависимости от требований, предъявляемых чертежом. В настоящее время понятие о точных размерах деталей без учета свойств поверхности в значительной мере теряет свой смысл. Это происходит потому, что первоначальный износ, получающийся при обкатке сопряженных деталей вследствие наличия на их поверхности неровностей и вызывающий срабатывание гребешков, увеличивает зазор между сопрягаемыми деталями и изменяет их точные размеры. Вследствие этого возникает настоятельная необходимость в оценке качества обработанной поверхности.

Исследования показали, что после любого вида обработки деталей на их поверхности остаются различные (большие или меньшие) неровности — шероховатости. При этом установлено, что чистота отделки поверхности обуславливает качество работы изготовленных деталей и соединений, а также срок их службы. Улучшение качества поверхности уменьшает первичный износ деталей, увеличивает их сопротивляемость действующим нагрузкам и устойчивость против коррозии. Поэтому возникла необходимость в объективной оценке качества отделки поверхности, а на основании этого и надежной их классификации.

Методы определения качества поверхности. Существующие методы определения качества поверхности можно разбить на две группы: 1) суммарные методы (методы относительного измерения); 2) профильные методы (методы абсолютного измерения).

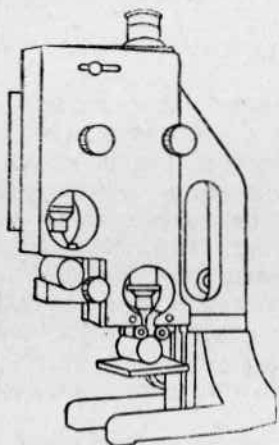
Методы суммарного (относительного) определения качества поверхности

Наиболее простым и часто применяемым в практике способом является осмотр поверхности невооруженным глазом и сопоставление ее с эталонным образцом. Некоторым усовершенствованием является осмотр поверхности через лупу. Дополнительно к осмотру

обычно поверхности еще прощупывают ногтем. Такой способ оценки качества поверхности прост и удобен, но весьма субъективен.

Более совершенным способом является рассматривание поверхности изделия под микроскопом. Но этот способ имеет следующие недостатки: а) рассматривая профиль поверхности в плане, мы видим его несколько искаженным и не можем заметить самого главного фактора — высоты шероховатостей (гребешка); б) при большом увеличении в поле зрения попадает очень малый участок поверхности; в) результаты наблюдений субъективны.

Усовершенствованием этого способа является сравнение поверхности детали с образцом при помощи микроскопа сравнения фир-



Фиг. 1. Микроскоп фирмы Буш.



Фиг. 2. Увеличенное изображение образца и эталона.

мы Буш (фиг. 1). В нем имеется два предметных столика, два объектива и один окуляр. На один предметный столик кладут образец, на второй — эталон. Оптическая система устроена так, что в окуляре видно увеличенное изображение образца и эталона наложенные одно на другое (фиг. 2). Способ прост и удобен, но не позволяет определить высоту поверхностей и результаты наблюдений субъективны.

Имеется несколько способов определения качества поверхности, основанных на отражении света (метод Файрстона, Рейхеля и др.).

Файрстон предложил для определения качества поверхности пользоваться фотоэлементами, причем прибор предварительно калибруют по эталону, направляя на поверхность эталона лучи от источника света. Отраженные лучи попадают на фотоэлемент, включенный в цепь усилителя тока; усиленный ток регистрируется соответствующим устройством¹.

¹ Чертовских, Прибор для определения шероховатостей металлических поверхностей, „Заводская лаборатория“ № 2, 1936; Трейер, Опыты по объективной оценке чистоты полировки внутренних рабочих поверхностей шарикоподшипников, „Подшипник“ № 12, 1936.

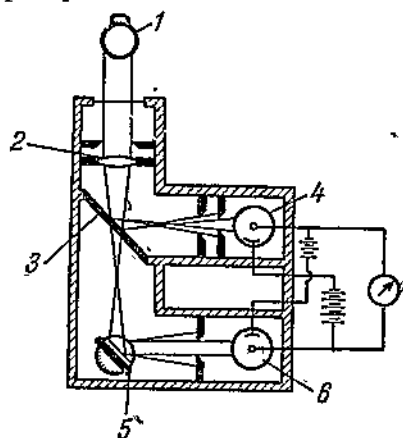
Аналогично калибровке прибора определяют качество любой поверхности, причем если показания находятся в пределах эталона, то качество поверхности считают удовлетворительным. Недостатком этого способа является то, что показания зависят от блеска поверхности, тогда как блеск поверхности не определяет ее шероховатости.

Попытка устранения этого недостатка была сделана (Когакухакуси, Коргакуси и Ковакура) в приборе показанном на фиг. 3, в котором исследуется не изделие, а целлулоидный негатив с его поверхности. Из источника света 1 лучи, пройдя линзу 2, падают на расположенный наклонно эталонный целлулоидный негатив 3 и, частично отражаясь от него, попадают на фотоэлемент 4. Часть лучей, пройдя через негатив 3, попадает на второй целлулоидный негатив 5, отражается от него и попадает на второй фотоэлемент 6. Оба фотоэлемента включены в одну цепь с чувствительным гальванометром. Для тарировки прибора вместо негатива поверхности изделия устанавливают негатив поверхности эталона и при этом прибор регулируют так, что гальванометр в этот момент показывает нуль. Установка вместо негатива эталона негатива исследуемой поверхности, имеющей иную степень шероховатости, неизбежно вызовет появление в цепи тока, регистрируемого гальванометром. Протарировав гальванометр, можно соответствующим образом контролировать степень шероховатости поверхности.

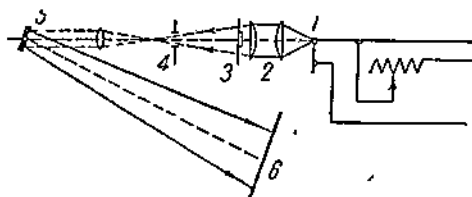
Этот чисто лабораторный метод имеет весьма крупный недостаток — помимо того, что снятие целлулоидного негатива поверхности является сложной и дорогой операцией, сам негатив дает весьма крупные искажения профиля поверхности.

Рейхель предложил оригинальный прибор, основанный на так называемом растровом методе определения одновременно шероховатости поверхности и ее блеска (фиг. 4).

Пучок света от дуговой лампы 1, проходя через конденсатор 2, растр 3 и диафрагму 4, проектирует на поверхности изделия 5 тень растра, которая отражается с нее на экран 6 или заменяющую его фотопластинку. По резкости и цвету изображения на



Фиг. 3. Схема прибора Когакухакуси, Коргакуси и Ковакура.



Фиг. 4. Прибор Рейхеля.

экране судят о шероховатости и блеске изделия. Чем сильнее шероховата поверхность, тем расплывчатее изображение раstra. Чем поверхность более блестяща, тем чернее и ярче будут отдельные клеточки изображения раstra, и, наоборот, чем глянец меньше, тем серее и бледнее изображение. При установке вместо изделия эталонного зеркала степень отражения принимают равной 100%. При этом растровая сетка имеет на экране резко очерченные черные клетки. На фиг. 5 показаны растры поверхностей, обработанных наждаками различных номеров.

Этот метод не получил распространения потому, что он не дает надежных результатов, так как блеск сильно влияет на чет-

кость изображения, являющуюся критерием собственно шероховатой поверхности, и, кроме того, в оценке качества поверхности большую роль играет субъективный фактор.

