

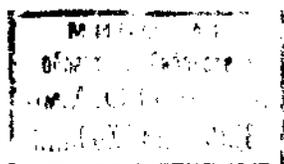
621.9

8730

Проф. С. Ф. ПЛЕБОВ

П 55

# НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ



19  36

ОБЩЕ-НАУЧНО СССР

621.9

Г53

Проф. С. Ф. ГЛЕВОВ

ДЕП

# НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

(ПУТИ УГЛУБЛЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАХАНОВСКИХ  
ПО ЛИНИИ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ)

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР  
КНИГОХРАНЕНИЕ

55097

~~РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР~~

85.2.08  
РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

44 2-40

ОНТИ НКТП СССР  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ И МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ  
МОСКВА 1936 ЛЕНИНГРАД

Автор излагает важнейшие достижения стахановцев в области режимов и теории резания металлов и дает им научное обоснование и объяснение. В связи с этим автор детально разрабатывает предлагаемую им общую теорию режимов обработки и дает исчерпывающий разбор других теорий, главным образом теории выбора режимов Кропфенберга.

Книга предназначена для квалифицированного читателя: инженера-производственника, студента втуза, инженера, работающего в области технормирования.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Стахановское движение в механических производствах, независимо от крупных успехов в отношении резкого повышения производительности, имеет большие заслуги в чисто техническом отношении. Оно дало блестящие и наглядные примеры глубокого использования теории резания на практике, с предельной очевидностью вскрыло недостатки в постановке технико-нормировочной работы на заводах, обнаружило крупнейшие резервы в использовании станкового оборудования и инструмента, показало ряд важных пробелов в разработке отдельных вопросов теории резания, обнаружило и доказало негодность обычных справочных данных по режимам резания для применения их в деле практического нормирования.

Все эти технические достижения стахановцев (противопоставляя этому понятию организационные их достижения) ставят перед теорией резания и практикой расчета режимов ряд важнейших задач, которые в известной мере пытаются выполнить настоящая работа.

Прежде всего — надо научно обосновать и технологически объяснить достигнутые стахановцами технические успехи и рационализаторские улучшения в процессе резания и в инструменте. В связи с этим надо изложить основные теоретические вопросы и научные материалы, освещающие соответствующие стороны стахановских успехов.

Затем надо извлекать отсюда практические выводы, практические уроки, отыскать пути, которыми можно было бы углубить и внедрить в жизнь новые методы и принципы работы.

Далее, надо наметить хотя бы основные вехи для перестройки всей практики технического нормирования в части ее технологического базиса, т. е. в части правильного установления режимов резания и правильного расчета машинного времени.

Все эти задачи, естественно, входят, вернее, должны входить в тему настоящей работы. Все эти задачи автор хотел бы охватить, насколько это позволяли его силы и рамки книги. Но было бы излишней самонадеянностью считать не только то, что эти задачи им полностью осуществлены, но даже, что они разрешены хотя бы в главнейшей своей части. Работа автора, это только одна из попыток посылить содействовать выполнению грандиозных задач, которые выдвинуты стахановским движением в области техники металлообработки.

Центральной частью этой работы является достаточно подробное изложение теории выбора режима в токарных работах — в той ее части, которая непосредственно связана с главными источниками улучшений, вносимых стахановской практикой. Здесь лежит ключ к уяснению главной и большей части стахановских успехов; здесь — центр тяжести всей проблемы повышения производительности на базе использования опыта стахановцев. Изложение этой темы тем более важно, что в литературе имеется только ряд дискуссионных статей, освещающих отдельные вопросы теории режимов и нигде нет достаточно выпуклого и связанного изложения этой теории в целом. С другой стороны, имевшие место дискуссии (о скоростном и силовом методах, дискуссия Оренталихера, дискуссия о модернизации оборудования и др.) внесли немало ложных и неясных положений, а отсюда и вредной путаницы в этих вопросах. Подробный разбор основных вопросов упомянутых дискуссий автором сделан не в полемической форме, а в форме связанного и последовательного изложения самой теории, с попутным кратким разбором противоположных взглядов. В излагаемом материале кое-что давно известно, в частности из прежних наших работ; новым здесь является главным образом стремление к связанному и законченному изложению, рассмотрению всей темы в целом, — а только такое рассмотрение может обеспечить полное и всестороннее уяснение всей проблемы и всех вытекающих отсюда отдельных вопросов.

7 февраля 1936 г.

## I. СТАХАНОВСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ИХ ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Отдельные стахановские достижения в смысле повышения выработки против назначенной или общепринятой нормы по-ложительно изумительны. Они буквально поражают своими цифрами. Перевыработка назначенной нормы в 2—3 раза уже стала обыденным явлением; таких случаев можно привести бесконечное количество. Стали пестрить цифры перевыработки в 5, 6, 8, 10 раз.

