621.94
С 58

С. Ф. ГЛЕБОВ

Преп. Московского Высшего Технического Училища.

№ 719

Как выгоднее вести работу на токарных станках

Искусство наивыгоднейшего резания металлов.

С приложением шести графиков (номограмм) для наивыгоднейшей работы станка

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГОЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

10338
040550

ИЗДАНИЕ АВТОРСКОЕ
МОСКВА
1924

Токарные станки

С. Ф. ГЛЕБОВ

Преп. Московского Высшего Технического Училища

621.94
Г-53

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГОЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

Пров.

А-719

Как выгоднее вести работу на токарных станках

Искусство наивыгоднейшего резания металлов.

С приложением шести графиков (номограмм) для наивыгоднейшей работы станка

Пособие для техников, инженеров, мастеров, токарей, технико-нормировочных бюро, профессиональных, технических и ремесленных школ и курсов, а также при научной организации механических мастерских

616586

ИЗДАНИЕ АВТОРСКОЕ
МОСКВА
1924

Резание металлов-669

Главлит № 16122. Москва. Тираж 3000 экз.

Типогр. «9-е Января», Яузский мост, Серебряническая набер., д. 23а.

КОМИТЕТ ХЕМИЗАЦИИ
НИКЕ ЗБІРНА
Народнього Господарства при РНК УСРР
№ 719

Содержание.

	Стр.
Предисловие	5
I. Понятие о наивыгоднейшем резании	7
II. Свойства обрабатываемого материала	9
III. Образование стружки и ее форма	12
1. Подача	—
2. Форма и сечение стружки	16
3. Образование стружки	18
IV. Качество резца и его изнашивание	22
1. Сорта и состав резцовой стали	—
2. Изнашивание и разрушение резцов	28
3. Теплота резания и температура резца	29
V. Скорость резания и условия, от которых она зависит	32
1. Определение скорости резания	—
2. Влияние скорости резания на резец	34
3. Влияние сечения стружки на резец	36
4. Выбор между скоростью и сечением стружки	37
5. Влияние толщины и ширины стружки в отдельности	39
6. Влияние рода и твердости обрабатываемого материала	41
7. Охлаждение резца водой	44
8. Влияние резца, его качества и формы	47
9. Дрожание резца	49
10. Определение наивыгоднейшей скорости резания	51
VI. Давление на резец и сила станка	53
1. Давление на резец	—
2. Прочность механизма подачи	57
3. Момент давления на резец	59
4. Графики для определения момента давления	61
5. Определение предельных моментов станка	63
VII. Выбор наивыгоднейших условий работы	66
1. Обследование станка	—
2. Подсчет времени обработки	67
3. Выбор станка для работы	69
4. Специальный график наивыгоднейшего числа оборотов	72
5. Выбор наивыгоднейших условий работы при данном станке	76
6. Соотношение между скоростями и силой станка	80
7. Применение специальных счетных линеек	84
VIII. Условия наивыгоднейшей работы токарных станков	86
1. Выбор работы для станка	—
2. Приспособление станка для выполнения массовых или однородных работ	87
3. Высота центров и наибольший экономический диаметр течения	—
4. Выбор скоростей контр-привода	92
5. Распределение работы между шкивами и разными комбинациями скоростей станка	94

ГРАФИКИ:

I—скорости резания при обработке стали
II—момент давления на резец, требующийся при работе
III—предельный допускаемый станком момент
IV—время прохода 100 м./м. длины одной стружкой
V—универсальный график скоростей резания, числа оборотов и времени обработки

ТАБЛИЦЫ:

	Стр.
1. Твердость металла по химическому составу и механическим свойствам	12
2. Химический состав резцов разных марок	28
3. Зависимость между скоростью и сечением стружки	38
4. Теплопроводность разных материалов	44
5. Линейные скорости резания при обработке стали	51
6. Зависимость между давлением на резец и твердостью материала	54
7. Коэффициенты резания	56
8. Сечения стружки, допускаемые для разных станков	58
9. Форма таблички для характеристики станка (паспорт станка)	69
10. Тоже с графиком	71
11. Примерные числа оборотов станка	76
12. Примерный свод наивыгоднейших условий работы	77
13. Примерные экономичные диаметры станка	89
14. Показывает отсутствие зависимости между экономичным диаметром обработки, средним сечением стружки и высотой центров	90

РИСУНКИ и ЧЕРТЕЖИ.

1. Перевод подачи в м/м. на число ниток в дюйме и обратно (см. приложения)	
2. Пример передачи сменных шестерен	14
3. Сечение стружки	16
4—6. Изменение сечения стружки с изменением ее отдельных элементов	—
7. Стружка при крутом и отлогом лезвии	17
8. Стружка при прямолинейном, наклонном и криволинейном лезвии.	—
9. Образование стружки и перемещение в ней частиц металла при очень медленной (близкой к нулю) скорости резания (по проф. Никольсону)	19
9а. Тоже при нормальной скорости резания	20
10. Усадка стружки	21
11. Схема закалки быстрорежущих резцов	23
12. Схема отпуска „ „	26
13. Элементы резца	46
14. Угол резания при наклоне лезвия	47
15. Элементы шестерни	57
16. Схема передач в станке	80
17. Счетная линейка (упрощенная) для наивыгоднейшего резания металов	83
18. Фотография стружки	91

№ 719

ПРЕДИСЛОВИЕ.

До сих пор в области профессионально-технического образования, как в высшей, так и в низших школах, центром тяжести преподавания механической технологии металлов были почти исключительно *приемы обработки.* Целью обучения было, главным образом, научить, как сделать данный предмет, чтобы он удовлетворял техническим требованиям в смысле точности размеров, чистоты отделки, уменьшения брака и т. п. О том, как сделать этот предмет *в наименьшее время*—об этом давались самые смутные представления.

Несмотря на то, что в теории резания металлов наука достигла больших успехов, на практике, к сожалению, пока еще целиком господствует глазомер и усмотрение мастера и рабочего, не имеющих абсолютно никакой теоретической подготовки. Наука еще не дошла до заводской практики и неизвестна ей. Настоящая работа имеет целью по возможности заполнить этот пробел и содействовать внедрению науки в обиход рабочего и мастера металлиста..

Имея в виду читателя самых различных слоев, от начинающего токаря, едва знающего четыре правила арифметики, до ученого мастера, прошедшего специальный и общий курс образования в размере средней технической школы, *автор разделил весь текст на две части.* Крупным шрифтом напечатана вторая, мелким первая. Текст разработан так, что при чтении мелкий шрифт может быть опущен без ущерба связности изложения. Некоторые места текста (напр. подсчет количества образующейся при резании теплоты и температуры стружки) мы ввели не без колебаний. Но, отметив такие трудные места мелким шрифтом, как не имеющие общей связи с остальным текстом и предназначенные только для более глубокого знакомства желающих с резанием, мы предоставляем усмотрению читателя выбирать в мелком тексте то, что доступно его пониманию и подготовке, и интересует его.

В частности, что касается температуры стружки и теплоты резания, то эти вопросы весьма слабо разработаны в специальной литературе и мы сочли поэтому полезным дать интересующимся соответствующий материал, тем более, что по нашему мнению тепловые процессы являются главным фактором стойкости резца и в понимании их лежит ключ к пониманию всех законов стойкости резца.

Отсутствие популярных книг на русском языке по вопросу о наивыгоднейшем резании металлов дает основание автору полагать, что настоящая работа может оказаться пригодной в различных направлениях — начиная от самообразования и кончая применением ее при научной организации труда в механических мастерских. По этим соображениям автор не приспособил изложение и расположение материала для какой-либо одной задачи, напр. для прохождения курса в профессиональных школах и т. п. Поэтому его работа получила характер не руководства, *а пособия*, которым преподаватель, лектор или практик—смотря по тому, кто из них будет иметь дело с книгой,—воспользуется по своему усмотрению.

В разных местах книги автор изложил результаты своих собственных наблюдений и работ, а также выводы и материалы, которые можно встретить только в иностранной литературе. Соответствующие страницы книги могут оказаться небезынтересными и для инженера, несмотря на популярность изложения текста.

Одной из побочных целей этой работы является между прочим ознакомление широких кругов практиков с применением в живой работе графических способов вычислений. Еще Тейлор указал по собственному опыту, что без графических методов, в особенности без счетных линеек, применение открытых им формул и законов практически невыполнимо. Графики экономят наше время, а в значительной степени без них вообще работа оказывается просто невозможной, между тем, обучиться пользованию графиками весьма нетрудно, нетрудно и приобрести достаточный навык в обращении с ними.

Могут возразить, что график недоступен пониманию широких масс читателей. Мы полагаем—как раз наоборот: график несравненно доступнее вычислений. На наш взгляд, только широкое распространение графика может сделать доступным для массы практическое применение великих завоеваний новейшей технической науки в области резания металлов.

Под тем же заглавием, как и настоящая книга, автор поместил ряд статей в уральском журнале „Серп и Молот“ за 1920 год. Эти статьи в общем составляют едва шестую часть материала, помещенного здесь и вошли в эту работу в совершенно переработанном виде.

С. Ф. Глебов.

Август 1923 года.

Как выгоднее вести работу на токарных станках.

I. Понятие о наивыгоднейшем резании.

Работа на станке может быть сделана чисто и точно, но в одном случае ее сделают в час, в другом — в три часа, в третем — в четыре. Надо уметь сделать ее не только хорошо, но и *быстро*. А для этого надо знать свойства резца, материала и станка, а также знать, в чем заключается самое резание металла резцом и как оно происходит.

В этой книге мы не будет заниматься способами наилучшей *отделки* обрабатываемого предмета, но исключительно тем, как сделать работу возможно в наименьшее время, т.-е. *наивыгоднейшим образом*.

Способы наивыгоднейшей работы исследованы преимущественно американским организатором Ф. Тейлором. Хотя он производил свои исследования с другой целью, чтобы сделать возможным проведение своих методов организации в механических производствах, но благодаря научности постановки его опытов и затраты громадного количества времени и труда на эти эксперименты в течение двух с половиной десятилетий, результаты этих работ имеют применимость далеко за пределами тех условий организации, которые имелись в виду Тейлором.

Практические результаты этой чисто технической стороны работ Тейлора, как известно, громадные. С помощью своих формул и линеек он в несколько раз повышал производительность станков, достигая таких результатов: 1) правильным выбором скоростей контрпривода; 2) правильным использованием мощности станков и режущих свойств резца; 3) перераспределением отдельных факторов резания, напр. увеличивая подачу и уменьшая скорость резания и т. д.

Для простого токаря, даже и квалифицированного, скорость резания определяется простым глазомером: его глаз при некоторой практике привыкает к известным скоростям, и этих скоростей рабочий обычно и придерживается, не ища других, может быть, гораздо более выгодных. Если взятая скорость оказывается слишком большой, то резец быстро „садится“ (портится), и рабочий переходит на более медленную.

Этот „практический“ путь никогда не приведет токаря к наивыгоднейшему решению задачи. Одного опыта здесь недостаточно, необходимо знакомство с наукой. При изучении законов резания оказывается, что, уменьшая, например, скорость резания в 2 раза, можно с полным успехом увеличить подачу или глубину резания в 4—5 раз и, следовательно, получить в общем большую выгоду в быстроте выполнения всей работы.

В самом деле: положим, мы обтачиваем какой-нибудь вал и работаем со скоростью 20 оборотов в минуту, с подачей 64 нитки на 1″ и глубиной резания 4 миллиметра. При этом нам надо снять слой металла тремя стружками, т.-е. всего 12 миллиметров (не считая чистовой отделки). Резец работает так, что увеличить нельзя ни скорость, ни подачу, ни глубину резания, т.-е. напряжение резца самое большое, какое можно допустить:

Сколько времени придется затратить на всю эту работу, если длина прохода—10 дюймов?

Подсчитаем сперва, сколько времени займет одна стружка т.-е. один проход резца. Если на каждый дюйм длины нужно сделать 64 оборота (или нитки), то на всю длину в 10 дюймов понадобится $64 \times 10 = 640$ оборотов шпинделя. Станок делает каждую минуту 20 оборотов; следовательно, в 2 минуты сделает 40, в три — 60 оборотов и т. д., а все 640 оборотов сделает в $640 : 20 = 32$ минуты.

Вся же работа 3-мя стружками потребует $32 \times 3 = 96$ минут (или 1 ч. 36 мин.). Мы здесь не считаем времени на ручные работы (установку резцов и проч.), которые от станка не зависят, или зависят очень мало.

Можно ли эту работу сделать быстрее, чем в 96 минут?

Как сказано, резец работает с наибольшим напряжением, т.-е. увеличить скорость, либо подачу, не уменьшая чего-нибудь другого, нельзя. Но можно изменить *распределение* этой нагрузки резца, увеличить одно и уменьшить другое, так что резец будет чувствовать точно такую же тяжесть и испортится в точно такой же срок, как и раньше, но работа в общем будет выполняться гораздо быстрее.

Например, если мы скорость уменьшим в два раза, т.-е. вместо 20 оборотов будем работать только при 10 оборотах в минуту, то подачу мы сможем увеличить не в два раза, а гораздо больше, взять, положим, вместо 64 ниток всего 18 ниток, или же увеличить глубину резания, т.-е. пройти весь вал не тремя, а двумя или даже одной стружкой.

Какая же получится выгода, если мы будем вести работу со скоростью 10 оборотов и с подачей 18 ниток на 1″?

На 10″ длины нужно сделать $18 \times 10 = 180$ оборотов, а так как каждые 10 оборотов требуют одну минуту, то все время будет равно для одной стружки $180 : 10 = 18$ минут, а для трех стружек $18 \times 3 = 54$ минуты.

Таким образом, вместо 96 минут, нам понадобится для этой работы всего 54 минуты, или почти вдвое меньше.

Можно привести еще много примеров, когда правильный выбор скорости и сечения стружки, правильный выбор шкивов в передаче от трансмиссии к станку и проч. могут дать большой выигрыш в производительности работы. Примеры эти читатель и сам найдет в тексте книги. Попросим его только терпеливо прочесть все изложение до конца, чтобы получить цельное и связное представление о тех явлениях, которые происходят в металле и резце при снимании стружки. В противном случае ему могут остаться непонятными как многие явления, описываемые здесь и даваемые повседневной практикой, так и рекомендуемые в этой книге методы наилучшего использования станков и рабочего времени.

II. Свойства обрабатываемого материала.

На станках обрабатываются материалы разного рода и, кроме того, разной твердости. Наиболее употребительны черные металлы: *железо, сталь и чугун*, а из цветных—*бронза и латунь*. Каждый из этих металлов встречается разных степеней твердости: твердые, средние и мягкие; кроме того для резания имеет значение способ заготовки: литье, поковка, прокатка.

Все металлы вообще можно разделить на два крупных класса: *вязкие и хрупкие*. Это деление для нас очень важно, так как способ образования стружки и другие явления и свойства в тех и других, как мы увидим ниже, совершенно разные. *Вязкими* металлами являются: железо, сталь, латунь; *хрупкими*—чугун, бронза.

Черные металлы. В черных металлах главной составной частью является *железо;* чистое железо, без всяких примесей, почти не встречается в практике; в нем всегда хоть немного содержится *углерода*. Железо, лишенное углерода, совершенно мягко, вязко. Небольшая примесь углерода изменяет его свойства — и тем больше изменяет, чем больше в железе углерода. Обыкновенно в железе на каждые 1.000 весовых частей приходится 1—$1\frac{1}{2}$ части углерода (или 0,1—0,15%). С увеличением содержания углерода в железе оно становится менее вязким и более твердым. Примесь углерода 2—3 части на 1.000 весовых частей (или 0,2—0,3%) уже превращает железо в сталь. Отличие стали от железа—способность принимать закалку. Нагревая такую сталь до высокой температуры и быстро охлаждая ее, мы придаем частицам углорода и железа особенное строение, благодаря которому сталь становится более твердой и несколько хрупкой, вязкость ее уменьшается. Чем выше температура, до которой мы нагреем сталь, и чем быстрее мы ее затем охладим, тем больше и сильнее закалится сталь и тем тверже она будет. Если нагретую сталь охладить медленно—она закалки не получит, так как строение ее при медленном охлаждении успеет возвратиться в прежнее состояние, которое оно имело до нагрева; точно также если закаленную уже сталь нагреть вновь и затем медленно охладить — она вернет себе свои прежние свойства и потеряет закалку—*отпустится*. Если второй нагрев был доведен до менее высокой температуры, чем первый, то некоторая твердость закалки сохранится, и тем большая, чем больше была разница температур закалки и отжига.

Таким образом, сталь, имеющая одно и то же количество углерода, может быть более твердой и менее твердой, смотря по тому, закалена она или нет, и если закалена, то при какой температуре, и с отпуском или без отпуска.

Но твердость стали зависит не только от закалки и отжига, но и *от количества содержащегося в ней углерода. Чем больше в стали*

углерода, тем она тверже. В мягкой стали на 1000 частей приходится углерода 1—2 части (0,1—0,2%), в средней 3—4 части 0,3—0,4%) и в твердой 5—6 частей, (0,5—0,6%). Сталь, имеющая в своем составе еще большее количество углерода, получает особую твердость и употребляется для специальных изделий, напр., инструментов. Такая сталь называется *инструментальной;* она содержит 6—8 частей углерода на 1.000 весовых частей стали (0,6—0,8%).

Увеличивая содержание углерода в стали еще выше, до 10—12½ частей на 1.000 (или до 1,0—1,25%), мы получим сталь еще более богатую углеродом, которая поэтому называется *углеродистой;* она употребляется для изготовления резцов по металлу, фрезеров, сверл и пр. и обладает особо большой степенью твердости.

Чтобы увеличить твердость стали, в ее состав добавляют, кроме углерода, известное количество разных примесей, напр., никеля хрома, вольфрама, молибдена и пр. Благодаря этим примесям, сталь делается более твердой и кроме того несколько изменяет и другие свои свойства, напр., вязкость, хрупкость и пр. Хром и вольфрам составляют необходимую составную часть самозакаливающейся и быстрорежущей стали, о которой мы будем говорить в главе о качестве резцов.

Если мы будем дальше увеличивать содержание углерода, напр. до 30 частей на 1.000 (или 3%) и выше, то вместо стали получим *чугун.* Большое количество углерода уже совершенно изменило свойства металла: он стал хрупким, лишенным вязкости, нековким, непринимающим закалку.

Цветные металлы и сплавы. Наиболее употребительны *бронза* и *латунь*—сплавы меди с разными металлами. Чистая медь в обработке встречается сравнительно реже.

Латунь или желтая медь—сплав красной (чистой) меди с цинком (от 30 до 45%). Она тверже красной и очень тягуча. С увеличением количества цинка в латуни увеличивается ее твердость и прочность и уменьшается тягучесть.

Бронза есть сплав красной меди и олова (17—28%). Она плотнее, тверже красной меди и отличается хрупкостью. С увеличением количества олова твердость увеличивается. Как в бронзе, так и в латуни увеличение твердости наблюдается только при увеличении примесей до известного предела. Прибавление свинца увеличивает хрупкость и уменьшает прочность. Цинк уменьшает твердость и прочность. Прибавлением небольшого количества фосфора (от 0,5—1%) получается *фосфористая бронза*, весьма тягучая, прочная, ковкая. *Пушечная* бронза мало тягуча, довольно тверда и весьма прочна: твердость ее сильно зависит от быстроты охлаждения при быстром охлаждении она делается мягкой, при медленном—твердой и хрупкой.

Твердость металлов.

Твердость металла определяется разными способами; наиболее употребительный способ—испытание на разрыв. Из испытуемого металла приготовляют пробный брусок определенных размеров, обычно в форме цилиндрика, и на особом приборе растягивают его, пока не последует разрыв. Брусок сперва удлиняется, вытягивается, затем в

средине его образуется шейка, постепенно увеличивающаяся, и наконец брусок разрывается. Замечают, какое усилие потребовалось применить для разрыва и насколько удлинился брусок до разрыва; первое характеризует его крепкость, второе—тягучесть или вязкость.

Усилие, необходимое для разрыва бруска, называется сопротивлением разрыву и определяется обычно в *килограммах на 1 квадратный миллиметр сечения бруска*. Мягкая сталь (и железо) имеют сопротивление разрыву 30—45 килограмм, средняя 50—60 и твердая 70—80. Чугун мягкий имеет сопротивление 12—15 килограмм, средний 16—20 и твердый, закаленный чугун, 23—28 килограмм. Таким образом сопротивление разрыву железа и стали гораздо выше, чем чугуна, — в $2^1/_2$—3 раза.

Красная медь имеет сопротивление разрыву гораздо меньшее, чем сталь и железо, но близкое к чугуну, именно 20—23 килограмма на кв. мм. Приблизительно такое же сопротивление разрыву имеет бронза—простая 20 кгр., фосфористая 24 кгр., пушечная 30 кгр.

Латунь имеет меньшее сопротивление—именно 15 килограмм.

Удлинение бруска при разрыве высчитывается обыкновенно в процентах к общей длине бруска, т.-е. насколько удлинились каждые 100 единиц длины. Поэтому, такое удлинение называется *процентным удлинением* или, сокращенно, *%-ное удлинение*.

%-ное удлинение чугуна равно нулю, т.-е. чугун при разрыве не удлиняется вовсе. Очень твердые и хрупкие сорта стали также очень мало удлиняются при разрыве— иногда всего на 3—5%. Обыкновенная твердая сталь удлиняется на 8—14%, средняя на 15—25%, мягкая на 25—33%. Таким образом, чем мягче сталь, тем большей степенью вязкости она обычно обладает. Однако, бывают случаи, что мягкая сталь имеет несколько меньшее %-ное удлинение, чем более твердые сорта,—в зависимости от разных примесей в химическом составе стали и ее закалки.

Красная медь очень тягуча, вследствие чего удлинение ее весьма велико—35—38%, *латунь* имеет меньшее удлинение—13%, бронза от 6% до 20%.

Кроме испытания на разрыв и %-ное удлинение, применяются и другие способы определения твердости металла.

Склероскоп. Так называется прибор, с помощью которого на поверхность испытуемого металла бросается металлический шарик, который ударившись о металл отскакивает обратно. Чем мягче испытуемый металл, тем с большей упругостью отскакивает от него шарик; измеряя высоту этого обратного отскакивания, можно довольно верно определить степень твердости металла.

Пресс Бринеля. С известной, точно определенной силой металлический шарик особым прессом вдавливается в поверхность испытуемого металла и делает на нем отпечаток. Этот последний тем больше, чем мягче металл. Измеряют диаметр отпечатка и по нему определяют степень твердости.

Сверление под давлением. На особом станке сверлят испытуемый металл, при чем сверло находится под постоянным давлением. Измеряют глубину прохода сверла за известное число оборотов, судят по этой глубине о твердости металла.

Царапание предметами разной твердости Имеется особо подобранный набор из 10 предметов разной твердости, причем твердость последних известна, и испытуемый металл царапается поочередно этими орудиями. Таким способом в наборе этих орудий находят последний предмет, который еще производит штрих на испытуемом металле, и по твердости этого предмета заключают о твердости металла.

Классификация твердости Тейлора. Американский организатор Тейлор применял свою собственную классификацию твердости металлов, специально разработанную им для металлообрабатывающих станков.

Тейлор определял твердость металла скоростью, которую тот или другой металл допускает при обработке известным резцом и при известной подаче и глубине резания. Все металлы были разделены им на 40 классов, при чем металл любого класса допускает скорость резания в $1^1/_{10}$ раза (или на 10%) большую, чем следующий металл. Так, если скорость, которую допускает 13-й класс, положим, 18 метров в минуту, то 12-й класс даст скорость $18 \times 1{,}1 = 19{,}8$ метров в минуту, 11-й клас $19{,}8 \times 1{,}1 = 21{,}8$ метров. 10-й класс $21{,}8 \times 1{,}1 = 24$ метра в минуту и т. д. Каждый класс твердости обозначается от 1 до 40. Таким образом, чем тверже металл, тем больше его номер твердости. Самый мягкий металл имеет номер 1-й, самый твердый № 40.

Сталь и чугун занимают в этой классификации среднее место. Самая мягкая *сталь* (железо) относится к 6—8 классу, средняя к 12—15 классу, твердая к 19—22 классу. *Чугун*, который при одних и тех же условиях работы вообще допускает несколько меньшие скорости резания, чем сталь и железо, имеет соответственно больше номера твердости. Мягкий чугун относится к 11—13 классу твердости, средний к 17—19 и твердый к 22—24 классу.

Чтобы привести наши сведения о твердости металлов в порядок, составим таблицу твердостей, при чем кроме деления металлов на твердые, средние и мягкие, введем промежуточные обозначения— тверже среднего и мягче среднего. Тогда получим следующую таблицу.

Таблица № 1.

	Содержание углерода.	Сопротивл. разрыву (кгр. 1 кв. мм.).	% удлинение.	Класс твердости по Тэйлору.
Сталь: (*железо относится к мягкой стали*).				
Мягкая	0,1 —0,15	30—40	25—33	6—8
Мягче средней	0,15—0,25	40—50	20—25	9—11
Средняя	0,25—0,3	50—60	15—20	12—15
Тверже средней	0,3 —0,4	60—70	10—15	16—18
Твердая	0,4 —0,5	70—80	8—12	19—22
Инструментальная	0,8 —0,9	80—90	—	—
Углеродистая	0,9 —1,2	90—100	—	—
Чугун:				
Мягкий	—	12—14	—	11—13
Мягче среднего	—	15—16	—	14—16
Средний	—	17—20	—	17—19
Тверже среднего	—	21—24	—	20—21
Твердый	—	25—28	—	22 24

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГОЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

III. Образование стружки и ее форма.

I. Подача. *Подачей называется длина прохода резца вдоль оси обрабатываемого предмета за один оборот шпинделя.* Обычно подача измеряется или в миллиметрах, или же числом ниток на 1 дюйм. Для токаря привычнее и удобнее второй способ, для расчетов наивыгоднейшего резания—первый, так как облегчает нахождение величины сечения стружки.

Если известно одно выражение подачи, то нетрудно найти и другое.

Пример 1-й. Подача равна 40 ниткам на 1″. Сколько это будет миллиметров? Так как 40 ниток равны 1 дюйму или 25,4 мм., то одна нитка равна 25,4 : 40 = 0,635 м/м.

Пример 2-й. Подача равна 1,25 м/м. Сколько это составит ниток на дюйм? Если одна нитка=1,27 м/м., то в 25,4 м/м. будет содержаться 25,4 : 1,27=20 ниток?

Таким образом, *зная одно выражение подачи, надо 25,4 разделить на это число и получится другое выражение.*

Для той же цели можно пользоваться особым масштабом (фиг. 1), где против одного выражения находим соответствующее ему другое выражение (см. приложения).

Для непосредственного определения подачи во время работы станка можно пользоваться одним из следующих двух способов.

Первый способ—*вычислением.* Зная передачу шестерен в станке от шпинделя к суппорту и шаг ходового винта или рейки (если подача ведется ходовым валом), нетрудно вычислить подачу.

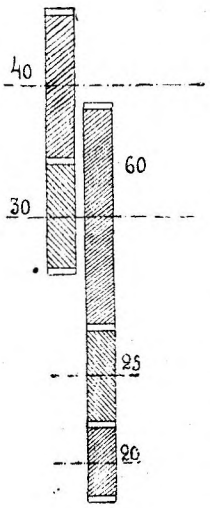
Во всякой зубчатой передаче различаются шестерни—*ведущие и ведомые.* Та шестерня, каторая передает движение, называется ведущей, которая принимает его—ведомой. Если движение передается чрез несколько пар, скажем, через две пары—то в каждой такой паре будет своя ведущая и своя ведомая шестерня.

Если перемножить число зубцов всех ведущих шестерен, затем отдельно число зубцов всех ведомых шестерен, и первое произведение разделить на второе, то получим число, которое называется передачей или передаточным числом.

Пример 3-й. Зубчатая передача в станке устроена согласно следующей схемы (фиг. 2). Шестерня в 40 зубцов сцепляется с другой в 30 зубцов, на одной оси с которой сидит шестерня в 60 зубцов; с последней через посредство промежуточной шестерни в 25 зубцов, сцепляется шестерня в 20 зубцов. Так как промежуточная шестерня в 25 зубцов не имеет никакого значения для величины передачи и только изменяет направление вращения колес, то при ра-

счете ее не принимают во внимание (такие промежуточные шестерни называются *ленивцами*). Перемножаем числа зубцов ведомых шестерен: $40 \times 60 = 2400$ и числа зубцов ведомых шестерен $30 \times 20 = 600$. Передаточное число будет $2400 : 600 = 4$.

Если в станке имеется несколько самостоятельных зубчатых передач, напр., 1) сменные шестерни, 2) коробка Нортона и 3) коробка суппорта, то, зная в отдельности передаточное число каждой отдельной передачи, найдем общее передаточное число всей системы, если перемножим все передаточные числа всех отдельных передач.



Фиг. 2.

Пример 4-й. Сменные шестерни следующие (по порядку): 60; 40; 50; и 30; передача в коробке Нортона равна 1,6, в коробке суппорта 0,01. Вычислить полную передачу от шпинделя к резцу.

Передаточное число сменных шестерен найдем так: $60 \times 50 = 3000$; $40 \times 30 = 1200$; $3000 : 1200 = 2,5$. Следовательно, полная передача $2,5 \times 1,6 \times 0,01 = 0,04$.

Если передаточное число зубчатой передачи умножить на шаг ходового винта, получим подачу. При этом, если мы хотим подачу получить в миллиметрах, то и шаг ходового винта также должны подсчитать в миллиметрах.

Пример 5-й. Передача равна 0,1; шаг винта $= 1/4''$. Подача следовательно, равна $6,35 \times 0,1 = 0,635$ м/м.

Если мы хотим получить подачу прямо в нитках на 1″, то надо *число ниток на дюйм ходового винта разделить на передаточное число.* В примере 5-м винт имеет 4 нитки на 1″; следовательно, подача равна $4 : 0,1 = 40$ ниткам на 1″.

При работе ходовым валом расчет не изменяется; разница только та, что здесь ведущих шестерен будет на одну больше, чем ведомых, так как вместо последней ведомой шестерни будет работать рейка. Для получения подачи здесь также надо умножить передаточное число на шаг рейки [1]).

Произведение передаточного числа на шаг рейки при работе ходовым валом, или на шаг винта при работе ходовым винтом в практике часто приходится применять при вычислениях; назовем это произведение *передаточным множителем.*

В таком случае мы можем сказать, что *подача равна полному передаточному множителю станка. Полным* мы называем передаточный множитель всего механизма, от шпинделя к резцу: в отличие от полного, *частным передаточным множителем* можно назвать множитель части этого механизма, напр. одной коробки суппорта или коробки суппорта и коробки Нортона вместе. Очевидно, *полный передаточный множитель будет равен частному множителю, умноженному на передаточное число остальной части механизма.*

Пример 6-й. Передаточное число коробки суппорта 0,025; шаг рейки $1/2''$ или 12,7 м/м. Коробка Нортона дает 6 положений рукоятки с передаточными

[1]) Здесь передаточное число, строго говоря, не будет включать последней ведущей шестерни; однако для упрощения и обобщения правила ведения расчета мы включаем в него и эту шестерню.

числами для каждого положения: 1) 0,6; 2) 0,7; 3) 0,8; 4) 0,9; 5) 1,0; 6) 1,1. Сменные шестерни поставлены 50 и 25. Определить частные и полные множители этой передачи.

а) Частный множитель коробки суппорта $0{,}025 \times 12{,}7 = 0{,}3175$; б) частные множители коробки Нортона и коробки суппорта вместе для каждого из 6 положений рукоятки: 1) $0{,}3174 \times 0{,}6 = 0{,}1905$; 2) $0{,}3175 \times 0{,}7 = 0{,}22225$; 3) $0{,}3175 \times 0{,}8 = 0{,}254$; 4) $0{,}3175 \times 0{,}9 = 0{,}28575$; 5) $0{,}3174 \times 1{,}0 = 0{,}3175$; 6) $0{,}3175 \times 1{,}1 = 0{,}34925$; в) полные множители для каждого из положений рукоятки (так как множитель сменных шестерен 50 : 252): 1) $0{,}1905 \times 2 = 0{,}381$; 2) $0{,}22225 \times 2 = 0{,}4445$; 3) $0{,}254 \times 2 = 0{,}508$; 4) $0{,}28575 \times 2 = 0{,}5715$; 5) $0{,}3175 \times 2 = 0{,}635$; 6) $0{,}34925 \times 2 = 0{,}6985$.

Подача (в м/м.) будет, как сказано выше, равна этим же постоянным множителям. Для других сменных шестерен множители и подачи, конечно, изменятся.

Второй способ—*измерением*. Отмечаем в какой нибудь момент движения суппорта его положение на станине станка и с этого момента считаем число оборотов шпинделя. Когда суппорт пройдет от замеченного положения какую нибудь длину, положим, 1—2 дюйма, замечаем соответствующее число оборотов шпинделя. Отсюда легко вычисляем подачу.

Пример 7-й. Суппорт прошел 2 дюйма за 80 оборотов шпинделя. Следовательно, подача $80 : 2 = 40$ ниток на 1″ или $50{,}8 : 80 = 0{,}635$ м/м. Этим способом легко определить передаточное число и передаточный множитель скрытого в коробке суппорта механизма.

Пример 8-й. Подача по измерению равна (пример 6-й) 0,635 м/м., передаточное число сменных шестерен 2,5; шаг рейки $^1/_2$″. Определить передаточное число и передаточный множитель шестерен коробки суппорта.

Разделив подачу на шаг рейки, найдем общее передаточное число всей системы: $0{,}635 : 12{,}7 = 0{,}05$. Следовательно, передаточное число коробки суппорта $= 0{,}05 : 2{,}5 = 0{,}02$.

Для нахождения частного передаточного множителя шаг рейки не требуется знать. Так как полный множитель равен подаче, т.-е. 0,635, то частный множитель найдем делением полного множителя на передаточное число остальной части механизма, т.-е. на 2,5; получим $0{,}635 : 2{,}5 = 0{,}254$.

Зная частный передаточный множитель коробки суппорта, всегда можем вычислить как величину подачи, так и потребное для заданной подачи передаточное число сменных шестерен.

Подача (или полный множитель) получится умножением частного множителя на передаточное число остальной части механизма.

Пример 9-й. Частный множитель коробки суппорта 0,28. Сменные шестерни имеют передаточное число 2,5. Определить подачу.

Полный множитель (он же равен подаче) $0{,}28 \times 2{,}5 = 0{,}7$. Подача, следовательно, 0,7 м/м.

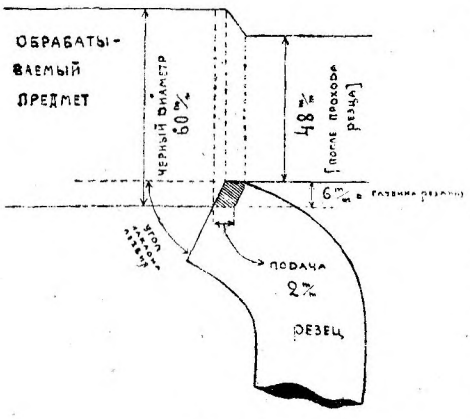
Зная подачу, которую следует взять при работе, нетрудно, обратно, определить передаточное число, которое должны давать сменные шестерни. Следующие три примера показывают способ расчета для ходового винта и ходового вала.

Пример 10-й. Ходовой винт $^1/_2$″. Подача должна быть взята 0,7 м/м. Определить, какое взять передаточное число сменных шестерен? Делим подачу на шаг винта в м/м.: $0{,}7 : 12{,}7 = 0{,}055$.

Пример 11-й. Ходовой вал с рейкой, имеющей шаг $^1/_2$″. Подача должна быть 0,7 м/м. Передаточное число коробки суппорта 0,0275. Определить передаточное число сменных шестерен? Полное передаточное число, как вычислено в примере 8-ом будет 0,055; отсюда передаточное число сменных шестерен $0{,}055 : 0{,}0275 = 2$.