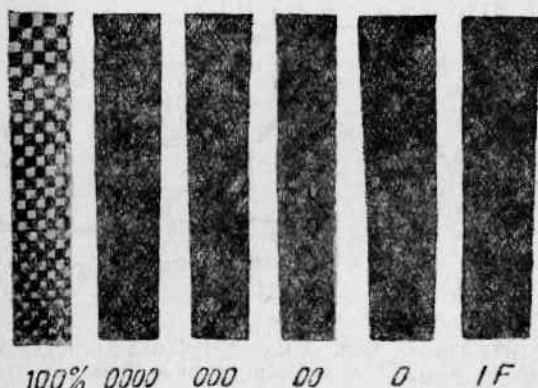
Существует еще довольно примитивный метод определения шероховатости — по износу графитового острия определенной твердости, которое укрепляют в ножке индикатора и приводят в сопри-

косновение с исследуемой поверхностью. При перемещении индикатора с определенной скоростью и на определенное расстояние величина износа графитового стержня будет указана индикатором. По величине износа стержня можно примерно судить о состоянии поверхности, но нельзя получить надежной ее характеристики.

Таким образом методы суммарного (относительного) определения шероховатости дают только общее представление о состоянии поверхности, не давая точного представления о ее качестве.

Профильные методы

Профильные методы (методы абсолютного промера). Методы абсолютных промеров или профильные методы дают точное представление о характере поверхности в мельчайших ее деталях. В большинстве случаев они дают профиль поверхности в данном месте, так называемую кривую профиля, и определенным образом фиксируется профиль поверхности. Так как размеры поверхности можно выразить в абсолютных величинах, то результаты исследований можно считать вполне объективными. Поэтому методы, принадлежащие к этой группе, являются более ценными.



Фиг. 5. Растры поверхностей, обработанных наждаками различных номеров.

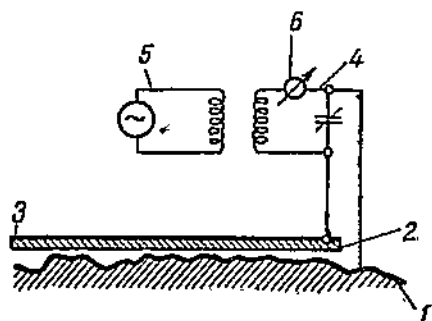
Наиболее старый метод¹ состоит в снятии с поверхности изделия желатинного оттиска и разрезывании этого оттиска микро-
мом¹ на тончайшие пластинки, которые рассматривают под микроскопом при большом увеличении. Этот способ обладает рядом существенных недостатков: 1) вырезанный слой желатины очень легко коробится, отчего искажаются результаты измерений; 2) для исследования при большом увеличении достаточного по длине участка поверхности (5—10 мм) необходимо произвести ряд наблюдений, а при фотографировании — серию снимков. Применять этот способ можно только для общей оценки состояния поверхности.

Затем Розенгейм предложил, а Сейер применил способ гальванического покрытия образца слоем меди. После покрытия образец разрезают и место разреза тщательно шлифуют. Полученный в плоскости разреза профиль поверхности наблюдают под микроскопом при большом увеличении. Этот способ дает очень точные результаты. Пользуясь микроскопом с увеличением в 1000 раз, легко можно наблюдать неровности порядка 0,25 микрона.

Этот метод является чисто лабораторным, так как изготовление образца отнимает много времени, а для исследования профиля поверхности необходимо разрезать деталь.

Инж. Пертен предложил конденсаторный метод определения средней высоты шероховатостей поверхности. Исследуемая поверхность 1 (фиг. 6) служит одной обкладкой конденсатора. На ней лежит пластинка диэлектрика 2, на которой находится вторая обкладка конденсатора 3. Таким образом диэлектрик составной; он состоит из пластины 2 и воздушной прослойки между поверхностью и прибором, которая получается вследствие наличия шероховатостей поверхности. Конденсатор включается в приемный колебательный электрический контур 4, связанный индуктивно с генераторным колебательным контуром 5. При различном качестве поверхности меняется величина воздушной прослойки, меняется емкость конденсатора, что в свою очередь превращается в изменение частоты, вызывающее изменение силы тока, измеряемой прибором 6. Недостатком этого способа является то, что измеряется величина средней высоты шероховатостей, на которую в значительной степени влияют случайные выбоины и царапины.

Существует ряд способов измерения чистоты поверхности, основанных на принципе работы граммафонного рычага. Острая ощу-

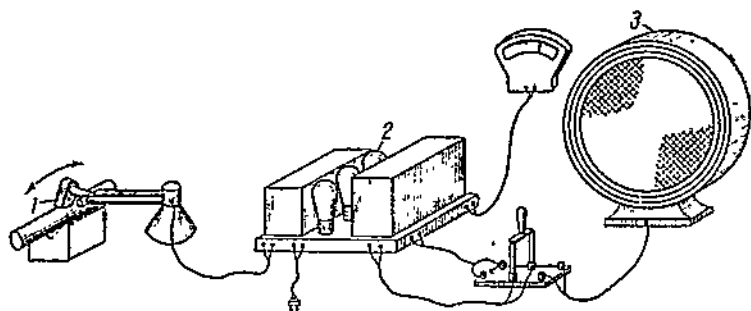


Фиг. 6. Схема конденсаторного метода, предложенного инж. Пертен.

¹ Микромом называют прибор с дисковым ножом для разрезания материалов на тончайшие пластинки.

пывающая игла движется по поверхности и благодаря наличию на поверхности шероховатостей колеблется. Эти колебания каким-либо способом фиксируются и с той или иной степенью точности отображают картину профиля поверхности, по которой перемещается ощупывающая игла.

Гаррисон предложил прибор, работа которого основана на принципе действия обычного электропатефона (фиг. 7). Прибор состоит из адаптера с ощупывающей иглой 1, усилителя 2 и репродуктора 3. Игла, двигаясь по поверхности изделия, вследствие ее шероховатостей получает определенные колебания, вызывающие электромагнитные токи, которые через трехламповый усилитель передаются в репродуктор. Поверхности с различной степенью

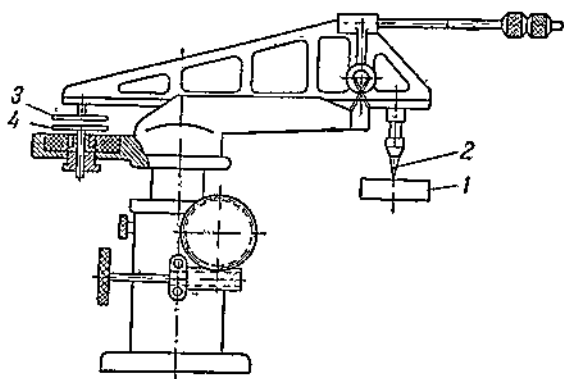


Фиг. 7. Схема прибора Гаррисона.

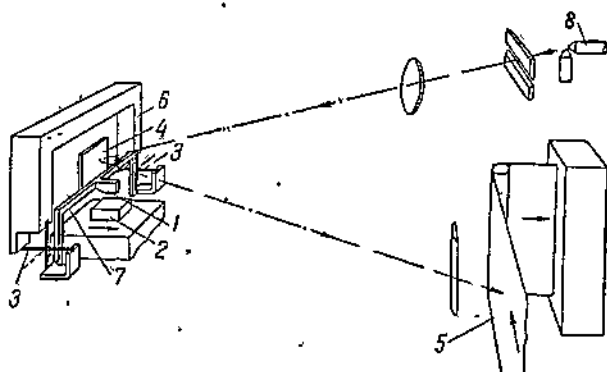
шероховатости дают различное звучание. Так, поверхности грубые дают звуки низкого тона, поверхности чистые — высокого тона. Применяя этот прибор, обычно пользуются эталонами чистоты поверхности.

Дополнительно к звуковой схеме можно включить в цепь вольтметр или осциллограф. Колебания стрелки вольтметра могут с той или иной степенью точности дать общее представление о состоянии поверхности. Осциллограмма также дает графически только общее представление о состоянии поверхности, но не может расшифровать форму и величину отдельных шероховатостей, так как тут кроме определенных механических ошибок при перемещении иглы электрическая часть также создает довольно крупные погрешности.