Токарь инструментального цеха горьковского завода „Станкогигант“ т. Грехов усовершенствовал расточку внутренних отверстий при помощи специального резца, что сократило время обработки детали более чем в 10 раз. Вместо 27 минут по норме он производит расточку за 2,5 мин.

Токарь Уралмаша т. Глухарев за 7 часов дал 700 пружин при норме 42 пружины — 1666% плана.

Токарь Тепкин дал 1000% нормы на детали № 16—17; соревнующийся с ним токарь т. Алейкин дал на той же детали 1050% нормы.

Токарь Киевского краснознаменного завода т. Малиновский выполнил свое задание на 1219% — за 2 час. 45 мин. он выточил 1341 деталь, — количество, которое давалось за 5 смен.

Токарь Семин на киевском заводе „Большевик“ выполнил свою норму на 1030%.

Фрезеровщик инструментального отделения механического цеха Енакиевского завода, работая на обработке планетарок, выполнил 1200% задания. Тов. Гауз на той же операции выполнил 1000% задания.

Токарь завода им. Урицкого т. Лихорадов вместо двух бандажей в смену систематически точит одиннадцать бандажей, т. е. в 5½ раз больше, и надеется достигнуть 13 бандажей в смену.

Токарь Худолеев на Московском тормозном заводе выполнил 1730% нормы, а соревнующийся с ним т. Лисин выработал 1500% нормы, в четыре раза перекрыв норму германской фирмы Кунце-Кнорре.

Токарь металлзавода № 1 Зинаида Ковальчук вместо 2,8 винта по норме выточила 23 винта, превысив задание в 9,5 раз.

Стахановцы-токари механического цеха № 2 завода им. Ста-

лина тт. Вид и Ладыгин, обрабатывая болты, выполняли норму на 900%.

Фрезеровщик т. Гонохин на Горьковском станкозаводе за 6 часов сделал 300 деталей при норме 36, выполнив задание на 842%.

Револьверщик завода им. Орджоникидзе т. Барышев дал 780% нормы на станке «Шой», а т. Панков — 798% нормы на советском станке типа 137.

Фрезеровщик механического цеха № 1 Воткинского завода т. Коробейников, обрабатывая шпиль, выполнил задание на 800%.

Фрезеровщик завода им. Серго Орджоникидзе т. Гудов на фрезерном станке Фриц Вернер за 7 час. работы сделал 708 запорных крышек для револьверного станка, выполнив норму на 1430%; тов. Гудов выполнил 14,5 немецких норм, установив мировой рекорд фрезеровки.

Строгальщик механического цеха № 2 на Краматорском заводе им. Сталина т. Беймель обработал 4 зубчатых шестерни для углемольных мельниц за 2 час. 30 мин. вместо 24 час. 30 мин., превысив норму в 10 раз.

Токарь Харьковского электромеханического завода т. Олейник перевыполняет производственные задания на 500—600% и больше, а в День ударника выполнил норму на 885%.

На горно-механическом заводе треста Востсибуголь токарь т. Чехович выполнил норму на 190%.

Токарь 32-го отделения Люберецкого завода с.-х. машин им. Ухтомского т. Кнохин выполнил норму по обточке бородок на 413%.

Токарь таганрогского завода «Красный гидропресс» тов. Иванцев довел свою суточную производительность до 600%.

Токарь Ново-Краматорского завода им. Сталина т. Чернявский выполнил норму на 750%.

Токарь завода-вуза им. Сталина т. Мухин, обрабатывая шпепеля, выполнил норму на 510%.

Токарь механического цеха завода Мотерез (ст. Люблино) т. Белов на станке Найльс на чистой обточке осей при норме 3,5 обточил за смену 18 осей или в 5,1 раз больше нормы.

Токарь Воткинского завода Рагозин выполнил норму по обработке матриц на 400%.

Токарь завода Ростсельмаш т. Прусаченко на станке Магдебург выполнил задание на 700%.

Токарь Яснев на металлургическом заводе Главзолота выполнил задание на 683%, а токари тт. Азовский и Кузнецов — на 400%.

Тов. Андрущенко на Краматорском заводе им. Сталина установил новый рекорд производительности на токарном станке, обработав за 5 час. 7 букс для тяжеловесных тележек при норме 1 букса в 5 часов, выполнив норму на 700%.

Токарь механического цеха Кулебакского судомостового завода т. Зварцев выполнил задание по обработке труб котлового погона на 600%.

Фрезеровщик Зверенко на Киевском краснознаменном заводе выполнил за 6 час. работы 667% нормы.

Токарь Гольдфарб на заводе „Красный борец“ (Орша) по обточке втулок детали № 8 дал 200 штук при дневной норме 34, что составляет 588,2%.

Этот перечень мог бы быть продолжен без конца, иллюстрируя все большие и большие успехи наших металлистов-стахановцев.