Пример 12-й. Условия те же, как в примере 11-м, только вместо передат. числа коробки суппорта дан ее частный передаточный множитель, равный $0{,}0275 \times 12{,}7 = 0{,}35$. Передаточное число сменных шестерен будет $0{,}7 : 0{,}35 = 2$, как и в предыдущем примере.

2. Форма и сечение стружки. Кроме подачи для определения величины сечения стружки необходимо знать так же другой элемент— *глубину резания*. Чтобы ее найти, надо обмерить диаметры черновой и чистовой (до прохода и после прохода резца). Половина разности этих диаметров и будет равна глубине резания.



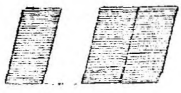
Фиг. 3.

Пример 13-й. Черновой диаметр 60 м/м; после прохода резца 48 м/м. Разность диаметров, $60 - 48 = 12$ м/м, а глубина резания $12 : 2 = 6$ м/м (см. фиг. 3).

Сечение стружки будет равно всегда произведению подачи на глубину резания, в нашем примере $2 \times 6 = 12$ квадратных миллиметров (кв. м/м).

Оно будет одно и то же, какую бы форму не имел резец, а следовательно и стружка. Поэтому для вычисления сечения стружки (или, как говорят, „площади сечения") достаточно знать только два числа: подачу и глубину резания.

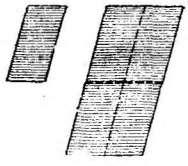
Если мы подачу увеличим в два раза, то и сечение стружки увеличится в два раза — стружка станет вдвое толще (см. фиг. 4).



Фиг. 4.



Фиг. 5.

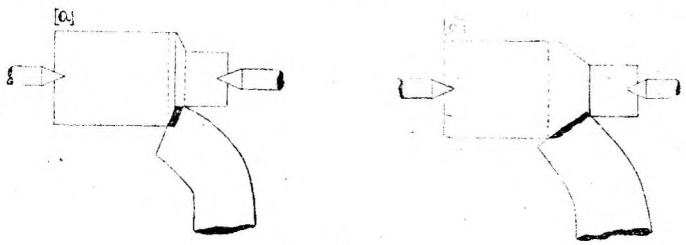


Фиг. 6.

Если мы оставим подачу без изменения, а увеличим вдвое глубину резания, то сечение стружки тоже увеличится вдвое. Стружка сделается вдвое шире (длиннее) при той же толщине (фиг. 5). Наконец, увеличив одновременно и подачу, и глубину резания каждую в два раза, мы получим стружку в два раза более толстую, и в два раза более широкую, т.-е. сечение ее будет в $2 \times 2 = 4$ раза больше первоначального (фиг. 6). Если мы подачу увеличим в $1\frac{1}{2}$ раза, а глубину в 2 раза (или наоборот), то сечение новой стружки будет в $2 \times 1\frac{1}{2} = 3$ раза больше первоначальной и т. д.

Пример 14-й. Подача была взята 0,8 м/м и глубина резания 4 м/м. Затем подача была увеличена до 1 м/м, а глубина резания до 8 м/м. Во сколько раз от этого увеличилось сечение стружки? Первое сечение стружки $0{,}8 \times 4 = 3{,}2$ м/м, новое $1 \times 8 = 8$ кв. м/м. Новое больше в $8 : 3{,}2 = 2^1/_2$ раза.

Пример 15-й. Первоначальная подача 0,6 м/м, глубина резания 10 м/м. Затем, подача была увеличена до 0,8 м/м, а глубина резания уменьшена до $7^1/_2$ м/м. Как изменилось сечение стружки? Первоначальное сечение $0{,}6 \times 10 = 6$ кв. м/м, новое $0{,}8 \times 7^1/_2 = 6$ кв. м/м, т.-е. сечение осталось то же самое.

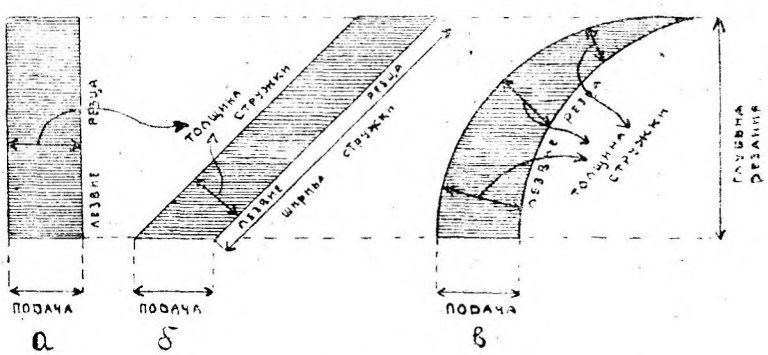


Фиг. 7.

Крутое положение лезвия (малый наклон к предмету) стружка толстая.

Отлогое положение лезвия (сильный наклон к предмету) стружка тонкая.

Фиг. 8 изображает сечение трех стружек, снятых резцами разной формы: первая стружка снята прямолинейным резцом, поставленным *перпендикулярно* (поперек) к оси предмета; вторая снята тем же резцом, но поставленным наклонно к оси предмета (как изображено на фиг. 3) и третья снята закругленным обдирочным резцом



Фиг. 8.

Несмотря на разную форму этих сечений, последние будут равны по величине друг другу, если подача и глубина резания везде одинаковы. Действительно, разделим мысленно каждую стружку на маленькие равные полоски, параллельно подаче резца. Число таких полосок будет во всех стружках одно и то же, так как глубины резания одинаковы. Длина полосок будет везде одна и та же, так как подача во всех точках лезвия одинакова. Так как сечение

616586

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА Московского Ордена Ленина Высшего Технического Училища

каждой стружки равно сумме площадей полосок, число и размеры которых во всех стружках одинаковы, то, очевидно, все три сечения будут друг другу равны.

Однако, как мы увидим ниже, существенное значение для резания имеет не только величина сечения стружки, но и ее форма. Поэтому, кроме глубины резания и подачи, от которых зависит *сечение* стружки, необходимо различать еще:

а) *Форму лезвия резца*, которая бывает прямолинейной и криволинейной.

б) *Толщину стружки*, измеряемую перпендикулярно (поперек) к линии лезвия резца.

в) *Наклон прямолинейного лезвия резца к оси обрабатываемого предмета*, измеряемый в градусах. Если резец поставлен перпендикулярно (поперек) к оси предмета, то угол наклона лезвия $= 90°$; если он поставлен параллельно оси (вдоль подачи), то угол наклона $= 0°$. На фиг. 3 угол наклона равен 60°.

г) *Ширину стружки*, равную длине работающей части лезвия резца.

Из рассмотрения фиг. 8 можно сделать следующие выводы:

1) При угле наклона $= 90°$ и при прямолинейном резце (фиг. 8) толщина стружки равна подаче, во всех остальных случаях она меньше подачи и тем меньше, чем меньше угол наклона. Ширина же стружки, наоборот, растет с уменьшением угла наклона лезвия резца. Следовательно, наклоняя резец сильнее к оси предмета, можно значительно уменьшить толщину стружки.

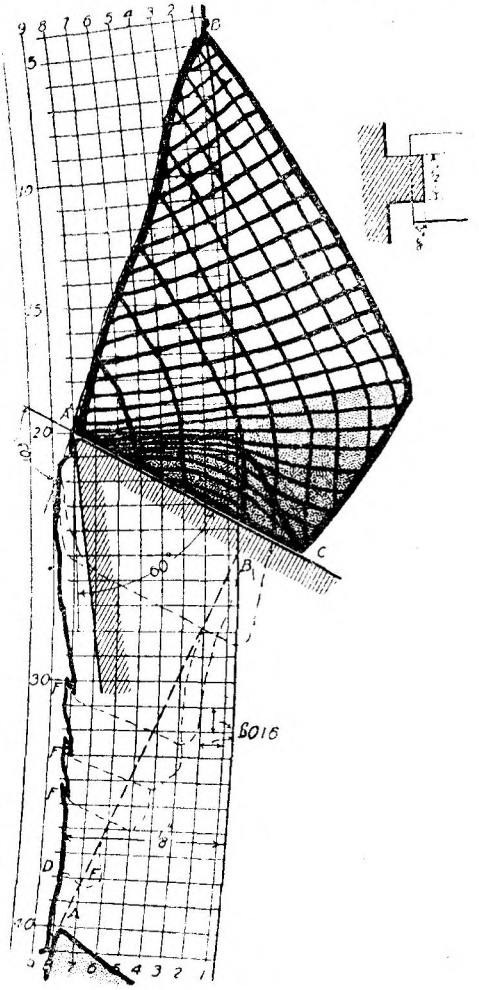
2) При криволинейном лезвии резца толщина стружки везде разная и она тем меньше, чем ближе к вершине резца.

3. **Образование стружки.** Когда резец начинает резать металл, его передняя поверхность сперва сжимает его. Давление, производимое резцом, стремится отделить сжимаемый слой от общей массы металла. В тот момент, когда давление, сжимающее слой металла, превысит величину сцепления частиц, происходит скалывание кусочка (или, как говорят, *элемента*) металла; этот кусочек отделяется от общей массы и отпадает в виде стружки.

Как только один элемент отделится, начинается сжатие следующего, пока давление опять не превзойдет силы сцепления частиц, после чего отделится второй элемент стружки и т. д. Таким образом, *резание заключается в постепенном скалывании частиц или элементов металла*, при чем это скалывание происходит периодически. Соответственно этому, давление стружки на резец не остается все время постоянным, а меняется, давая как бы толчки. Оно постепенно увеличивается, пока не отделится элемент, затем сразу падает и с образованием нового элемента снова начинает увеличиваться. Этими колебаниями об ясняется дрожание резца, наблюдаемое иногда во время работы.

Отделяемый элемент стружки под действием давления резца сильно изменяет свою форму, разбухая и утолщаясь. Расположение частиц металла внутри элемента значительно изменяется, стружка, как говорят, *деформируется*, т.-е. изменяет свою форму.

Фиг. 9 изображает элемент стружки в момент ее отделения (по опытам английского проф. Никольсона). А—изображает вершину резца, АВ—линия, по которой отделяется стружка, АВС—изображает самый отделяющийся элемент. Искривленные линии на элементе указывают происшедшие изменения в расположении частиц. Стружка изменяет свою форму больше или меньше в зависимости от условий резания, положения и формы резца, толщины снимаемого слоя, скорости резания и пр., а главное в зависимости от общих свойств данного металла изменять свою форму, не разрушаясь.



Фиг. 9.

Металлы более вязкие, напр., мягкое железо, допускают деформацию (изменение формы) в значительно большей степени, чем более твердые. Металлы хрупкие, напр., твердая бронза, чугун, деформации или не допускают вовсе или допускают ее в незначительных размерах.

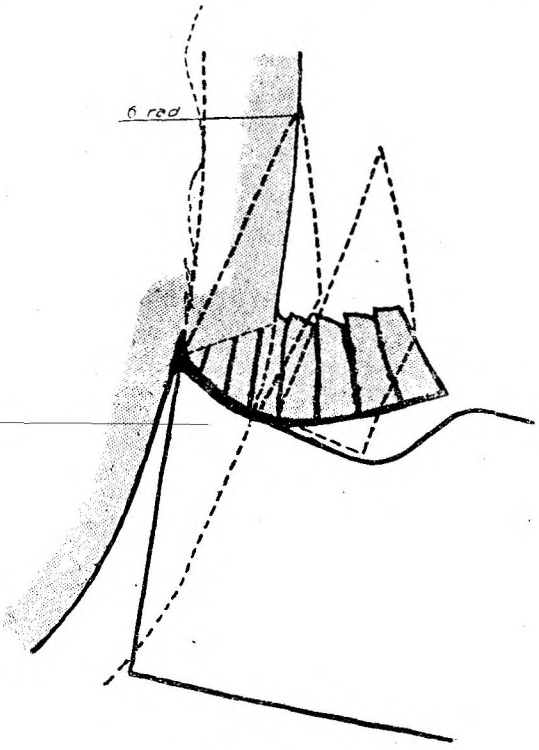
Когда стружка отделяется от предмета маленькими кусочками, не имеющими никакой связи друг с другом, такая стружка называется *стружкой скалывания.* Последняя получается при слабом заострении резца, тем легче, чем более хрупок обрабатываемый металл и чем толще снимаемый слой.

Если взять металл более вязкий, при небольшой толщине стружки, и заточить острее резец, то скалывание элементов будет неполное, соседние элементы будут оставаться связанными друг с другом и образуют более или менее прочную ленту. Отдельные элементы в такой стружке будут выступать на ее поверхности в виде зубцов пилы и такая стружка называется *ступенчатой* (см. стружку на фиг. 9а). С возрастанием вязкости ступенчатая форма становится все менее отчетливой и переходит в так называемую *сливную* стружку [1]).

[1]) Стружка изображенная на фиг. 9-й, снята при крайне медленной скорости резания—резец двигался приблизительно так, как двигается на часах *минутная стрелка* Поэтому она отделялась *кусочками* изображенной на фиг. 9-й неправильной формы. При резании того же металла тем же самым резцом

В хрупких металлах форма стружки изменяется очень мало, или даже вовсе не изменяется, и стружка *отламывается*, а не скалывается, оставляя за собой неровную, шероховатую поверхность. Такая стружка называется *стружкой надлома*.

Длина снимаемой стружки оказывается значительно короче (приблизительно вдвое) длины пути, пройденного резцом по поверхности обрабатываемого предмета. Если, напр., (см. фиг. 10) резец прошел 100 м/м. по поверхности предмета, длина снятой стружки окажется только 50—60 м/м. Это называется *усадкой* стружки. В хрупких металлах (чугун, бронза) усадки не бывает, так как там снимаемая стружка, как сказано, не изменяет своей формы. За счет



Фиг. 9а.

Образование стружки при нормальной скорости резания (по Никольсону).

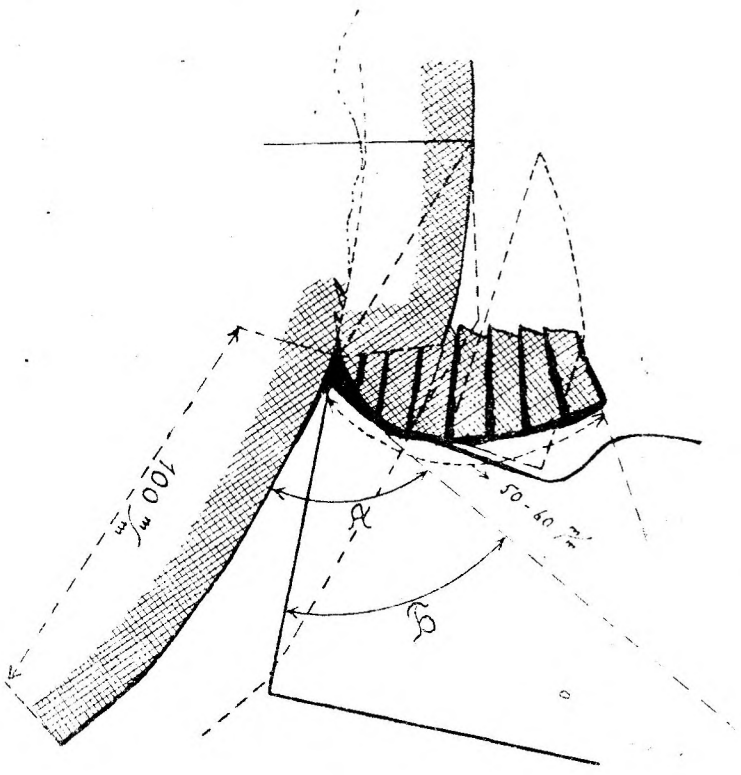
усадки, т.-е. укорочения длины, увеличивается толщина стружки (стружка разбухает). Она разбухает тем больше, чем мягче и вязче металл.

На форму и размеры стружки влияют: 1) род и твердость

с нормальной скоростью—с той скоростью, как обычно ведется работа на станках—стружка получала *„сливную"* форму, изображенную на фиг. 9а. Обе фигуры заимствованы из отчета проф. Никольсона, производившего эти опыты.

металла, 2) *угол резания*, т.-е. положение передней поверхности резца и 3) толщина стружки. О влиянии материала мы уже говорили раньше.

Угол резания есть угол между той поверхностью резца, которая сжимает и срезает стружку (т.-е. *режущей* или *передней* поверхностью), и направлением движения резца. На фиг. 10 этот угол обозначен буквою А. Этот угол резания надо отличать от *угла заострения резца*, т.-е угла между его двумя сторонами. Так как резец своей поверхностью не касается поверхности предмета (иначе бы было *трение*, вредное для работы), то угол заострения обычно меньше угла резания; на фиг. 10 угол заострения резца обозначен буквой Б.



Фиг. 10.

Чем больше угол резания, тем сильнее стружка изменяет свою форму и тем больше силы требуется для резания. Стружка получает склонность переходить из сливной в ступенчатую, а из ступенчатой в стружку скалывания. Подробнее об угле резания см. стр 46—48.

Толщина стружки имеет большое значение для размеров элемента (частицы) стружки. С увеличением толщины стружки в той же степени увеличиваются и все размеры элемента—его высота и ширина; элемент делается крупнее.

IV. Качество резца и его изнашивание.

I. Сорта и состав резцовой стали. Чтобы резать металл, резец должен иметь твердость большую, чем обрабатываемый металл; кроме того, так как при резании резец сильно нагревается, то он должен иметь способность не терять твердости при сравнительно высокой температуре. Чем более высокую температуру выдерживает резец, и чем меньше при этом теряет в твердости, тем лучше его качество.

Весьма долго на заводах применялись исключительно углеродистые резцы. Углеродистая сталь отличается от обыкновенной стали сравнительно высоким количеством в ней углерода, от 9 до 12 частей на 1000 (или 0,9—1,2%). Твердость такой стали усиливалась путем закалки. Недостаток углеродистых резцов был тот, что они легко отпускались и теряли ту твердость, которую им сообщала закалка, а с дальнейшим повышением температуры и вовсе портились. Кроме того углеродистые резцы легко подвергались изнашиванию,—их поверхность истиралась, лезвие быстро закруглялось и переставало удовлетворительно резать металл.

Поэтому при работе углеродистыми резцами приходилось ограничиваться сравнительно небольшой скоростью, чтобы не достигать сколько-нибудь высокой температуры его лезвия, и кроме того брать небольшие сечения стружки (т.-е. небольшие подачи и глубины резания), чтобы не вызывать слишком большого изнашивания резца от действия высокого давления и трения стружки. Наконец, третий недостаток углеродистой стали—она может резать не все сорта металлов; некоторые очень твердые металлы она не может резать даже при очень малых скоростях.

Лет 50 тому назад в практике заводов появились новые резцы, изготовленные из *самозакаливающейся стали*. В состав этих резцов входит кроме углерода новое вещество—*вольфрам*, в довольно большом количестве (от 40 до 100 частей на 1000 или от 4 до 10%), а впоследствии стали в состав этих резцов добавлять еще *хром*. Особенность этой новой стали была та, что резцы, медленно охлажденные в воздухе после отковки, получали ту же самую твердость, как резцы из обыкновенной углеродистой стали, закаленные в воде. Это свойство дало повод назвать новые резцы «самозакаливающимися».

Самозакаливающиеся резцы имеют еще одно важное свойство. Благодаря тому, что они не отпускаются (т.-е. не теряют твердости) при значительно больших температурах, чем углеродистые резцы, они

допускают значительно большие (в $1\frac{1}{2}$—2 раза) скорости резания, чем последние. Поэтому при работе самозакаливающимися резцами скорости обработки надо брать гораздо больше, чем при работе резцами углеродистыми, особенно при обработке мягких металлов, где разница в скоростях значительнее.

Быстрорежущая сталь отличается от самозакаливающейся только способом ее закалки. Впрочем, позднее начали в быстрорежущую сталь вводить больше вольфрама, чем в самозакалку, именно от $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{4}$ всего состава стали. Кроме того часто вводят в ее состав в небольшом количестве новый металл *ванадий*.

Главное же отличие быстрорежущей стали—в способе ее закалки. Многие сорта самозакалки могут быть превращены в быстрорежущую сталь путем этого особого способа закалки, открытого Тейлором и его сотрудником Уайтом.

До Тейлора существовал обыкновенный способ закалки. Сталь нагревалась до сравнительно невысокой температуры, примерно 800—850°, (смотря по сорту стали) и вся задача сводилась к установлению максимальной температуры нагрева, за пределами которой сталь портилась (делалась хрупкой).

Такая сталь давала скорости резания приблизительно вдвое больше, чем углеродистая сталь.

Согласно опытам Тейлора, самозакалка при обработке мягкой стали допускала повышение скорости резания на 90% (т.-е. 10—15 метров в минуту), а при обработке твердой стали—на 45%.

Несмотря на большую выгоду работы самозакалки на мягкой стали, ее применяли, как сказано выше, исключительно для твердых металлов, вероятно, в виду дороговизны вольфрамовой стали. Тейлор, испытав в 1894—5 годах самозакалку разных марок на разных металлах, выяснил преимущественно ее для мягкой стали и немедленно ввел ее во всех случаях обдирочной работы мастерской.

Опыты с применением самозакалки Тейлор возобновил в 1898 г., когда он только что перешел на службу в Бетлехемскую стальную компанию и выбирал из имевшихся марок резцов наиболее подходящую в качестве нормальной для всей мастерской.

При опытах обнаружилось, что некоторые резцы, вероятно, вследствие пережога при нагреве, работали хуже других той же самой марки, и Тейлор решил попробовать найти такой метод термической обработки этих испорченных пережогом резцов, который возвращал бы резцам их утраченные качества.

Для этой цели Тейлор, совместно со своим сотрудником Уайтом, поставил новую серию опытов, в которых нагревал последовательно заготовленные резцы, каждый раз повышая температуру, примерно, на $27^0/_0$.

И вот, оба исследователя обнаружили здесь замечательное свойство стали, приведшее их к открытию быстрорежущих резцов.

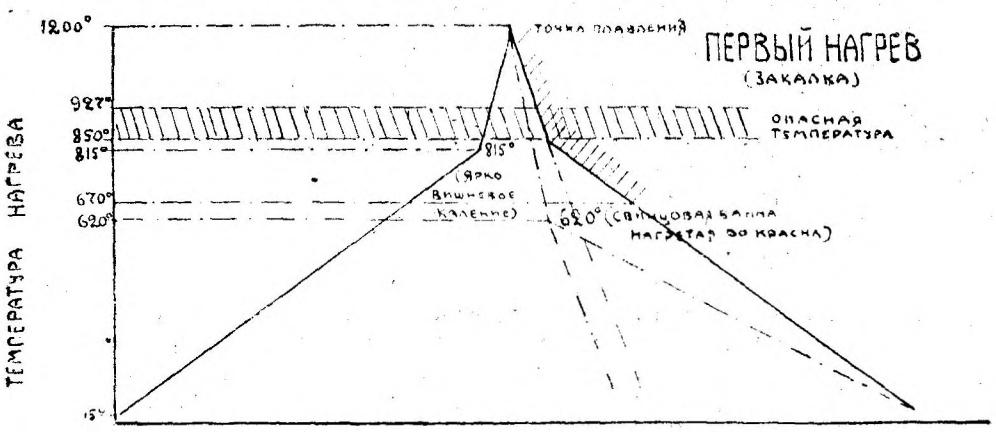
Оказалось, что при нагреве резцов в пределах между 850° и 927°, как сказано выше, резцы портятся, т.-е. становятся хрупкими. Однако нагрев *выше 950°* не только сообщил резцам такую же твердость, какую они имели при самой лучшей закалке по старому методу, но давал и скорости резания значительно больше, чем при

старой закалке. И чем выше была температура нагрева, тем больше получалась эта разница, и тем лучше были резцы. Наилучшая сталь получалась при нагреве почти до точки плавления (около 1.200°).

Так была открыта Тейлором и Уайтом быстрорежущая сталь, дающая скорости резания в 2—2½ раза больше, чем та же сталь, закаленная старым способом.

Но все дело в том, что при новом способе: 1) необходимо иметь особые закалочные печи, дающие такую высокую рабочую температуру, 2) необходимо измерять точно температуру и 3) приходится самый процесс закалки значительно усложнять и удлинять, как видно будет из дальнейшего.

Потому тейлоровский способ закалки, весьма распространенный



Фиг. 11.

за границей, до сего времени мало известен в России и почти не встречается на русских заводах.

Вот причина, почему мы полагаем необходимым различать самозакалку и быстрорежущую сталь, как две различных марки, хотя они могут иметь совершенно одинаковый химический состав и различаются только способом закалки.

Все дело в том, что хотя наилучший способ закалки для всякой стали один, но этот наилучший способ не всякий завод способен осуществить на практике, и принужден поэтому работать как бы с другой маркой резцов. Во избежание недоразумений каждой стали удобнее дать особое название, особенно в виду громадной разницы в режущих свойствах (в 2—2½ раза). Что касается способов закалки резцов по способу Тейлора, то лучше всего для его уяснения могут служить прилагаемые диаграммы (графики), которые наглядно показывают операции, производимые с резцами. (См. фиг. 11 и 12).

Вся закалка распадается на два периода: первый—нагрев и охлаждение (собственно закалка) и второй—нагрев (отпуск).

Для каждого нагрева составлена отдельная схема. Слева схемы помещены температуры, до которых производится нагрев или охла-

ждение. Более отлогая линия обозначает более медленный нагрев, крутая—быстрый нагрев до требуемой температуры.

В первом нагреве резца вершина нагревается медленно до ярко вишневого (светло-красного) каления или примерно до температуры 815°.

Медленность нагрева необходима для равномерного и одновременного нагрева всей вершины. Иначе могут образоваться трещины. Соответственно этому, на схеме вначале (до температуры 815°) линия нагрева идет отлого. Начиная с этой температуры нагрев надо вести быстро, в очень горячем огне, до тех пор, пока вершина резца не начнет размягчаться и слегка оплавляться, т. е. почти до температуры плавления (около 1.200°). Этот второй нагрев следует производить так же, как и первый, как можно более равномерно и тщательно.

При интенсивном жаре можно нагреть средних размеров резец от светло-вишневого каления до точки плавления примерно в 3 минуты; меньшие резцы требуют 1—2 минуты.

Быстрый нагрев изображен на диаграмме крутой линией от 815° до 1200°.

Между температурами 850° и 927° резец подвергается порче; т.-е., если при нагреве остановиться на температуре между 850° и 927° и дальше нагрева не продолжать, то резец, как сказано выше, подвергается порче. Этот «опасный» промежуток температуры на первой диаграмме заштрихован.

После нагрева до точки плавления резец должен быть быстро и равномерно охлажден до температуры ниже 850°. Быстрое охлаждение обозначено на диаграмме также крутой линией, идущей от температуры 1200° до 850, после чего охлаждение может продолжаться безразлично—быстро или медленно—до температуры окружающего воздуха. Это обозначено на диаграмме тем, что от 850° вниз идут две линии—отлогая и крутая (пунктиром).

Так как ниже 850° охлаждение вести безразлично быстро или медленно, то можно продолжать быстрое охлаждение и дальше 850°, например, до 620°, или до температуры специальной свинцовой ванны, где расплавленный свинец нагрет до красна. Эта ванна, как увидим, нужна для вторичного нагрева, а потому Тейлор ею пользовался также и для охлаждения резцов при первом нагреве. Температура 620° удобна тем, что ее легко проверять цветом расплавленного свинца.

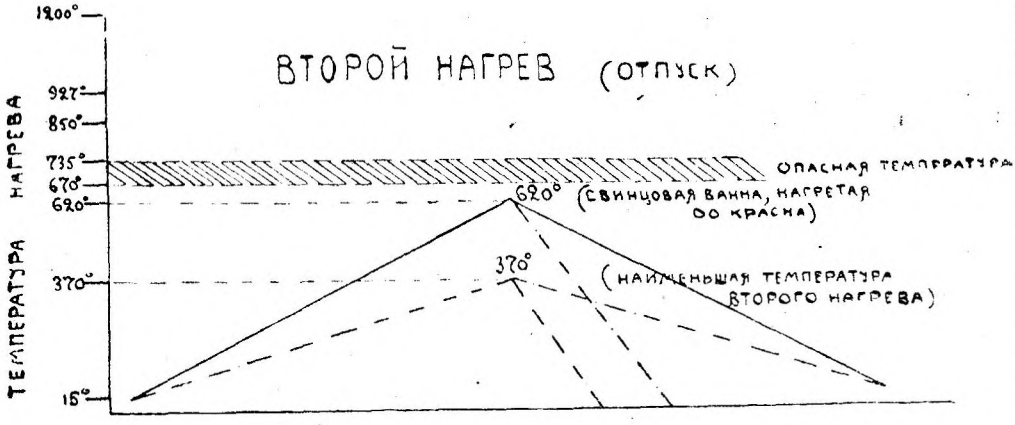
На схеме этот второй вариант указан пунктиром, при чем от 1200° этот пунктир идет круто до 620°, а затем раздваивается на отлогую и крутую ветки, что означает возможность вести дальнейшее охлаждение любым способом.

На той же схеме вдоль линии охлаждения от 1200° до температуры примерно 670° можно видеть штриховку—она означает, что во время охлаждения в этих пределах надо быть осторожным, следя за тем, чтобы температура резца при его охлаждении не колебалась, а все время понижалась. Другими словами, резец, пока он охлаждается в пределах между 1200° и 670°, не должен получать вновь хотя бы кратковременного и небольшого повышения температуры—иначе это очень вредно отзывается на качестве резца.

Схема отпуска быстрорежущего резца (фиг. 12). Второй нагрев производится до температуры не выше 670°. Лучше брать даже несколько низшую, например 620°, оставляя запас в 50°, чтобы не перегреть резца, так как между 670° и 735° для вторичного нагрева заключается опасная температура.

Во второй схеме опасная температура показана штриховкой, а к температуре 620°, идет отлогая линия, что означает медленность нагрева в целях его равномерности.

Тейлор производил этот второй нагрев в особой ванне с расплавленным свинцом, имевшим постоянную температуру 620°. Нужно следить, чтобы в этой ванне температура ни на один момент не доходила выше 670°, иначе резцы будут испорчены.



Фиг. 12.

При вторичном нагреве резец может быть нагрет и до температуры низшей, чем 620°, но во всяком случае не ниже 370°, иначе этот нагрев не будет иметь никакого значения в смысле улучшения режущих свойств резца. Продолжительность полного нагрева—примерно около 5 минут. Это обозначено пунктирной линией, идущей снизу до температуры 370°. Но нужно сказать, что в пределах 370°—620°, чем выше будет нагрев, тем лучше окажется резец после отпуска, а потому нагрев следует по возможности приближать к температуре 620°.

Когда резец будет достаточно нагрет, его нужно охладить, безразлично—медленно или быстро, что обозначено на схеме двумя парами линий, идущих вниз от температуры 620° и 370°.

Закалка по способу Тейлора-Уайта может быть выполнена—хотя и не с такими хорошими результатами—даже в обыкновенном горне и более простыми способами. Эти способы описаны в книге Тейлора «Искусство резать металлы», (§§ 1007—1015) и в книге проф. Гавриленко «Механическая технология металлов» (часть IV, § 18—19).

Приводим следующую выдержку из последней книги:

«После того, так резец откован и до того, как сообщить ему высокий нагрев, в горн нужно подбавить топлива, которое может быть либо коксом, размером кусков приблизительно в 1 дюйм, либо первоклассным кузнечным углем, дающим мягкий огонь; слой топлива должен быть таков, чтобы образовать для резца хорошее глубокое ложе. Затем в горн нужно положить несколько подвергаемых обработке резцов так, чтобы верхушки их были на небольшом расстоянии от той горячей части огня и могли таким образом подогреваться в то же время, как весь огонь раздувается до надлежащей напряженности. Когда огонь станет достаточно напряженным, резцы нужно нагреть по одному над самой горячей частью огня и притом возможно быстрее почти до температуры плавления. Во время этого нагревания они должны быть часто переворачиваемы для того, чтобы нагревание их оказалось равномерным во всем их конце. Как только резец достигнет своего высокого нагрева, его нужно поместить верхушкой под сильную струю воздуха, действию которого он должен подвергаться до тех пор, пока не охладится до температуры помещения.

К несчастью, однако, огонь горна настолько неглубок, что он не в состоянии сохранить свою наибольшую напряженность более, чем в течение немногих минут, так что эти немногие минуты и могут дать первоклассные быстрорежущие резцы; и из кузнечных горнов ежедневно получается большое количество быстрорежущих резцов, нагретых не при достаточно напряженном огне и потому обладающих и малой твердостью при красном калении и плохими режущими свойствами.

В общем огонь, разведенный на коксе, нужно считать лучше огня, разведенного на кузнечном угле, потому что на коксе кузнец скорее и легче может получить огонь, способный сохранять в течение долгого времени свою напряженность и быстро нагревать резцы почти до плавления.

Кокс следует накладывать в целях обеспечения равномерности нагрева возможно толстым слоем. Практически невозможно уследить за тем, чтобы в случае огня, разведенного на угле, кузнец не продолжал нагревать резцы до их высокого нагрева и после того, как надлежащая напряженность огня уже ослабела. Когда сквозь огонь продувается воздух и ударяет по горячему резцу, он заметным образом повреждает наружные слои стали на глубину от $1^1/_2$ до $4^1/_2$ миллиметров.

Охлаждение резцов от точки плавления лучше всего вести в свинцовой ванне, или же в струе воздуха, но не рекомендуется употреблять для этого воду или масло, так как резцы в таком случае охлаждаются недостаточно равномерно и могут получиться хрупкими.

Второй нагрев можно заменить работой на станке, при которой резец нагревается от трения стружки до температуры 370°—670° и затем охлаждением его на воздухе».

Мы приводим здесь все эти сведения потому, что, к сожалению, правильная закалка резцов не всегда ведется, между тем такая закалка дает увеличение скорости по сравнению с резцами, закаленными обыкновенным способом, приблизительно в $2—2^1/_2$ раза.

В 1906 году Тейлор открыл, что небольшое количество ванадия, введенное в состав стали, значительно улучшает ее качество. Он об'ясняет это тем, что ванадий имеет значение не как составная часть сплава, а как своего рода реагент, присутствие которого улучшает самый процесс плавки, восстановляя вредные окислы. Поэтому при прибавлении ванадия в количестве от 0,15% до 0,30% он по окончании плавки иногда исчезает совершенно из состава сплава, но на качество стали он тем не менее оказывает свое благодетельное влияние.

Итак, надо различать четыре главных типа резцовой стали: 1) простую углеродистую, 2) самозакалку, 3) быстрорежущую и 4) новейшую быстрорежущую или ванадиевую.

На случай справок дадим следующую таблицу химического состава резцовой стали разных марок:

Таблица № 2.

Химический состав (на 1000 частей).	Углеродистая сталь.	Самозакалка (Мюшета).	Быстрорежущая сталь.	
			Прежняя.	Новая.
Вольфрама	—	54	80	189
Хрома	—	4	38	55
Углерода	10½	21½	18½	6½
Марганца	11	16	3	1
Ванадия	—	—	—	3
Кремния	2	10½	1½	½
Средняя скорость резания в минуту (метров) . .	5	8	18	30

2. Изнашивание и разрушение резцов. Во время работы резец может притти в негодность по двум причинам: 1) вследствие простого скалывания или отламывания кусочка лезвия—*выкрашивания* и 2) вследствие приведения лезвия в негодность—*разрушения*.

В первом случае имеет место простой излом лезвия под давлением стружки, вследствие хрупкости стали, из которой приготовлен резец. Для того, чтобы резец не выкрашивался, угол заострения лезвия делают достаточно большим, и тем больше, чем больше сечение стружки и чем тверже металл.

Самый важный и интересный случай—это *изнашивание* резца от времени (вследствие истирания, затупления и пр.) или от теплоты (резец «садится», «сгорает» и т. п.).