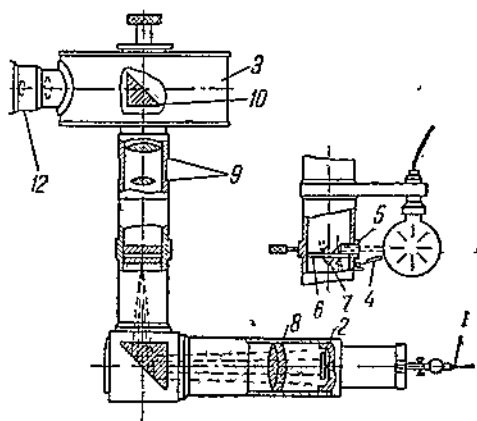
На принципе ощупывания поверхности иглой основан прибор Ленинградского индустриального института (фиг. 8). Колебания иглы 2, вызванные наличием шероховатостей на поверхности изделия 1, вызывают изменение расстояния между обкладками конденсатора 3 и 4, отчего изменяются его емкость и ток в электрическом контуре. В электрический контур через усилитель высокой частоты включают осциллограф, дающий представление о состоянии поверхности. Недостатки этого прибора примерно те же, что и у предыдущего.



Фиг. 8. Схема прибора Ленинградского индустриального института.



Фиг. 9. Схема профилометра Кизеветтера.



Фиг. 10. Схема профилометра Аммона.

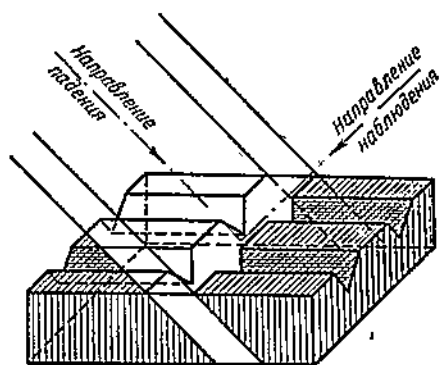
Широкое распространение получил способ ощупывания поверхности чувствительным рычажком с иглой и записи профиля поверхности оптическим путем. Построенные на этом принципе приборы носят название профилометров (или профилографов). Впервые этот способ был предложен Шмальцем, а затем был усовершенствован Кизеветтером. Аналогичные приборы были построены в Германии Вилликсом, в США — Абботом, в Англии — Шоу. На фиг. 9 показана схема профилометра Кизеветтера. Ощупывающая игла, закрепленная в держателе 1, скользит по поверхности испытуемого образца 2. Игла укреплена в поперечине 7, которая подвешена к стойке 6 при помощи двух весьма чувствительных крестовых пружинных шарниров 3. Наверху поперечины установлено зеркальце 4. Луч, идущий от источника света 8, отражаясь от зеркальца, падает на ленту светочувствительной бумаги 5. При движении изделия игла колеблется, вызывает качание поперечины с зеркальцем вокруг оси шарнира и таким образом отклоняет луч света. Чрезвычайно большое внимание в профилометре должно быть уделено работе шарнира, который должен быть так конструктивно оформлен, чтобы давление иглы на поверхность образца было ничтожным. В построенном Кизеветтером приборе с пружинным крестовым шарниром давление не превышает 0,5 г.

Недостатком профилометров, как и всех ощупывающих приборов, является искажение изображения профиля, так как неровности скрадываются вследствие закругления конца иглы. Радиус закругления обычно делают 0,03—0,04 мм.

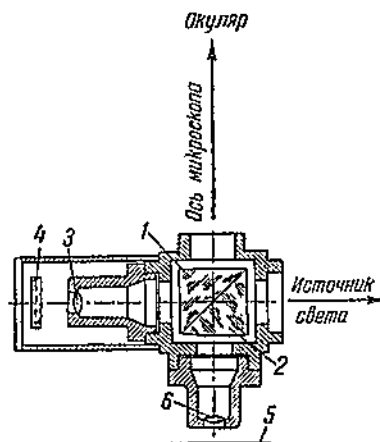
Чрезвычайно интересный по принципу действия и по конструкции профилометр, существенно отличающийся от всех приборов этого типа, спроектирован К. Л. Аммоном (фиг. 10). По обработанной поверхности движется прикрепленная к лапке игла 1, которая связана со шпинделем, расположенным в горизонтальной трубе профилометра, и может перемещаться в горизонтальном направлении. На левом конце шпинделя укреплено зеркальце 2. Сбоку вертикальной трубы профилометра расположен источник света, лучи от которого, проходя через щель в трубе и стеклянную пластинку 5, попадают в трехгранную стеклянную призму и, преломляясь, направляются вниз. Ниже стеклянной пластинки 5 расположена непрозрачная пластина 6 с одной прозрачной точкой и шкалой. На этой же пластинке установлена призма 7. Часть лучей, направленная призмой в призму 7, дважды в ней преломляется и освещает снизу шкалу, а часть лучей попадает на светящуюся точку пластины 6, пронизывает ее и направляется по вертикальной трубе вниз; преломившись в призме, лучи попадают в горизонтальную трубу и, пройдя через линзу 8, попадают на зеркальце 2. Отраженные от зеркальца лучи идут через ту же линзу назад, попадают в вертикальную трубу и сходятся в плоскости стеклянной пластинки, где дают изображение светящейся точки, которое располагается справа от шкалы в виде «зайчика». При колебании зеркальца по оси «зайчик» перемещается параллельно шкале. Лучи от «зайчика» и просвеченной шкалы направляются

вверх, проходят через объектив 9 и попадают на поворотную призму 10. В положении, изображенном на фиг. 10, призма направит лучи в окуляр 12, в котором можно видеть изображение шкалы и «зайчика». Повернув призму, можно направить лучи на киноплёнку, расположенную в фотокамере 3.

При движении (иглы или лезвия) по поверхности одновременно происходит согласованное движение киноплёнки в фотокамере, причем на движущейся плёнке будут прочерчиваться линии шкалы, а перемещающийся «зайчик» чертит профилограмму поверхности в определенном масштабе. Прибор весьма портативен и может быть установлен непосредственно на станке.



Фиг. 11. Схема микроинтерферометра Линника.

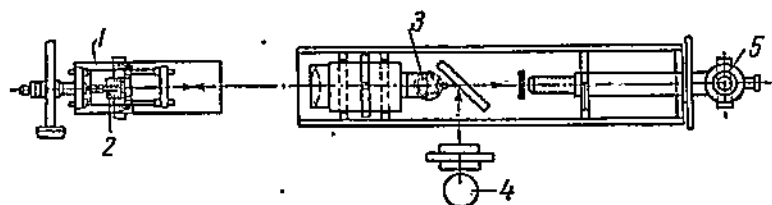


Фиг. 12. Микроинтерферометр Линника.

Проф. Линник предложил, а Шмальц разработал метод измерения качества поверхности сечением световой плоскостью. На поверхность образца от источника света через специальные шторы падает узенькая полоска света, которая как бы рассекает поверхность образца световой плоскостью (фиг. 11). Освещенный этой полоской профиль поверхности рассматривают в микроскоп, расположенный под некоторым углом к направлению света, причем освещенные контуры поверхности очень рельефно выделяются на темном фоне. К микроскопу можно пристроить фотокамеру, при помощи которой можно заснять профиль поверхности и, зная увеличение, выразить высоту шероховатостей в микронах. Шероховатость поверхности можно также выразить в абсолютных величинах без фотографирования при помощи микрометрического окуляра.

Для измерения шероховатостей у особо тонко обработанных поверхностей проф. Линник применил метод интерференции. Построенный им для этой цели прибор носит название микроинтерферометра (фиг. 12). Этот микроинтерферометр представляет собой небольшую насадку, ввинчиваемую вместо объектива в тубус мик-

роскопа. Внутри имеются две призмы 1 и 2, наклонные поверхности которых наполовину посеребрены и склеены. Сбоку расположены объектив 3 и зеркало 4, коэффициент отражения которого равен коэффициенту отражения исследуемой поверхности 5. Прибор должен быть отрегулирован так, чтобы при наведении микроскопа на поверхность 5 ее изображение в окуляре совпадало с изображением зеркала 4, даваемым объективом 3 и отраженным наклонной поверхностью призмы. Если объект 5 и зеркало 4 не точно совпадают, то появляются интерференционные полосы, проходящие через места объекта, равноотстоящие от зеркала 4. Если же изображение зеркала 4 составляет небольшой угол с поверхностью объекта, то форма интерференционных полос представляет собой профиль наблюдаемой поверхности.



Фиг. 13. Прибор Национальной физической лаборатории.

Так как тут масштабом измерений является длина световой волны, то, пользуясь этим способом, можно наблюдать отклонения менее 0,1 микрона, т. е. можно исследовать наиболее гладкие поверхности.

Недостатком этого метода является то, что поле зрения захватывает чрезвычайно малый участок поверхности и поэтому для исследования достаточного по длине участка поверхности необходимо большое количество измерений.

Национальной физической лабораторией в Англии построен прибор (фиг. 13), в котором использован принцип «ощупывания» поверхности, но работа этого прибора существенно отличается от работы профилографов. Здесь не происходит непрерывного воспроизведения профиля поверхности, а производится очень большое количество измерений в различных, но очень близко друг от друга отстоящих его точках, причем профиль строится по координатам. Этим путем при ощупывании поверхностей достаточно твердых металлов стремятся избежать неизбежного износа иглы или ощупывающего лезвия и разрушения поверхности при исследовании мягких металлов в случае непрерывного скольжения иглы по поверхности.

Основной частью прибора является каретка 1, показанная в увеличенном виде на фиг. 14. Каретка может скользить по двум направляющим стержням 1, которые прижаты к измеряемой поверхности детали 2. При измерении поверхностей деталей малого размера их закрепляют в специальной рамке. На стержнях 1 закреплена державка с микрометром. При вращении барабана микромет-

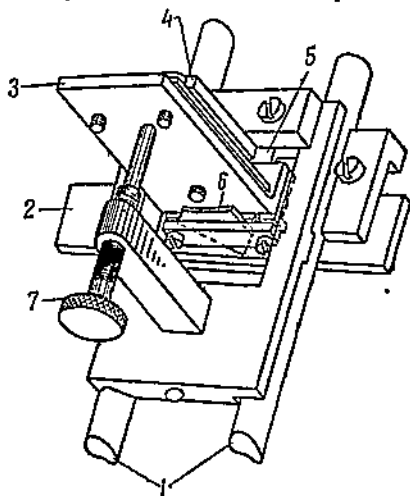
ра каретка передвигается вдоль стержней на определенную величину. На каретке помещен угольник 3 с зеркальцем 4 из нержавеющей стали, прикрепленным к каретке плоской стальной пружиной 5. К обратной стороне угольника прикреплен осязывающий нож 6. При перемещении каретки нож при помощи винта 7 (отжимая угольник) приподнимается, а затем при остановке опускается. Все неровности влияют на положение зеркала; для измерения его отклонений, т. е. шероховатостей поверхности, в приборе имеется оптическая система, которая состоит из микроскопа 2 (фиг. 13) и крестообразно расположенных нитей, находящихся в фокусе 3 системы.

Пучок лучей, отбрасываемый лампой 4, отражаясь от стеклянной пластины, расположенной под углом 45° к оси микроскопа, освещает крест нитей и падает через линзу 3 на зеркало; отражаясь от него, пучок лучей дает в плоскости креста нитей его изображение. Перед началом работы оптическую систему необходимо настроить, так чтобы крест нитей и его изображение совмещались. При поступательном перемещении каретки и опускании ножа на поверхность будут видны отклонения изображения скрещивающихся нитей от начального совмещенного положения, которые измеряют при помощи микрометра 5, помещенного в окуляре микроскопа. По полученным результатам измерений и по шагу перемещений ножа строят профиль поверхности.

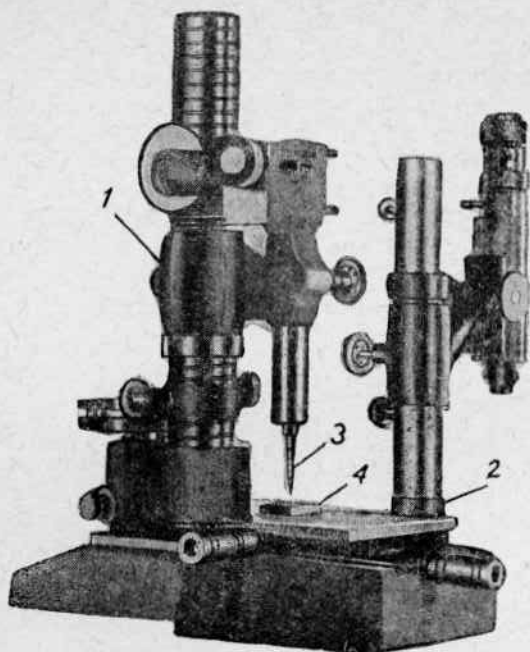
Этим способом нельзя абсолютно точно выявить характер профиля поверхности, но, выбрав ничтожно малый шаг перемещений каретки, можно получить вполне удовлетворительный результат для большинства встречающихся при исследовании случаев.

Недостатками прибора следует считать: сложность самого прибора, сложность обслуживания прибора и трудоемкость и кропотливость измерения.

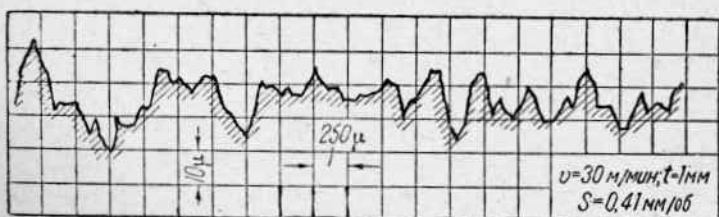
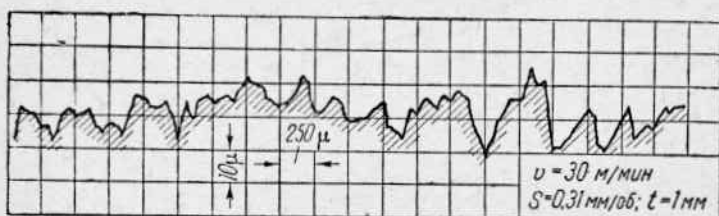
Принцип работы прибора Национальной физической лаборатории США был использован для проведения ряда исследований в области чистовой обточки чугуна. Для этого была сооружена очень простая установка, состоящая из комбинации обычного вертикального оптиметра и столика резьбового измерительного микроскопа (фиг. 15). На шаброванной плитке устанавливали оптиметр 1 и резьбовой микроскоп 2 с таким расчетом, чтобы вертикальная ось оптиметра располагалась над столиком микроскопа. На центральный стержень оптиметра надевали наконечник с заделанной в него иглой 3. Испытываемый образец 4 клали на столик микроскопа,



Фиг. 14. Каретка прибора Национальной физической лаборатории.



Фиг. 15. Установка из оптиметра и станины резьбового измерительного микроскопа.



Фиг. 16. Профилограммы поверхностей чугунных образцов.