Надо различать три рода разрушения резца: 1) когда выделяющаяся при резании *теплота* слишком *незначительна*, чтобы произвести размягчение поверхности резца. В этом случае передняя по-

верхность резца, непосредственно прилегающая к лезвию, слегка срабатывается и истирается под влиянием трения стружки, после чего изнашивание постепенно ускоряется. 2) когда *главной причиной разрушения является теплота*, размягчившая поверхность резца в короткое время после начала резания (через 1—3 минуты).

Первый способ разрушения бывает при слишком медленных, второй—при слишком быстрых скоростях резания. Они оба невыгодны—первый вследствие слишком медленной работы и связанной с этим потери времени, второй—вследствие большой потери времени и расходов на слишком частую переточку резцов.

3) Поэтому надо выбирать при работе такие скорости, чтобы резец портился не от медленного и постепенного изнашивания его поверхности (как в первом случае), и не от быстрого накопления теплоты (как во втором случае), а от *соединения этих обоих причин*. Именно, *температура лезвия должна все время поддерживаться высокой, но отнюдь не переходящей известного предела*. Поэтому в первую стадию работы резца последний изнашивается не от теплоты, а от истирания поверхности и др. явлений, теплота же только незначительно влияет на поверхность резца. Когда же постепенное изнашивание резца затупит его и благодаря этому он станет работать тяжелее, и с увеличенным трением, а следовательно и с увеличенным выделением теплоты, то резец от действия этой повышенной температуры быстро портится и приходит в негодность.

Как выяснилось из опытов Тейлора, надо выбирать такие скорости, чтобы резцы приходили в негодность не реже и не чаще, чем в $1^1/_2$—$2^1/_2$ часа (смотря по толщине резца)—в этом случае от них получается наибольшая выгода. Правда, этот расчет относится к резцам особой формы с загнутым передним концом, которые допускают очень большое количество заточек без перековки. Однако и для наших обыкновенных резцов надо принимать, что резцы должны работать без переточки не менее 2 и не более 3 часов.

Изнашивание простых углеродистых и быстрорежущих резцов происходит различными путями. Углеродистые резцы задолго до порчи, уже вскоре после начала работы, начинают затупляться и истираться. Их лезвие постепенно закругляется и изнашивается.

Быстрорежущие резцы, наоборот, сохраняют остроту своего лезвия почти до самого момента порчи. По мере работы изнашивается передняя поверхность резца; это изнашивание, начинаясь на некотором расстоянии от лезвия, постепенно доходит до лезвия. С этого момента развивается такое большое количество теплоты, что резец крайне быстро размягчается. После сравнительно небольшого количества оборотов станка лезвие резца и его боковая поверхность оказываются совершенно изношены и сплавлены; при этом на поверхности обрабатываемого предмета появляется весьма тонкая блестящая линия, производимая испорченной режущей кромкой резца, которая уже не режет, а *полирует* поверхность предмета.

3. Теплота резания и температура резца. Мы видели, уже, что главной причиной разрушения резцов, особенно самозакалки и быстрорежущих, служит выделяющаяся при резании теплота.

Теплота эта происходит от двух причин. С одной стороны, стружка, при ее отделении, скользит по поверхности лезвия резца и от трения образуется теплота. С другой стороны, благодаря давлению резца на стружку, частицы металла внутри стружки перемещаются, стружка изменяет свою форму, что тоже сопровождается выделением тепла внутри стружки—от внутреннего трения частиц металла друг о друга. *Особенно велико количество теплоты от этой второй причины—приблизительно в 6 раз больше, чем от наружного трения стружки о резец.*

Количество образующейся теплоты (в минуту) можно подсчитать следующим образом. По закону сохранения энергии вся механическая работа резца полностью переходит в тепло; в отношении резания это доказано особыми опытами. Количество же механической работы (в минуту) по законам механики равно произведению силы на скорость, т. е. произведению величины давления стружки на резец (в килограммах) [1]) на скорость резания в метрах в минуту.

Пример 16-й. Вычислить среднюю температуру стружки, если температура воздуха 15°, давление стружки на резец составляет при обработке стали 180 кгр. на кв. м/м. сечения стружки, подача равна 0,8 м/м., глубина резания $7\frac{1}{2}$ м/м., скорость резания 12 метров в мин., механический эквивалент теплоты 427, удельный вес стали 7,8, теплоемкость стали 0,14, предполагая, что в стружку перейдет $\frac{3}{4}$ всей теплоты, остальная же распределяется между резцом и обрабатываемым предметом.

Полное давление стружки на резец $180 \times 0{,}8 \times 7{,}5 = 1.080$ кгр. Количество образовавшейся теплоты в минуту $1080 \times 12 : 427 = 30{,}65$ больших калорий, следовательно в стружку перейдет $30{,}65 \times \frac{3}{4} = 23$ больших калорий. Об'ем стружки отделенной от предмета в минуту $= 0{,}8 \times 7\frac{1}{2} \times 12.000 = 72.000$ куб. миллиметров или 72 куб. сантиметра, следовательно, вес ее $72 \times 7{,}8 = 562$ грамма или $= 0{,}562$ кгр. Прирост температуры стружки $23 : (0{,}562 \times 0{,}14) = 293°$, а полная средняя температура стружки $= 293° + 15° = 308°$.

Теплота, выделяющаяся при резании, распределяется между стружкой, резцом и обрабатываемым предметом. Большая часть, от $\frac{1}{2}$ до $\frac{3}{4}$ всей теплоты (от 50 до 75%) остается в стружке. Это и понятно, так как теплота образуется внутри стружки и только часть ее успеет перейти в резец и в обрабатываемый предмет в течение короткого времени срезания стружки.

Чем больше скорость резания и чем толще сама стружка, тем большая часть теплоты остается в стружке. Это вполне доказано опытами как русских (проф. Саввина и Усачева), так и германских (проф. Фридриха) ученых. Если мы пустим станок быстрее, то элемент (частица) стружки будет отрезаться от предмета раньше, чем при более медленной скорости, а потому и раньше прекратится переход теплоты в резец и обрабатываемый предмет. В то же время при более быстром резании меньшее количество теплоты успеет перейти из стружки в окружающий воздух. Можно считать, что при большой скорости и толстой стружке в последней остается $\frac{3}{4}$ всей обра-

---

[1]) Способ вычисления давления стружки на резец будет изложен дальше. Разделив это произведение на 427 (механический эквивалент теплоты), получим количество образовавшейся теплоты в так называемых больших калориях (единица, которой измеряется теплота). Если это количество разделить на вес стружки в килограммах (1 кгр. $= 2\frac{1}{2}$ фунт.) и на теплоемкость металла (для стали теплоемкость равна 0,14), то получим прирост температуры стружки, предполагая, конечно, что вся теплота резания переходит в тепло, что, как мы сейчас увидим, не совсем верно.

зующейся теплоты, тогда как при малой скорости и тонкой стружке—не больше половины.

Та часть теплоты, которая переходит в резец, постепенно распространяется по телу резца и от стенок резца переходит в воздух и в соприкасающиеся с резцом части станка. В то время, как теплота, таким образом, постепенно уходит от лезвия, ее место немедленно занимает вновь образующаяся, и тем в большем количестве, чем быстрее движется резец. Во время всей работы резца устанавливается постоянный поток теплоты в теле резца от лезвия к его стенкам, при чем лезвие все время остается самым нагретым местом резца. При нормальной работе резца температура его лезвия устанавливается на одной высоте и устойчиво на ней держится, так что вновь поступающая от стружки теплота равна отводимой вглубь резца. Пока резец работает исправно и его поверхность не изнашивалась, давление на резец, а следовательно и температура лезвия, остаются без изменения. При этом, как указано выше, температуры эти должны быть возможно ближе к предельной, дальше которой резец не может вынести без немедленной порчи. Как только поверхность резца несколько испортится, давление возрастет и температура лезвия превысит предельную; резец быстро придет в негодность и потребует переточки. Таков нормальный ход разрушения резца, если он работет при наиболее выгодных скоростях резания. При слишком медленных скоростях нагревание лезвия все время остается далеко ниже предельного, при слишком быстрых—отвод теплоты не поспевает за ее образованием, температура лезвия все повышается, пока не перейдет за предельную и резец быстро портится.



V. Скорость резания и условия, от которых она зависит.

1. Определение скорости резания. Скоростью резания называется скорость движения резца относительно поверхности обрабатываемого предмета, при чем безразлично, резец ли находится в движении, или резец стоит, а двигается предмет.

Скорость всякого движения измеряется длиной, пройденной в известное время; для резания обычно принимается, сколько метров пройдет резец в минуту. Из вышеприведенной таблицы сортов резцовой стали мы видим, что средние скорости резания для углеродистых резцов 5 метров в минуту, самозакалки 8 метров, быстрорежущей стали прежних сортов 18 метров, новых сортов 30 метров в минуту. Эти цифры надо хорошо помнить; однако для разных металлов и разного сечения стружки они сильно изменяются, о чем мы будем говорить ниже.

Скорость вращательного движения кроме того измеряется числом оборотов в минуту. Шпиндель токарного, сверлильного и фрезерного станка дает всегда определеное число оборотов в минуту, зная диаметр обрабатываемого предмета, мы можем расчитать, сколько метров в минуту делает резец. Для этого нужно знать длину окружности предмета, т.-е. длину, проходимую резцом за 1 оборот шпинделя. Если шпиндель делает, скажем, 10 оборотов в минуту, то за эти 10 оборотов резец пройдет длину в 10 раз большую длины окружности.

Пример 17-й. Пусть диаметр предмета 450 м/м, число оборотов шпинделя 10 в минуту. Найти скорость резания? Умножаем 450 на 3,14, находим длину окружности 1.445,5 м/м.; умножаем 1.445,5 на 10, находим скорость резания 14.455 миллиметров в минуту (так как диаметр был измерен в миллиметрах). Так как 1 метр=1.000 миллиметрам, то скорость резания — $14\frac{1}{2}$ метров в минуту.

Найденная нами скорость резания называется *линейной скоростью* (так как измеряется по *линии* движения резца), в отличие от скорости резания выражаемой числом оборотов в минуту [1]).

Известно, что длина каждой окружности в 22/7 (или в $3\frac{1}{7}$, а в десятичных дробях 3,14159 раз) больше диаметра. Поэтому для получения длины окружности надо диаметр умножить на 22 и затем разделить на 7.

---

[1]) И в отличие от *угловой* скорости резания, в которой измеряется скорость вращательного движения по окружности, имеющеи радиус, равный единице (например 1 метру).

Например, диаметр равен 300 миллиметрам. Чтобы найти длину окружности, умножим 300 на 22, получим 6600; затем делим полученное число на 7 и находим $6600 : 7 = 943$ миллиметра.

Если число оборотов равно, положим, десяти в минуту, то за каждый оборот резец пройдет 943 миллиметра, т.-е. одну длину окружности, а в минуту, т.-е. сделав 10 оборотов, пройдет $943 \times 10 = 9430$ миллиметров или около $9^1/_2$ метров.

Эта величина $9^1/_2$ метров и составит скорость резания резца. Таким образом, *чтобы найти скорость резания, надо диаметр умножить на 22, затем разделить на 7 и затем полученное число умножить на число оборотов.* Диаметр при этом надо брать в метрах, если же он берется в миллиметрах, то полученный результат надо разделить на 1000, т.-е. перевести из миллиметров в метры. Для этого надо отделить запятой три цифры справа.

Подобным же расчетом можно решить и обратную задачу: если дана скорость, то по ней и по диаметру высчитать число оборотов. *Для этого надо скорость перевести в миллиметры* (т.-е. умножить на 1000), *затем умножить на 7, затем разделить на 22, затем разделить на диаметр* (в миллиметрах) *и полученное число покажет число оборотов.*

Например, скорость равна 12 метрам в минуту, а диаметр равняется 400 миллиметрам. Переводим скорость в миллиметры: 12 метров составляет 12.000 миллиметров, множим на 7, получаем $12.000 \times 7 = 84.000$, делим $84.000 : 22 = 3818$; делим 3818 на 400, получаем $9^1/_2$ оборотов в минуту.

Определить число оборотов шпинделя (а отсюда и линейную скорость для того предмета, который обрабатывается), нетрудно. Для этого отмечают мелом черту на окружности патрона (или вместо этого замечают местонахождение винта, скрепляющего ступенчатый шкив с переборной шестерней) и пустив в движение станок, считают число оборотов. В момент начала и конца счета замечают показание минутной и секундной стрелки часов. Лучше всего начинать и оканчивать счет, когда секундная стрелка стоит на 60—тогда получаем полное число минут и легче запомнить время начала и конца счета. Конечно, удобнее всего пользоваться секундомером—пускать его в ход при начале счета и останавливать при окончании, при чем также желательно для упрощения расчета вести счет до полного числа минут. Пользование секундомером дает гораздо более точные результаты, а потому достаточно считать в течение одной минуты, при пользовании же обыкновенными часами следует считать не меньше 2—3 минут и затем разделить общее число сосчитанных оборотов на число минут.

Пример 18-й. Шпиндель сделал 400 оборотов в 2 мин. 13 сек. Сколько оборотов приходится в минуту? Всего секунд $60 \times 2 + 13 = 133$; в секунду $400 : 133 = 3$ оборота. (Остаток отбрасываем, так как он очень мал), следовательно в минуту $3 \times 60 = 180$ оборотов. Или же вести расчет в минуту (дробями). 2 мин. 13 сек. равны $2\frac{13}{60}$ мин. $= \frac{133}{60}$ минут. Разделим 400 на $\frac{133}{60}$, для чего 400 надо умножить на 60 и разделить на 133; получим $400 \times 60 = 24.000$, $24.000 : 133 = 180$ оборотов.

Глебов. 3

10338.

Научная библиотека Харьковского Химико-Технологич. Института

Если известно число оборотов хотя бы одной ступени шкива, то все остальные скорости легко можно расчитать. Для этого надо знать диаметры ступеней на шкиве и в контр-приводе. Прежде всего расчитаем число оборотов оси контр-привода.

Если, например, нам известно число оборотов (без перебора) на большой ступени станка (положим 120) и диаметр этой ступени (например, 10″), а также диаметр соответствующей ступени контр-привода (т.-е. самой малой, положим 6″), то *число оборотов шпинделя надо умножить на диаметр шкива станка и разделить на диаметр шкива контр-привода.* $120 \times 10 : 6 = 200$. Теперь, когда число оборотов контр-привода известно, можно высчитать скорость при всяком другом положении ремня, для чего *число оборотов контр-привода нужно умножить на диаметр шкива контр-привода и разделить на диаметр шкива станка* (шкивы, конечно, брать соединенные ремнем).

Если известно число оборотов с перебором, то можно высчитать число оборотов без перебора для того же шкива, умножив первое на множитель перебора. Множитель перебора можно найти так: перемножив числа зубцов больших (ведомых) шестерен перебора и затем числа зубцов малых (ведущих) шестерен, надо разделить первое произведение на второе. (Если, обратно, разделить второе на первое, то получится передаточное число перебора, всегда меньшее 1).

Пример 19-й. Перебор имеет следующие шестерни: 80; 20; 60; 28 зубцов. Множитель найдем так: $80 \times 60 = 4.800$; $20 \times 28 = 560$; $4.800 : 560 = 8{,}6$. (Передача перебора будет $560 : 4.800 = 0{,}116$. Так как передача меньше единицы, с ней не так удобно вычислять, как с множителем).

2. Влияние скорости резания на резец. Из того, что мы сказали о теплоте, ясно, что скорость резания имеет большое значение для порчи резца.

Хотя с увеличением скорости несколько увеличивается количество теплоты, остающейся в стружке, и следовательно, меньше переходит в резец, однако разница не так значительна. Чтобы уменьшить вдвое процент теплоты, переходящей в резец, надо скорость резания увеличить больше чем в 10 раз [1]). Но от увеличения скорости в 10 раз, во столько же почти раз усилится скорость притока теплоты к лезвию резца, а следовательно и температура лезвия. Таким образом сокращение доли теплоты, переходящей в резец, пять раз покрывается ускорением притока теплоты к резцу.

Действительно, практика каждого токаря показывает, что всякий резец очень чувствителен к повышению скорости. Иногда даже небольшое увеличение ее ведет к быстрой порче резца; ни к чему другому резец не относится столь чувствительно, как к скорости резания.

По опытам английских (проф. Риппер) и американских (Тейлор) исследователей оказалось, что с увеличением скорости резания резец быстро сокращает продолжительность своей работы без переточки, т.-е. время, в течение которого он приходит в негодность считая от начала работы. Если например, резец работает при скорости в 15 метров в минуту, $1\frac{1}{2}$ часа без переточки, то при скорости 18 метров он проработает только 20 минут, а при скорости

---

[1]) По опытам Усачева, с увеличением скорости резания с 10 до 20 метр. в минуту, % остающейся в стружке теплоты повышается с 60% только до 77%, а по опытам Фридриха при увеличении скорости с 4,62 до 48,9 метр. в минуту (т.-е. в 10 раз), % теплоты остающейся в стружке, повысился с 34% до 53%, т.-е. меньше чем вдвое. Но ведь не вся же уходящая из стружки теплота переходит в резец—значительная часть ее переходит в обрабатываемый предмет.

20 метров испортится всего в 5 минут. При дальнейшем увеличении скорости, резец будет уже портиться вскоре после начала резания. Для углеродистых резцов продолжительность работ без переточки уменьшается немного медленнее, но все же весьма быстро. Столь сильное влияние скорости резания на стойкость резцов установлено опытами обоих вышеупомянутых исследователей.

Соответственно сказанному, уменьшение скорости быстро увеличивает продолжительность работы резца. Во взятом нами примере, если мы уменьшим скорость с 15 до 12 метров в минуту, то резец проработает вместо $1^1/_2$ часов 9 часов, а при скорости в 10 метров будет работать весьма долго, приблизительно часов 35 подряд.

Отсюда следует, что для хорошей и выгодной работы резца брать скорость надо не выше и не ниже нормальной,—взять много выше нормальной не позволит резец, взять много ниже нет никакого смысла, так как вследствие этого получится продолжительность работы, совершенно не нужная для практики.

Такие результаты опытов об'ясняются следующим образом: пока резец работает с чрезмерно малыми скоростями, он разрушается только от изнашивания его поверхности. С повышением скорости постепенно увеличивается температура резца и под ее влиянием резец уже меньше способен противостоять износу, а потому продолжительность его службы немного сокращается. Сокращение это очень незначительное, так как теплота, пока она не высокая, оказывает небольшое влияние. С каждым дальнейшим повышением скорости растет температура лезвия, так как ускоряется приток теплоты к лезвию, при чем отвод ее в тело резца остается тот же. Чем выше температура лезвия, тем более уменьшается противодействие резца изнашиванию, так как резец слегка размягчается, что несколько облегчает истирание лезвия.

Если скорость резания увеличится настолько, что уровень температуры лезвия установится хотя бы немного выше предельной температуры, резец этой температуры уже не выдержит и немедленно разрушится. Этой предельной температуры резец достигает не сразу при начале резания: после пуска резца температура будет некоторое время постепенно наростать, пока не установится равновесие теплового потока и приток вновь образующейся теплоты не выравнится с отводом ее в тело резца. В случае, если этот уровень температуры при равновесии теплового потока будет выше предельной температуры резца, то последний разрушится раньше, чем установится равновесие — и тем раньше, чем больше разница между обоими температурами, т.-е. чем больше скорость резания. При очень высоких скоростях такая предельная температура достигается в самый короткий срок работы резца—через несколько секунд после начала резания.

Из изложенного надо сделать вывод, что температура резца в начале резания постепенно повышается, пока не дойдет до известного уровня, на котором ее рост останавливается. Это постепенное повышение температуры продолжается в течение приблизительно 10 минут. Если уже в первую минуту-две работы резца температура очень быстро повышается и тело резца доходит до своей обычной при нормальной работе температуры, то это служит указанием, что скорость взята слишком большая и ее надо немедленно понизить, чтобы предохранить резец от преждевременного разрушения. Наоборот, если температура тела резца поднимается очень медленно и после 10 минутного резания явно не доходит до нормального состояния (что можно заключить и по виду стружки и по температуре свободного конца резца), то это служит очевидным признаком недостаточной скорости резания.

3. Влияние сечения стружки на резец. Увеличивая сечение стружки, мы увеличиваем и выделение теплоты; взяв стружку в два раза больше, мы получим приблизительно в два раза больше теплоты [1]). *В одно и то же время, скажем в 1 секунду, при одной и той же скорости резания, к лезвию резца будет подводиться вдвое большее количество теплоты,* следовательно, и температура его лезвия должна быть также приблизительно вдвое выше, если отвод теплоты, т.-е. количество теплоты, отводимой в тело резца, останется тот же. Если резец работал раньше при правильно выбранных скоростях резания, то температура его лезвия была близка к предельной, следовательно для сохранения стойкости резца в прежнем виде придется понизить скорость резания, чтобы дать время отвести от лезвия вновь образующееся увеличенное количество теплоты.

Насколько придется понизить скорость резания? *Если наши рассуждения были правильны, то скорость надо понизить во столько же раз, во сколько мы увеличим сечение стружки.* В самом деле, увеличив стружку, скажем, вдвое, мы удвоим и количество теплоты; если в минуту резец может отвести одно и то же количество теплоты, то это удвоенное количество резец отведет в вдвое большее время, т.-е. в две минуты. Следовательно, нам надо и скорость образования теплоты, т.-е. скорость резания, тоже уменьшить вдвое, с тем, чтобы в минуту выделялось бы вдвое меньшее количество теплоты.

Однако, оказывается, что такие расчеты совсем неправильны. Скорость приходится понизить гораздо меньше, чем мы увеличиваем сечение стружки. Это об'ясняется несколькими причинами, с которыми мы сейчас познакомимся; *главная же причина в том, что отвод теплоты с увеличением сечения стружки не остается тем же, а тоже несколько увеличивается.* Это об'ясняется следующим образом.

Когда резец режет с определенной скоростью, скажем проходит по поверхности предмета 10 метров в минуту, то каждую секунду образуется известное количество теплоты, скажем, 100 каких-нибудь тепловых единиц. Если мы скорость увеличим, например, вдвое, т.-е. до 20 метров в минуту, то в секунду будет образовываться уже не 100, а 200 единиц теплоты и так как быстрота отвода теплоты не изменится, т.-е. от лезвия будет отводиться в секунду то же самое количество теплоты, температура лезвия резца также повысится, скажем, вдвое.

Когда мы вместо увеличения скорости резца увеличим сечение стружки, то количество образующейся теплоты так же увеличивается. В общем, можно считать, что это количество теплоты увеличится почти во столько же раз, во сколько раз увеличится сечение стружки.

Правда, и это не совсем точно: во-первых, как мы увидим ниже, давление на резец, от величины которого зависит количество образующейся теплоты, с увеличением сечения стружки растет несколько медленнее, чем самое сечение. Во-вторых, мы видели выше, что при

---

[1]) Дальше будет указано, что давление на резец, а следовательно, и количество образующейся теплоты увеличивается несколько медленнее, чем сечение стружки; однако, разница оказывается небольшая.

увеличении толщины стружки в резец переходит несколько меньшая часть образующейся теплоты и соответственно большая часть остается в стружке. Эти два обстоятельства уже должны несколько понижать температуру лезвия.

Но предположим, что два указанные обстоятельства не имеют влияния. Тогда, с точки зрения *количества теплоты, образующейся в секунду,* безразлично, будем ли мы вдвое увеличивать *скорость* или во столько же раз увеличим *сечение стружки.* Но совсем иначе обстоит дело *с отводом теплоты от лезвия.* При увеличении скорости быстрота отвода теплоты, как мы сказали, вообще говоря, не меняется. При увеличении же *сечения стружки* всегда увеличивается *периметр* стружки и длина работающей части лезвия—*следовательно, увеличивается быстрота отвода теплоты* (*периметром* называется общая длина всех сторон какой-нибудь фигуры; периметр сечения стружки—общая длина всех четырех сторон этого сечения).

Положим, мы сперва имели подачу 2 мм. и глубину резания 4 мм., что соответствует площади сечения стружки $4 \times 2 = 8$ кв. мм. Затем, мы увеличим вдвое и подачу. и глубину резания, так что подача будет 4 мм. и глубина резания 8 мм.; следовательно, площадь сечения будет $8 \times 4 = 32$ мм., или *вчетверо* больше прежней. Поэтому, и количество теплоты, образующейся за одно и то же время, увеличится в *четыре* раза.

Отвод теплоты будет пропорционален периметру стружки или длине работающей части режущей кромки лезвия (т.-е. длине той части режущей кромки, которая находится в соприкосновении с металлом и режет его). Эта работающая часть будет в первом случае иметь общую длину $2 + 4 = 6$ мм., а во-втором $4 + 8 = 12$ мм., следовательно, во-втором случае вдвое большую длину, чем в первом, а потому и отвод теплоты во-втором случае будет итти вдвое быстрее.

Благодаря этому, увеличение сечения стружки в *четыре* раза будет влиять на температуру лезвия резца приблизительно таким же образом, как увеличение скорости резания *вдвое.*

4. Выбор между скоростью и сечением стружки (Основной закон резания). Если это так, если температура лезвия резца гораздо сильнее зависит от скорости резания, чем от сечения стружки, то и *на стойкость его скорость резания влияет гораздо сильнее.* Это твердо доказано опытами исследователей (главным образом Тейлора).

Поэтому, гораздо выгоднее работать с крупными сечениями стружки, чем с большими скоростями. Это основной закон резания металлов.

В начале этой книги мы указывали, что неправильно стремление для повышения производительности станка во чтобы то ни стало непременно повышать скорости резания.

Скорость резания, действительно, часто бывает недостаточной и часто ее следует повысить—это верно. Нет надобности работать при меньшей скорости,—если можно с таким же успехом работать при большей. Во-первых, от этого производительность станка будет расти одинаково со скоростью, а во-вторых, резцы будут стоять иногда не только не хуже, а даже лучше, поскольку они обладают особым качеством—*красностойкостью,* т.-е. особой твердостью при красном калении.

Но главный вопрос не в том, насколько можно повышать скорость резания, а в том, *как выбрать правильное соотношение между скоростью и сечением стружки.*

Резец будет изнашиваться скорее и от того, что скорость мы возьмем больше, и от того, что увеличим сечение стружки. *В первую голову надо увеличивать то, от чего резец портится меньше.* Скажем, резец испортится в определенное время, если мы скорость увеличим *вдвое,* но вместо того, чтобы увеличивать скорость, мы можем увеличивать *подачу.* Как мы уже сказали, это много выгоднее, так как *увеличение скорости в два раза имеет такое же действие на резец, как увеличение сечения стружки в четыре раза.* Другими словами, мы можем выиграть в 4 : 2 = в два раза в производительности станка, если будем работать с большим сечением стружки и с не слишком высокой скоростью.

Если скорость уже взята очень большой, так что сечение стружки уже повысить нельзя (т.-е. температура лезвия уже близка к предельной), то *надо уменьшить скорость.* Для того, чтобы увеличить сечение стружки в *четыре* раза, надо скорость уменьшить в *два* раза; чтобы увеличить скорость в *девять* раз, скорость надо уменьшить в *три* раза и т. д. [1]). Из этих цифр, которые приблизительно верно соответствуют действительности, можно видеть, какую выгоду в производительности станка можно получить не увеличением скорости, а только *перераспределением нагрузки резца,* переходом к работе с большими сечениями стружки.

Таким образом, оказывается, что для увеличения производительности станка надо иногда не только не повышать, а даже *понижать скорость* (если имеется возможность повысить сечение стружки), следуя русской пословице: „тише едешь, дальше будешь".

В следующей таблице приводится расчет, как можно увеличить сечение стружки, а также производительность станка, с уменьшением скорости резания.

Таблица № 3.

Уменьшая скорость.		Можно благодаря этому					
		увеличить сечение стружки при обработке		и тем повысить производительность станка при обработке			
				стали		чугуна	
В отношении	Или в % от первоначал.	стали	чугуна	На %	Или	На %	Или
в 1,11 раза	на 10%	в 1,23 раза	в 1.3 раза	10%	в 1,1 раза	18%	в 1,18раза
„ 1,25 „	„ 20 „	„ 1,56 „	„ 1,7 „	25 „	„ 1,25 „	35 „	„ 1,35 „
„ 1,43 „	„ 30 „	„ 2 „	„ 2¼ „	45 „	„ 1,45 „	60 „	„ 1,6 „
„ 1,66 „	„ 40 „	„ 2,77 „	„ 3,3 „	66 „	„ 1,66 „	100 „	„ 2 „
„ 2 „	„ 50 „	„ 4 „	„ 5 „	100 „	„ 2 „	150 „	„ 2½ „
„ 2,5 „	„ 60 „	„ 6¼ „	„ 9 „	150 „	„ 2½ „	250 „	„ 3½ „
„ 3,3 „	„ 70 „	„ 11 „	„ 18 „	230 „	„ 3,3 „	440 „	„ 5,4 „

[1]) Ср. Тейлор § 732.

Таким образом, если мы взяли, например, на станке скорость 120 оборотов в минуту, и при сечении стружки в 4 кв. мм. *резец работает с наибольшей нагрузкой*, т.-е. его лезвие нагревается до предельной температуры, то мы можем с выгодой повысить сечение стружки за счет скорости резания, нисколько не изменяя нагрузки резца, т.-е. не изменяя той температуры, при которой его лезвие работает.

Переходя на другую скорость станка, например, на 72 оборота в минуту, (т.-е. уменьшив ее в 1,66 раза или на 40% от первоначальной), мы согласно таблицы, при обработке стали можем увеличить сечение стружки в 2,77 раз, т.-е. вместо 4 кв. мм. взять $4 \times 2,77 = 11,1$ кв. мм.

Нетрудно вычислить, сколько мы выиграем в производительности от этой комбинации.

Умножив скорость на сечение стружки в обоих случаях, получим $12 \times 4 = 480$ для первой комбинации и $72 \times 11,1 = 799$ для второй комбинации. Вторая комбинация будет, следовательно выгоднее в $790 : 480 = 1,66$ раз или на 66%. Этот же результат мы найдем и в таблице, в той же строке.

При обработке чугуна результат будет еще выгоднее,—производительность повысится вдвое или на 100%, что мы найдем в той же самой строке таблицы.

Пример 20-й. Резец режет чугунный цилиндр при 16 оборотах в минуту и сечении стружки 10 кв. м/м. 1) Какое сечение стружки можно взять при скорости 32 оборота в минуту и 2) какая из этих двух комбинаций выгоднее?

1) Чтобы увеличить вдвое скорость при обработке чугуна, надо (см. таблицу) уменьшить сечение стружки в 5 раз, т.-е. до 2 кв. м/м.

2) Произведение скорости и сечения в первом случае больше ($10 \times 16 = 160$), чем во втором ($32 \times 2 = 64$) следовательно первая комбинация в $160 : 64 = 2\frac{1}{2}$ раза выгоднее.

5. Влияние толщины и ширины стружки в отдельности. Хотя в предыдущем параграфе мы говорили о „сечении стружки" но это можно делать только при более грубых подсчетах. Оказывается, что *толщина и ширина стружки имеют не совсем одинаковое влияние на резец и на скорость резания.* Причины этого неодинакового влияния следующие. С одной стороны, давление на резец неодинаково увеличивается от увеличения толщины и от увеличения ширины стружки, а потому неодинаково увеличивается и образующаяся при резании теплота. С другой стороны, эта теплота неодинаково распределяется между резцом и стружкой. Наконец, отвод теплоты неодинаков при толстой и узкой и, обратно, при тонкой и широкой стружке.

Влияние этих трех причин не одинаковое. Давление на резец, а следовательно и количество теплоты, растет *медленнее толщины стружки и одинаково с ее шириной.* Это происходит от того, что в толстой стружке не так сильно сдвигаются частицы металла или, как говорят, *деформация* металла менее полная, чем в тонкой стружке, ширина же стружки здесь влияния не имеет.

Таким образом, если мы имеем две стружки, одну толстую и узкую, например при подаче 1 мм. и при глубине резания 4 мм., и другую, наоборот, тонкую и широкую, например при подаче 1/2 мм. и глубине резания 8 мм., *при чем сечение стружки в обоих случаях одинаковое* (4 кв. мм.), то в первом случае давление будет несколько меньше и теплоты при резании выделится тоже несколько меньше, чем во втором. Таким образом если бы вопрос шел только о том, чтобы работать с возможно меньшим напряжением станка, то следовало бы предпочесть *толстую* стружку, т.-е. первую комбинацию. Правда, выигрыш был бы очень небольшой, даже ничтожный, но все же в пользу толстых стружек, с которыми резцу и станку, со стороны нагрузки, работать немного легче. Распределение теплоты между резцом и стружкой в толстых стружках, как мы видели выше, также к выгоде резца.

Однако, влияние этих двух причин настолько небольшое, что с большим избытком покрывается влиянием третьей причины. *Широкие стружки*, соприкасаясь на большей длине лезвия с резцом *облегчают отвод теплоты вглубь металла резца в большей степени, чем толстые и узкие стружки*, при которых теплота сосредоточивается у самой вершины лезвия, т.-е. у наиболее опасного и без того сильно нагруженного места резца. *Поэтому, хотя тонкие и широкие стружки работают несколько тяжелее в смысле давления стружки, но они допускают несколько большие скорости резания, чем толстые и узкие.* Во взятом нами примере, поэтому, окажется выгоднее взять подачу 1/2 мм. и глубину резания 8 мм., чем подачу 1 мм. и глубину 4 мм. **Это—второй, очень важный закон резания металлов**, который надо хорошо запомнить и усвоить.

Таким образом, *выбирая между сечением стружки и скоростью, надо всегда предпочитать возможно большее сечение стружки* и не жалеть уменьшать скорость настолько, насколько это окажется необходимым для сохранения нормальной стойкости резца. *Остановившись на том или другом сечении стружки, следует по возможности выбирать* подачу и глубину резания так, *чтобы подача была возможно меньше, а глубина резания возможно больше.*

Конечно, если глубина резания по каким-либо причинам не может быть увеличена (например толщина подлежащего с'ему металла невелика), то, как ясно из всего сказанного, следует вместо глубины резания увеличить подачу. Хотя это менее выгодно, но все же *лучше работать с толстой стружкой, чем ограничиваться маленьким сечением стружки.*

Точно также, если по каким-либо причинам нельзя взять желательного или наивыгоднейшего сечения стружки (напр. этого не позволяют размеры и свойства обрабатываемого предмета или слаб станок), то, конечно, надо ограничиться тем сечением стружки, которое при данных условиях возможно, и вознаградить себя соответственным увеличением скорости резания.

Кроме подачи и глубины резания, соотношение между толщиной и шириной стружки зависит от наклона лезвия к оси предмета. Ис

того, что мы говорили о форме сечения стружки (гл. 3, фиг 8), ясно что при одной и той же подаче и глубине резания стружка будет тем тоньше, чем больше лезвие наклонено к предмету, т.-е. чем острее угол между направлением лезвия и осью обрабатываемого предмета. Это будет очевидно и понятно с первого взгляда на фиг. 7.

Если тонкая стружка выгоднее толстой (при одном и том же сечении, т.-е. если толщина стружки уменьшается за счет ее ширины), то, очевидно, должно быть *выгоднее как можно сильнее наклонять лезвие резца, так, чтобы угол между резцом и предметом был возможно меньше и острее.* Фиг. 7 (стр. 17) поясняет это положение.

Действительно, как мы указывали, более тонкую стружку (за счет ее ширины) можно получать или уменьшая подачу при увеличенной глубине резания, или же усиливая наклон лезвия к оси. С точки зрения распределения теплоты, стойкости резца и т. п., безразлично, будет ли получена тонкая стружка тем или другим способом. Однако, *выгоднее в некоторых других отношениях ставить резцы круто,* т.-е. с небольшим наклоном лезвия, и получать тонкую стружку путем сравнительно небольшой подачи при соответственном увеличении глубины резания. Об'ясняется это тем, что *сильный наклон лезвия облегчает дрожание резца,* что будет обстоятельно выяснено в соответствующем параграфе. *Поскольку же дрожания не имеют места, выбор того или другого способа почти безразличен.*

6. Влияние рода и твердости обрабатываемого металла. Твердость и род обрабатываемого металла имеют весьма сильное влияние на величину допускаемой резцом скорости резания. Так, мягкая сталь, при работе самозакалкой, с подачей 1 мм. и глубиной резания 5 мм. допускает скорость 22 метра в минуту, средняя 12 метров и твердая 5 метров. Следовательно, твердая сталь обрабатывается приблизительно в $4^1/_2$ раза медленнее, чем мягкая.

Если мы возьмем самые твердые сорта хромоникелевой стали и сравним их с самым мягким железом, то разница будет еще значительнее.

Для чугуна разница немного меньше (в $3^1/_2$ раза): мягкий чугун при той же стружке допускает 18 метров, средний 10 и твердый тоже 5 метров.

Сравнивая скорости для стали и чугуна, видим, что *в общем для чугуна скорости несколько меньше, особенно для мягкого.* Между тем, давление на резец, а следовательно и количество выделяющейся теплоты при обработке чугуна гораздо меньше, чем при обработке стали, именно в 2—$2^1/_4$ раза, отсюда следовало бы предположить, что и скорости для чугуна должны быть соответственно выше. По заключению Тейлора, эта особенность чугуна об'ясняется тем, что резец при обработке последнего разрушается не только от теплоты, но и от истирающего действия частиц углерода, который имеется в чугуне, как мы знаем, в большом количестве. Действительно, опыты русского исследователя Усачева подтвердили это предположение; оказалось, что при обработке чугуна достаточно нагреть лезвие до значительно мень-

шей температуры, чем при обработке стали, чтобы вызвать его немедленное разрушение. Именно, по опытам Усачева, при обработке стали резец разрушался, когда температура его лезвия доходила до 560°, а при обработке чугуна—только до 400°.

Другая причина более быстрого разрушения резца при обработке чугуна заключается в том, что стружка при чугуне почти не разбухает, вследствие чего главная тяжесть давления сосредоточивается на самом краю режущей кромки лезвия, а потому давление стружки действует на резец гораздо разрушительнее. По этой же причине и теплота, которую резцу приходится отводить, также сосредоточивается на самом краю лезвия, что очевидно, значительно замедляет ее отведение.

Во всяком случае надо иметь в виду при работе на станках, что *в общем скорости обработки чугуна почти одинаковы со скоростями для стали, даже несколько ниже последних.*

Быстрорежущие резцы при обработке чугуна показывают любопытную особенность. Если при обработке стали лучшие марки быстрорежущих резцов, хорошо закаленных, дают возможность взять скорости в 6 и даже 7 раз больше, чем резцы из углеродистой стали при тех же условиях, то при обработке чугуна выгода от быстрорежущих резцов получается значительно меньше, именно только в $3^1/_3$ раза. Это об'ясняется тем, что главное качество быстрорежущих резцов—*красностойкость*, т.-е. способность сохранять свою твердость в состоянии красного каления. Поэтому, естественно, быстрорежущие резцы особенно ценны и выгодны там, где главной причиной разрушения резца является *теплота*. Мы видели, что при обработке чугуна особую роль играет изнашивание и истирание лезвия частицами углерода и разными землистами частицами, против чего красностойкость плохо защищает резец. При обработке чугуна надо иметь в виду особенности обработки так называемой *корки*, т.-е. поверхностного слоя отливки. В корке почти всегда имеется примесь песка, который вредно действует на резец, истирая его поверхность и затрудняя отвод теплоты.

Поэтому при обработке чугунных отливок скорость резания приходится понижать; при обработке *мягкого чугуна* скорость следует брать вдвое меньше, чем без корки, при *среднем чугуне* надо применять скорость равную приблизительно $^3/_4$ той скорости, какую можно взять при обработке чистого металла под коркой. При обработке *твердых* сортов чугуна скорость вообще берется уже весьма низкой и ее приходится понижать немного.

Таким образом режущая способность резца из быстрорежущей стали дает сравнительно меньше выгоды при обработке корки на мягких чугунных отливках, чем на твердых. Но мы только что видели, что чугун вообще можно обрабатывать быстрорежущими резцами с меньшей выгодой, чем сталь. Это особенно имеет приложение к обработке корки на мягких отливах, так что выгода от быстрорежущей стали по сравнению с простыми углеродистыми резцами здесь оказывается сравнительно очень небольшой.

Обратимся теперь к выяснению причин различия скорости обработки одного и того же металла (напр. стали) *разных степеней твердости*. Разница в скоростях получается очень большая—в $3^1|_2$—$4^1|_2$ раза. Это кажется особенно странным потому, что давление стружки на резец, а следовательно и общее количество образующейся теплоты при обработке *твердой стали* только в $1^1|_2$ раза больше, чем при обработке мягкой стали; точно также в $1^1|_2$ раза больше давление на резец при обработке *твердого чугуна* по сравнению с мягким чугуном. Поэтому, причину столь вредного влияния на стойкость резца твердости металла надо искать не в количестве теплоты при твердом и мягком металле, а в *ее распределении* и отводе.

Первое об'яснение этому явлению дал Тейлор. Он указал на ряд причин. Прежде всего стружка мягкого металла сильно разбухает и тем сильнее, чем мягче металл. Благодаря этому, она опирается на переднюю поверхность резца более широким основанием, отчего, во-первых, давление распределяется ровнее и режущая кромка работает легче и меньше нагружена, а во-вторых, теплота отводится большей площадью и на большем расстоянии от режущей кромки.

Однако это об'яснение, очевидно, недостаточно. Несомненно, что указанные Тейлором причины влияют, и довольно сильно, на разницу в скоростях твердой и мягкой стали, но, конечно, не настолько, чтобы при разнице в давлении стружки всего в $1^1|_2$ раза скорости резания различались в $4^1|_2$ раза. Здесь должна быть какая-то другая, более важная причина.

Этой главной причиной, которая оставалась неизвестной до последнего времени практике—служит *значительная разница в теплопроводности твердой и мягкой стали*. То-есть быстрота отвода теплоты срезаемой стружкой и обрабатываемым предметом в мягком металле гораздо больше, чем в твердом—примерно в два или в два с половиною раза. Даже если взять одну и ту же сталь, она окажется на 65% теплопроводней, если ее не закаливать, чем если испытывать ее в закаленном виде. Эта особенность стали не была известна Тейлору.

Если обрабатываемый материал оказывается гораздо теплопроводней другого—то, очевидно, он допустит и соответственно большую скорость резания, так как одно и то же количество теплоты будет отведено этим металлом в соответственно меньшее время.

Теплопроводность обрабатываемого металла вообще имеет большое значение для скорости резания. Так напр. красная медь имеет почти одинаковое сопротивление разрыву с твердым чугуном; между тем скорость резания меди в несколько раз выше, чем скорость резания чугуна, так как теплопроводность красной меди 330, а чугуна 40. Латунь имеет сопротивление разрыву несколько меньше красной меди, но теплопроводность первой ниже почти в 3 раза, отчего скорость резания латуни также ниже, чем красной меди. Алюминий, вследствие своей малой теплопроводности, режется сравнительно медленно, хотя его сопротивление разрыву втрое меньше.

Нижеследующая таблица дает сведения о теплопроводности и сопротивлении разрыву для наиболее важных металлов.

Таблица № 4.

Металлы.	Теплопроводность.	Сопр. разрыву.
Серебро	360	—
Медь красная	330	20
„ желтая (латунь) .	72—108	75
Цинк	95	20—25
Никель	50	—
Железо	50—60	30—35
Сталь мягкая	45	40—45
„ средняя	35	50—60
„ твердая	22	70—90
Чугун мягкий	—	12
„ средний	40	18
„ твердый.	—	24
Алюминий	12—13	10—15

Твердость обрабатываемого металла имеет значение не только для скорости резания. В зависимости от твердости металла образуется та или иная форма стружки. В первых главах мы говорили о том, что у твердого металла стружка изменяет свою форму (или, как говорят деформируется), меньше, чем у твердых металлов; она имеет склонность отделяться отдельными элементами или вовсе не связанными друг с другом, или же связанными в короткие, часто обрывающиеся кусочки. В мягких металлах она получается *сливной*, в виде сплошной ленты, на которой мало заметны отдельные элементы или частички, из которых она состоит.

Между тем, чем больше стружка изменяет свою форму, тем менее теплопроводной она становится и, следовательно, тем меньше отводит теплоту от места резания; эта отводимость будет наименьшая при отделении стружки в виде маленьких кусочков—элементов, которые отламываются сейчас же при образовании.

7. Охлаждение резца водой. При охлаждении резца сильной струей воды скорости резания могут быть повышены.

Не всякое смачивание водой ведет к этому благоприятному результату; необходима очень сильная струя воды, расходующая приблизительно 1 ведро в минуту, чтобы дать наилучший результат. Чем струя слабее, тем и действие ее на скорость слабее; наконец совсем слабая струя, когда вода едва только течет на стружку, не оказывает почти никакого действия.

Об'яснение этого влияния воды простое: вода, попадая на наружную сторону стружки, отнимает от последней известное количество теплоты и тем содействует более быстрому ее отводу от места резания. Таким образом влияние воды как бы заменят собою увеличение теплопроводности металла. Сильная струя необходима для усиления движения частиц воды по поверхности стружки, так как при этом условии охлаждающее действие воды значительно усиливается.

Струю необходимо направлять не на резец, а на стружку — в том месте где она отделяется от металла: лезвие резца водой все равно достать невозможно—оно слишком глубоко в металле; поэтому и следует охлаждать не резец, а именно отделяющуюся стружку, внутри которой и находится главная масса образующейся при резании теплоты.

Мы видели, что теплота играет в разрушении резца наибольшую роль 1) при обработке мягкой стали и 2) при работе лучшими быстрорежущими (красностойкими) резцами, и сравнительно наименьшую при обработке чугуна. Поэтому мы вправе ожидать наиболее сильного влияния, охлаждающей струи воды именно при обработке мягкой стали лучшими резцами. Так это и есть. По опытам Тейлора оказалось, что охлаждение сильной струей воды увеличивает скорость резания на 41% при обработке мягкой стали лучшими быстрорежущими резцами, на 25% при обработке той же стали углеродистыми резцами и только на 16% при обработке чугуна.

Для практики, где охлаждение не столь совершенное, как при опытах в лаборатории, следует принимать несколько меньший процент, именно считать, что скорость резания повышается.

	При обработке мягк. и средней стали.	Тв. стали и чугуна.
углеродистыми резцами	на 15%	на 5%
самозакалкой	„ 20 „	„ 7 „
быстрорежущими резцами	„ 25 „	„ 8 „
ванадиевыми резцами	„ 30 „	„ 10 „

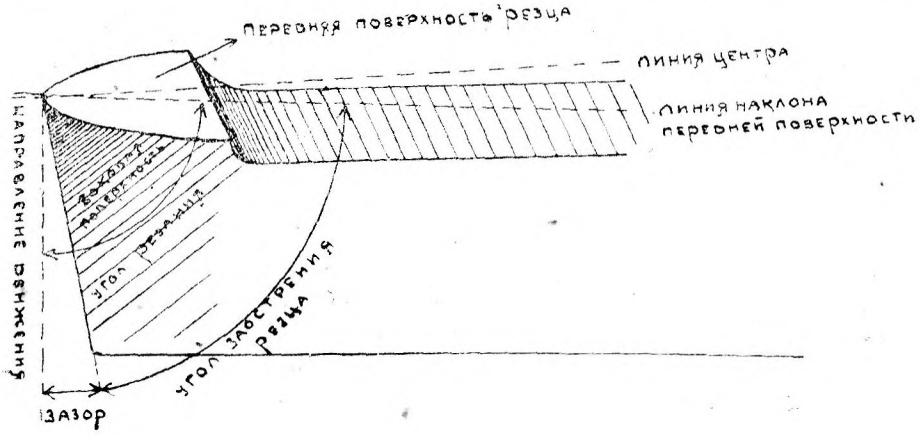
8. Влияние резца, его качества и формы. Как было указано еще в первых главах, выбор марки резца и способ его закалки имеет большое значение для скорости резания. В главах об изнашивании резца и о действии на резец теплоты также было указано различие свойств разных марок резцов. В таблице 2 были приведены сравнительные скорости резцов разных марок.

Конечно, такие сорта, как самозакалка и быстрорежущие резцы, представляют большое разнообразие марок, из которых одни имеют лучшее, другие худшее качество и соответственно этому допускают разные скорости.



Лучшей оценкой резца служит та максимальная скорость резания, которую он при известных условиях допускает. Если взять за единицу скорость, даваемую простым средним углеродистым резцом, то надо определить, какую скорость допустит другой резец, который мы оцениваем, конечно надо взять при этом тот же материал, то же сечение стружки и те же размеры и форму резца. Во сколько раз большую (или меньшую) данный резец сможет дать скорость резания, по сравнению с резцом, взятым за образец, во столько раз можно считать его лучшим (или худшим). Однако, как мы видели уже, при обработке металлов другой твердости соотношение скорости будет несколько другое—это следует иметь в виду.

Углы резца. В резце различают, прежде всего, *головку* его и *тело*. Самая главная часть резца—это его *передняя* (или *режущая*) *поверхность*, на которую опирается стружка. Она окаймлена режущей кромкой (лезвием). В обдирочных резцах режущая кромка обычно делается



Фиг. 13.

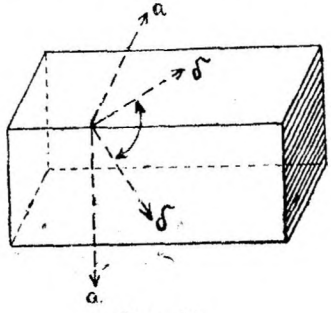
закругленной. Точка лезвия, наболее глубоко врезающаяся в металл, называется *вершиной* резца. Режущая кромка (или лезвие) является линией, отделяющей переднюю поверхность резца от *боковой*. Боковая поверхность обычно получает некоторый небольшой уклон, называемый *зазором* или *углом зазора* (задним углом). Зазор делается для того, чтобы при резании боковая поверхность резца не касалась обрабатываемого предмета и не вызывала бы излишнего вредного трения. Угол зазора делают небольшой, обычно около 9°. Меньше 6° его делать нельзя, так как он не будет достигать цели, делать же его больше невыгодно, так как во-первых, резец ослабляется и легче может сломаться, а во-вторых, ухудшается отвод теплоты от режущей кромки.

Если провести прямую линию через центр обрабатываемого предмета и вершину резца, то заметим, что передняя поверхность резца почти всегда окажется с некоторым наклоном вниз (см. фиг. 13). Если бы этого наклона не было, то резец работал бы очень тяжело (угол резания 90°). При обработке мягких металлов необходимо делать резец более острым, затачивать его так, чтобы передняя по-

верхность имела некоторый уклон или, другими словами, чтобы *угол резания был бы более острым*. Угол резания есть сумма углов зазора и заострения резца [1]). Какую величину выбрать для угла резания и как влияет угол резания на стройкость резца?

Чем больше угол заострения, тем резец прочнее; он лучше противится стремлению стружки сколоть его лезвие. Затем он лучше отводит теплоту от лезвия, так как масса металла, из которого изготовлен резец, у вершины резца увеличивается. Поскольку от угла заострения зависит угол резания, мы можем сказать, что большой угол резания лучше отводит теплоту и делает резец более прочным.

Но с другой стороны, увеличение угла резания очень невыгодно тем, что оно сильно увеличивает давление на резец, а следовательно и количество образующейся теплоты. До Тейлора думали, что выгоднее всего работать при таком угле резания, при котором резец испытывает наименьшее давление; однако, по опытам Тейлора оказалось, что со стороны наилучшей стойкости резца следует брать угол несколько больший, чем тот, при котором получается наименьшее давление; хотя теплоты здесь образуются несколько больше, однако это с лихвой окупается лучшим отводом теплоты в тело резца. Но такое увеличение угла резания выгодно только до известного предела, дальше которого приходится уже уменьшать скорость резания, так как теплоты образуется гораздо больше, чем резец способен отвести.



Фиг. 14.

Для того, чтобы сохранить большой угол заострения резца, способствующий большей прочности его и лучшему отводу теплоты, в то же время понизить угол резания, можно воспользоваться следующим свойством этих углов. Возьмем например, какой-нибудь прямоугольный предмет (фиг. 14). Если мы будем измерять его угол по направлению стрелок а-а (т.-е. в плоскости, перпендикулярной к ребру), то получим угол, скажем, в 90°. Если же мы приложим угломер наклонно к ребру, то полученный угол (по стрелкам б-б) будет очевидно гораздо меньше первоначального и тем меньше, чем больше мы сделаем наклон. Можно так наклонить угломер, что измеренный угол будет совсем мал, почти 0.

Угол заострения всегда измеряется плоскостью, перпендикулярной к лезвию, т.-е. по стрелкам а-а. Если бы оказалось, что угол резания можно измерять другой плоскостью, например по стрелкам б-б, то мы получили бы большой угол заострения резца с малым углом резания, т.-е. наиболее выгодное сочетание свойств резца.

В какой плоскости надо измерять угол резания? В той плоскости, в которой двигаются перемещающиеся частицы металла, т.-е.,

[1]) Это не совсем точно, так как угол резания измеряется иногда в несколько другой плоскости, чем угол заострения; мы предполагаем, следовательно, что угол заострения измерен в плоскости резания.

скажем, средняя линия образующейся стружки (если лезвие прямолинейное). Эта плоскость называется *плоскостью резания.*

Если бы отделяющаяся стружка всегда получала направление движения в плоскости, перпендикулярной лезвию, т.-е. по а-а, то наша задача соединения большого угла заострения с малым углом резания была бы неразрешима. Но стружка не всегда отделяется в направлении перпендикулярном лезвию. *Если режущая кромка* (лезвие резца) *имеет направление, наклонное к линии движения резца, то и стружка отклоняется под тем же углом* [1]).

Наклон лезвия к направлению движения резца применяется в практике постоянно, однако совсем с другой целью: чтобы стружка сдвигалась в сторону и образовывала так называемую *винтовую спираль*; практики хорошо знают, что это облегчает работу резца, но причина такого облегчения (уменьшенный угол резания) обычно остается им неизвестной.

Итак, *следует возможно круче наклонять лезвие резца к направлению движения*, чтобы получить возможно более острый угол резания при том же угле заострения. Однако, такому увеличению наклона есть предел в „заедании" резца. При чрезмерно большом наклоне резец стремится глубже проникнуть в тело металла и взять слой больше, чем следует, что может испортить обрабатываемый предмет, а в некоторых случаях и сломать резец. Поскольку этой опасности не наблюдается, выгодно увеличивать наклон лезвия.

Чем мягче обрабатываемый металл, тем угол резания должен быть меньше. Мягкий металл режется легче, с меньшим давлением, следовательно, здесь резцу легче отводить теплоту, а затем стружка мягкого металла разбухает сильнее и опирается на переднюю поверхность резца на большей ширине, что облегчает отвод теплоты в тело резца.

Для хрупких, а также очень твердых металлов, где стружка почти не изменяет своей формы и давление стружки сосредоточивается у самой вершины, там, как мы знаем, теплота играет меньшую роль в разрушении резца, и тем большее значение приобретает прочность последнего. Поэтому *при обработке таких очень твердых и хрупких металлов, угол резания делают больше, даже близким к 90°.*

Тейлор рекомендует следующие углы резания: для мягкой стали 61°, для стали средней твердости и мягкого чугуна 68°, для твердой стали и среднего чугуна 80°, для твердого закаленного чугуна 86—90°. Однако, для очень мягкой стали и железа, как это признает и сам Тейлор, можно с выгодой употреблять и несколько меньший угол резания, чем 61°, (§ 346, 370, 372), напр. 55°.

Форма лезвия Обычно форма обдирочного лезвия делается закругленной; в таком случае толщина стружки, как мы видели выше, изменяется по всей длине лезвия, при чем она будет наиболее тонкой у вершины лезвия, т.-е. в самом опасном месте. Это предохра-

---

[1]) Это обстоятельство часто упускается из виду даже специально исследующими процесс образования стружки, и вопрос о способах измерения угла резания нигде не изложен достаточно детально.

няет вершину от слишком быстрого разрушения и одновременно уменьшает опасность заедания резца. В то же время, как мы увидим ниже, закругленное лезвие уменьшает опасность дрожаний.

Невыгода закругленного лезвия — увеличение работы резца, а следовательно, давления на резец и выделения теплоты. Закругленное лезвие больше изменяет форму стружки и больше перемещает в ней частицы металла. Поэтому, по наблюдениям Тейлора, прямолинейный резец, поскольку он не вызывает дрожаний, (которые особенно легко происходят именно при прямолинейном резце [1]), дает возможность работать с несколько большей скоростью резания, чем закругленные (см. Тейлор § 312 и 1186—7), именно, при первом можно взять скорость больше на 30%. Поэтому, следует не увлекаться чрезмерно большим закруглением лезвия, а *ограничиваться таким, которое только необходимо для устранения дрожаний.*

При работе прямолинейным резцом следует закруглять вершину резца, с целью уменьшить толщину стружки у вершины.

Прорезные и резьбовые резцы работают при значительно меньших скоростях, чем обдирочные. Для *прорезных* резцов (из быстрорежущей стали) следует брать скорость резания примерно в 2,7 раза меньше, чем для обдирочных резцов. *Резьбовые* резцы следует пускать со скоростью в 4 раза меньшей скорости обдирочного резца.

9. Дрожание резца. Дрожание резца происходит от неравномерности давления на резец. Когда резец срезает стружку, то давление не остается все время постоянным, а колеблется, при чем эти колебания повторяются быстро одно за другим. Мы видели в главе об образовании стружки, что давление на резец с отделением каждого элемента периодически возрастает и падает, при чем колебания сменяются весьма быстро, — тем быстрее, чем больше скорость резания. Эти колебания приводят к толчкам, которые вызывают дрожание.

Стремление к дрожанию уменьшается или даже вовсе устраняется, если давление нарастает и падает не в один и тот же момент во всех точках лезвия, именно, если в то время, как в одной точке элемент только начинает образовываться, в другой его образование уже подходит к концу.

Это бывает, например, при криволинейном лезвие, когда толщина стружки по всей длине лезвия изменяется, следовательно изменяются и все размеры элемента (см. главу о форме стружки). В этом случае, в том месте, где стружка тонкая, элементы быстро сменяют друг друга, тогда как в толстой части стружки они образуются медленнее и в меньшем количестве за один и тот же промежуток времени.

Далее, при обточке цилиндра резцом, установленным круто к оси предмета (перпендикулярно к ней) в разных точках лезвия скорость будет различной; чем ближе к центру тем скорость меньше. Если резец прямолинейный, то толщина стружки во всех точках

---

[1]) Это не совсем точно, так как надо принять во внимание различие скорости в разных точках лезвия (в виду изменения диаметра) и влияние движения подачи.

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ КНИГ ЗБІРНЯ Народнього Господарства при РНК УСРР

лезвия одинаковая, следовательно, одинаковы и размеры элементов. Пусть во всех точках лезвия одновременно начнет образовываться элемент. Когда в одной точке лезвия закончится образование элемента, т.-е. лезвие успеет пройти тот путь, который нужен для образования одного элемента (это будет в точке, имеющей наибольшую скорость, т.-е. в наиболее удаленной от центра предмета, в точке наружной поверхности), в других точках, где скорость несколько меньше, отделение элемента еще не закончится. Таким образом, отделение частиц будет итти плавно, не накопляясь по всему лезвию в один момент.

Этой особенностью образования стружки пользуются для устранения дрожания; если резец дрожит, часто бывает достаточно изменить наклон резца к оси предмета (поставить его более круто) и тем устранить дрожания.

Точно также при малом диаметре предмета к действию предыдущей причины прибавляется влияние движения резца в сторону подачи, что также содействует более плавному и спокойному отделению стружки [1]).

Тейлор указывает еще следующий способ для устранения дрожания при работе прямолинейным резцом: работать одновременно несколькими резцами. Тогда периоды образования элементов для всех резцов почти никогда не совпадут в один момент и дрожания устраняются; когда один из резцов будет под наибольшим давлением, другой резец будет под наименьшим и т. д.

Отсюда видно, что при некоторых условиях и прямолинейный резец не будет давать дрожаний; наоборот, возможен такой криволинейный резец, при котором могут так неблагоприятно сложиться условия образования стружки, что резец будет испытывать дрожания; все же, при прямолинейном резце дрожания, вообще говоря, более часты, чем при криволинейном.

Для появления дрожаний недостаточно того, чтобы давление нарастало и падало скачками, необходимы еще: 1) достаточно большая скорость, превращающая колебания в скачки и дрожания и 2) наличие в частях станка, в обрабатываемом предмете или в резце тех или других условий, благоприятствующих дрожанию.

Что касается частей станка, то иногда появление дрожаний обусловливается неудовлетворительной выделкой шестерен или неправильной их установкой: напр., оси шестерен имеют слишком малый диаметр, или слишком большую длину; или подшипники и вкладыши допускают игру. Обычной же и наиболее частой причиной служит недостаточная массивность станка, вследствие чего станок оказывается неспособным поглотить возникающее дрожание.

Резец также может быть причиной дрожания: недостаточно большое сечение тела резца, слишком далеко вперед высунутый в суппорте конец резца, недостаточно плотная и правильная опора резца на суппорт,—все это ведет к дрожаниям.

Обрабатываемый предмет слишком большой длины и небольшого диаметра также обнаруживает склонность к дрожаниям; надо принять за правило—*устанавливать люнет, если длина предмета свыше, чем в 12 раз больше диаметра.*

[1]) См. Соколов.—„О форме обдирочных резцов". Изв. Донского П. И-та.

Имеет значение и способ закрепления предмета, слабость и пружинение хомутика или заменяющих его зажимов, укрепленных на обрабатываемом предмете и служащих для сообщения ему вращения на токарном станке. При тяжелых предметах зажимы должны получать движение от планшайбы в двух точках, расположенных на ней симметрично относительно оси; надавливание их концов в двух противоположных точках должно быть совершенно одинаково. Иногда здесь можно устранить дрожания, подкладывая кусок кожи или свинца между концом хомута или зажимов и упорными стойками на планшайбе. Следует также следить за тем, чтобы не было игры в задней бабке станка и чтобы упорный центр передней бабки был хорошо установлен и не слишком свободно (но и не слишком туго) прижат к предмету.

10. Определение наивыгоднейшей скорости резания [1]). Нам надо теперь привести в порядок наши сведения о скорости резания, чтобы уметь при данных условиях работы выбрать наилучшую скорость, которая может быть взята резцом данного качества.

Мы будем говорить *о линейной* скорости резания; зная последнюю, всегда можно перевести ее в число оборотов шпинделя, для чего в дальнейшем мы дадим простые и удобные способы.

Если мы ведем работу обыкновенной самозакалкой, не применяя усиленного охлаждения водой, то скорость резания будет зависеть главным образом от выбранного нами сечения стружки и от рода и твердости обрабатываемого материала. Для определения этой скорости можно пользоваться следующей таблицей:

Таблица № 5.

Линейные скорости резания при обработке стали.

Твердость обрабатываемой стали.	Сечение стружки в кв. миллиметрах.									
	1,5	2	3	4	5	6	8	10	12	15
Твердая . . .	10	8,7	7	6,2	5,5	5	4,5	4	3,6	3,2
Тверже средней	15	13,5	11	10	8,7	8	7	6,3	5,8	5,1
Средняя . . .	23,5	20	17	15	13	12	10,2	9,5	8,5	7,7
Мягче средней.	33	29	24	21	19	17	15	13,5	12	11
Мягкая	40	36	32	28	25	23	20	18	16,5	15

Например, мы обрабатываем сталь средней твердости и берем подачу 1,5 мм. и глубину резания 4 мм., следовательно, сечение стружки $4 \times 1{,}5 = 6$ кв. мм. В таблице находим, что такая сталь должна обрабатываться со скоростью 12 метров в минуту.

Если обрабатывается не сталь, *а чугун,* скорость следует брать меньше на 10%, т.-е. на $1 - 1\frac{1}{2}$ метра меньше, чем в таблице. При охлаждении сильной струей воды при обработке *стали* скорости по-

[1]) Инженеров, желающих полнее изучить этот вопрос, отсылаем к нашей работе: „Процесс резания, как единая эмпирическая формула" (Приложение законов резания металлов к определению условий наивыгоднейшей работы на токарных станках), Москва, 1923 г., изд. Гостехиздата.

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГ ЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

вышать на 20% (т.-е. на 2—3 метра сверх полученной по таблице), а при обработке *чугуна* брать так, как показывает таблица.

При переходе на другие резцы—на быстрорежущие или на углеродистые—скорости следует изменять—для быстрорежущих повышать в 1½—2 раза и более, смотря по качествам и по способу ее закалки, а для углеродистых—понижать тоже приблизительно в 1½—2 раза.

Если при применении приведенной таблицы на практике окажется, что резец систематически позволяет взять скорости выше (или ниже), чем находимые по таблице, то это покажет, что качество резцов, применяемых в мастерской, соответственно выше (или ниже, тех резцов, для которых расчитана таблица. В таком случае все скорости, даваемые таблицей, следует при дальнейших расчетах соответственно увеличивать (или уменьшать).

Вместо таблицы можно пользоваться графиком (см. график I). Ниже будет дан более сложный но зато более удобный для практики график V, тем же, кого затруднит его понимание, мы предлагаем обращаться к таблицам, приведенным в книге, или же пользоваться более простым графиком I.

График скорости резания (см. прилож.) представляет собой сетку прямых и косых линий, по четырем сторонам который расположены четыре скалы с делениями. При пользовании графиком надо прежде всего найти косую линию. Слева графика находим надписи: „углеродистые“ „самозакалки“, „быстрорежущие“ и у каждого названия отметки „без воды“ и „с водой“, т.-е. охлаждая резец сильной струей воды. Положим, мы работаем самозакалкой без воды. Против отметки „самозакалка без воды“ видим черточку: проводим (мысленно) от нее горизонтальную прямую линию вправо вдоль всего графика. Затем наверху графика ищем черточку против той твердости металла, которую мы обрабатываем. Пусть это будет сталь несколько мягче средней, но не очень мягкая. Против надписи «мягче средней» находим черточку и проводим линию вниз (вертикальную) и ищем внутри графика, где эти две линии (горизонтальная и вертикальная) пересекутся. Для того, чтобы это место пересечения (или, как говорят, «точку» пересечения) легче и точнее найти, на графике нанесена сетка.

Когда точка пересечения двух линий найдена, проводим через нее (опять-таки мысленно) диагональ (косую линию) вдоль тех косых линий, которые имеются на графике. Найденная нами линия, конечно, не всегда совпадет с имеющейся на графике, а пройдет где-нибудь между ними.

Теперь нужная нам косая линия найдена. Справа графика имеются деления с надписью „сечение стружки в квадратных миллиметрах“, против которых стоят цифры. Положим, мы снимаем сечение в 6 кв мм. Против цифры „6“ находим черточку (деление), от которого ведем *влево* прямую горизонтальную линию до тех пор, пока она не пересечется с найденной нами воображаемой линией. Из точки пересечения проводим вниз вертикальную линию и смотрим, через какое деление нижней скалы она пройдет. Цифры, стоящие у этого деления, укажут, какую скорость резания можно взять.

Для примера возьмем тот же случай, каким мы пользовались для таблицы. Находим слева графика „самозакалка без воды“, проводим вправо линию, от верхнего деления „средняя сталь“ линию вниз, находим косую линию, проходящую через точку пересечения, затем на правой скале находим деление „6“ (т.-е. сечение стружки 6 кв. мм. и из этого деления проводим линию влево до пересечения с косой линией, а затем ведем линию вниз и находим, что на нижней скале она пройдет через деление „12“. Следовательно, надо взять скорость 12 метров в минуту. Зная диаметр предмета, можно вычислить, сколько будет оборотов в минуту.

VI. Давление на резец и сила станка.

1. Давление на резец.—При работе на станке приходится постоянно считаться с силой станка. Сможет ли станок взять ту стружку, которую мы хотим на него нагрузить? Позволяет ли ремень, не сломаются ли зубья у шестерен, которые приводят в движение суппорт станка для сообщения ему подачи? Чтобы суметь ответить точно и правильно на эти вопросы, нужно знать величину давления стружки на резец.

Оказывается, прежде всего, что *сталь станку гораздо тяжелее резать, чем чугун*,—примерно в 2—2,5 раза. Другими словами, давление на резец при резании стали вдвое больше, чем при резании чугуна. Отсюда следует, что при резании чугуна и мощность станка, и прочность механизма подачи (сменных шестерен, передачи в коробке Нортона, механизма суппортной коробки и т. п.) *позволяют брать стружку с сечением в 2—2,5 раза больше, чем при стали*. Это очень важное свойство, которое обычно не используется на практике. Токаря привыкают обыкновенно работать всякую работу одной и той же подачей, скоростью, глубиной резания и одним и тем же резцом. В силу этой привычки они и чугун обрабатывают тоже при том же сечении стружки, как и сталь. Очень часто это и невыгодно в смысле скорости, которую можно дать резцу; мы видели, что при обработке *корки* следует брать и подачу, и глубину резания как можно больше, чтобы резец меньше портился от песку. Но и при снятой корке выгоднее брать большое сечение стружки в силу основного закона резания—больше выгодаешь на крупной стружке, чем на быстрой скорости резца. При обработке стали увеличению сечения стружки часто препятствует недостаточная сила станка, при обработке чугуна это препятствие уменьшается и станок позволяет взять вдвое большую стружку, чем необходимо воспользоваться всегда, когда это только возможно.

Если нельзя увеличить глубину резания—так как отливка дает небольшой припуск на обработку,—то следует увеличивать подачу, а для получения более тонкой стружки ставить резец с большим наклоном к оси предмета; но так, чтобы это увеличение наклона не вызвало дрожания. При дрожании наклон следует уменьшить.

Положим, при обработке стали мы могли бы на этом станке взять сечение стружки в 5 кв. мм. (наприм. подачу 1 мм. и глубину резания 5 мм.). Если мы будем на этом станке обрабатывать чугун *того же диаметра*, то станок позволит свободно взять сечение стружки в 2—2,5 раза больше, т.-е. либо подачу мы можем взять 2—2,5 мм. (вместо 1 мм.), либо глубину резания 10—12 мм. (вместо 5 мм.); или же увеличить одновременно и подачу, и глубину резания так, чтобы сечение стружки оказалось не 5 кв. мм., а 10—12 кв. мм.

Другая важная **особенность**—это то, что *твердость материала имеет очень малое значение для силы станка.* Твердый металл станок режет с напряжением всего раза в $1^1/_2$ большим, чем мягкий. Это одинаково относится как к стали, так и к чугуну. Другими словами, *сечение стружки при очень твердом металле приходится брать в $1^1/_2$ раза меньше, чем при мягком.*

Возьмем пример. Положим, при резании очень твердой стали станок позволяет взять то же сечение стружки, т.-е. подачу 1 мм. и глубину резания 5 мм. (при большей подаче ремень скользит). Если нам придется на том же станке резать очень мягкую сталь, то мы можем либо подачу, либо глубину резания увеличить в $1^1/_2$ раза, т.-е. взять глубину резания 7,5 мм. вместо 5, или же подачу 1,5 мм. вместо 1 мм.

Точно так же мы поступили бы, если вместо стали в обоих случаях был чугун, в первом случае очень твердый, во втором—очень мягкий.

Если металл не имеет таких крайних степеней твердости (т.-е. или очень мягкий, или очень твердый), но разница в твердости меньше, то и разница в давлении на резец будет соответственно меньше. Если взять сталь средней твердости и несколько выше средней, то для второй придется взять сечение стружки только немного меньше первой—если для первой 10 кв. мм., то для второй—11 кв. мм., т.-е. почти то же самое.