после чего иглу подводят к его поверхности и фиксируют показание оптиметра. Затем при помощи рычажка, надеваемого на конец вертикальной трубы, стержень оптиметра с иглой приподнимают, и посредством микрометрического винта столик микроскопа с образцом 4 передвигают на определенную, очень незначительную величину (0,02—0,05 мм). После этого иглу опускают на поверхность и по шкале оптиметра производят второй отсчет. Эти операции повторяют много раз, пока не получают необходимое число размеров. Так как цена одного деления оптиметра равна 1 микрону, а на глаз легко можно отсчитывать половину деления, то точность отсчета составляет 0,5 микрона, что в большинстве случаев вполне достаточно.

На фиг. 16 показаны полученные на этой установке профилограммы поверхностей чугуновых образцов, обработанных при различных скоростях резания резцом с радиусом закругления лезвия $r=2$ мм.

Этот способ весьма прост, достаточно точен, не требует специальной сложной и дорогой аппаратуры и легко может быть применен в любой цеховой лаборатории как для установления заводских эталонов чистоты отделки, так и для иных целей. Недостатком его следует считать трудоемкость и кропотливость измерения.

Сравнивая суммарный метод с профильным следует считать, что наиболее правильно отражающим характерные особенности поверхности может быть только метод ошупывания поверхности, т. е. профильный метод.

Существующие приборы для определения качества обработанной поверхности не отвечают полностью требованиям производства (эксплуатация в заводских условиях) и обладают рядом недостатков. Кроме того, приборы для получения кривых крайне чувствительны к наружным вибрациям и их надо устанавливать в помещении с очень жестким полом.

Учтя все недостатки выпускаемых до сих пор приборов, инж. Вильямсон и Аббот сконструировали переносной профилометр.

Профилометр Аббота

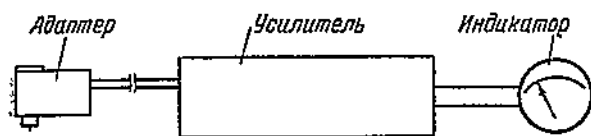
Этот электрический прибор служит для измерения шероховатости механически обработанной поверхности деталей. Принцип действия прибора основан на перемещении алмазной иглы перпендикулярно измеряемой поверхности. Колебания иглы при перемещении ее передаются индикатору, причем они усиливаются при помощи усилителя с электронными лампами.

Профилометр не требует подвода тока от внешнего источника; это облегчает применение его в любом месте. Особенность конструкции адаптера дает возможность измерять поверхность без повреждения ее. Движение иглы по поверхности непрерывно отражается на показании индикатора, что позволяет измерять поверхность деталей любых размеров и конфигураций. Показания индикатора выражены в стандартных единицах.

Точность показания профилометра составляет 5—10%, причем показания прибора являются типовыми на значительных участках поверхности.

Профилометр Аббота измеряет поверхности как черновой, так и чистовой обработки; изгибы измеряемой поверхности не влияют на точность показаний. Кроме того, профилометром Аббота можно производить быстрые измерения ста и более поверхностей в час. Стоимость прибора ниже стоимости других точных приборов, применяемых в настоящее время.

Профилометр в основном состоит из трех частей (фиг. 17): левой — измерительной части (адаптера), средней — усилителя, правой — индикатора. Адаптер состоит из алмазной иглы, жестко



Фиг. 17. Схема профилометра Аббота.

связанной с небольшой катушкой, которая помещена в магнитное поле.

Для непрерывного поддержания иглы у измеряемой поверхности имеется специальный ме-

ханизм; нажим на иглу осуществляется небольшими очень чувствительными пружинами, чтобы не поцарапать поверхность детали.

При перемещении иглы по измеряемой поверхности в катушке возникают очень незначительные электрические напряжения, равные нескольким миллионным долям вольта, соответствующие неровностям на поверхности. Эти напряжения посредством лампового усилителя усиливаются и регистрируются специальным индикатором, который автоматически отражает показания средних значений проходящего через него тока. Усилитель снабжен лампами с подогревным катодом для нечувствительности прибора к посторонним вибрациям. Для накала лампы служит специальная аккумуляторная батарея.

Профилометр смонтирован в небольшом ящике размером 178×254×546 мм и весит 23 кг.

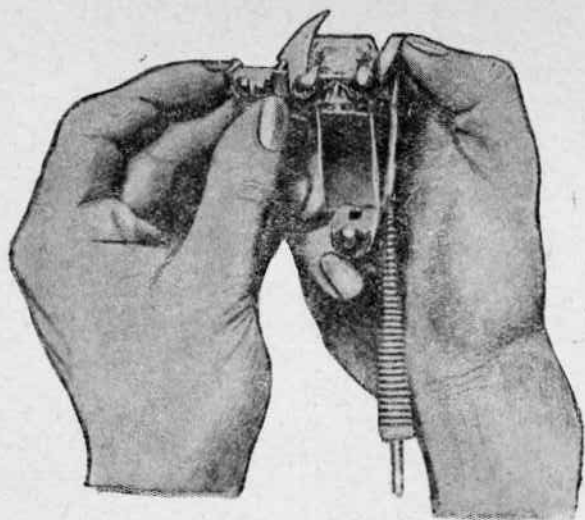
В левой части прибора имеется место для адаптера с длинным гибким проводником, соединяющим адаптер с усилителем. В правой части панели смонтирован индикатор, калиброванный в микродьюмах (среднее квадратичное значение переменного тока) и имеющий две шкалы. Селективная настройка шкал для получения диапазона от 0,5 до 1000 микродьюмов производится посредством рукоятки, помещенной в середине панели.

В левой части панели смонтирован небольшой прибор, служащий для калибровки усилителя и показывающий состояние батарей при зарядке и проверке.

Усилитель калибруют перед началом пользования профилометром от сети переменного тока при помощи небольшой ручки. После этого прибор отключают от линии переменного тока. Калиб-

руют адаптер в лаборатории при помощи специального прибора, сообщающего игле колебательные движения специальным электрическим вибратором. Движения иглы наблюдают на микрометрической линейке под микроскопом, причем показания берут непосредственно в дюймах (среднеквадратичное значение переменного тока). В это время усилитель профилометра настраивают на соответствующую степень усиления, показания которого наносятся на адаптер.

Адаптер (фиг. 18) соединен с профилометром гибким проводником, который при измерениях держат в руке и перемещают по



Фиг. 18. Адаптер.

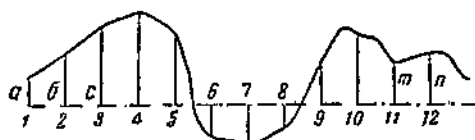
измеряемой поверхности с равномерной скоростью 0,1—2 дюйма в секунду. Полученные показания не зависят от скорости перемещения.

Для определения степени однородности обработанной поверхности измерения можно производить несколько раз на различных участках. Показания берут в то время, когда игла находится в постоянном движении; начальные и конечные скачки на индикаторе в расчет не принимаются.

Измеряемая поверхность на детали должна быть чиста; загрязнения сразу заметны по скачкам индикатора. Царапины на измеряемой поверхности также вызывают скачок стрелки индикатора, причем величина скачка стрелки не равняется глубине царапин, так как профилометр рассчитан на средние показания, а не для измерения отдельных царапин и углублений.

В случае необходимости изучения случайных повреждений можно устанавливать на приборе более чувствительный специальный индикатор.

Показания индикатора равняются также средним квадратичным величинам высот неровностей, включая большие и маленькие неровности, и на обычных поверхностях это число составляет примерно 0,25—0,33 от наибольшей высоты неровности.