Чтобы при подсчетах можно было бы пользоваться цифровыми соотношениями, приведем следующую табличку, показывающую, во сколько раз увеличивается или уменьшается давление на резец при переходе на более твердые или более мягкие сорта стали и чугуна.

Таблица 6-я, показывающая, во сколько раз повышается давление на резец при переходе на металл того же рода, но другой твердости. Числа одинаковы для стали и чугуна. Величина давления для чугуна в 2,5 раза ниже, чем для стали.

С какой степени твердости переходит работа.	Номер класса твердости.		На какую степень твердости.				
	Для стали.	Для чугуна.	На твердую	На тверд. выше средн.	На средн. твердость.	На тверд. ниже средн.	На мягкую.
С твердой	6— 8	11—13	1	0,9	0,8	0,73	0,66
С твердости выше средней	9—11	14—16	1,12	1	0,9	0,8	0,73
Со средней твердости .	12—15	17—19	1,25	1,12	1	0,9	0,8
С твердости ниже средней	16—18	20 - 21	1,35	1,2	1,12	1	0,9
С мягкой	19—22	22—24	1,5	1,35	1,2	1,12	1

Пример 21-й. Давление на резец равно 1.200 кгр. при обработке *средней* стали. Какое будет давление при обработке *твердой* стали?

В таблице находим, что при переходе „со средней" „на твердую" сталь давление надо умножить на 1.25. Следовательно, $1.200 \times 1{,}25 = 1.500$ кгр.

Пример 22-й. Давление на резец 1.500 кгр. при обработке *твердой* стали. Найти давление для *средней* стали.

По таблице находим множитель 0,8. Умножаем $1\,500 \times 0{,}8 = 1.200$.

Пример 23-й. Давление при обработке *твердого чугуна* равно 600 кгр. Какое будет давление при обработке мягкой стали?

Так как чугун и сталь однородной твердости (т.-е. оба твердые, оба мягкие и т. д.) различаются в среднем в 2,25 раза, то давление при обработке *твердой* стали будет около $600 \times 2{,}25 = 1.350$ кгр., следовательно при обработке *мягкой* стали по таблице—$1.350 \times 0{,}66 = 900$ кгр.

Третья особенность—*влияние подачи на силу станка несколько* слабее, чем *глубины резания, но в общем разница весьма незначительна.* На практике можно считать, что влияние подачи и глубины резания равноценны. Следовательно, вместо подачи в 1 мм. и глубины резания в 5 мм. можно взять подачу в 0,5 мм. и глубину резания—10 мм., или же подачу в 2 мм. и глубину резания в 2,5 мм. и т. д. и станок будет работать почти с одинаковой нагрузкой, однако при более толстой стружке (т.-е. большей подаче) немного легче. Таким образом, можно увеличивать подачу во столько раз, во сколько уменьшается глубина резания, и обратно, можно увеличивать глубину резания во столько раз, во сколько уменьшается подача—без заметного изменения нагрузки станка (т.-е. почти с той же величиной давления на резец).

Как подача, так и глубина резания, можно считать, увеличивают давление на резец приблизительно во столько раз, во сколько увеличиваются сами. Так, если мы подачу увеличим в $1^1/_2$ раза, напр. возьмем 1,5 мм. вместо 1 мм., или 3 мм. вместо 2 мм., то давление тоже увеличится в $1^1/_2$ раза; если оно было, положим, 600 кгр., то теперь станет $600 \times 1^1/_2 = 900$ кгр. Точно также, если увеличить глубину резания в $1^1/_2$ раза, например, взять 7,5 мм. вместо 5 мм., то давление на резец увеличится тоже в $1^1/_2$ раза.

Если мы будем одновременно увеличивать подачу и глубину резания, то давление будет возрастать сразу от этих двух причин. Напр. увеличим подачу в 2 раза, а глубину резания в 3 раза. Тогда сечение стружки, а вместе с ним и давление увеличатся в $2 \times 3 = 6$ раз.

Пример 24-й. Давление на резец равно 3200 кгр., при подаче 1,5 м/м. и глубине резания 10 м/м., а станок допускает только 1600 кгр. Какую надо взять подачу и глубину резания, чтобы станок повез стружку?

Давление на резец надо уменьшить в $3200 : 1600 = 2$ раза. Для этого следует сечение стружки уменьшить тоже приблизительно в 2 раза, т.-е. или подачу взять $^3/_4$ м/м. вместо 1,5 или глубину резания 5 м/м. вместо 10 м/м, или же уменьшить несколько и то, и другое, так, чтобы сечение стружки было в 2 раза меньше, т.-е. не $10 \times 1{,}5 = 15$ кв. м/м., а $7^1/_2$ кв. мм.

Так как давление на резец увеличивается приблизительно пропорционально сечению стружки, т.-е. приблизительно во столько же раз, во сколько увеличивается подача и глубина резания, то *за единицу давления принимают давление,* которое будет оказывать стружка при подаче в 1 м/м. и глубине резания тоже в 1 м/м., или как говорят, давление *на 1 кв. мм. сечения стружки.* Такое давление на 1 кв. мм. сечения называется *коэффициентом резания* или *относительным давлением.*

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГ ЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

Если мы знаем относительное давление (или коэффициент резания), то *умножив на него сечение стружки в квадратных миллиметрах, найдем полное давление стружки на резец.*

Пример 25-й. Коэффициент резания мягкой стали 150. Каково будет полное давление стружки на резец, если подача равна 0,8 м/м. и глубина резания 6 м/м?

Сечение стружки $0{,}8 \times 6 = 4{,}8$ кв. м/м. Полное давление стружки на резец $150 \times 4{,}8 = 720$ кгр.

Пример 26-й. Полное давление 800 кгр. Какова величина коэффициента резания, если подача равна 1,2 м/м. и глубина резания 5 м/м.? Сечение стружки $5 \times 1{,}2 = 6$ кв. м/м. Коэффициент резания $800 : 6 = 133$.

Этот способ расчета вполне пригоден для обычных практических надобностей. Но надо иметь в виду, что в действительности давление на резец возрастает несколько медленнее, чем сечение стружки, особенно при обработке чугуна. Нижеследующая таблица показывает более точно коэффициент резания, при разных сечениях стружки для средней стали и среднего чугуна:

Таблица № 7.

Коэффициенты резания при работе нормальными тейлоровскими резцами (при работе прямолинейными обыкновенными резцами коэффициенты резания несколько меньше).

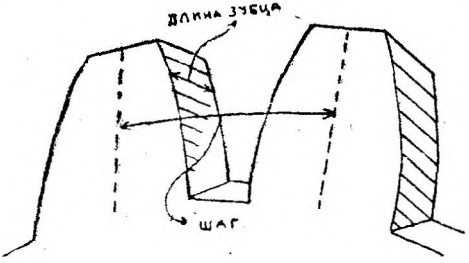
Подача м/м	**Чугун** средней твердости при глубине резания:					**Сталь** при всякой глубине резания:		
	2	5	8	10	12	Мягкая	Средняя	Твердая
1/2	130	124	120	118	117	172	210	266
1	110	104	100	99	98	165	200	250
1 1/2	100	94	91	90	89	160	193	245
2	92	87	84	83	82	157	190	240
2 1/2	88	83	80	79	78	155	188	237

Четвертая очень важная особенность — это то, что *скорость почти не имеет влияния на давление на резец.* Можно как угодно увеличивать скорость шпинделя, и станок все время будет испытывать одно и то же напряжение, конечно, если сечение стружки и все другие условия не изменятся. Однако, надо заметить, что здесь имеется в виду увеличение скорости не путем смены ступени шкива или перебора, а путем изменения скорости контр-привода или главной трансмиссии. Когда же увеличение скорости достигается передвижением ремня на меньшую ступень, либо выключением перебора, то станок становится слабее, т.-е. мощность его уменьшается. И если ремень начинает при этом скользить, то это происходит не от увеличения скорости, которая, как сказано, силы станка не обременяет и нагрузки его не увеличивает (в смысле давления стружки на резец), а от уменьшения самой силы станка, зависящей от диаметра ступени шкива и величины передачи перебора.

Этот вопрос мы еще подробно разберем дальше.

2. Прочность механизма подачи. Давление на резец имеет двоякое значение для станка. С одной стороны оно вызывает напряжение в механизме подачи—т.-е. во всей передаче от шпинделя к суппорту—в сменных шестернях, в коробке Нортона (если она есть), в ходовом валу или винте, в коробке суппорта, где также скрыт передаточный механизм и т. д. С другой — станку надо преодолеть сопротивление стружки вращению предмета в центрах т.-е. главным образом ремню, который при слишком большом напряжении немедленно начинает скользить.

Каждый станок допускает давление на резец не свыше определенной величины. Если давление оказывается больше—может поломаться какая-либо шестерня в механизме подачи. Поэтому, имея дело со станком, необходимо выяснить, прежде всего, какое предельное давление он допускает. Так как давление зависит от сечения стружки и от рода и твердости обрабатываемого материала, то вместо давления за характеристику прочности станка (прочности его механизма подачи) можно взять наибольшее (предельное) сечение стружки стали средней твердости. Пользуясь вышеприведенной таблицей 6-й, мы всегда можем подсчитать, какое сечение стружки можно взять при обработке чугуна или стали иной твердости.



Фиг. 15.

Для приблизительного определения предельного сечения стружки, какое может позволить взять тот или другой станок, в большинстве обыкновенных самоточек достаточно смерить шаг и длину зубцов шестерен, передающих движение от шпинделя к ходовому винту. Затем умножить шаг на длину зубца (то и другое в миллиметрах) и по полученной величине произведения отыскать в нижеследующей таблице 8-й соответствующее предельное сечение стружки.

Шаг зубца следует измерять между серединами двух зубцов, как показано на фиг. 15-й. Чтобы сделать это удобнее и точнее, прикладывают лист бумаги к лицевой стороне шестерни и пальцем протирают те места, где находятся зубья; на бумаге отпечатается явственный профиль зубцов, где и удобно обмерить шаг. Длину зубца измеряют на месте.

В таблице указаны подачи и глубины резания в дюймах и миллиметрах. Как сказано, соотношение обоих величин может быть изменяемо; уменьшая одну, можно во столько же раз увеличить другую с тем, чтобы сечение стружки осталось по величине неизменным.

В таблице приведены сечения стружки для обработки стали и чугуна средней твердости. Как сказано, нетрудно найти предельное сечение стружки для металлов иной твердости. Для очень твердых сечений следует брать на 25% меньше, для очень мягких на 25% больше, для других степеней твердости можно пользоваться выше-

Сечения стружки, допускаемые для разных станков.

Таблица № 8.

Размер станка	Класс мощности	Произведение шага на длину зубца в м/м.	№№ сечений	Наибольшее допускаемое сечение стружки			
				Для средней стали		Для среднего чугуна	
				В дюймах	В миллиметрах	В дюймах	В миллиметрах
Тяжелые .	I	свыше 1800	1	$1/8'' \times 4/5'' = 1/10''$ □	$3,2 \times 20,3 = 64,6$	$1/5'' \times 32/25'' = 32/125''$ □	$5,1 \times 32,6 = 168$
Сильные	II	1200—1800	2	$1/10'' \times 16/25'' = 8/125''$ □	$2,54 \times 16,3 = 41,3$	$5/32'' \times 1'' = 5/32''$ □	$4 \times 25,4 = 101$
	III	800—1200	3	$5/64'' \times 1/2'' = 5/128''$ □	$2 \times 12,7 = 25,4$	$1/8'' \times 4/5'' = 1/10''$ □	$3,2 \times 20,3 = 67,6$
Средние	IV	500— 800	4	$1/16'' \times 2/5'' = 1/40''$ □	$1,6 \times 10,2 = 16,3$	$1/10'' \times 16/25'' = 8/125''$ □	$2,54 \times 16,3 = 41,3$
	V	350— 500	5	$1/20'' \times 8/25'' = 2/125''$ □	$1,27 \times 8,1 = 10,3$	$5/84'' \times 1/3'' = 5/123''$ □	$2 \times 12,7 = 25,4$
Слабые	VI	225— 350	6	$5/128'' \times 1/4'' = 5/512''$ □	$1 \times 6,4 = 6,4$	$1/16'' \times 2/5'' = 1/40''$ □	$1,6 \times 10,2 = 16,3$
	VII	150— 225	7	$1/32'' \times 1/5'' = 1/160''$ □	$0,8 \times 5 = 4$	$1/20'' \times 3/25'' = 2/125''$ □	$1,27 \times 8,1 = 10,3$
Мелкие . .	VIII	100— 150	8	$1/40'' \times 4/25'' = 2/350''$ □	$0,64 \times 4,1 = 26$	$5/123'' \times 1/4'' = 5/512''$ □	$1 \times 6,4 = 64$
			9	$1/256'' \times 1/8'' = 5/2048$ □	$0,5 \times 3,2 = 1,6$	$1/32'' \times 1/5'' = 1/160''$ □	$0,8 \times 5 = 4$
			10	$1/64'' \times 1/10'' = 1/640''$ □	$0,4 \times 2,5 = 1,0$	$1/40'' \times 4/25'' = 1/250''$ □	$0,64 \times 4,1 = 2,6$
			11	$1/80'' \times 2/25'' = 1/1000''$ □	$0,32 \times 2,1 = 0,7$	$5/250'' \times 1/5 = 5/2048$ □	$0,5 \times 3,2 = 1,6$

приведенной таблицей 6-й, при чем сечение стружки, предельное для среднего металла, надо разделить на множитель найденной в этой таблице.

Сечение, которое будет найдено указанным путем для станка — есть предельное. Его не следует превышать ни в какой работе, какую приходится на этом станке исполнять.

Поэтому, *если обрабатываемый предмет допускает взять большее сечение стружки, чем позволяет станок, то самое выгодное передать работу на другой станок,* где это нужное сечение стружки может быть взято, так как согласно основному закону резания надо работать всегда с возможно большим сечением стружки.

В целях удобства мы разделили все станки на 8 классов мощности; чем выше класс, тем станок слабее, т.-е. тем меньшее сечение стружки он позволяет взять. Распределение на классы расчитано так, что каждый класс в $1\frac{1}{2}$ раза сильнее следующего. Самый сильный — I класс, который при обработке средней стали допускает подачу 3,2 мм. и глубину резания 20,3, что соответствует сечению стружки 65 кв. мм. Это наиболее сильные и тяжелые специально обдирочные станки, довольно редко встречающиеся в мастерских. Самый слабый VIII класс, допускающий для средней стали сечение $0{,}64 \times 4{,}1 = 2{,}65$ кв. мм. Это мелкие самоточки, на которых приготовляются разные мелкие поделки.

Для механизма подачи имеет значение в сущности не давление на резец, а усилие, требующее для подвигания резца вдоль станины. Это усилие составляет обычно только небольшую часть давления на резец и только при тупом резце оно может значительно вырасти и составить до $1/_2$ давления стружки. Тейлор принимал даже в своих расчетах, что усилие подачи может сравняться по величине с величиной давления на резец. Мы принимаем для расчета прочности станка, согласно Никольсону, что максимальное усилие подачи равно 30% давления на резец.

Этот расчет соответствует обычной практике английских конструкторов станков.

При применении метода Тейлора мы получили бы для существующих станков слишком малые допускаемые сечения стружки, что явно противоречило-бы практике.

3. Момент давления на резец. Кроме механизма подачи давление на резец оказывает действие еще на механизм вращения станка, т.-е. на нагрузку ремня на ступенчатом шкиве.

Для ремня имеет значение не только давление, производимое стружкой на резец, но и диаметр обрабатываемого предмета. Давление останется одним и тем же — безразлично, будет ли обрабатываемый предмет большой или маленький. Но станку, конечно, будет труднее работать предмет большого диаметра, чем малого.

Попробуем об'яснить это следующим сравнением. Всякий знает, что поднять тяжелый камень трудно. Но если взять длинную палку, подложить ее под камень и повернуть, то камень легко будет сдвинуть с места и даже опрокинуть, хотя вес камня, а, следовательно, и требуемая сила остались те же.

Или возьмем безмен. Последний имеет на конце стержня шар. Хотя шар этот имеет все время один и тот же вес, им можно взвесить разные тяжести, смотря по тому, на какую длину будет выдви-

нут стержень безмена. Также и на станке. Хотя сила давления останется одна и та же, но станку будет во столько раз труднее вести работу, во сколько раз будет больше диаметр предмета. Поэтому мы можем судить о нагрузке станка только тогда, когда кроме давления на резец нам указан и диаметр предмета.

В этом заключается важная особенность влияния на ремень станка давления стружки. Для *механизма подачи*, как мы видели, диаметр не имеет никакого значения и, как бы мы не уменьшали диаметр предмета, мы все равно не сможем взять на станке стружки больше известного предела. *Для механизма вращения*, наоборот, сечение стружки может быть взято и больше, и меньше, но, если нагрузка на станок (момент) достигла предельной, при большой стружке необходимо брать меньше диаметр и, наоборот, при большом диаметре меньшую стружку.

Если давление на резец умножить на радиус предмета (т.-е. на половину диаметра), то полученное число будет самой лучшей и точной величиной, по которой мы можем судить о том, как сильно нагружен станок. Это число *называется условно* **моментом давления на резец** (или *скручивающим моментом*). Если для определения прочности механизма подачи важно давление на резец, то для силы станка, т.-е. для механизма вращения, важен момент давления, т.-е. произведение давления на радиус предмета.

Положим, что давление на резец при данном сечении стружки равно 200 килограммам ($12^1/_2$ пудов), а диаметр предмета—500 миллиметров. Умножая 200 на 250 (половину 500) получим момент давления 50 000 килограмм-миллиметров. Так как момент давления принято выражать не в миллиметрах, а метрах, то делим 50.000 на 1.000 или откидываем три последних цифры, получим 50 килограмм-метров.

Пример 27-й. Обрабатывается мягкая сталь. Подача взята 1 м/м., глубина резания 6 м/м. Диаметр предмета 420 м/м. Определить момент давления.

По табл. 7-й находим, что коэффициент резания мягкий стали при сечении стружки 1×6 м/м. 165; полное давление равняется $165 \times 1 \times 6 = 990$ кгр. Радиус $420 : 2 = 210$ м/м. Момент давления $990 \times 210 = 207.900$ или 207 килограмм-метров.

При каждой работе нужно знать, выдержит ли станок ту подачу и глубину резания, которые желательно взять, или же ремень будет скользить. А для этого необходимо знать две вещи.

Во-первых, нужно знать, скольким киллограмметрам будет равняться м мент давления на резец, если задано, например, что работа будет итти с такой-то подачей и глубиной резания, при таком-то диаметре и твердости предмета. Во-вторых, нужно знать, сколько киллограмм метров выдержит самое большее тот станок, на котором предположено вести работу.

Положим, что первое число будет меньше второго, т.-е. что при данной работе требуется момент меньше того, который допускается станком; следовательно, станок данную работу выполнить может. Если же, наоборот, требуемый момент окажется больше того, который допускается станком, то станок, как говорят, „не повезет“, т.-е. ремень на ступенчатом шкиве будет скользить.

Сравнение обоих чисел укажет нам не только то, можно ли взятую работу выполнить при желательной подаче и глубине резания,



но и то, насколько полно использована в каждом случае мощность станка.

Например, при работе требуется 200 кгр.-метров, а станок допускает 400. Таким образом, мы пользуемся только половиной той мощности, какую допускает станок и, следовательно, можем вдвое увеличить либо подачу, либо глубину резания, либо работать вместо одного двумя резцами сразу.

Главная задача правильной работы на токарных станках возможно полнее использовать силу станка и резец, т.-е. нагружать как станок, так и резец по возможности в полной мере до предела. А для этого надо уметь вычислить, как наибольший момент станка, так и момент, требующийся при заданных условиях работы.

4. График для определения момента давления. Вычисление это быстрее и проще всего производить с помощью построенного нами и изображенного на прилагаемом рисунке графика II. (См. приложения). После небольшого навыка пользоваться им очень легко, и вычисление не требует ни времени, ни особого напряжения ума.

По сторонам графика расположены четыре ряда делений с цифрами. Вверху указаны диаметры обрабатываемого предмета; самый меньший предмет, который можно рассчитывать по этому графику, имеет диаметр 20 миллиметров, самый большой — 2.000 миллиметров или 2 метра. Впрочем, можно рассчитывать и любые другие размеры, способом, о котором мы скажем дальше.

Внизу расположены моменты давления на резец — от 9 до 2.500 килограммметров. Середина графика занята квадратными клетками и косыми линиями (диагоналями). Клетки эти и диагонали служат для облегчения рассчета, чтобы удобнее было вести вдоль этих линий те линии, которые понадобятся при пользовании графиком. Кроме того, поперек всего графика (в нижней половине) идут 6 толстых линий, против которых слева сделаны надписи: „мягкий чугун", „средний чугун", „твердый чугун", „мягкая сталь", „средняя сталь" и „твердая сталь".

Справа и слева графика расположены два других ряда делений. Слева идут деления глубины резания (в миллиметрах), здесь самая большая глубина 20 миллиметров, самая маленькая—три миллиметра. Справа—подача (число ниток на 1"), от 6 до 60 ниток. Как подача, так и глубина резания взяты в таких пределах, которые могут встретиться при обдирочной работе в обычной заводской практике.

Прежде чем об'яснить способ вычисления на этом графике, ознакомимся ближе с его устройством. Возьмем например, подачи (с правой стороны графика). Деления сделаны одни длинные, другие короткие. Между длинными находится одна или несколько коротких. Так, между длинными делениями, против которых стоят числа 15 и 20, находим четыре коротких; они соответствуют промежуточными числами: 16, 17, 18 и 19. В других местах, например, в делениях глубины резания (слева) между делениями 10 и 12 находим три промежуточных деления—одно длинное и два коротких. Длинное соответствует числу 11, а короткие будут означать $10^1/_2$ и $11^1/_2$.

Положим, что обрабатывается предмет диаметром 200 миллиметров при глубине резания $10^1/_2$ миллиметров. Проводим мысленно из

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГ ЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

деления соответствующего диаметра 200 (вверху графика) вертикальную линию—она пойдет как раз по толстой линии, идущей вниз от деления „200". В то же время проводим из деления глубины резания $10^1/_2$ (слева графика) горизонтальную линию до тех пор, пока обе линии пересекутся. Замечаем то место на графике (т.-е. ту точку), где эти линии пересекутся. Видим, что через эту же точку проходит косая линия (диагональ).

Эта диагональ имеет следующее интересное и важное свойство. Возьмем на длине этой диагонали какую-нибудь точку и из последней вновь проведем вертикальную линию вверх к делениям диаметров и горизонтальную линию влево к делениям глубины резания. Например, поднявшись по этой диагонали немного вверх, нетрудно найти на глаз такое место, из которого, проведя вертикальную линию вверх, найдем диаметр 350 миллиметров, а проведя горизонтальную линию влево, найдем глубину резания 6 миллиметров. Прежний же диаметр был 200, а глубина резания $10^1/_2$ миллиметров.

Таким образом, мы нашли, что если на тот-же станок поставим вместо прежнего предмета в 200 миллиметров новый из такого же точно металла, но диаметром в 350 миллиметров и будем точить с той же подачей, то чтобы момент давления на резец остался неизмененным (если, например, станок большего момента не допускает), глубину резания придется уменьшить с $10^1/_2$ до 6.

Точно также найдем, что увеличив диаметр до 280, глубину резания придется взять $7^1/_2$, а увеличив его до 600, глубину резания получим только в $3^1/_2$ миллиметра.

Эта диагональ обладает еще другим важным свойством, которым нам и придется пользоваться при вычислениях с помощью графика.

Если мы найдем на правых делениях, где расположены подачи, такое деление, которое соответствует взятой нами подаче, например 10 ниток на 1″, и проведем от найденного деления горизонтальную линию влево до тех пор, пока она не пересечет диагональ, а из места пересечения проведем вниз, к делениям нижней скалы (моментов) вертикальную линию, то эта вертикальная линия пройдет как раз через то деление нижней скалы, которое будет соответствовать получаемой при данной работе нагрузке станка, если обрабатывается твердая сталь. (Как вести расчет для других металлов—см. ниже).

Так, во взятом нами примере, при подаче 10 ниток, нагрузка станка будет равна 650 килограмметрам. При другой подаче, например 35 ниток, нагрузка будет—200 килограмметров, при подаче 15 ниток—440 килограмметров и т. д.

Теперь выясняется и способ пользования графиком при рассчетах. Возьмем еще пару примеров.

Положим, что нам надо обрабатывать предмет из весьма твердой стали диаметром 120 миллиметров при глубине резания 7 миллиметров и подаче 10 ниток на 1″.

Находим вверху деление 120 и проводим мысленно вниз от него (вертикально) прямую линию; затем слева находим деление 7, соответствующее глубине резания, и проводим от него тоже прямую линию, но горизонтальную (вправо). Замечаем, в каком месте эти две линии—горизонтальная и вертикальная должны пересечься. Вообразим теперь

диагональ, которая, проходила бы через эту точку пересечения. Она, очевидно, должна итти параллельно тем диагоналям, которые начерчены на графике Затем находим справа деление 10 (подача) и проводим от этого деления горизонтальную линию до пересечения с найденной диагональю.

Из этой последней точки пересечения, проводим вниз вертикальную линию и замечаем, через какое деление нижней скалы она пройдет. Найденное деление и укажет нам силу, которая потребуется от станка при заданных условиях работы. Это деление будет для очень твердой стали – 260 килограмметров.

Если нам дана не твердая сталь, а другой какой-нибудь материал, например мягкий чугун, то расчет ведется немного иначе. Мы нашли, что для твердой стали момент равен 260 килограмметров. Найдем это деление на нижней скале. Проведем от него вверх прямую линию до той толстой линии, против которой слева написано „мягкий чугун". От точки пересечения опять спускаемся вниз, но не по вертикальной линии, а по диагонали, (следовательно с уклоном влево). Находим, что при обработке мягкого чугуна, момент давления будет не 260, а только 82.

Если обрабатывается средняя сталь, то от нижней скалы надо подняться до второй поперечной линии, против которой стоит надпись „средняя сталь" и затем опять спуститься от этой поперечной линии по диагонали, проходящей через найденную точку пересечения. Найдем момент давления для средней стали 200 килограмметров.

Возьмем еще пример. Обрабатывается вал из очень твердого чугуна, диаметром 300 миллиметров с глубиною резания 12 миллиметров и подачей 15 ниток на 1". Находим, что для твердой стали момент давления равен 770 килограмметрам, а для твердого чугуна 370 килограмметрам.

5. Определение предельных моментов станка. Для суждения о том, может ли станок взять данное сечение стружки при обработке данного предмета, недостаточно знать, какая при этих условиях окажется нагрузка станка и какой потребуется от него момент; нужно еще знать какой наибольший момент можно получать на станке и до какого предела он допускает нагрузку.

Эту задачу можно решить одним из трех способов. Самый лучший и наиболее точный и надежный способ—это произвести соответствующее *испытание на станке пробной нагрузкой.*

Для этого ставим на станок какой нибудь предмет средних размеров, лучше всего—короткий цилиндр или вал определенной твердости металла (например—мягкой стали) и начинаем резать резцом хорошего качества и хорошо заточенным, имеющим то самое очертание лезвия, которым обычно на этом станке будут вестись обдирочные работы. Если предмет кованый или литой, то необходимо снять верхний слой, чтобы вывести окалину или корку.

Установив резец, начинаем постепенно увеличивать подачу или глубину резания до тех пор, пока ремень на ступенчатом шкиве не начнет скользить. Тогда останавливаем дальнейшую работу и за-

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГ ЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

мечаем: 1) наружный диаметр обтачиваемого предмета, 2) глубину резания, 3) подачу. По нашему графику находим вышеописанным способом, какой при этих условиях получался на станке момент давления на резец. Этот момент и будет наибольшим или предельным для той ступени шкива, на которой находился ремень при данном испытании.

Для каждой ступени предельный момент будет различен. Зная момент для одной ступени, легко найти его для всякой другой ступени шкива того же самого станка. Положим, для одной ступени, имеющей диаметр 12″, момент равен 180 килограмметрам, а диаметр другой ступени 94. Умножаем момент первой ступени на диаметр второй ($180 \times 9 = 1.620$) и делим полученное число на диаметр первой ступени, т.-е. на 12. Находим, что предельный момент второй ступени равен $1.620 : 12 = 135$ килограмметрам.

Пример 28-й. Ступенчатый шкив токарного станка имеет диаметры 15″, 12″, 9″, и 6″. Предельный момент наибольшего шкива равен 360 килограмметрам, Каковы моменты остальных трех ступеней?

Делим сперва $360 : 15 = 24$; умножаем это число на диаметр каждой ступени. Момент второй ступени $24 \times 12 = 288$ килограмметрам; момент 3-й ступени $24 \times 9 = 216$ килограмметрам; 4-й ступени $24 \times 6 = 144$ килограмметрам.

Если работа переходит на другой перебор или без перебора, то это также необходимо учесть.

Пусть, например, на одной из ступеней станка, при включении слабого перебора, уменьшающего окорость шпинделя в 3 раза, предельный момент давления оказался 45 килограмметров. Имеется второй, более сильный перебор, уменьшающий скорость шпинделя в 9 раз. В таком случае при работе без перебора момент будет в 3 раза меньше 45, т.-е. $45 : 3 = 15$ килограмметров, а при работе с сильным перебором в 9 раз больше, чем без перебора; или $15 \times 9 = 135$ килограмметрам.

Пример 29-й. Самая большая ступень шкива при работе со слабым перебором дает момент 40 килограмметров. Определить моменты всех остальных комбинаций скоростей, если диаметры ступеней 10″, 8″ и 6″, а переборы уменьшают скорость шпинделя один в $3^1/_2$ раза, другой в 10 раз.

Станок дает девять скоростей: три без перебора, три с слабым и три с сильным перебором.

Большой шкив без перебора дает момент $40 : 3^1/_2 = 11{,}4$, с сильным перебором $11{,}4 \times 10 = 114$ килограмметров. На среднем шкиве с слабым перебором момент равен $40 : 10 \times 8 = 32$ килограмметрам, тоже на малом шкиве $40 : 10 \times 6 = 24$ килограмметрам.

С сильным перебором: на среднем шкиве $114 : 10 \times 8 = 91{,}2$; на малом шкиве $114 : 10 \times 6 = 68{,}4$ килограмметрам, без перебора с средним шкивом $11{,}4 : 10 \times 8 = 9{,}12$ и т. д.

При работе без перебора сила станка будет несколько сильнее, чем получается по расчету, так как исключается трение в шестернях перебора. Для получения более точного результата надо момент для скоростей без перебора, найденный вычислением, умножить на 1,175 или на 47 : 40 (умножить на 47 и разделить на 40). *) Итак, получаем для большого шкива $11{,}4 \times 47 : 40 = 13{,}4$, для среднего $13{,}4 : 10 = 8\,10{,}72$, для малого $13{,}4 : 10 \times 8 = 8{,}04$ килограмметрам.

Второй способ находить предельную нагрузку станка,—*вычислением*, не производя пробного испытания. Этот способ менее точен, так как здесь остается неучтенной действительная величина трения в подшипниках и проч., вообще работы, затрачиваемой на холостой ход станка, которую приходится поэтому приравнивать некоторой

*) Вместо умножения на 1,175 можно разделить на 0,85—коэффициент полезного действия перебора, а при 6 шестернях в переборе—на 0,78, вообще на $(0{,}92)^{n:2}$ если n—число работающих шестерен.

средней для разных размеров и типов станков. Кроме того, несовпадения расчета с практикой могут произойти и от других причин, среди которых важное значение имеет качество и натяжение ремня.

При определении момента вычислением, надо прежде всего определить так называемое передаточное число перебора (или его множитель) способом, указанным в главе о скорости резания, или же сосчитав число оборотов шпинделя на одной и той же ступени с перебором и без перебора.

Пример 30-й. Шпиндель без перебора делает 200 оборотов в минуту, с перебором 16 оборотов. Следовательно, множитель перебора $200 : 16 = 12\frac{1}{2}$.

После того, как передаточное число перебора найдено, обмеряем ту ступень шкива, для которой нужно определить силу станка; находим ее диаметр и ширину ремня (то и другое в миллиметрах). Затем умножаем диаметр на ширину ремня и на множитель перебора и еще на некоторое число (от 3 до 4, чаще всего 3,5), в зависимости от качества и степени напряжения (кожаного) ремня и скорости его движения, и затем в полученном произведении отбрасываем последние четыре цифры. Получаем силу станка в килограммметрах.

Пример 31-й. Требуется вычислить силу станка по следующим данным. Станок имеет передачу шестерен перебора с следующими числами зубцов: 50, 20, 80, 20. Здесь ведомые шестерни 50 и 80, ведущие 20 и 20. Диаметр ступенчатого шкива 250, 200 и 150 миллиметров, ширина ремня 100 миллиметров.

Прежде всего находим множитель перебора. Умножаем 50 на $80 = 4.000 : 20 \times 20 = 400$. Множитель $4.000 : 400 = 10$. Для вычисления силы станка, возьмем пока наибольшую ступень, как самую сильную. Умножаем диаметр 250 на 100 (ширину ремня), получаем 25.000; затем умножаем 25.000 на передачу 10, получаем 250.000; наконец умножаем на 3 и в полученном числе 750.000 отбрасываем последние четыре цифры Предельная сила для наибольшей ступени будет, следовательно 75 килограммметров. Для второй ступени 75 умножаем на 200 и делим на 250 находим 60. Для 3-й ступени находим таким же образом 45 килограммметров.

Третий способ определения силы станка, наиболее быстрый и простой—посредством особого графика (см. график III).

Вверху графика расположена скала «множитель перебора»—это число, показывающее, во сколько раз перебор уменьшает скорость шпинделя. Если работа ведется без перебора, то взамен деления пользуются стрелкой с надписью «без перебора». Слева находится скала «ширина ремня в дюймах», справа «диаметр ступени в дюймах». Обращение с графиком совершенно такое же, как и с предыдущими подобными графиками.

Пример 32-й. Ширина ремня 4″, диаметр ступени 12″, перебор уменьшает скорость шпинделя в 10 раз. Найти предельный, допускаемый станком момент давления на резец *).

Слева графика находим деление „4″, проводим из него прямую (горизонтальную) линию вправо; затем вверху находим деление „10“ и проводим от его прямую вниз. Находим затем диагональ проходящую через точку пересечения этих двух линий, а к диагонали до пересечения с ней проводим прямую влево из правой скалы от деления „12“, после пересечения с диагональю ведем прямую вниз и на нижней скале находим предельный момент 108,5 килограм-метров.

*) Формула предельного момента станка следующая:

$M = \frac{\text{Дагк}}{2\,i}$; M — момент в килограммметрах, $Д$ — диаметр (в метрах), p — наибольшее усилие, которое способен передать 1 см. ширины ремня в кгр. (равное 10—12 кгр.), a — ширина ремня в см., i — передаточное число перебора, $\varkappa$ — коэфициент полезного действия станка, который можно принимать равным 0,6.

VII. Выбор наивыгоднейших условий работы.

1. Обследование станка. Задача токаря — при получении работы определить, какую следует взять подачу, глубину резания и скорость так, чтобы время на выполнение всей обдирочной части работы было наименьшим, и чтобы резец и станок работали с возможно большей пользой.

Изучив в предыдущих главах отдельные явления и свойства резания металлов, мы должны уметь применить эти сведения на живом деле.

Прежде всего мы должны иметь о станке, на котором мы работаем или хотим работать, некоторые сведения. Мы должны знать: 1) Главные размеры станка: высоту центров, расстояние между центрами и т. п. 2) Число оборотов шпинделя для каждой скорости. 3) Предельные моменты для каждой скорости. 4) Наибольшее сечение стружки, допускаемое механизмом подачи. Эти данные удобнее всего расположить в особой табличке, например, следующего вида:

Таблица № 9.

Токарный станок **винторезн.** № **777** Фирма **Клусмен.**

Высота центров **15″**. Расстояние между центрами **1350.** Наибольший экономичный диаметр обработки **для мягк. металлов 280.**

Шкивы.	С сильным перебором.		С слабым перебором.		Без перебора.		Наибольшее сечение стружки, допускаемое механизмом подачи (квадр. миллиметров).		
	Оборотов	Момент.	Оборотов.	Момент.	Оборотов.	Момент.	Материал.	Сталь.	Чугун.
А (большой)	6,8	224	21,5	71,3	87,2	20,7	Тверд. . . .	5	10
Б (средний).	12	179	37,7	57	152,5	16,5	Средн. . .	7	15
В (малый) .	20	133	63,2	42,5	256	12,3	Мягк. . . .	10	20

Примечания специально приспособлен. для домкратных винтов.

Класс станка **VI.**

Для каждого станка должна быть составлена такая табличка, имеющая характер паспорта станка. Один экземпляр следует вывесить у станка, другой иметь в нормировочном бюро.

Способ нахождения всех этих данных указан в тексте книги. Главные размеры станка находим простым обмером, число оборотов шпинделя подсчитываем с помощью часов или секундомера для одной какой-либо скорости с перебором и той же ступени без перебора, отсюда находим множитель перебора (делением одной скорости на другую) и, зная диаметры ступеней, высчитываем числа оборотов для других ступеней [1]). Можно также все скорости записать по наблюдению с часами.

Что касается наибольшего экономичного диаметра обработки, то о нем см. следующую главу.

Момент определяем или опытным путем, или же с помощью расчета или графика для какой-либо одной скорости, и затем рассчитываем для всех других скоростей по множителю перебора и по диаметрам ступеней.

Примеры этих расчетов и приемы определения моментов даны выше, в главе о давлении на резец (см. VI—5).

Наибольшее сечение стружки, допускаемое станком, определяем по таблице 8-й, для чего обмеряем шаг и длину зубца сменных шестерен.

2. Подсчет времени обработки. Этот подсчет легко сделать или вычислением, или с помощью особого графика.

Вычислением можно подсчитать так. Положим число оборотов шпинделя 80, подача 9,5 килограмметров. Длина обработки 200 килограмметров.

Если шпиндель делает 80 оборотов в минуту, и за каждый оборот резец проходит вдоль предмета 0,5 мм., то за эти 80 оборотов резец пройдет в минуту $80 \times 0{,}5 = 40$ мм., а всю длину 200 мм. следовательно пройдет в $200 : 40 = 5$ минут.

Или так: Если за каждый оборот резец проходит 0,5 мм., то для прохода всей длины ему понадобится $200 : 0{,}5 = 400$ оборотов. Резец делает в минуту 80 оборотов, следовательно всю длину пройдет в $400 : 80 = 5$ минут.

Для более простого и быстрого вычисления времени обработки, предлагаем пользоваться следующим графиком (график IV).

Здесь числа оборотов обозначены диагоналями (косыми линиями), на которых отмечено цифрами, скольким оборотам каждая диагональ соответствует. Если нужного числа оборотов не окажется, то надо или взять ближайшее к нему, или же мысленно провести нужную диагональ в том месте, где она должна находиться.

Когда диагональ найдена, находим на правой стороне графика ту подачу, которую мы хотим взять и проводим мысленно от соответствующего деления влево горизонтальную линию, которая укажет на нижней скале, сколько минут займет проход одной стружкой

[1]) Приемы всех этих вычислений изложены подробно выше (см. V—I).

100 мм. длины вдоль предмета. Если предмет имеет например 240 мм. длины, то полученное время надо умножить на 2,4 и затем на число стружек, которые надо снять.

Конечно, как вычислением, так и графиком, определяется только *машинное* время работы, т.-е. время работы самого станка, пока он будет находиться в движении. Кроме того требуется известное время для зажима резца, установки предмета, обмеров и проч., т.-е. так называемое *ручное время*, которое определяется особыми приемами и расчетами, изложение которых в нашу задачу не входит.

Пример 33-й. Работу предположено произвести на станке, дающем 50 оборотов при подаче 0,5 мм. Найти время машинной работы? Находим в средней части графика диагональ (косую линию) с надписью „50" и затем проводим к ней от правой скалы („подача м/м. на 1 оборот"), именно от деления „0,5" прямую горизонтальную линию; от точки пересечения диагонали с этой линией проводим вниз прямую (вертикальную) линию и находим, что эта линия пройдет на нижней скале через деление с надписью „4". Следовательно, для обработки одной стружкой каждых 100 м/м. длины предмета потребуется 4 минуты.

Пример 34-й. Какая линейная скорость получится при работе предыдущего примера, если диаметр 100 м/м.? Находим вверху диаметр „100", проводим от этого деления вниз прямую (вертикальную) линию до пересечения с той же самой диагональю „50" и от точки пересечения ведем прямую влево, при чем на левой скале („скорость резания") находим скорость 15,7 метров в минуту.

Эти две задачи можно решать независимо одна от другой, т.-е. по числу оборотов и подаче находить время обработки—одна задача, и по диаметру и числу оборотов находить скорость резания—другая задача. Но можно и сразу решать такой пример: даны диаметр, скорость резания и подача; найти время обработки. В этом случае находим сперва число оборотов, затем по числу оборотов и подаче время (см. след. пример).

Пример 35-й. Данный нам предмет диаметра 140 м/м. допускает при подаче 1 м/м обработку со скоростью 12,5 метров в минуту. Найти 1) число оборотов и 2) время прохода 100 м/м. длины одной стружкой? Проводим из левой скалы („скорость резания"), от деления „12,5" прямую (горизонтальную) линию, а из верхней скалы (диаметр) прямую вниз (вертикальную). Находим, где эти две линии пересекутся. Мысленно проводим через эту точку диагональ, которая и выразит число оборотов. По положению этой диагонали сравнительно с соседними определяем (если это нам нужно) число оборотов. В данном случае наша воображаемая диагональ пройдет между диагоналями, соответствующими 25 и 30 оборотам, немного ближе к последней, вследствие чего считаем число оборотов равным 28. (При более точном расчете находим 28,4).

После этого проводим от правой скалы („подача") прямую линию влево (горизонтальную) до пересечения с найденной диагональю, а из точки пересечения ведем ее вниз, на нижней скале находим время $3^1/_2$ минуты.

Если станок не может взять то число оборотов, которое получается по нашему расчету—скажем, одна скорость немного выше желаемой, другая—немного ниже, то надо или перейти на другой станок, или же выбрать одну из имеющихся на станке скоростей. Вышеописанным способом легко найти на графике скорости резания, которые получатся при выборе того или другого числа оборотов станка.

Вычисление времени обработки, помимо своей прямой задачи — узнать время, которое надо затратить на работу, может быть полезным для выбора той или иной комбинации скорости и подачи. Вместо того, чтобы умножать сечение стружек на число оборотов, можно находить с помощью графика время, требующееся при каждой комбинации, и выбирать ту комбинацию, при которой время будет наименьшим. Несомненно, что пользование графиком и проще, и быстрее, чем вычисление на бумаге, и связано с меньшей умственной работой. Необходимо только приобрести небольшой навык в обращении с графиками, что, конечно, дается только некоторой практикой.

3. Выбор станка для работы. Если мы имеем возможность вести данную работу на нескольких станках, то как выбрать из них наиболее выгодный, то есть такой, на котором работа может быть выполнена в наименьшее время?

Прежде всего мы должны выяснить свойства предмета – степень твердости металла и наибольшее сечение стружки, которое можно взять. Конечно надо знать и диаметр предмета (черновой). Для определения твердости нами указаны средства в I главе. Как читатель видел, мы пользовались приблизительным определением твердости, для чего делим все сорта на 5 главных разрядов—твердый, выше среднего, средний, ниже среднего и мягкий. При некотором навыке можно приучиться довольно удачно угадывать, к какому из этих пяти разрядов принадлежит данный металл, применяя для этого напильник, удар молотка или пробу склероскопом, с которым управляться совсем нетрудно. Да и обычно встречающиеся в мастерской сорта разных поделок уже имеют привычную и известную токарю степень твердости. Наконец, если твердость была определена неверно – о чем можно заключить по температуре резца и быстроте ее повышения, то надо исправить ошибку переходом на другую скорость и впредь иметь в виду это исправление для других работ.

Наибольшее сечение стружки определяется следующим образом: Как общее правило, в предметах с ровной поверхностью надо брать весь слой металла по возможности с одной черновой стружки и затем одну чистовую, после чего приступать к отделке поверхности. Если поверхность неправильная (особенно в поковках), а после обработки необходимо иметь точную и правильную, то приходится брать еще одну обдирочную стружку для снятия наружной корки.

Если слой металла очень толстый, так что ограничиться одной стружкой нельзя, то приходится увеличивать число стружек—но, *как общее правило, надо брать как можно меньшее число стружек*—чтобы сечение стружки, согласно основному закону резания, получить наибольшее.

Известное значение для выбора сечения стружки имеет размер и форма обрабатываемого предмета. Как мы уже знаем, если длина превышает диаметр больше чем в 12 раз, то можно ожидать дрожания резца, и стружку следует поэтому несколько уменьшать. Вообще, чем тоньше предмет, тем меньше приходится брать и стружку, чтобы предмет не пружинил, не изгибался и не дрожал: также если

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГОЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

предмет имеет шейки по своей длине или не допускает достаточно прочного укрепления в центрах.

Подача также должна быть взята возможно большая; если от нас зависит, что взять больше, подачу или глубину резания, то надо руководиться правилом брать глубину резания примерно в 6 раз больше подачи— это отношение выработано практикой и оказывается наилучшим. *Однако, если либо подаче, либо глубине резания поставлен какой-нибудь предел*, то с указанным нормальным соотношением считаться не следует и *надо брать другой элемент соответственно больше*, так как жертвовать уменьшенным сечением стружки без особо важных причин отнюдь нельзя.

Величина подачи зависит от формы и размеров предмета и от формы резца. Следует резец затачивать так, чтобы после прохода он не оставлял на поверхности предмета больших борозд даже при очень больших подачах.

Когда твердость металла и размеры стружки установлены, надо решать следующую задачу: определить 1) число оборотов, какое надо взять, 2) момент, какой надо преодолеть, 3) класс станка по прочности механизма подачи.

Что касается последних двух вопросов, то их разрешить нетрудно. Класс станка, зная сечение стружки, найдем в таблице 8-й. Момент найдем по графику II. Число оборотов придется искать в два приема - сперва определить линейную скорость резания по таблице 5-й, либо по графику I, а затем по графику IV найти число оборотов. Ниже будет дан более удобный для этих вычислений график V.

Читателю может быть покажется эта работа кропотливой—но во-первых она окупается даже при самом неумелом ее ведении экономией времени точения, а во-вторых, весьма быстро в ней приобретается настолько большой навык, что все вычисления, особенно с помощью графиков, занимают очень маленькое время—всего две-три минуты для каждой работы.

Теперь наша задача решена: Остается найти станок, который 1) давал бы то число оборотов, которое нужно, 2) давал бы на соответствующем шкиве момент не ниже требуемого и 3) относился бы к нужному нам классу по прочности своего механизма подачи.

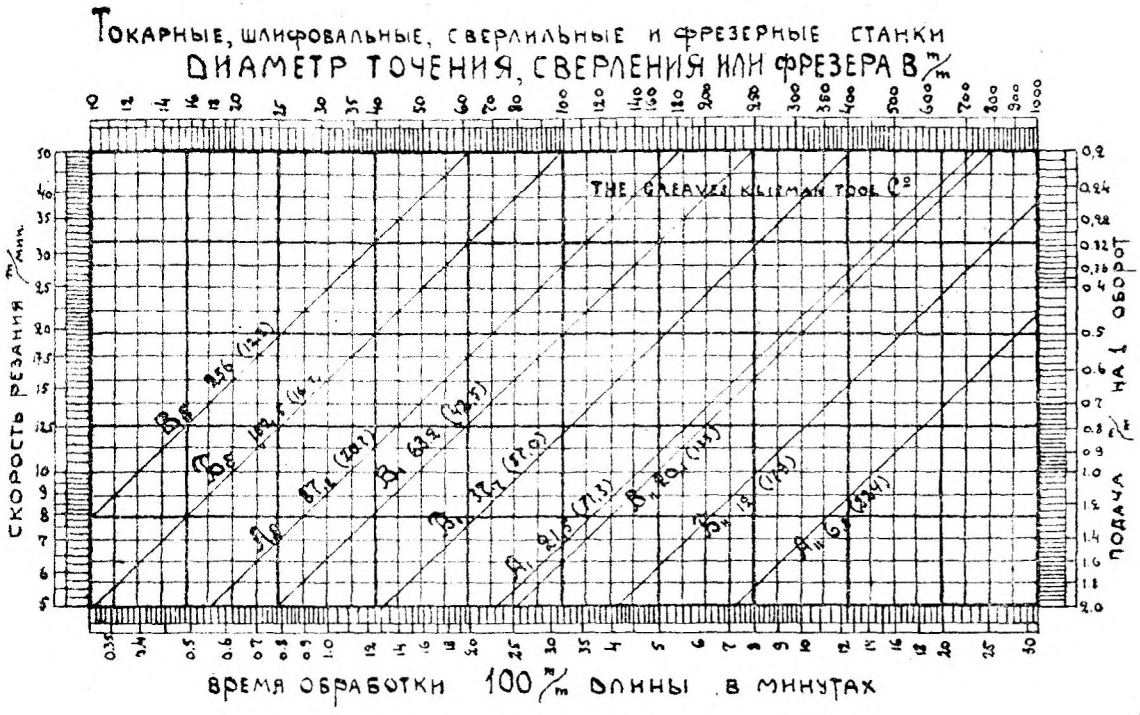
Для этого достаточно бегло просмотреть паспорта с таблицами (по форме табл. 9-й) имеющихся станков и выбрать наиболее подходящий. В целях удобства, „паспорта“ станков должны быть одного размера и расположены по классам станков, а внутри каждого класса по размерам, главным образом по величине наибольшего экономического диаметра обработки. (Об экономическом диаметре см. следующую главу).

Для облегчения подсчетов и наглядности, мы предлагаем вместо табличных паспортов ввести графики станков по следующей форме:

Токарный станок № 777. Фирма Клусмен.

Высота центров 15″. Расстояние между центрами 1.350 мм.

			Тверд.	Средн.	Мягк.
Наибольший экономичный диаметр обработки 280	Наибольш. сечение стружки	для стали	5 к. м.	7 к. м.	10 к. м.
Класс станка 6-й.		„ чугуна	10 „ „	15 „ „	20 „ „



Здесь вместо таблиц взята диаграмма, в которой есть все сведения, которые приведены в таблицах. Диаграмма—та же самая, как на графике IV, с той только разницей, что на бланках станков проводятся диагонали не всех чисел оборотов, а только тех, которые данный станок дает.

На каждой диагонали отмечены: 1) сокращенное обозначение скорости напр. Аб—самый большой шкив без перебора; BI—самый маленький шкив с 1 перебором; БII—средний шкив со 2 перебором и т. д. 2) число оборотов и 3) предельный момент давления. Вертикальной чертой отделяется наибольший экономический диаметр (280) мм. и наибольший диаметр, допускаемый высотой центров (780).

График удобен тем, что в нем не только можно найти те же сведения, как и в таблицах, но еще быстро вычислять линейную ско-

рость и время обработки, а также быстро находить, на каком шкиве надо работать, чтобы получить нужную линейную скорость резания.

Пример 36-й. Диаметр 200 м/м. при подаче 0,7 м/м., материал допускает скорость резания 17,5 метров в минуту. Проводим из левой скалы от деления „17,5" прямую линию вправо, а из верхней скалы от деления „200" прямую линию вниз. Через точку пересечения должна проходить желаемая диагональ числа оборотов; на станке есть две подходящих скорости: 1) несколько больше нужной—37,7 оборотов и 2) несколько меньше нужной—21,5 оборотов в минуту. Найдя точки пересечения вертикальной линии, проведенной от деления „200" с этими двумя диагоналями и проведя от этих точек прямые влево, найдем на левой скале те скорости резания, которые при этом получатся. Так, на первом шкиве (БІ) скорость будет 24, на втором (АІ)—12$^1/_2$ метров в минуту. Очевидно, первая будет чрезмерна, вторая невыгодна. Однако же если другого более подходящего станка не имеется—придется остановиться на последней скорости—12$^1/_2$ метров в минуту, стараясь взамен того увеличить сечение стружки.

Если из ряда имеющихся станков нам надо выбрать наиболее подходящий, то такой выбор легко сделать одним быстрым просмотром графиков на этих бланках. Просматривая один бланк за другим, проводим на каждом вертикальную прямую линию до пересечения с теми диагоналями, которые попадутся на пути. Против точек пересечения нетрудно увидеть приблизительную скорость резания, которая при этом получится для каждого числа оборотов, которое дает станок. Просмотрев имеющиеся карточки, нетрудно выбрать наиболее подходящий станок для работы. При просмотре следует отбрасывать станки, которые или допускают слишком слабое сечение стружки, или же имеют недостаточную высоту центров.

Прежде чем окончательно остановиться на том или ином станке, надо проверить с помощью графика II или расчета, повезет ли ремень станка желаемую стружку, т.-е. не превысит ли получаемый момент того предела, который допускает данный шкив станка; величину этого предела мы найдем на том же графике паспорта станка.

4. Специальный график наивыгоднейшего числа оборотов. Выше мы приводили график скоростей резания (график I); он гораздо проще и понятнее того, в которым мы познакомимся сейчас: однако, недостаток его в том, что найдя линейную скорость, приходится отдельно вычислять число оборотов. Нижеописываемый график сложнее, но он зато дает все расчеты сразу. На нем можно получить сечение стружки, зная подачу и глубину резания, затем линейную скорость резания или по желанию число оборотов, зная твердость металла, качество резца и сечение стружки, а также число оборотов по линейной скорости и обратно, линейную скорость по числу оборотов.

Описание графика. Верхний левый угол графика представляет собой квадрат, по сторонам которого расположены деления: слева подача в нитках на 1″, вверху глубина резания в миллиметрах, внизу—качество резца и род обработки (с водой или без воды). Внутри квадрата имеются прямые линии—вертикальные и горизонтальные для облегчения вычисления, а кроме того диагонали (косые линии), каждая из которых соответствует определенному сечению стружки в квадратных миллиметрах, которые указаны цифрами стоящими у диагоналей. Этот квадрат представляет собою как бы самостоятель-

ный график для вычисления сечения стружки по подаче и глубине резания. Средняя часть графика занята косыми линиями, соответствующими скоростям резания в метрах в минуту; цифры у диагоналей указывают эти скорости. Вверху в правом углу расположены деления твердости материала (надписи: „сталь твердая", тверже средней, средняя, мягче средней, мягкая"); хотя здесь приведены только пять классов твердости, но в промежутках между этими делениями можно разместить любое количество классов, например, если сталь хотя выше средней по твердости, но настолько мало, что ее нельзя включить в класс „тверже средней", то нетрудно найти между этими названиями какую-либо промежуточную среднюю точку, соответствующую данной твердости металла. Эта точка будет ближе к тому или другому делению, смотря по степени твердости металла.

Кроме диагонали в середине графика мы находим прямые линии вертикальные и горизонтальные—для большей точности и удобства вычисления. Когда нам придется при решении задачи проводить мысленные линии вдоль и поперек графика, эта сетка заранее проведенных линий облегчит нашу работу, так как вдоль уже готовых линий вести их будет и легче, и правильнее.

Средняя часть графика выполняет ту же задачу, как и график I, только немного другим приемом, т.-е. по сечению стружки, качеству резца и твердости металла определяет линейную скорость резания. Таким образом эта часть графика также представляет собою как-бы вполне самостоятельный график.

Далее, нижний правый угол образует собою как-бы третий самостоятельный график, служащий для вычисления числа оборотов по диаметру и линейной скорости. Внизу графика расположены деления числа оборотов, с правой стороны диаметры обрабатываемого предмета в миллиметрах. Деления линейной скорости выражены теми же диагоналями, находящимися в средней части графика.

Наконец, наш график заключает в себе еще четвертый самостоятельный график—для определения времени прохода одной стружки (в минуту) по числу оборотов и подаче. Деления числа оборотов для этой цели внизу графика, деления подач (в нитках на 1″) выражены теми же диагоналями как и скорости резания, при чем цифрам, стоящим у диагоналей надо придавать другое значение (именно не скорость резания, а число ниток на дюйм), затем вместо делений диаметров пользоваться сзади них расположенными делениями времени прохода 100 м/м. длины одной стружкой, считая, что эти деления заменяют собою деления диаметров.

Таким образом, наш график включает в себе четыре самостоятельных графика. Но хотя эти четыре графика самостоятельны, между ними имеется тесная связь, они образуют собою *связную цепь* последовательных вычислений, при чем каждая пара графиков в этой цепи имеет общее деление. Именно первый и второй график имеют общее для обоих деление „сечение стружки" т.-е. диагонали „сечение стружки" составляют одновременно часть и первого, и второго графика. Второй у третий графики имеют общие деления скоростей резания, третий и четвертый общие деления числа оборотов. Соответственно этому и порядок вычисления последовательный: сперва в первом гра-

фике мы определяем по подаче и глубине резания сечение стружки; затем во втором графике по сечению стружки, качеству резца и твердости материала—линейную скорость резания; далее в третьем графике по скорости резания и диаметру определяем число оборотов, и, наконец, в четвертом графике по числу оборотов и подаче определяем время обработки предмета. В каждом из четырех графиков мы берем таким образом за начало вычисления результат, полученный в предыдущем графике.

Первая задача. *Определение сечения стружки.*

Пусть подача=50 ниткам на 1″, глубина резания 6 м/м. Находим с левой стороны первого графика деление, против которого стоит цифра 50 ниток, проводим от него линию вправо (горизонтальную, на графике она намечена пунктиром), затем находим вверху деление глубину резания, 6 м/м., от которого проводим линию вниз (вертикальную) до пересечения с первой линией. Через точку пересечения проводим косую линию (диагональ) и смотрим, какая отметка у этой диагонали стоит. Цифра „3" покажет, что сечение стружки 3 кв. мм. Если бы точка пересечения пришлась не на этой линии, а несколько выше между ней и следующей линией (у которой стоит цифра „4"), то это означало бы, что сечение стружки не 3 м/м., а несколько больше, но меньше 4, т.-е. 3 с дробью. Если точка пересечения придется приблизительно посредине между этими диагоналями, то сечение равно $3^1/_2$, если ближе к 3, то $3^1/_4$ или $3^1/_3$—смотря по расстоянию.

Вторая задача. *Определение скорости резания.*

Пусть сечение стружки 3 кв. мм., резец самозакальный, без воды, обрабатывается средней твердости сталь. Находим в верхнем графике диагональ, против которой стоит отметка „сечение стружки 3 кв. мм.". Затем внизу того-же графика находим отметку „самозакалка без воды" и проводим от нее вверх прямую (вертикальную) линию до пересечения с диагональю «3 кв. мм.» От точки пересечения ведем прямую линию вправо (на графике эта линия также обозначена пунктиром). В правом углу графика, вверху, находим деление с отметкой «средняя сталь» и из него проводим вниз прямую линию до пересечения с той линией, которая проведена нами из первого графика. Заметив точку пересечения обоих линий, находим диагональ, проходящую через эту точку и ищем, какая отметка у этой диагонали имеется. Эта отметка и даст нам искомую скорость резания. Так, найдем, что для нашей задачи скорость равна 17 метрам в минуту. Соответствующей диагонали не окажется на графике, там имеются диагонали для 16 и 18 метров в минуту, искомая диагональ пройдет посредине между ними (нанесена пунктиром).

Линия, которую мы мысленно провели по графику для решения этой задачи, имеет вид ломаной: она начинается у скалы качества резца (против соответствующего деления), изгибается затем у соответствующей диагонали сечения стружки, идет вправо по всему графику и вновь загибается вверх против деления твердости металла. Вся задача в том, чтобы верно определить точку ее второго перегиба и отсюда найти диагональ скорости резания.

Пример 37-й. Подача 0,8 м/м, глубина резания 8 м/м, резец быстрорежущий, без воды, обрабатывается сталь твердости выше средней. Найти скорость резания, какую позволит взять резец?

Вверху на скале „глубина резания" находим деление „8" и проводим из него вниз вертикальную линию, затем из деления „0,8" левой скалы „подачи" проводим прямую вправо (горизонтальную), находим диагональ, проходящую через точку пересечения этих двух линий. К этой диагонали проводим снизу от скалы „быстрорежущие резцы без воды" прямую вверх, а от пересечения с найденной диагональю ведем ее вправо, до пересечения с вертикальной линией, проведенной из деления „сталь тверже средней" в верхнем правом углу графика. Диагональ, проходящая через эту точку пересечения (или через точку, так сказать *второго перегиба* ломаной линии, укажет скорость резания. В данном примере мы получим $7^3/_4$ метр. в минуту.

Если обрабатывается **не** сталь, а чугун, то скорость резания следует понижать, при работе быстрорежущими резцами на 20%, при работе самозакалкой—на 10%, при работе углеродистыми резцами скорость можно оставлять без изменения. С этими поправками тем-же самым графиком, хотя с некоторой небольшой неточностью, можно пользоваться и при обработке чугуна.

Третья задача. Линейная скорость резания равна 17 метр. в минуту, диаметр предмета 100 миллиметров. Определить число оборотов в минуту?

Находим сперва диагональ скорости резания, она дается или самой задачей, или путем предварительного решения предыдущей (второй) задачи. Для данного случая она проведена на графике пунктиром. Затем справа находим деление „диаметр 100 м/м." от которого проводим прямую влево (горизонтальную) до пересечения с найденной диагональю скорости резания. Из точки пересечения ведем прямую вниз (вертикальную) и на нижней скале замечаем через какое деление она пройдет. Это деление (в данном случае 58) и даст число оборотов в минуту.

Четвертая задача. Определение времени обработки.

Число оборотов равняется 58 в минуту, подача 50 ниток на 1". Из того же деления, которое мы нашли в третьей задаче, т.-е. „58 оборотов в минуту" проводим прямую линию вверх до диагонали с отметкой «подача 50 ниток на 1"» (те же диагонали, как и для скорости резания), отсюда ведем прямую линию вправо и на правой скале читаем деление $3^1/_2$ (точнее 3,6) минуты. Это будет «время прохода 100 м/м. длины одной стружкой». Если мы хотим знать полное время, например, обработку тремя стружками длины 200 м/м., то должны $3^1/_2$ минуты умножить на **3** и на 2, получим 21 минуту. Сюда не включено время на установку предмета и резца и на всякого рода перерывы и остановки работы, но только одно время механической работы станка.

Сложная задача. Мы можем решать все эти четыре задачи не только порознь, каждую отдельно и независимо от другой, но и *соединив их в одну сложную задачу.* В этом случае нам нет надобности читать промежуточные решения, но мы можем итти подряд, без остановок, пока не получим окончательного решения.

Пример 38-й. Подача 30 ниток на 1", глубина резания 8 м/м, резец самозакалка, обработка с водой, обрабатывается сталь мягче средней, диаметр 200 м/м, определить время обработки одной стружкой 100 м/м длины.

Решение: Проводим из деления „подача 30 ниток" прямую вправо, из деления „глубина резания 8 м/м" прямую вниз, замечаем, какая диагональ (имеющаяся или воображаемая) пройдет через точку пересечения, к этой диагонали проводим снизу от деления „самозакалка с водой" прямую до пересечения с ней и отсюда ведем вправо линию вдоль всего графика до пересечения с вертикальной линией, проведенной из деления „сталь мягче средней" вниз, через точку пересечения двух линий проводим (мысленно) диагональ и к ней ведем справа от деления „диаметр 200" прямую влево до пересечения с этой диагональю и отсюда ведем прямую вниз до пересечения с диагональю „подача 30 ниток", а отсюда вправо до деления „время прохода", где найдем, что это время равно $3^1/_2$ минуты (при 20 оборотах в минуту).

Надо однако помнить, что станок может дать совсем не то число оборотов, которое позволяет взять резец, а потому обычно надо сперва найти число оборотов, какое допускает резец, выбрать станок, и время обработки расчитывать уже по числу оборотов, действительно даваемому станком.

Задача, которую мы решили, пригодится нам не только для определения того, насколько та или иная комбинация выгодна, но также для общей оценки времени при нормировании работ, когда неизвестно в точности, на каком именно станке будет вестись работа, а норма назначается средняя независимо от станка.

5. Выбор наивыгоднейших условий работы при данном станке. Когда мы выбрали тем или иным способом станок, наиболее подходящий для работы, или по каким либо соображениям должны выполнять работу именно на данном станке, то задача сводится к тому, чтобы выбрать наивыгоднейшую комбинацию размеров стружки и скорости, причем надо считаться не только с свойствами резца, но и с особенностями станка.

Станок может не *повезти*, вследствие слабости своего механизма вращения, или станок может давать слишком недостаточную скорость, а с переходом на другую ступень меняется и сила станка—с этим тоже надо считаться. Задача таким образом осложняется.

Решение задачи следует вести одним из следующих двух методов.

А. Метод вычисления. Берем таблицу (паспорт) станка (см. таблицу 10). Выписываем числа оборотов и соответствующие предельные моменты давления.

Пусть станок дает следующие числа оборотов и моменты:

Таблица № 11.

Шкив.	С перебором		Без перебора		Примечание.
	Число оборот.	Момент.	Число оборот.	Момент.	
А (большой) .	6	500	60	60	Механизм подачи допускает наибольшее сечение стружки при обработке стали 12 кв. м/м. и чугуна 24 кв. м/м.
Б (средний) . .	12,2	400	122	50	
В (малый) . .	25,6	300	256	40	

На станке надо обточить стальную болванку диаметром 250 м/м. и твердостью выше среднего, резцом из самозакалки без воды. Глубина снимаемого слоя—8 м/м. (не считая $^1/_2$ м/м. на чистовую стружку).

Так как глубина слоя 8 м/м., а механизм подачи может выдержать только 12 кв. м/м., то следовательно подача не должна превосходить $1\frac{1}{2}$ м/м. ($12 : 8 = 1\frac{1}{2}$). Во всех случаях где мы получим подачу больше этой величины, мы должны ее уменьшить до $1\frac{1}{2}$ м/м.

С помощью графика V определяем, какую наибольшую подачу может взять резец, если станку давать попеременно все те скорости, какие станок в состоянии иметь. Так, найдем, что на шкиве А (самом большом) с перебором при 6 оборотах в минуту, резец может взять подачу не выше $2\frac{1}{4}$ м/м., что на шкиве Б (среднем) с перебором, при 12,2 оборотах,—$\frac{1}{2}$ м/м. и т. д. Заносим все эти сведения в таблицу 12, где мы сделаем общую сводку всех результатов наших вычислений.

После этого, вернее, одновременно с этим, расчитаем с помощью графика II какую наибольшую подачу на каждой скорости может выдержать ремень станка, если глубина резания 8 м/м., обрабатывается твердая сталь, диаметр 250 м/м. и моменты даны для каждой скорости в таблице 11 (самые скорости, т.-е. числа оборотов, для давления на резец, следовательно и для моментов, значения, как мы знаем, не имеют). Эти наибольшие подачи, допускаемые ремнем станка (механизмом вращения), также вписываем в сводную таблицу 12. Оказывается, наибольший шкив А с перебором позволяет взять 12 ниток на 1″ или 2,1 м/м., шкив Б с перебором—15,5 ниток на 1″ или 1,64 м/м. шкив В—22 нитки или 1,13 м/м. и т. д.

Теперь нам остается сопоставить для каждой скорости три предельных подачи:

1) допускаемую резцом, 2) допускаемую силой станка и 3) допускаемую механизмом подачи станка. (Последняя будет для всех скоростей приблизительно одинакова). Очевидно, что в каждом случае, т.-е. для каждой скорости, мы должны взять наименьшую из этих трех предельных подач — иначе у нас или разрушится резец, или остановится ремень, или же сломается сменная шестерня или другая часть механизма подачи. Подчеркнув в таблице для каждой скорости наименьшее из трех значений подачи, умножим ее на число оборотов и результат проставим в следующей графе. Чем больше будет результат, тем больше будет и производительность станка, так-как произведение подачи на число оборотов в минуту равно длине, проходимой резцом вдоль оси предмета в одну минуту.

Табл. № 12 (сводная.

Комбинация скорости.		Наибольшая подача допускаемая			Число оборотов.	Произведение наименьшей из 3-х подач на число оборотов.	Примечание.
		Резцом.	Ремнем.	Механ. подачи.			
С перебором.	А . . .	$2\frac{1}{4}$	2,1	$1\frac{1}{2}$ м/м.	6	$1\frac{1}{2} \times 6 = 9$	
	Б . . .	$\frac{1}{2}$	1,64	$1\frac{1}{2}$ „	12,2	$\frac{1}{2} \times 12{,}2 = 6{,}1$	Резец не позволяет.
	В . . .	нельзя	1,13	$1\frac{1}{2}$ „	25,6	—	
Без перебора.	А . . .	нельзя	нельзя	$1\frac{1}{2}$ „	60	—	
	Б . . .	„	„	$1\frac{1}{2}$ „	122	—	
	В . . .	„	„	$1\frac{1}{2}$ „	256	—	

Вместо этого умножения можно по графику IV, или по графику V, или же по графику, помещенному на паспорте станка (форма 10) определить время прохода резцом 100 м|м. длины одной стружкой; очевидно, чем это время будет меньше, тем работа выгоднее.

Умножив наименьшую подачу на число оборотов и выбрав из этих произведений наибольшее, мы найдем, на каком шкиве станка выгоднее всего выполнять данную работу. В данном случае это будет, как видно из таблицы, шкив А с перебором, дающий 6 оборотов в минуту. Его произведение подачи на число оборотов будет $1\frac{1}{2} \times 6 = 9$, тогда как для шкива В это произведение равно только 6,1.

На станке можно было бы взять подачу даже 2,1 м|м., если бы это позволял механизм подачи. Резец позволяет взять так же $2\frac{1}{4}$ м|м.

Б. Метод практический. Изложенный выше метод вычисления занимает известное время, особенно у человека, непривыкшего к постоянным расчетам; поэтому применение его иногда не имеет смысла и даже невозможно, где работа единичная, не повторяется и занимает сама немного времени. Правда, при небольшом навыке все эти вычисления делаются очень быстро — в две-три минуты, особенно при пользовании не таблицами и не графиками, а специальными счетными линейками, о которых мы ниже будем говорить.

Практическим методом гораздо труднее найти *наивыгоднейший* вариант, но постепенно можно подойти и к нему, что оправдывается на массовых работах. Этот практический метод сводится к следующему. Выбирается скорость „на глаз", по навыку или по приблизительным подсчетам по числу оборотов. Станок пускается с этой скоростью. Сечение стружки постепенно увеличивается до тех пор, пока или не достигнут будет предел, допускаемый прочностью механизма станка (его классом), что для каждого станка должно быть во всяком случае заранее установлено, или будет достигнут предел, допускаемый самим предметом (толщина слоя, дрожание, изгиб и проч.).

Здесь могут быть три случая: 1) один из этих двух пределов достигнут, но ни ремень, ни резец не перегружены и повидимому допускают еще увеличение своей нагрузки. Или 2) ни один из этих пределов еще не достигнут, но резец уже испортился, что указывает на чрезмерную скорость резания (если можно предположить случайную порчу резца, то после его переточки следует, конечно, повторить опыт). Или возможен третий случай — 3) резец не испортился, но ремень отказался везти и остановился.