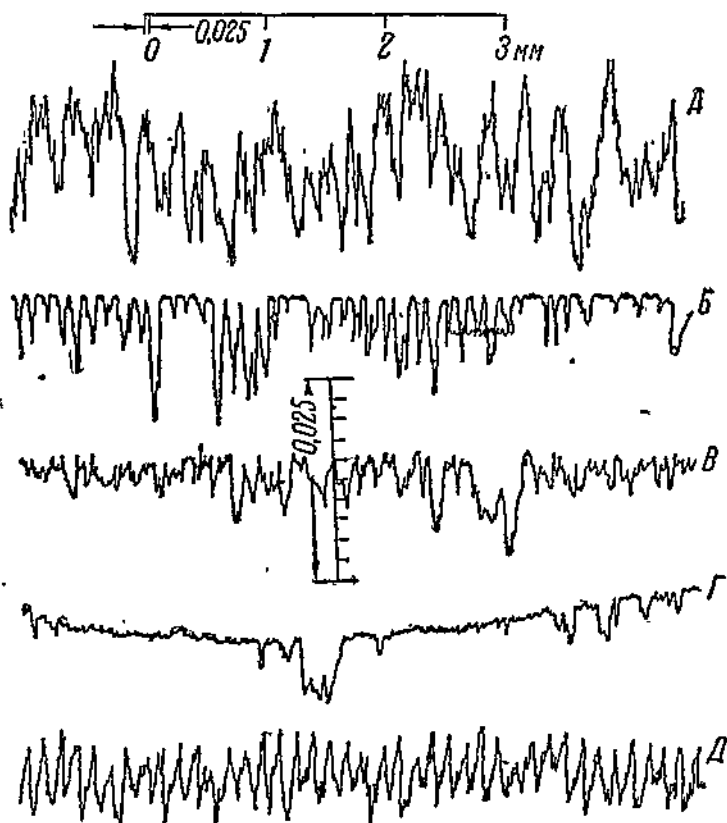


Фиг. 19. Графическое изображение среднеквадратичной величины высот неровностей.

Средняя квадратичная величина высот неровностей (фиг. 19) определяется по следующей формуле:

$$RMS = \sqrt{\frac{a^2 + б^2 + в^2 + \dots + м^2 + н^2}{Z}}$$

Игла адаптера состоит из алмаза, с концом, имеющим радиус 0,0005 дюйма; алмаз вставлен в дураломиновую державку с не-



Фиг. 20. Профилограммы типичных поверхностей.

большим стержнем, который закреплен в алюминиевой трубке механизма адаптера.

Адаптер имеет три опорные сферические точки в виде шариков диаметром $\frac{1}{2}$ дюйма. В верхней части адаптера имеется регулировочный винт для опускания и поднятия иглы к измеряемой поверхности; этим винтом регулируют адаптер в зависимости от шероховатости поверхности.

Профилометром Аббота можно измерять и внутренние поверхности деталей диаметром от 63 мм. Для измерения поверхностей у деталей меньших размеров (внутренним диаметром от 6,3 мм и наружных диаметром 3,2 мм) адаптер снабжают специальными приспособлениями.

Необходимо отметить, что при перемещении иглы по измеряемой поверхности различных металлов следов от алмазного острия на поверхности не остается, но на мягких металлах (свинец и цинк) остаются следы от опорных направляющих шариков адаптера.

На фиг. 20 приведен ряд профилограмм, полученных при исследованиях профилометром Аббота поверхностей, подвергнутых различным видам обработки, и показаны профилограммы типичных поверхностей. Увеличение: по вертикали 2000, по горизонтали 30.

Профилограмма А относится к обточенной чугунной поверхности, профилограмма Б — к той же поверхности, но подвергнутой частичному хонингованию, профилограмма В — к поверхности, обработанной разверткой, профилограмма Г — к поверхности изогнутого цилиндра автомобильного двигателя и профилограмма Д — к поверхности, обработанной алмазным резцом.

ЛИТЕРАТУРА

Сборник сокращенных докладов конференций Академии наук по резанию металлов за 1937 г.

„Вестник металлопромышленности“ № 3, 10, 11, 1939.

„Метрология и поверочное дело“ № 6, 1939.

Шмальц, Точная обработка и точное измерение.

„Машинери“ № 1227, 1936.

„Американская техника и промышленность“ № 2, 1939.

„Заводская лаборатория“ № 2, 1936.

„Подшипник“ № 12, 1936.

УКАЗАТЕЛЬ

- Аббота профилметр 265
 Абразивные бруски, см. Бруски
 Абразивы
 для лезинг-процесса 82 и сл.
 для притирания шестерен 99
 для суперфиниша 114, 120, 121
 для хонинг-процесса 31, 32
 зернистость 31, 32, 114, 115
 износ при суперфинише 120, 121
 Алмазная обработка 148
 в авиационном моторостроении 181
 вкладышей подшипников коленчатого вала 188
 глубина резания 149
 инструмент 150, 168
 на токарном станке 167
 поршней авиамоторов 181 и сл.
 припуска 151
 приспособления 159
 производительность 150, 151, 189
 режимы 150, 151, 189, 190
 станки 152
 технология 149
 установка инструмента 150
 шатунов авиамоторов 184 и сл.
 Алмазная пыль 83, 84, 175
 Алмазные резцы 169
 восстановление и перетачивание 179
 геометрия 170, 173
 изготовление 174
 классификация 170
 конструирование 169
 установка 160, 161, 163, 166
 эксплуатация 181
 Алмазы 148
 огранка 175, 176
 размеры 169
 разновидности 168
 свойства 168
 станки для обработки их 177
 Алундовые бруски 32
 Аммон профилметр 259, 260
 Антискоррозийная стойкость поверхности 8
 Баллас 168
 Биение делительной окружности 202
 Блок автомобильный, хонингование 53
 Бора карбид 83, 84
 Борте 168
 Борштанги 160 и сл.
 Бочкообразность отверстий, исправление хонингованием 16
 Бруски абразивные 31
 алундовые 32
 для суперфиниша 114
 для хонингования 31
 правка 33
 раздвигание конусами 22, 23
 Вали коленчатые
 притирание 86
 суперфиниширование 121
 Вкладыши подшипников коленчатого вала, алмазная обработка 188
 Впадины 5, 6
 Гаррисона прибор для определения качества поверхности 258
 Герца формула 104
 Гильзы цилиндров авиамотора, хонингование 55, 57, 58
 ГОИ паста 84, 85, 100
 Головки
 клапана, суперфиниширование 132
 толкателя, суперфиниширование 132
 Головки резцовые типа Краузе 160
 Гребенки для прорезания канавок шевера 244
 Гребенки 5, 6
 Давление
 при лезинговании 67
 при притирании шестерен 104
 при суперфинишировании 116, 140, 142
 при шевинговании 197
 Деталедержатели
 для поршневых колец 70
 для поршневых пальцев 70
 для притирания пробок-вставок 81
 для притирания торцов клапанов насосов 71

Жидкости охлаждающие, см. Охлаждающие жидкости
Зернистость абразива 31, 32, 114, 115

Зуб бочкообразный 251, 252

Зубья шевера

анализ их работы 198

выкрашивание 213

глубина канавки 229

приспособление для шлифования

профиля 248

профиль 230

схема построения боковой по-

верхности 245

толщина 228

число их 228

шлифование профиля 248

Износ

абразивов при суперфинише 120,

121

поверхностей 6, 7, 10, 118

шевера 213

Индикаторные упоры для растачива-

ния 164, 165

Инструменты

для алмазной обработки 150, 168

для лепингования 82, 102, 103

для суперфиниша 121, 130

для хонингования 12, 13, 21

для шевингования 193, см. также Шеверы.

Исправляемость 202 и сл.

Калибры, суперфиниширование 137

Канавки, режущие шевера 193, 229, 244

гребенка для прорезания их 244

приспособления для прорезания их 246, 247

прорезание их 244 и сл.