Первый случай. Так как предельное сечение стружки, допускаемое как предметом, так и механизмом подачи станка, достигнуто, то повышение производительности может быть получено только увеличением скорости резания. Поэтому переводим ремень на следующую ступень, которая дает несколько большую скорость и вновь повторяем опыт сначала, постепенно увеличивая сечение стружки до предела. Если сечение стружки опять дойдет до предела, не вызвав полной нагрузки резца, переходим на следующую ступень и т. д., пока или резец испортится, или ремень остановится раньше, чем стружка достигнет своей предельной величины. Тогда несколько уменьшаем

стружку (подачу) и вновь повторяем опыт на той же скорости, стараясь таким образом установить, при каком предельном сечении стружки достигается полная нагрузка резца или ремня. Найдя это предельное сечение, вычисляем, как выгоднее работать: на предыдущей ступени с малой скоростью и с полным сечением стружки или с большой скоростью, но не полным сечением. Для этого сечение умножаем на число оборотов и смотрим, где произведение будет больше—в первом или во втором случае. Чем больше произведение, тем быстрее, т.-е. выгоднее, будет выполнена работа.

Пример 39-й. На средней ступени было взято полное сечение, допускаемое механизмом подачи (8 кв. м/м), при 18 оборотах в минуту. Переходя на малую ступень, пришлось уменьшить сечение стружки до 7 кв. м/м, при 24 оборотах, причем резец работал с полной нагрузкой.

В первом случае находим $8 \times 18 = 144$, во втором случае $7 \times 24 = 168$, второй случай выгоднее.

Пример 40-й. В другой работе на малой ступени того же станка пришлось сечение стружки уменьшить до 5 кв. м/м (сталь была тверже). Произведение $5 \times 24 = 120$ будет меньше 144, следовательно, здесь выгоднее, работать на средней ступени при полном сечении стружки.

В общем можно сказать, что поступаться сечением стружки в пользу скорости выгодно только при небольшой разнице в сечении стружки—не выше той, какая существует между соответствующими числами оборотов; так, если одна скорость больше другой в $1\frac{1}{2}$ раза, то и допускать уменьшение сечения стружки следует тоже никак не больше, чем в $1\frac{1}{2}$ раза и т. д.

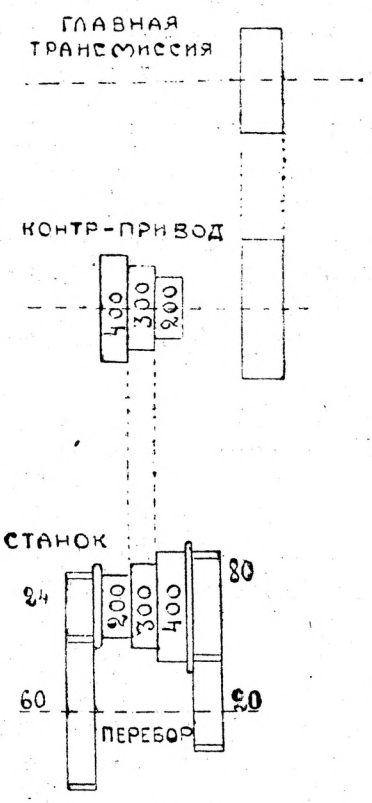
Так как ремень для получения большой скорости придется перевести на меньшую ступень шкива, то с увеличением скорости мы получим несколько уменьшенную силу станка (т.-е. пониженный момент). Поэтому следует ожидать большей возможности скольжения ремня, чем при работе на первой ступени.

Второй случай. Сечение стружки еще не дошло до предела допускаемого механизмом подачи и самим предметом, между тем резец испортился или близок к порче раньше времени (температура его слишком быстро растет), ремень работает исправно и не дошел до предельной нагрузки. Это показывает, что скорость резания взята слишком высокой. Так как уменьшать сечение стружки, с целью сохранить неизменную скорость, не следует (это противоречило бы основному закону резания), то надо перейти на меньшую скорость для чего перевести ремень на следующую ступень. Эта ступень даст меньшую скорость и несколько большую силу станка. Увеличиваем сечение стружки до тех пор, пока или 1) не будет достигнут предел (допускаемый механизмом подачи или предметом), или 2) не остановится ремень, или же 3) не испортится раньше времени резец. В первом варианте мы очевидно, не используем вполне режущей способности резца, а потому может случиться, что выгоднее работать с меньшим сечением стружки и с большой скоростью. Тогда следует выяснить, какое наибольшее сечение стружки допускает резец на предыдущей ступени и сравнить между собой произведение сечения стружки на число оборотов в каждом случае (как это было сделано в предыдущих примерах 39 и 40).

Третий случай. Сечение стружки еще не дошло до предела, допускаемого механизмом подачи и предметом, резец работает исправно и не дает признаков своей предельной нагрузки, но ремень скользит. Это показывает, что скорость не высока, даже может быть низка, но станок слаб.

Этот случай мы подробно исследуем в конце следующей главы, после изучения соотношения между скоростью и силой станка.

6. Соотношение между силой и скоростью в станке. В случае слабости станка (скольжения ремня) задача усложняется тем, что здесь не столь большую роль играет известный нам основной закон резания металлов, как свойства станка и существующие в нем соотношения скоростей и силы (моментов).



Фиг. 16.

Здесь мы должны немного углубиться в вопрос об этом соотношении, после чего вновь вернемся к нашей задаче.

Пусть станок имеет три шкива и один перебор. Шкив имеет диаметры ступеней 400, 300 и 200, те же диаметры имеет шкив и в контрприводе, только в обратном порядке. Перебор имеет множитель 10. Действительно $80 \times 60 = 4.800$, $24 \times 20 = 480$, $4.800 : 480 = 10$.

Моменты станка будут уменьшаться от ступени к ступени так, как уменьшаются диаметры этих ступеней (т.-е. пропорционально этим диаметрам). Если предельный диаметр большой ступени, скажем, 12 килограммметров, то предельный момент второй ступени будет $12 \times 300 : 400 = 9$ килограммметрам, а третьей ступени $12 \times 200 : 400 = 6$ килограммметрам.

Так как диаметры ступеней обычно уменьшаются, как говорят, *в арифметической прогрессии*, (т.-е. один меньше другого на известную величину, постоянную для каждого станка), то следовательно, и предельные моменты уменьшаются тоже в арифметической прогрессии [1]).

Когда мы переходим на работу без перебора, т.-е. после работы на малом шкиве с перебором ставим станок на большой шкив без перебора, то момент сразу сильно падает. Это можно видеть из

1) В нашем станке знаменатель прогрессии диаметров 100, знаменатель прогрессии моментов—3.

следующего расчета, Переходя на работу без перебора, мы уменьшаем силу в 10 раз, т.-е. на большом шкиве получаем момент не 12, а 1,2; этот момент немного увеличится, так как при работе без перебора устраняется трение в шестернях перебора; чтобы учесть эту разницу, разделим 1,2 на 0,85, получим 1,4 килограммметров.

Таким образом, при переходе с малого шкива с перебором на большой без перебора, сила станка (т.-е. момент) сразу падает с 6 до 1,4 килограммметров, или на 4,6 кл|м. (почти в $4\frac{1}{2}$ раза), тогда как при сохранении перебора уменьшение было только на 3 кгр|м. (с 12 на 9 и с 9 на 6 кгр|м. или всего в $1\frac{1}{2}$ раза).

Отсюда мы делаем прежде всего важный практический вывод: *тяжелую обдирочную работу надо всегда вести с перебором,* так как без перебора станок слишком ослабляется.

Поэтому и все практические расчеты наивыгоднейших скоростей надо вести для обдирочных операций только на работу с перебором. *Без перебора производится только отделочная и шлифовочная работы.*

Совсем иначе ведут себя скорости станка. Мы видели что сила станка зависит только от станка, но не от контр-привода: диаметры ступеней контр-привода не имеют значения для моментов. Скорости же шпинделя изменяются и от того, что на станке мы переводим ремень на другую ступень, и от того, что мы меняем ступень в контр-приводе. Так как при каждом переводе ремня мы меняем диаметры ступеней одновременно и на станке, и в контр-приводе, то скорость изменяется от действия этих обоих причин сразу.

Переходя с большого шкива на меньший (например средний) мы увеличиваем скорость шпинделя и от того, что на станке диаметр ступени уменьшается, и от того, что в контр-приводе диаметр ступени увеличивается. На станке вместо 400 работает диаметр 300, в контр-приводе вместо 200 работает тоже диаметр 300. Если скорость шпинделя на большой ступени была 12 оборотов в минуту, то на средней она будет $\frac{12 \times 400 \times 300}{300 \times 200} = 24$ оборота, а на меньшей ступени $\frac{12 \times 400 \times 400}{200 \times 200} = 48$ оборотов. Скорость с переходом на следующую ступень увеличивается вдвое.

Без перебора скорости увеличиваются в 10 раз, т.-е. будут 120, 240 и 480 оборотов.

Так мы получаем следующие комбинации:

	С перебором			Без перебора		
Шкивы	A	B	C	A	B	C
Число оборотов	12	24	48	120	240	480
Предельные моменты .	12	9	6	1,4	1,0	0,7

Сравнивая изменения скоростей с изменением в силе станка, следует отметить, что скорости увеличиваются везде вдвое; только с переходом на работу без перебора они увеличиваются в $2\frac{1}{2}$ раза (с 48 до 120). В то же время предельные моменты увеличиваются в среднем меньше, чем в $1\frac{1}{2}$ раза, т.-е. много медленнее скоростей.

за исключением перехода на работу без перебора, где сразу имеется скачек в $4^1/_2$ раза [1]).

Эту особенность передачи при ступенчатых шкивах необходимо хорошо усвоить и уметь ею пользоваться в практической работе на станках.

Вернемся теперь к разбору нашей задачи, которая в предыдущей главе осталась неоконченной („третий случай").

Если станок оказался слаб для стружки, которую ему надлежало взять, то, припоминая основной закон резания, можно притти к выводу, что следует перейти на ступень большего диаметра, где момент соответственно больше. Это было бы так, если бы на этой большой ступени можно было взять любую желаемую скорость — в частности ту, которую позволит взять резец при наибольшей своей нагрузке. Но надо помнить, что скорость при переходе на большой (следовательно на более сильный) шкив не только не увеличивается, но уменьшается, и, как мы сейчас видели, уменьшается гораздо быстрее, чем увеличивается сила станка (сила увеличивается в арифметической прогрессии, тогда как скорость уменьшается в геометрической прогрессии). Поэтому переход на более сильную ступень позволит взять более сильную стружку, но зато заставит понизить скорость обработки гораздо сильнее, чем мы можем увеличить стружку, следовательно, в результате мы не выиграем, а проиграем [2]).

Поэтому, может итти речь о переходе не на более сильную, а на более слабую ступень, где в силу того же свойства можно получить более выгодное соотношение силы и скорости.

В самом деле, перейдя на более слабую ступень, мы увеличим скорость в гораздо большей степени, чем потеряем на силе станка; таким образом, если стружку нам придется уменьшить в $1^1/_2$ раза, скорость мы сможем увеличить, скажем, в 2 раза, т.-е. получить выигрыш в производительности в $2 : 1^1/_2 = 1^1/_3$ раза, т.-е. на 33%.

Однако, такому увеличению скорости есть предел; этот предел заключается в режущей способности резца. Может случиться, что резец, который при работе на предыдущей ступени, следовательно, с значительно меньшей скоростью, не был нагружен до предела, теперь, с переходом на большую скорость, будет уже нагружен выше предела и разрушится быстрее, чем следует. Надо помнить, что по основному закону резания, увеличение скорости на резец действует гораздо сильнее, чем увеличение (или уменьшение) сечения стружки. Поэтому, увеличивая скорость, надо прежде всего наблюдать, как это отзывается на работе резца.

---

1) Таким образом предельная передаваемая ремнем энергия не остается одной и той же на всех шкивах и меняется, увеличиваясь с уменьшением диаметра ступени.

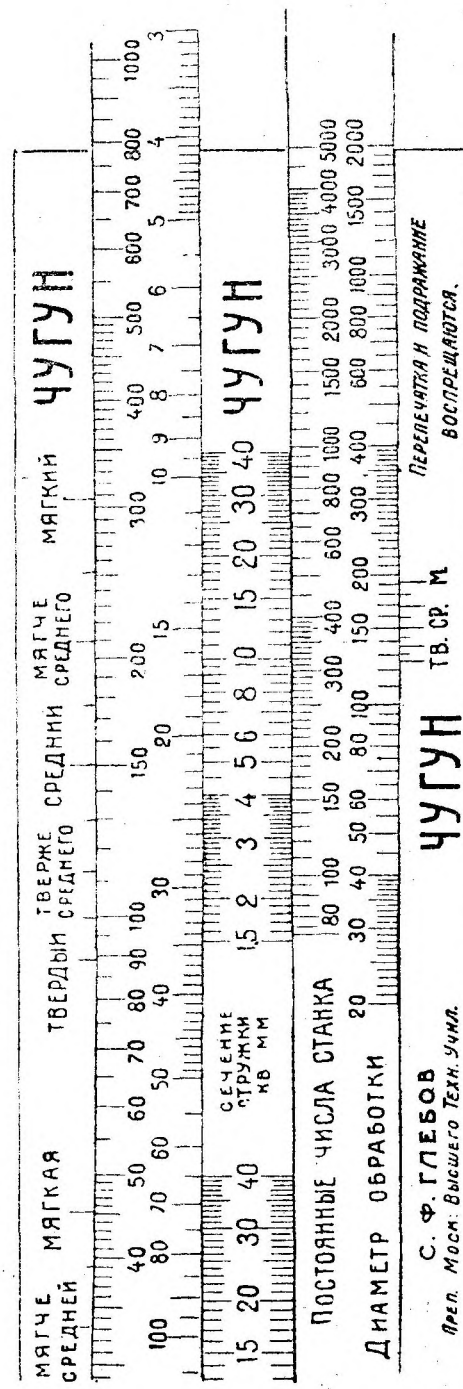
2) Пусть мы имеем шкивы А и В, шкив А имеет диаметр 300, шкив В — 250 м/м. Момент шкива А больше шкива В в $300 : 250 = 1{,}2$ раза. Число оборотов шкива А меньше, чем шкива В приблизительно в $12^2 = 1{,}44$ раза, т.-к. скорость изменяется не только от перемены шкива на станке, но и от перемены его в контр-приводе. Переходя со шкива В на шкив А, мы можем увеличить сечение стружки, следовательно, в 1,2 раза, но скорость резания понизится в 1,44 раза, вследствие чего будет понижение производительности в $1{,}44 : 1{,}2 = 1{,}2$ раза.

Если резец будет не слишком быстро портиться, то замену ступени надо признать удачной, в противном случае следует или вернуться на прежнюю ступень, или еще уменьшить сечение стружки—смотря по тому, какой путь окажется выгоднее. Пока уменьшение сечения стружки потребуется небольшое — выгоднее будет перейти на шкив с большей скоростью, в противном случае — остаться на прежней ступени. Чтобы выяснить это с полной точностью, нужно точно установить, какую стружку сможет резец выдержать при новой скорости; умножив сечение на скорость в первом во втором случае (т.-е. на одной и на другой ступени), найдем, что выгоднее будет то, где произведение больше.

Например, на средней ступени станок допускал стружку 6 кв. мм. при 24 оборотах в минуту; на малой ступени резец выдерживает стружку не более 2 кв. мм. при 48 оборотах в минуту, очевидно первая комбинация выгоднее, потому что $24 \times 6 = 144$, а $48 \times 2 =$ только 96.

Однако, надо помнить, что на каком бы решении в данном случае мы ни остановились, мы никогда не сможем достигнуть здесь наивыгоднейших условий работы резца, так как по основному закону резания работать с меньшим сечением стружки, чем позволяет данный предмет, невыгодно и увеличение скорости этого ущерба покрыть не может.

Здесь могут быть только два более радикальных выхода—или передать работу на



Фиг. 17.

другой станок, или же приспособить данный станок путем смены шкива на главной трансмиссии, о чем нам придется говорить в следующей VIII главе. Если станок систематически страдает слабостью, то это лучшее доказательство необходимости перенастройки станка.

7. Применение специальных счетных линеек. Мы пользовались выше или графиками, или вычислением по таблицам и формулам. Графики удобнее и быстрее решают всякую задачу и потому, мы рекомендуем основательно их изучить и усвоить. Но еще лучше и удобнее пользоваться специальными счетными линейками, приспособленными для нужных нам расчетов. Они гораздо проще, точнее и быстрее решают задачи, чем графики и таблицы. Некоторыми линейками свободно может пользоваться всякий квалифицированный рабочий. Одну из таких линеек мы вкратце опишем [1]).

На фигуре 17 изображена правая сторона линейки, предназначенная для обработки чугуна. Левой (обрезанной) половиной следует пользоваться при работах со сталью.

Линейка состоит из трех неподвижных частей—верхней, средней и нижней, и двух выдвижных линеечек, из которых верхняя служит для расчета скорости резания (числа оборотов в минуту), которую может при данных условиях взять резец, а нижняя для проверки, может ли взять данную комбинацию станок.

Как сталь, так и чугун, подразделяются на сорта, обозначенные простыми и общепонятными названиями: твердый, тверже среднего, средний, мягче среднего и мягкий. Как в верхней, так и в нижней части линейки со скалой металла соприкасается скала диаметров. И верхнюю, и нижнюю выдвижные линеечки надо двигать до тех пор, пока деление, соответствующее диаметру обрабатываемого предмета, не станет как раз против соответствующей твердости материала. В таком положении линейка уже приготовлена вполне для решения задачи—никаких других передвижений не требуется.

Средняя неподвижная часть линейки выражает сечение стружки в кв. м/м. На обороте линейки имеется вспомогательная таблица, по которой легко можно найти площадь сечения стружки, если известна подача и глубина резания. Со скалой сечения стружки вверху соприкасается скала числа оборотов в минуту, так что против каждого числа оборотов сразу можно найти, какое сечение стружки при такой скорости позволяет взять резец, и обратно, какое число оборотов он допускает при данном сечении стружки.

С той же скалой сечения стружки соприкасается внизу скала „постоянных чисел станка". Эти постоянные числа станка являются упрощенным выражением силы этого станка. Они представляют собою простое произведение ширины ремня (в дюймах), диаметра шкива (в дюймах) и передаточного числа перебора, т.-е. во сколько раз перебор уменьшает скорость шпинделя. Аналогично верхней части линейки здесь против каждого сечения стружки находим соответствующее постоянное число станка; надо следить, чтобы это число не превысило того, которое является для данного шкива предельным.

Если наивыгоднейшая комбинация, выбранная вверху линейки, дозволяется нижней частью линейки, то вся задача решена, в противном случае приходится брать менее выгодные комбинации, лишь бы они не превышали возможностей, допускаемых станком.

Положим, обрабатывается чугунный цилиндр средней твердости, имеющий диаметр 150 м/м. Соответственно этому, деление „150" скалы диаметров как в верхней, так и в нижней части линейки установлено на совпадение с чертой „средний чугун". В полученном положении линейки замечаем, прежде всего, какому числу оборотов какое сечение стружки соответствует.

---

[1]) Это описание было дано нами в статье „Как повысить производительность токарного станка с помощью упрощенной счетной линейки (Журнал „Изул" изд. НКПС 1922 года № 33). Кроме того, отчет о различных иностранных счетных линейках см. в нашей работе „Процесс резания, как единая эмпирическая формула", Москва 1923 г. Изд. Гостехиздата.

Именно, находя деление, соответствующее, скажем, 20 оборотам (на нижней стороне верхней выдвижной линейки) видим, что против него находится деление „6“ скалы „сечение кв м/м.“. Это значит, что резец допускает взять сечение стружки 6 кв. м/м. Наибольшее число оборотов в минуту 20.

Точно также, сечение стружки 20 кв. м/м. требует $12^1/_2$ оборотов в минуту, а сечение 2 кв. м/м.—31 оборот в минуту. Сопоставляя эти три, взятых наугад, варианта, наблюдаем, во-первых, подтверждение основного закона резания: чем больше сечение стружки, тем выгоднее пойдет работа. Именно, увеличивая сечение стружки с 2 до 20 кв. м/м., т.-е. ровно в 10 раз, мы одновременно должны уменьшить скорость только в $2^1/_2$ раза, именно с 31 до $12^1/_2$ оборотов. Выигрыш в производительности работы, таким образом, окажется в четыре раза ($10 : 2^1/_2 = 4$).

Положим, в данном случае мы можем взять наибольшее сечение 20 кв. м/м. На линейке видим, что на скале „постоянные числа станка“ против „20“ сечения стружки находится деление 550, это означает, что указанное сечение требует, чтобы станок имел постоянное число не меньше 550. Если ширина ремня 4″, диаметр шкива 14″ и передача перебора 10 (т.-е. при включении перебора число оборотов шпинделя уменьшается в 10 раз), то постоянное число этого станка $4 \times 14 \times 10 = 560$ будет больше требуемого, иначе нам придется сечение стружки уменьшать.

Итак, задача выбора станка для данной работы решается следующим образом: станок должен 1) давать $12^1/_2$ оборотов в минуту, 2) развивать „постоянное число“ не меньше 550 и 3) допускать по прочности своего механизма, передающего движение к суппорту, сечение стружки не меньше 20 кв. миллиметров.

Этим же простым и нетрудным способом можно решать с помощью линейки любую из тех задач, которые мы в этой книге решали вычислением, или же с помощью графиков и таблиц.

Кроме этой „упрощенной“ счетной линейки нами выпущена более сложная линейка, для пользования лицами с специальным техническим образованием, где учитывается гораздо большее число факторов и притом гораздо более точным образом.

Кроме того, имеется еще наша линейка для быстрого вычисления времени обработки, когда скорости и сечение стружки уже выбраны [1]).

Ограничиваемся здесь этими общими замечаниями о счетных линейках, так как мы можем здесь дать о них, конечно, только общее понятие и представление. Подробные указания о применении линеек указаны в приложенных к линейкам руководствах.

КОМІТЕТ ХЕМІЗАЦІЇ
КНИГ ЗБІРНЯ
Народнього Господарства при РНК УСРР

[1]) Эти линейки можно выписывать непосредственно от автора: Москва, Малая Ордынка, 28, кв. 19, или через книжный магазин Гостехиздата, Москва Петровка, 10.

VIII. Условия наивыгоднейшей работы токарных станков [1]).

1. Выбор работы для станка. В решении „третьего случая“ (см. предыдущую главу) мы встретились со слабостью станка, как с причиной, *лишающей нас возможности наивыгоднейшим образом* использовать резец. Такой случай указывает на несоответствие между работой и станком. Надо, следовательно, уметь *подобрать подходящую* для станка работу. Этому вопросу мы и посвятим всю последнюю главу нашей книги, при чем в этом параграфе будем говорить об использовании станка в том виде, как он установлен, без изменения его скоростей, или, как говорят, *без перенастройки* станка.

Работа, назначаемая на станок, должна *прежде всего позволять снимать сечение стружки не более* того, которое может взять данный станок по *прочности своего механизма подачи*. Если механизм подачи позволяет взять стружку, скажем, только 6 кв. м/м., а предмет допускал бы снимать сразу 12 кв. м/м., то очевидно выгоднее передать эту работу на другой более сильный станок, с более сильным механизмом подачи, более тяжелого класса, иначе нельзя будет использовать основной закон резания – работать с возможно большим сечением стружки. Если разница небольшая, то можно рискнуть взять на станке требующееся сечение стружки, особенно, если металл мягкий.

Другое условие—*момент, который потребуется от станка при обработке, не должен превышать предельной силы станка* той ступени, на которой надо вести обработку. Вопрос этот сводится к определению так называемого *предельного экономичного диаметра обработки*, о чем речь будет в следующих параграфах.

Наконец, третье условие, пожалуй, самое важное—это *скорость, какую дает станок*. Как мы знаем, недостаточно знать число оборотов станка—надо знать еще диаметр предмета и определить отсюда линейную скорость резания. Эта линейная скорость *должна быть приблизительно той, которая является наибольшей допускаемой резцом* при данном материале, качестве резца и сечении стружки.

Зная число оборотов станка и степень твердости материала, мы можем расчитать, какой диаметр является наивыгоднейшим при том максимальном сечении стружки, которое допускается механизмом подачи. Обратно, задавшись диаметром, мы найдем соответствующую твердость материала. Для этого можно пользоваться вышерассмотренными графиками I и V.

---

[1]) Инженеров, желающих подробнее изучить этот вопрос, отсылаем к нашей статье того же заглавия в „Железнодорожных Мастерских“, изд. НКПС. 1922 г. № 2.

Пример 41-й. Станок дает 16 оборотов в минуту; в мастерской обычно обрабатывается сталь средней твердости. Предельное сечение стружки 10 кв. м/м., резцы самокальные, работают без воды. Какие диаметры следует выбирать для станка, имея в виду, что предельный момент—200 кг/метров?

С помощью графика I находим, что при 10 кв. м/м. стружке средняя сталь допускает 9 метров в минуту, следовательно при 16 оборотах станка наивыгоднейшим является диаметр 170 м/м. Проверяя по графику II скручивающий момент, находим, что последний составляет 170 килограмметров (при пользовании этим графиком подачу берем 25,4 нитки на 1", что равно подаче 1 м/м. и глубину резания 10 м/м., что дает сечение стружки $10 \times 1 = 10$ кв. м/м. т.-е. несколько меньше предела, допускаемого станком (200 кг/м.).

Пользуясь результатом этого расчета, подбираем для данного станка предметы, имеющие при средней твердости стали диаметр близкий к 170 м/м. и допускающие снимать сечение стружки 10 кв. м/м.

Определив этим же способом размеры предметов и для других комбинаций скоростей, а также размеры для других встречающихся в мастерской твердостей, мы будем иметь полное представление о наивыгоднейших условиях работы данного станка.

2. Приспособление станка для выполнения массовых или однородных работ. Когда на станке выполняются разнообразные работы, мы должны брать станок таким, как он есть—с теми скоростями и пр., которые он нам фактически дает—и можем только в рамках этих имеющихся возможностей выбирать более выгодные для нас варианты и комбинации. Если же мы намечаем данный станок для однообразной или массовой работы, напр., для производства снарядов, либо осей определенных размеров (паровозных, вагонных) и т. п., то мы должны станок по возможности приспособить так, чтобы он работал наивыгоднейшим образом.

Из трех условий 1) предельного сечения стружки (прочность механизма подачи), 2) предельного момента и 3) числа оборотов—только третье предоставляется в известных пределах нашему выбору и усмотрению. Путем установки на главной трансмиссии того или другого шкива, мы можем изменять эти скорости, увеличивать их, либо уменьшать. Предел увеличению скоростей лежит только в общей конструкции станка—массивность станка, нагревание подшипников и т. п.

Для того, чтобы наилучшим образом приспособить станок, мы должны уметь подобрать наивыгоднейшие скорости—те самые, которые оказываются наибольшими, допускаемыми резцом; мы можем определить их, пользуясь теми же графиками I или V.

Пример 42-й. Станок приспособляется специально для обработки пальцев —диаметра 125 м/м. при подаче 1 м/м., глубине резания 6 м/м., стали тверже средней, самозакаливающимся резцом, охлаждаемым сильной струей воды. Какое число оборотов следует выбирать для шпинделя?

Пользуясь графиком V, находим, что для этой работы надо иметь на станке 23 оборота в минуту. С этим расчетом надо поставить вверху, на главной трансмиссии такой шкив, при котором шпиндель давал бы на той ступени, на которой предположено вести работу, 23 оборота в минуту.

3. Высота центров и наибольший экономичный диаметр точения. Для того, чтобы выработать общее правило выбора скоростей контр-привода для обычной работы разнообразного характера, а также и вообще для уяснения свойств станка, мы должны разобраться еще в одной зависимости

Пусть мы имеем станок с каким-нибудь предельным для данной комбинации скоростей моментом, положим, 250 килограммметров. По основному закону резания, мы должны выбирать для этого станка работу, в которой размер снимаемого сечения стружки близок к пределу, допускаемому механизмом подачи станка; пусть оно будет 12 кв. мм. При этих условиях, чтобы не превзойти предельного момента станка, мы должны известным образом ограничить либо твердость материала, либо диаметр обрабатываемого предмета—третьего выхода у нас нет. Но, как мы знаем, твердость материала влияет на давление стужки очень немного: самый твердый металл режется с усилием всего в $1^1/_2$ раза большим, чем самый мягкий металл того же рода. Следовательно, пределы для обрабатываемого диаметра еще более сʻуживаются. Для каждой из твердостей металла мы имеем вполне определенный предельный диаметр, выше которого ремень не сможет везти. Для самого мягкого металла этот диаметр будет в $1^1/_2$ раза больше, чем для твердого и в $2^1/_4$ раза больше для чугуна, чем для стали. Если мы возьмем за единицу, положим, самую твердую сталь, и определим такой предельный диаметр для этой стали, то для средней стали он будет на 25% (или на $^1/_4$) выше, для мягкой стали в $1^1/_2$ раза выше, для твердого чугуна в $2^1/_4$ раза выше, для среднего чугуна в $2^3/_4$ и для мягкого чугуна в $3^1/_4$ раза больше.

Таким образом, нам достаточно знать предельный диаметр только для одной какой-либо твердости металла напр. для твердой стали; зная его, мы без труда вычислим предельный диаметр для другой любой твердости. Такой предельный диаметр обработки мы предлагаем называть *наибольшим экономичным диаметром* станка. Экономичным называем его потому, что станок, вообще говоря, может обрабатывать диаметр и больше экономичного, в пределах своей высоты центров, но такая работа не может быть выгодной, ибо она связана с соответствующим понижением сечения стружки, что влечет за собой потерю производительности. Так как для каждой комбинации скоростей станка предельные моменты различны, то различны будут и наибольшие экономичные диаметры. Последние будут в точности пропорциональны первым; таким образом, достаточно высчитать наибольший экономичный диаметр для одной какой-нибудь скорости —напр., для наибольшего шкива с наиболее сильным перебором; остальные можно найти вычислением, умножая на новый момент и деля на старый.

Пример 43-й. Станок допускает предельное сечение стружки 10 кв. м/м. Предельные моменты его (с перебором) 200; 160 и 120 кг/метров. Найти экономичные диаметры для стали и чугуна всех степеней твердости?

Сперва находим наибольший экономичный диаметр для твердой стали и шкива с моментом 200 кг/м. По графику II он будет равен 160 м/м. Находим мы его следующим образом. Внизу ищем деление „200“, проводим вверх прямую; справа находим деление „25,4“ (= 1 м/м.) и проводим от него влево прямую; через точку пересечения этих двух прямых проводим диагональ. На левой скале находим деление „10“ (так как при сечении 10 кв. м/м. и подаче = 1 м/м. глубина резания = 10 м/м.) и проводим вправо прямую до пересечения с диагональю, а отсюда вверх, где находим наибольший экономичный диаметр 160 м/м.

Теперь нетрудно найти экономичные диаметры для других твердостей и для чугуна, для чего полученное число умножаем поочередно на $1^1/_4$, $1^1/_2$, $2^1/_4$, $2^3/_4$ и $3^1/_4$, а также для других скоростей, для чего 160 делим на 200 и умножаем поочередно на 160 и 120. Полученные результаты представлены в нижеследующей табличке.

Таблица № 13.

МАТЕРИАЛ.		Экономичные диаметры станка № ..... Ступени шкива с перебором.		
		Наибольшая	Средняя.	Наименьшая.
Сталь	твердая	160 м/м.	128 м/м.	95 м/м.
	средняя	200 „	160 „	120 „
	мягкая	240 „	190 „	145 „
Чугун	твердый	360 „	290 „	215 „
	средний	440 „	350 „	265 „
	мягкий	520 „	415 „	310 „

Для скоростей без перебора экономичные диаметры расчитывать нет надобности, так как обдирочная работа на этих скоростях не ведется.

Определение наибольшего экономичного диаметра имеет существенное практическое значение. Дело в том, что скорости контр-привода при разнообразной работе необходимо расчитывать, исходя именно из этих экономических диаметров. Только в таком случае мы можем расчитывать на выгодное использование наших станков и наших резцов, как это будет подробно выяснено в следующем параграфе.

Во всех наших мастерских скорости контр-привода выбраны или наугад, на глазомер, или же в лучшем случае—по высоте центров. Именно, расчитывается, какой наибольший диаметр может пройти на станке (т.-е. двойную высоту центров) и для этого диаметра расчитываются средние скорости резания, а отсюда и скорости контр-приводов.

Практики, применявшие такой метод в виде системы, неоднократно обнаруживали, что он приводит большей частью к слишком медленным и недостаточным скоростям.

Из того, что было сказано выше, ясно, что высота центров не имеет и не может иметь вообще никакого значения для выбора скоростей контр-привода. Действительно, высота центров определяет диаметр, который вообще можно ставить на станок—но ведь не всегда этот предельный диаметр подлежит обработке: многие предметы обрабатываются только частично, по диаметру значительно меньшему наружного диаметра предмета (напр. рычаги, хомуты, эксцентрики и т. п.) Роль высоты центров, а также выемки в станке, — позволить обработку таких предметов.

Когда же речь идет о выборе скоростей контр-привода, то здесь высота центров не должна играть никакой роли, разве только вообще ограничивать предел, до которого может доходить величина наибольшего экономичного диаметра.

Произведенное нами обследование большого количества токарных станков разных размеров, форм и типов, обнаружило, что в большинстве случаев наибольший экономичный диаметр гораздо меньше предела, допускаемого высотой центров, и что вообще между этими двумя диаметрами нельзя установить никакого определенного и более или менее постоянного отношения.

Нижеследующая таблица 14-я дает сравнение этих величин для нескольких из обследованных нами станков.

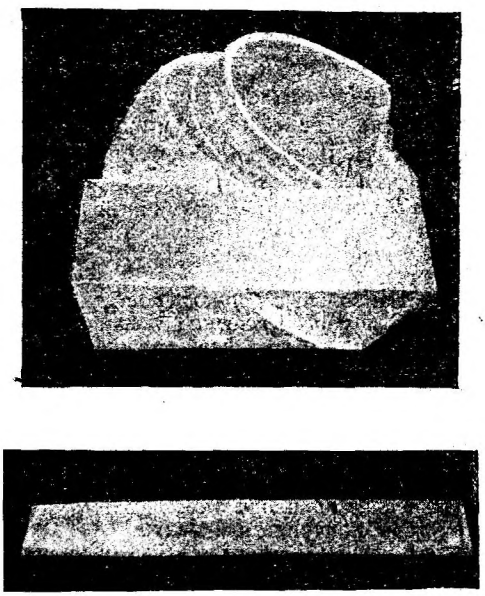
Таблица 14-я, показывающая отсутствие прямой зависимости между экономичным диаметром обработки и средним сечением стружки, с одной стороны, и высотой центров с другой.

№№ по порядку.	Ф И Р М А.	Высота центров.	Наибольш. скруч. момент кгр.—метров.	Класс станка.	Наибольш. диаметр обработки.			Среднее сечение стружки кв. м/м.		
					По выс. центр.	По силе станка.	%	По выс. центров.	По силе механ. подачи.	%
1	Бетлехем	30	3121	I	1520	527	35	90	100	111
2	Селлерс	12½	207,5	IV	625	135	20	15	25	167
3	Воленберг	12	243	„	700	160	23	15	25	167
4	Икегай	10	75	V	500	75	15	10	16	160
5	Клусмен	15	228	„	780	225	29	25	16	64
6	Мунктельс.	10	253	VI	500	410	82	10	10	100
7	Америк К⁰	11	106	„	540	170	31	12	10	83
8	Шпрингфельд	8	45,7	VII	450	114	26	6,5	6,5	100
9	Леблонд	8	57	„	400	145	36	6,5	6,5	100
10	Чемпион	7½	60	„	400	150	38	6	6,5	108
11	Рейерсон	8	72	„	460	180	39	6,5	6,5	100
12	Аккерман.	8½	46	„	410	115	28	7	6,5	93
13	Зунд	8	88	„	400	220	55	6,5	6,5	100
14	Франк Гирш	9½	60	„	480	150	31	8	6,5	81
	В среднем	—	—	—	582	200	34	16,4	17,7	107

Как видим из таблицы, почти везде экономический диаметр много меньше допускаемого высотой центров. Для первого станка фирмы *Бетлехем*, описанного в работах Тейлора, высота центров допускает обработку 1520 мм., экономичный же диаметр только 527 или всего $^1/_3$ (35%), для станка *Икегай* эта разница еще сильнее: 75 против 500 или (15%). Но есть станки, где обе величины близки одна к другой; так, станок фирмы *Мунктельс* имеет диаметр по высоте центров 500 мм., а экономический 410 мм.—всего немного меньше (82%) и т. д.

Сечение стружки, допускаемое станком, также не имеет никакой связи с высотой центров. В последних трех графах таблицы сопоставлены соответствующие сечения; как видим, одни отклоняются от других иногда в одну, иногда в другую сторону, доходя до 160%

Итак, *высотой центров при выборе скоростей контр-привода руководствоваться нельзя.* Если же на практике выбирают шкив на глазомер или исходя из высоты центров, то станок постоянно даст значительно пониженную производительность. Насколько эта производительность оказывается пониженной, наглядно видно хотя бы из опыта, произведенного нами на одном из станков.



Фиг. 18.

Фиг. 18 изображает две стружки, снятые с одного и того же станка, одним и тем же резцом, с одной и той же болванки, при одной и той же линейной скорости резания и одном и том же числе оборотов. В обоих случаях была взята максимальная возможная стружка—разница только в том, что в первом случае скорость контр-привода была взята вдвое больше, чем во втором. В результате оказалось возможным взять стружку вдвое шире и вдвое толще, то-есть вчетверо большего сечения [1]).

Об'ясняется эта разница очень просто: чтобы получить одно и то же число оборотов шпинделя в обоих опытах, пришлось, конечно, работать на разных шкивах станка: в одном случае на большом, имеющем большой момент, в другом случае на малом, имеющем ма-

---

[1]) В верхней стружке подача 1,3 м/м. и глубина резания 12 м/м., следовательно сечение 15,6 кв. м/м., в нижней стружке подача 0,7 и глубина резания 6 м/м. т.-е., сечение только 4,2 кв. м/м.

ленький момент. Второй, конечно, значительно слабее первого и потому мог взять гораздо меньшую стружку.

Таким образом, если скорость контр-привода выбрана слишком низкой, то станок никогда не даст наивысшей своей производительности—он будет работать слабее, с меньшими сечениями стружки, вопреки основному закону резания. Попытка перейти на более сильную ступень шкива окажется еще более невыгодной, так как увеличение сечения стружки с избытком покроется пониженной скоростью.

4. Выбор скоростей контр-привода. Как выяснено в предыдущем параграфе, скорости контр-привода следует расчитывать, исходя не из высоты центров, а *из экономичных диаметров обработки*. Как общее правило, надо, следовательно, определить наибольший экономичный диаметр, взять наиболее ходовую степень твердости материала, а так же качество резцов, применяющихся при работе на станке и вычислить отсюда число оборотов, которое должен иметь шпиндель. Зная, какое число оборотов надо дать шпинделю, нетрудно расчитать и число оборотов контр-привода.

Пример 44-й. Экономичный диаметр обработки для наибольшей ступени шкива с перебором 150 м/м. Какое число оборотов следует дать шпинделю, расчитывая на обработку средней твердости стали самозакаливающимся резцом без воды.

Наибольшее допускаемое для станка сечение стружки 10 кв. м/м.

С помощью графика V наивыгоднейшей скорости резания находим, что число оборотов шпинделя должно быть 22 в минуту.

Если, напр. диаметр наибольшей ступени 12″, диаметр соответствующей ступени контр-привода 8″, перебор уменьшает скорость в $9\frac{1}{2}$ раз, то число оборотов контр-привода определим следующим образом. Число оборотов той же ступени без перебора $22 \times 9\frac{1}{2} = 209$; число оборотов контр-привода $209 \times 12 : 8 = 314$.

Если трансмиссия имеет, скажем, 250 оборотов, при чем диаметр рабочего шкива контр-привода (передающего движение от трансмиссии) положим, 10″, то чтобы получить для контр-привода требуемые 314 оборотов, надо 314 разделить на 250 и умножить на 10; получим $314 : 250 \times 10 = 12\frac{1}{2}$.

При более точном расчете следует учесть то обстоятельство, что кроме большой ступени есть и другие комбинации скоростей, для каждой из которых существует свой экономичный диаметр. Необходимо так согласовать работу отдельных ступеней, чтобы все они работали по возможности при наиболее выгодных условиях.

Кроме того следует иметь в виду, что на станке может производиться обработка не только средней стали, но и твердой, требующей меньших скоростей резания, а также резьбовые и прорезные работы, при которых скорости берутся меньше, чем при обыкновенной обдирке.

Скорости контр-привода отнюдь не следует устанавливать раз навсегда без изменения; в зависимости от того, для каких специальных работ приспособляется и предназначается станок, какими резцами ведется в данный период работа—скорости контр-привода обязательно должны пересчитываться и изменяться. В этом приспособлении скоростей контр-привода к особенностям данной текущей работы лежит коренное условие наивыгоднейшей работы станка. Как

это должно быть ясно из предыдущего изложения, далеко не безразлично, работает ли станок с большой или малой скоростью контр-привода. Вышеприведенная фотография двух стружек, снятых на одном и том же станке—да послужит укором и предостережением для тех, кто пожалеет затратить небольшое количество труда на эту несложную операцию.

Конечно нет возможности сменять шкивы на главной трансмиссии для каждой небольшой текущей работы, имеющей разнообразный характер; но *если длительность однородной работы, скажем, месячная или более, то такую смену следует делать.*

Точно так же важно учитывать перемену качества резцов. Если станок, до того работавший углеродистыми резцами, переводится на самозакалку, или после самозакалки вводится быстрорежущая сталь, то скорость контр-привода обязательно следует переменить. Нет ничего абсурднее, как сменяя резцы, оставить старые скорости, это приводит к тому, что применение лучших марок вместо громадного увеличения производительности, которое они могут дать, приносят улучшение всего на 10%, не окупая часто даже своей повышенной стоимости.

Это очень важный вопрос, с которым часто приходится иметь дело на практике. Именно, если работа переходит на лучшие марки резцов, или же станок специально приспособляется на массовое производство изделий из более мягкого металла, то скорости резания для полного использования резцов приходится увеличивать. Так как напряженность станка от увеличения скорости при этом не меняется, то в таких случаях увеличение скоростей резания следует производить не переводом ремня ступенчатого шкива и не изменениями в переборе, но исключительно увеличением числа оборотов контр-привода путем смены шкива главного вала или контр-привода. При этом скорость контр-привода должна быть увеличена приблизительно во столько раз, во сколько надо увеличить скорость резания.

Пример 45-й. Станок работал на обточке бандажей, имел на главном валу трансмиссии шкив диаметром 10″. Станок приспособляется специально под обработку паровозных поршней. Скорость резания бандажей 8 метров в минуту, поршней (литой стали, средней твердости)—12 метров в минуту. Какой шкив надо поставить на главный вал вместо имеющегося?

Так как скорость резания должна быть взята выше в $12:8=1\frac{1}{2}$ раза, то и шкив главного вала должен быть в $1\frac{1}{2}$ раза большего диаметра, т.-е. не 10″, а $10\times 1\frac{1}{2}=15$″. Если увеличение скорости мы достигнем не сменой шкива главного вала, а переводом ремня на меньшую ступень, то сила станка ослабеет и станок уже не сможет тянуть прежнюю стружку.

Пример 46-й. Тот же станок приспособляется на обточку железных дисков. Скорость резания железа 24 метра в минуту. Определить диаметр шкива главного вала. Здесь разница твердости настолько крупная, что кроме увеличения скорости мы должны принять еще во внимание уменьшение давления на резец при резании железа в $1\frac{1}{2}$ раза. Потому, в виду увеличения скорости резания, надо было бы на главном валу увеличить диаметр шкива в $24:8=3$ раз, но, принимая во внимание понижение давления на резец, мы увеличим шкив не в 3, а в $3:1\frac{1}{2}=2$ раза, т.-е возьмем шкив диаметром в $10\times 2=20$″.

В первой задаче следовало бы тоже взять шкив несколько меньшого диаметра, чем получилось у нас по расчету—процентов на 10, т.-е. не 15, а $13\frac{1}{2}$″—14″, приняв во внимание, что поршни мягче бандажей и потому работа будет итти с меньшим давлением на резец.

5. Распределение работы между шкивами и разными комбинациями скоростей станка. Скажем, мы определили наибольший экономичный диаметр станка и расчитали для него известную скорость. По этому экономичному диаметру, найденному для большой ступени с перебором, мы расчитали нужное нам число оборотов контр-привода и установили на главной трансмиссии соответствующий шкив.

Этим самым мы установили скорости шпинделя не только для работы на большой ступени с перебором, но и для работы на всех других ступенях. Это общее правило: мы не можем подобрать для каждой ступени особую, специальную для нее наивыгоднейшую скорость шпинделя. Поэтому, выбирая для контр-привода наивыгоднейшую скорость, следует ясно представлять себе, как она отразится на работе каждой комбинации скорости в отдельности. В этих целях необходимо уяснить себе свойства отдельных ступеней.

Пусть мы выбрали для наибольшей ступени скорость, наиболее пригодную для твердого материала. Это вовсе не значит, что на средних и на наименьшей ступенях тоже выгоднее всего будет обрабатывать твердый материал.

Мы уже знаем, что скорости шпинделя от большей ступени к меньшей увеличиваются быстрее, чем уменьшается сила станка (момента). Это, как мы видели, происходит от того, что скорости увеличиваются одновременно и от уменьшения ступени станка, и от увеличения ступени контр-привода, тогда как уменьшение силы зависит только от уменьшения ступени станка. Или, как говорят, в то время, как сила станка уменьшается в арифметической прогрессии, скорости шпинделя растут в геометрической прогрессии.

Таким образом, если, руководствуясь силой станка, мы выбрали определенную скорость шпинделя для одной какой-нибудь ступени, например, для наибольшей, то для других ступеней соотношение изменится, и скорости уже не будут пригодны для той же твердости металла при соответственно уменьшенных диаметрах. Для меньших ступеней скорости будут быстрее нужных, для больших ступеней — медленнее нужных.

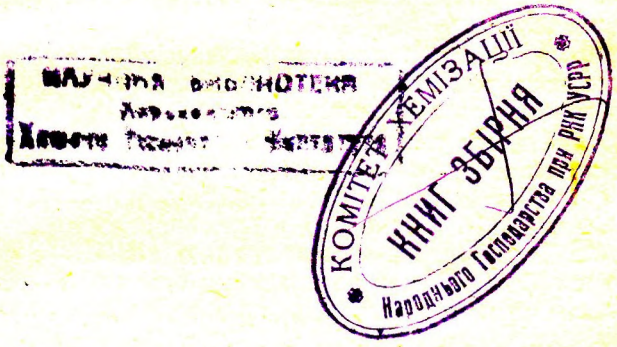
Поэтому, если скорости контр-привода расчитаны для обработки на большой ступени предметов твердого металла, то при работе на меньших ступенях придется либо уменьшить диаметры, либо выбирать более мягкий металл, либо уменьшать одновременно то и другое. Если же мы будем придерживаться для каждой ступени соответствующего ей наибольшего экономичного диаметра, то у нас останется только один выход — уменьшать твердость металла, выбирать для меньших ступеней более мягкие сорта.

Из изложенного ясно, что при обычных условиях токарный станок предоставляет нам довольно узкий выбор условий наивыгоднейшей работы: для резца необходимо остановиться на известной скорости, станок же, давая нужную скорость, часто не имеет на этой ступени необходимой силы, чтобы вести ту стружку, которая является наивыгоднейшей и которую он на другом шкиве свободно берет.

Чтобы устранить это неудобство, применяют две скорости контр-привода — одну больше, другую меньше — чтобы при одной и той же силе станка получать по желанию увеличенную или умень-

шенную скорость. У нас в России это применяется почти исключительно для винторезных станков, при чем большей скоростью пользуются для обратного хода станка. За границей, главным образом в Америке, применяется двойная скорость контр-привода и для обдирочных работ. Приходится весьма пожалеть, что это не принято у нас. Никакие другие работы, как именно винторезные и обдирочные, не являются столь чувствительными к выбору скорости резания.

10338.
020550



Того же автора.

1. Ф. Тейлор и его система организации. (История и критика)—*печатается.*

2. Тейлор и его работы. Отд. оттиск из журнала „Организация труда“ № 3.

3. Организация предприятий. Конспективная лекция. Екб. 1920.

4. Сдельная цена, как числовое выражение функциональной формулы. Отдельный оттиск из „Бюллетеней Политехнического Общества“ 1913 г.

5. Система Тейлора и наука об управлении предприятиями. Отд. оттиск из „Вестника О-ва Технологов“ 1913 г.

6. Условия наивыгоднейшей работы токарного станка. („Железнодорожные Мастерския“ Изд. Н. К. П. С. 1922 г. № 2).

7. Основное правило при работе на токарных станках. (Там же, № 1).

8. Процесс резания, как единая эмпирическая формула. (Теория наивыгоднейшей работы металлообрабатывающих станков). Изд. Гостехиздата. Москва 1923 г.

9. Теория резания металлов и ее применение в заводской практике—*(готовится к печати).*

10. Обследование станков для обработки металлов. („Изул“ 1921 № 28—30).

11. Наставление к заполнению бланков по обследованию станков. (С образцами заполненных бланков).

12. Счетные линейки для наивыгоднейшего резания металлов. („Изул“, изд. Н. К. П. С 1921 г. № 28—30).

13. Как увеличить производительность токарного станка с помощью упрощенной счетной линейки. (Изул“ изд. Н. К. П. С. 1921 г. № 33).

14. Как выгоднее вести работу на токарных станках. („Серп и Молот № 2—10 1920 г.).

15. Верх-Исетский образцовый механический завод. („Промышленный Урал“ 1920 г. № 2).

16. Машиностроительные курсы для рабочих. („Серп и Молот“ 1920 г. № 5.).

17. Задачи профессионально-технического образования в области теории резания металлов (Организация Труда 1922 г. № 3.).

18. Ведение бухгалтерского учета при падающей валюте. 3-е издание. Москва 1923 г. Изд. „9-е Января“. Отзывы Госплана, Технопроминспекции, „Торгово-Промышленной газеты“, „Экономической Жизни“, „Бюллет. Всеросс. Спичечн. Синдиката“ и др.

19. Калькуляция и учет производства в условиях падающей валюты. Москва 1923 г. Издание 2-е переработанное.

20. Основные проблемы учета при падающей валюте. Статья в сборнике.

21. Учет в червонцах. (Система одновалютного баланса в твердом измерителе). Издание авторское.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Перепечатка воспрещается.

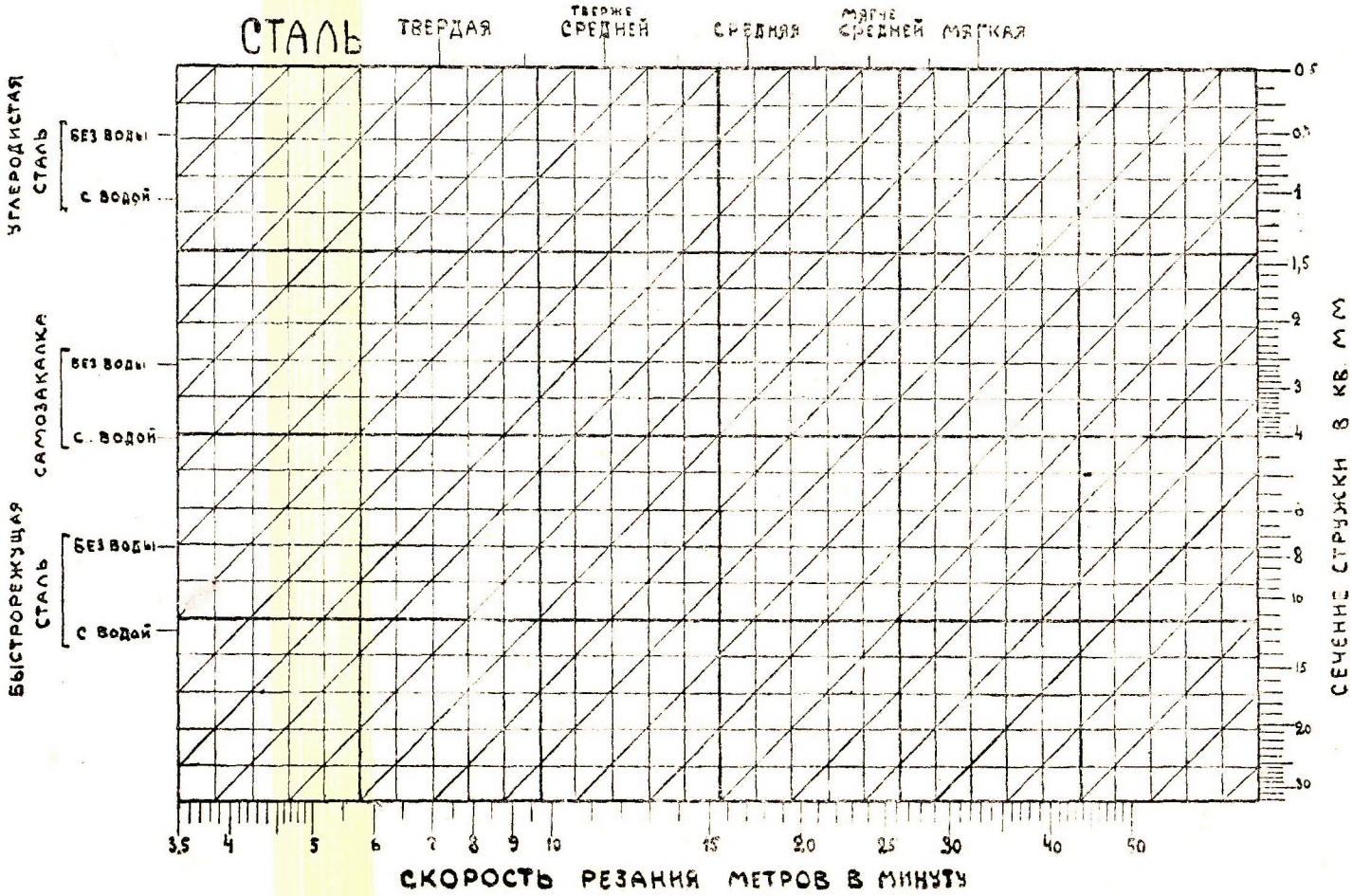


График I для определения скорости резания при обработке стали

Перепечатка воспрещается.

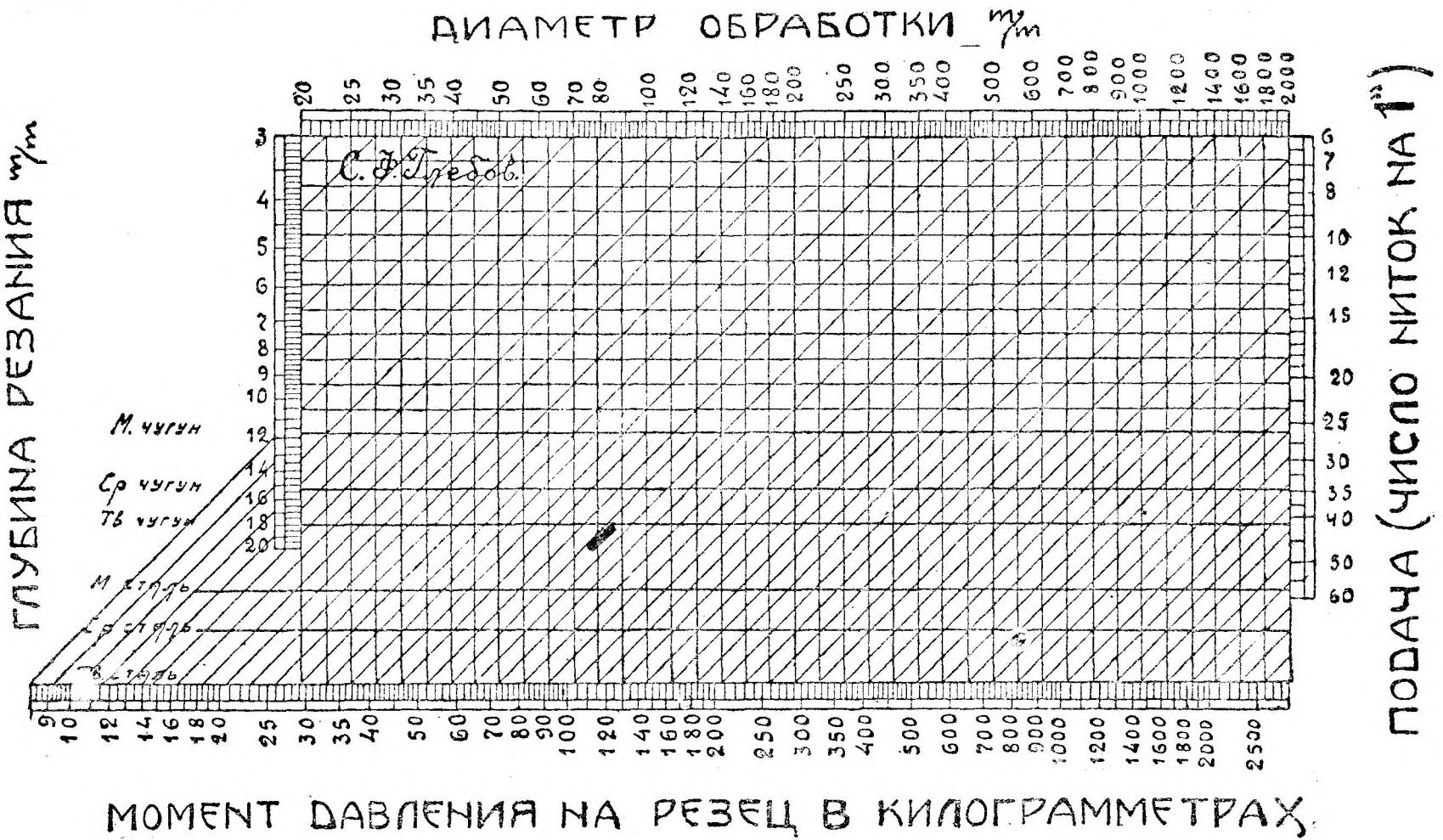


График II.

Перепечатка воспрещается.

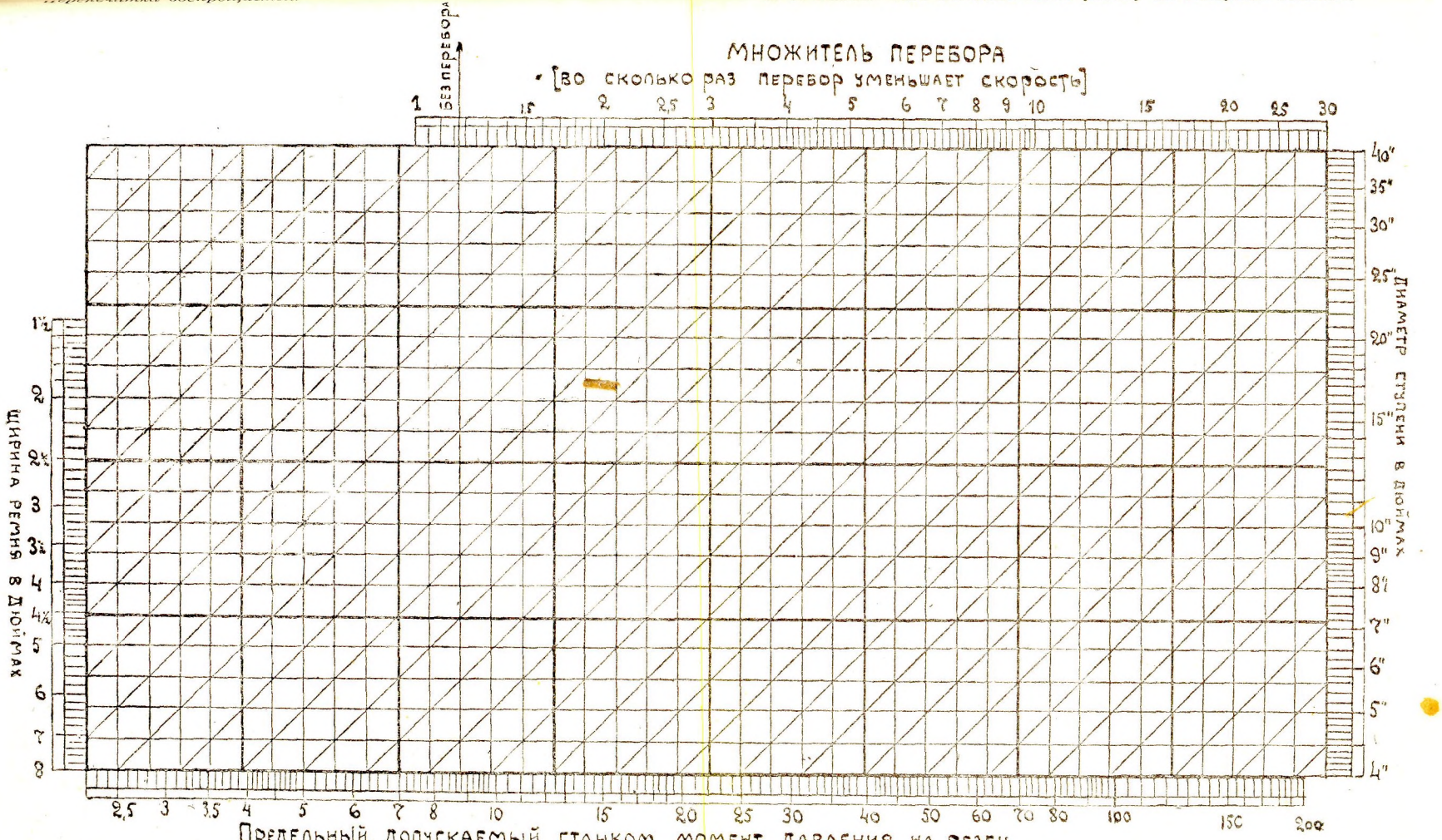


График III.

Перепечатка воспрещается.



Фиг. 1.

Токарные, шлифовальные, сверлильные и фрезерные станки.

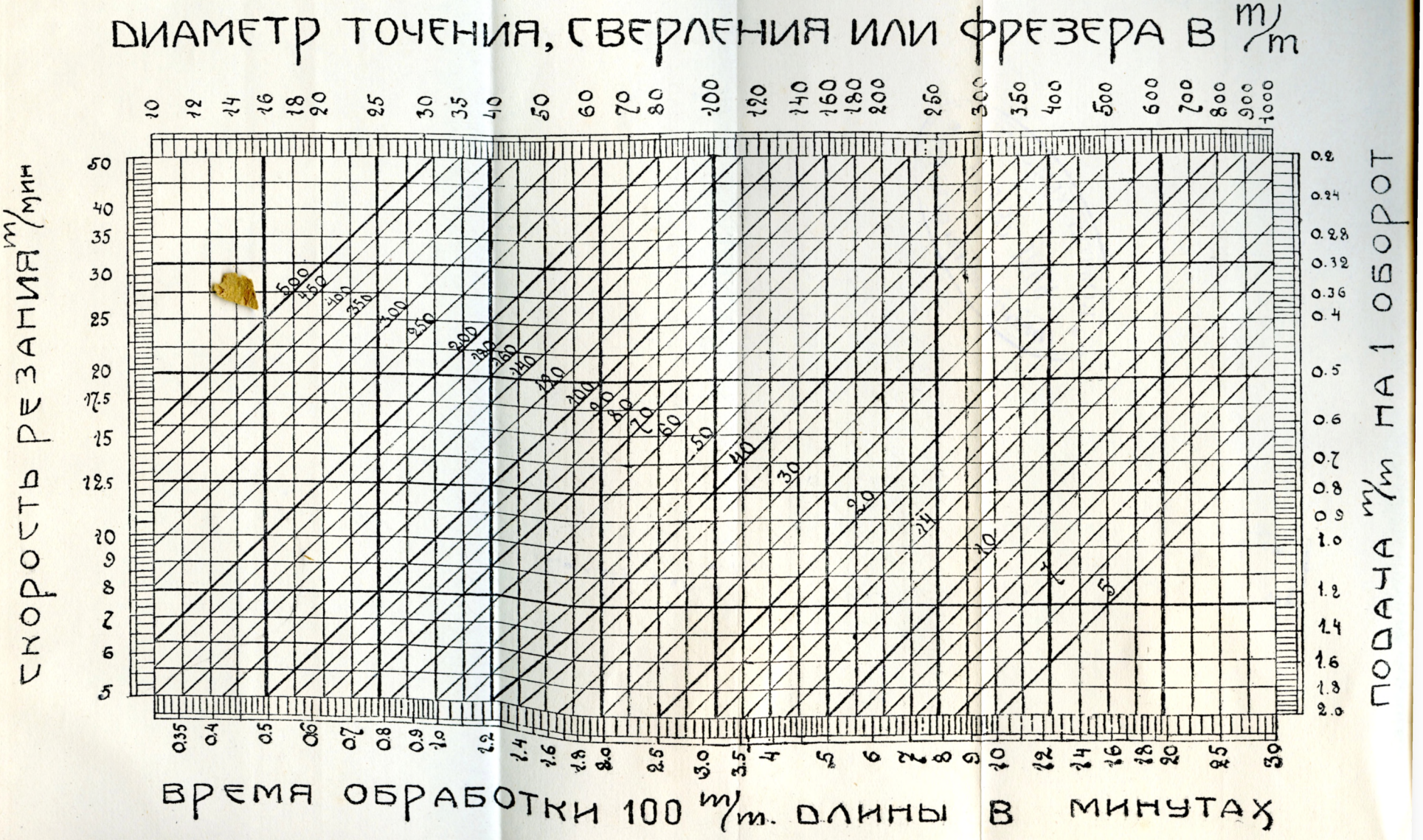


График IV. Числа оборотов и время работы.

Перепечатка воспрещается.

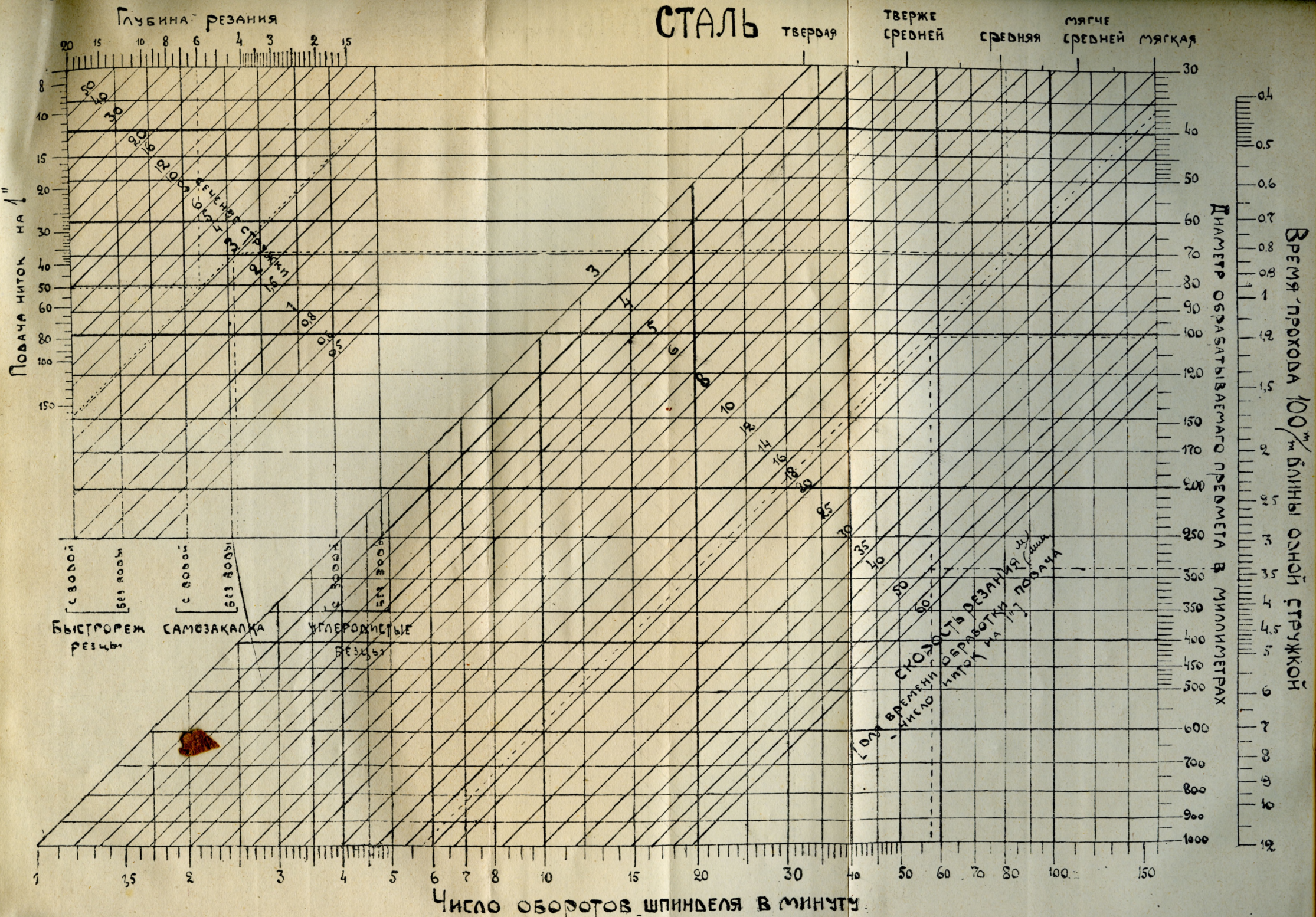


График V. Наивыгоднейшие скорости точения.

2) **Упрощенная счетная линейка** система С. Ф. Глебова **для наивыгоднейшего резания металлов.** Линейка имеет те же цели и тот же принцип конструкции, как предыдущая, расчитанная по тем же формулам, но упрощена настолько, чтобы ею можно было пользоваться простому рабочему. С этим расчетом составлено и руководство.

3) **Специальная счетная линейка** системы С. Ф. Глебова **для определения времени обработки на металлообрабатывающих станках.** Линейка дает возможность быстро вычислять время станковой работы на токарных, фрезерных, строгальных, долбежных, сверлильных, штамповочных и т. п. станках, а также при заданной линейной скорости резания подобрать число оборотов для данного диаметра и обратно. Линейка имеет карманный размер и весьма полезна для техников и рабочих механических мастерских, а также для расценочных, нормировочных и т. п. бюро.

4) **Специальная счетная линейка для вычисления времени формовки и отливки в литейных мастерских.** Она построена по типу линеек Шарпантье и может быть очень полезна для нормирования и расценки работ в литейных производствах.

5) **Бланки для обследования металлообрабатывающих станков.** Издаются отдельно 1) для токарно-центровых; 2) для токарно револьверных, фрезерных, сверлильных и пр. и 3) для строгальных и долбежных станков. При бланках подробное руководство с таблицами и образец заполненного бланка. Бланки снабжены специальными графиками (номограммами автора для расчета наивыгоднейшего использования станка) и являются дополнением к линейкам наивыгоднейшего резания, хотя могут быть использованы и независимо от последних.

Все эти линейки можно выписывать непосредственно от автора.

Москва, Малая Ордынка, 28, кв. 19.
Телефон 5-71-47.

СКЛАД ИЗДАНИЯ:

1) **У автора:** Москва, М. Ордынка, 28, кв. 19, тел. 5-71-47.
2) Книжный магазин „**Экономическая жизнь**“: Петровка, 16, тел. 1-67-05.
3) Книжный склад „**Экономист**“: Москва, Мясницкая, Банковский пер., 24., тел. 1-31-86.