расположение 213

схема образования 247

Карат 169

Карбид бора 83, 84

Карбонат 168

Карборунд 31, 99

Катететера прибор для определе-

ния качества поверхности 259, 260

Компачок-визир для установки рез-

ца 161

Кольцо-калибр для установки рез-

цов 161

Конденсаторный метод определения

качества поверхности 257

Конусность отверстия, исправление

хонингованием 16

Конусы, передвигающиеся для раз-

движения брусков 22, 23

Коррозия, действие на шероховатой

поверхности 8

Корунд 31, 99

Коэффициент $\Delta 9$

Кулачки распределительного вала, суперфиниширование 124

Лепинг-процесс 64

абразивы для него 84

давление 67

применение 65

припуски 67, 86

скорость окружная 67, 85

станки для него 67

технические показатели качества поверхности 67

Лепингование 85, подр. см. Прити-

рание

Линейка микронинтерферометр 261

Ловители 150

Маховик, суперфиниширование 132

Машинное время

при суперфинише 115

при хонинг-процессе 21

при шевинг-процессе 211

Микродюйм 6

Микронинтерферометр Линника 261

Микроскоп сравнения 254

Микротом 257

Национальной физической лаборато-

рии прибор для определения качест-

ва поверхности 262

Обоймы роликовых подшипников

суперфиниширование 113, 140

хонингование 52

Овальность, исправление хонингова-

нием 16

Огранка алмазов 175

Оправка для правки абразивных бру-

сков 33

Отверстия цилиндрические, суперфи-

ниширование 135

Охлаждающие жидкости

для алмазной обработки 151

для суперфиниширования 113, 142

для хонингования 19 и сл.

для шевингования 214

Пальцы поршневые

притирание 85

суперфиниширование 127

Пальцы поршневых шатунов, хонин-

гование 60

Пасты притирочные 99 и сл.

ГОИ 84, 85, 100

Патрон «Квиклок» для самоустанов-

ки хона 27

Пертена метод определения качества

поверхности 257

Поверхностная чувствительность ма-

териала 9

Поверхность

антикоррозийная стойкость 9
влияние ее качества на сопряжение деталей 9
износоустойчивость 6
качество 5
контроль качества 253
обработанная суперфинишем, качество 118
Плоская, суперфиниширование 134
подготовка перед суперфиниш-
рованием 114
подготовка перед хонингованием 13
прочность 9

Поверхность, определение качества 253

интерферометром Линника 261
конденсаторным методом 257
методом Пертена 257
методом Рейхеля 255
методом Файрстона 254
прибором Гаррисона 258
прибором Кизеветтера 259, 260
прибором Котакухакуси 255
прибором Ленинградского инду-
стриального института 258, 259
прибором Национальной физиче-
ской лаборатории 262
профилометром Аббота 265
профилометром Алмоны 259, 260
профильными методами 256
суммарными методами 253

Порошок «Соловьи», состав 101

Поршни авиамотора

алмазная обработка 153, 181 и сл.
суперфиниширование 126

Припуск

при алмазной обработке 151
при ленинговании 67, 86
при суперфинишировании 114
при хонинговании 17, 18
при шевинговании 207

Прирабатывание шестерен 107

Приспособления

для алмазной обработки 159
для поддержания и направления
хона 42, 43
для притирания червячных пар 108, 109
для прорезания канавок шевера 246, 247
для суперфиниширования обойм
подшипников 139, 140
для суперфиниширования, сист.
ИГПЗ 139
для суперфиниширования, сист.
ЗИС 143
для суперфиниширования, сист.
ЦИАМ 143
для суперфиниширования, сист.

ЭНИМС 143

для суперфиниширования цилин-
дрических деталей 137
для установки и закрепления ша-
туна 59 и сл.
для установки резца 163, 164
для хонингования отверстий в че-
тырех шатунах 51
для хонингования пальцев при-
цепных шатунов 61
для шлифования профиля зуба
шевера 248
«ультра-жип» 139

Притирание 64, см. также Ленинг- процесс

коленчатых валов 86
методы 103
на специальных станках 85
на шаржирующимся абразивом 82
подготовка поверхности 66, 67
поршневых пальцев 85
пробок-вставок 79 и сл.
свободно шаржирующимся abra-
зивом 82
сущность процесса 87
толкателей 85
цилиндрических деталей 85
червячных пар 108
шаржированным притиром 83
шеек коленчатого вала 72
Притирание шестерен
давления 104
на станках завода «Комсомолец»
106
на станках «Мичиган» 106
на станках Фриц Вернер 105
пасты и жидкости 99
режимы 103, 104

Притирочные жидкости 99, 100
Притирочные пасты 99 и сл., подр.
см. Пасты притирочные
Притирочные составы 66, 82, 99
Притирочные станки 67, подр. см.
Станки притирочные
Притирочные шестерни 87, 88, 102
Притиры 64 и сл., 82, 102, 103
из мягких металлов 84
форма их 82
чугунные 84, 103

Пробки-вставки, притирание 79 и сл.

Профилометры

Аббота 265
Алмоны 259, 260
Профильные методы определения
качества поверхности 256
Прочность поверхности 9
Пыль алмазная 83, 84, 175

Режимы обработки

при алмазной обработке 150, 151,
189, 190
при ленинг-процессе 67

при суперфинише 117, 143
 при хонинг-процессе 17
 при шевинг-процессе 208 и сл., 212

Резцовые головки типа Краузе 160

Резцы
 алмазные 169, подр. см. Алмазные резцы
 с пластинами твердого сплава 181

Рейхеля метод определения качества поверхности 265

Сетка
 при лезинговании 72
 при хонинговании 13

Скорость окружная
 при лезинг-процессе 67, 85
 при суперфинише 117, 143
 при хонинг-процессе 17, 20
 при шевинг-процессе 208, 209

Скорость резания
 при алмазной обработке 150, 159, 190
 при обработке твердыми сплавами 151
 при суперфинише 116
 при хонинг-процессе 18
 при шевинг-процессе 208

Смазочно-охлаждающие жидкости, см. Охлаждающие жидкости

«Соловьи», состав 401

Сопряжение деталей 9

Сплавы твердые 148, 151, 168, 181

Стали подшипниковые, режимы суперфиниширования 143

Станки для алмазной обработки 152
 • наладка 166
 работа на них 164

Станки для затачивания алмазов 177

Станки для лезинг-процесса 67, подр. см. Станки притирочные

Станки для суперфиниширования
 головок толкателей 132
 клапанов толкателей 127
 кулачков распределительного вала 124
 плоских поверхностей 134
 • плоскости сцепления маховика 132
 поршневых пальцев 127
 поршней 126
 тормозных барабанов 129
 тормозных колодок 129
 цилиндрических деталей 137
 цилиндрических отверстий 135
 шеек коленчатого вала 121

Станки для хонингования 33
 Барнес Дрилли 43
 для обработки малых диаметров 49, 50

завода им. Ленина 34 и сл.
 иностранных фирм 43
 Юнкерс 48

Станки для шевингования 214
 для шестерен с внутренним зацеплением 217
 Мичиган. 214
 наладка 223
 Нейшенел Броуч Компани 219
 Феллоу 214
 Станки притирочные 67
 Бирнацкого 91, 92
 БСА 69
 Глассон 94
 для доводки пробок-вставок 79 и сл.
 для шеек коленчатых валов 72
 для шестерен 88 и сл., 105 и сл.
 завода «Комсомолец» 77, 106
 Исколай 91
 Клингельберг 93
 Мичиган 97, 106
 Нейшенел Броуч Компани 95
 Нортон 72
 Феллоу 89
 Фрид Вернер 91, 105, 107
 Хутто 94

Стержни клапанов толкателей, суперфиниширование 127

Суммарные методы определения качества поверхности 253

Суперфиниш 111
 влияние давления 140, 142
 влияние продолжительности 140, 141
 влияние числа двойных ходов 140, 141
 давление при обработке 116, 140, 142
 износ абразивов 120, 121
 качество обработанной поверхности 118, 140 и сл.
 охлаждающие жидкости 113
 применение в СССР 139
 приспособления 137, 139, 140, 143, подр. см. Приспособления
 приспособки на обработку 114
 продолжительность обработки 115
 режимы обработки 117
 скорость окружная 117, 143
 скорость резания 116
 схемы обработки 140
 технико-экономические показатели 118
 улучшение условий смазки 119
 уменьшение износа трущихся поверхностей 118

Суперфиниширование
 • внутренних конических поверхностей 140
 внутренних цилиндрических поверхностей 140

- головок клапана 132
- головок толкателя 132
- коленчатых валов 121
- кулачков распределительного вала 124
- наружных цилиндрических поверхностей 140
- плоских поверхностей 134
- плоскости сцепления маховика 132
- поверхностей калибров 137
- подшипниковых стале 143
- поршневых пальцев 127
- поршней авиадвигателя 126
- стержней клапанов толкателей 127
- тормозных барабанов 129
- тормозных колодок 129
- цилиндрических деталей 137, 140
- цилиндрических отверстий 135
- цилиндрических поверхностей 140
- шеев коленчатых валов 121
- Твердые сплавы 148, 151, 168, 181
- режимы обработки 151
- Токарный станок, приспособление для алмазного растачивания 167
- Толкатели, притирание 85
- Тормозные барабаны, суперфиниширование 129
- Тормозные колодки, суперфиниширование 129
- Точение, основные технические показатели 14, 15
- Турбулентное движение смазки 7
- Ультразвук 139
- Файрстопа метод определения качества поверхности 254
- Фильтры для очистки масла при хонинговании 40, 41
- Формула Герца 104
- Хонинг-процесс 12
- инструмент 21
- машинное время 21
- описание процесса 15
- основные технические показатели 14, 15
- практика на заводах СССР 57
- преимущества 14
- применение 50
- притирки 17, 18
- режимы 17
- скорость окружная 17, 20
- скорость резания 18
- Хонинг-станки 33, подр. см. Станки для хонингования
- Хонингование
- блоков автомобильных цилиндров 52, 53
- гильз цилиндров авиадвигателей 55, 57, 58
- деталей с отверстиями разных размеров 50, 52, 55
- обойм роликовых подшипников 51, 52
- отверстий для пальцев прицепных шатунов 60
- отверстий для шейки коленчатого вала 59
- цилиндров авиадвигателей 54, 55, 57
- цилиндров автомобильных двигателей 59
- цилиндров шасси самолета 55, 56
- шатунов авиадвигателей 51
- шатунов автомобильных двигателей 51
- Хоны
- автоматические 25, 27
- голова их 22
- «Микроматик» 24 и сл.
- патрон их 21, 22
- приспособление для хонингования шатунов 51
- приспособление для поддержания и направления хона 42, 43
- простейшей конструкции 12
- самоустанавливающиеся 12, 13
- скорость окружная 17
- скорость резания 18
- ступенчатые 27
- требования к конструкции их 22
- Хелл 31
- Хутто 28
- Цилиндрические детали
- притирание 85
- суперфиниширование 137
- Цилиндрические отверстия, суперфиниширование 135
- Цилиндрические поверхности, суперфиниширование 140
- Цилиндры
- авиадвигателей, хонингование 54, 55, 57
- автомобильных двигателей, хонингование 59
- шасси самолета, хонингование 55, 56
- Червячные пары, притирание 108
- Чистовая обработка поверхностей, методы 10
- Чугунные притиры 84, 103
- Шабрение 193
- Шарокование 66, 82, 83
- Шатуны
- алмазная обработка 152, 184 и сл.
- хонингование 51
- Шевер-шестерня 193, 227
- Шеверы 193

давление 197
зацепление с шестерней 195
зубья их 198, 213, 228 и сл.,
245, 248, подр. см. Зубья шес-
тера
изготовление 244
износ 218
класс 243
конструктивные размеры 229
крепление 222, 223
маркирование 244
расчет 227, 233 и сл.
режущие канавки их 193, 213,
229, 244, подр. см. Канавки
стоимость 213
техника внешнего осмотра 243
технические условия 242
Шеверы круглые 226
изготовление 249
преимущества 226
Шевинг-процесс 192

давление 197
припуски 207
режимы 208 и сл., 212
скорость резания 208
точность 201
Шевинг-станки 214, подр. см. Стан-
ки для шевингования
Шейки коленчатых валов
притирание 72
суперфиниширование 121
хонингование 59
Шестерни
исправляемость их 202 и сл.
прирабатывание их 107
притирочные 87, 88, 102
с бочкообразным зубом 250
способы притирания 88
стоимость обработки зубьев 200
технология обработки зубьев 199
Шлифование, основные технические
показатели 14, 15

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	3
I. Качество поверхности	5
Износостойчивость	6
Антикоррозионная стойкость	8
Прочность	9
Влияние качества поверхности на сопряжение деталей	9
Современные методы чистовой обработки поверхностей	10
II. Хонинг-процесс	12
Развитие и сущность хонинг-процесса	12
Режимы при хонинг-процессе	17
Машинное время	21
Инструмент	21
Хонинг-станки	33
Применение хонинг-процесса	50
Практика хонингования на отечественных заводах	57
<i>Литература</i>	63
III. Лепинг-процесс	64
Развитие и сущность лепинг-процесса	64
Станки для лепинг-процесса	67
Притиры и притирочные средства	82
Лепингование на специальных станках	85
Притирание шестерен	87
Методы притирания	103
Притирание червячных пар	108
<i>Литература</i>	109
IV. Суперфиниш	111
Сущность процесса и его развитие	111
Охлаждающие (смазывающие) жидкости	113
Припуски на обработку	114
Абразивы	114
Продолжительность обработки	115
Давление при обработке	116
Скорость резания	116
Технико-экономические показатели суперфинишной обработки	118
Методы обработки, оборудование, приспособления и инструмент	121
Применение суперфиниша в СССР	139
<i>Литература</i>	145

V. Алмазная обработка	148
Развитие и сущность алмазной обработки	148
Технология алмазной обработки	149
Станки для алмазной обработки	152
Приспособления для алмазной обработки	159
Работа на станках для алмазной обработки	164
Алмазная обработка на обычном токарном станке	167
Инструмент для алмазной обработки	168
Конструирование алмазных резцов	169
Влияние геометрии алмазного резца	173
Изготовление алмазных резцов	174
Станки для затачивания алмазов	177
Восстановление и перетачивание алмазных резцов	179
Эксплуатация алмазных резцов	181
Резцы с пластинками твердого сплава	181
Применение алмазной обработки в авиационном моторостроении	181
<i>Литература</i>	191
 VI. Шевинг-процесс	 192
Развитие шевинг-процесса	192
Сущность шевинг-процесса	193
Место, занимаемое шевинг-процессом в технологии шестерен	199
Точность шевинг-процесса	201
Исправляемость по шагу	201
Исправляемость биения делительной окружности	202
Режимы при шевинг-процессе	208
Стойкость шевиров	213
Шевинг-станки	214
Конструирование и расчет круглых шевиров	226
Изготовление шевиров	244
Получение бочкообразного зуба	250
<i>Литература</i>	252
 VII. Контроль качества поверхности	 253
Общие понятия	253
Методы суммарного (относительного) определения качества поверхности	253
Профильные методы	256
Профилометр Аббота	265
<i>Литература</i>	269
Указатель	271



Редактор *Дзевульский В. М.*

Подписано к печати 26/V 1941 г. Тир. 3500.

Количество печ. листов 17,5.

Количество уч.-авт. листов 19,40.

Количество знаков в печ. листе 48144.

А38276. Цена 10 руб. Заказ 22.

Московская типография Оборонгиза.

Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
131	13 снизу	от попадания положены	от попадания пыли, абразивы расположены	авт.
235 и 236	Столбец 2-й, графа 2-я	начальной окружности	делительной окружности	авт.
243	7 сверху	от теоретической эвольвенты	от теоретического	авт.

Оргавиапром, Чистовая обработка поверхности