Массовый характер стахановского движения иллюстрируется соответственно массовыми успехами и результатами, выражающимися в резком повышении производительности целых цехов и заводов. Так, на заводе им. Орджоникидзе на 22 револьверных станках производительность выросла до 252%, на 18 фрезерных станках до 252%, на токарных станках до 160%, на 8 строгальных станках до 159% и на 6 расточных станках до 309%. При расточке детали А365211 машинное время сокращено с 26,26 до 9,07 мин., по детали А365222 — с 12,05 мин. до 2,98 мин., или в 4 раза. На фрезеровании детали 365211 машинное время сокращено с 20 мин. до 4,2, или почти в 5 раз.

В чем заключаются источники этих достижений и успехов? Конечно, в этих успехах играют роль крупные и серьезные организационные улучшения, проведенные стахановцами, — упорядочение рабочего места, изменение порядка работы, сокращение простоев, элементов подготовительно-заключительного и вспомогательного времени. О таких сокращениях и улучшениях можно встретить упоминания и указания почти у всех стахановцев. Приведем несколько примеров.

Токарь Лихорадов, в целях устранения выверки бандажей при их установке на станке подбирал заранее серию бандажей с одинаковыми диаметрами расточки, после чего ему было достаточно выверить только первый бандаж этой серии. При смене бандажа он ослаблял только два кулачка, отмечая их для памяти, и при установке нового бандажа крепил его теми же двумя кулачками, не трогая двух других. Эта нехитрая манипуляция экономила до 15—20 мин. и не меньше 10—12 минут на бандаж.

Строгальщик Принцеватов на заводе „Красный пролетарий“ выигрывает за счет резкого снижения вспомогательного времени и всякого рода потерь, производя наладку своего инструмента тогда, когда станок обрабатывает большие поверхности. В то же время он ведет обработку сразу 4 кареток вместо 3, как это делают обычно.

На заводе им. Орджоникидзе, а также и на других заводах, для обеспечения применения усиленных режимов оказалось необходимым улучшить зажимные приспособления и устройства, поставить лучшие патроны к станкам, переконструировать ряд приспособлений.

Подобных примеров можно найти любое количество. Они заслуживают самого пристального изучения, что дало бы для практики технического нормирования богатый и ценный материал.

Второй областью, давшей большую экономию времени, являются различные мероприятия рационализации технологического процесса.

Одно из наиболее употребительных средств в этом отношении — введение в работу одновременно нескольких резцов или нескольких супортов.

Так, на расточке бандажей в заводе им. Урицкого левый супорт использовался одновременно с правым супортом лишь при расточке канавки и развалке конусов, а все остальное время находился в бездействии. Лихорадову удалось полностью использовать левый супорт и тем самым вести всю работу одновременно двумя супортами. Лихорадов стал выполнять левым супортом следующие операции: подрезку бурта, подрезку канавки, развалку конусов, чистовую расточку и подрезку усика. В то же время правый супорт производит грубую расточку полотна и расточку бурта.

Подобные и многие другие мероприятия, применяемые и используемые нашими стахановцами, должны явиться образцом для рационализации методов работы на заводах.

Однако нас в настоящей работе будет интересовать не эта сторона стахановских достижений, как бы ни были важны и ценны эти достижения сами по себе. Мы будем изучать третью область, в которой проявляется блестящая инициатива стахановцев, — чисто техническую область их работы: область практического применения теории резания. С этой целью в последующих главах мы рассмотрим несколько отдельных вопросов и разделов теории резания.

## II. РЕЖИМЫ НАРЕЗКИ РЕЗЬБЫ И ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ

### 1. ОБЫЧНЫЕ РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕЖИМЫ

По употребительным в практике справочным данным принимается, что скорость резания при резьбовых работах имеет обычно весьма незначительную величину, не превышающую при обработке стали 5—10 м/мин.

Так, по берлинским данным (ДКГР) при нарезке резьбы 11 ниток на 1" диаметром от 2 до 4" посредством быстрорежущих резцов или гребенок рекомендуется скорость резания:

для $D = 2-3''$ . . . . .	5 м/мин
" $D = 3-4''$ . . . . .	6 "
" $D = 4$ и выше . . . . .	7 "

При этом глубина резания за 1 проход 0,035 мм, число проходов 42 (общая глубина нарезки 1,479 мм).

Советские справочники рекомендуют при обработке мягкой стали 13—15 м/мин, средней стали 9—11 м/мин и твердой стали 6—7 м/мин.

По данным Научно-исследовательского отдела Сектора труда НКТИ для нарезки газовой резьбы рекомендуются скорости резания (при 14—20 проходах):

для средней стали  $v_b = 55 \text{ кг/м.м}^2$  от 9 до 10 м/мин  
• твердой .  $v_b = 70$  „ „ 6 до 7 „

Для нарезки резьбы по ОСТ 1260 (4,5—8 ниток на 1") те же данные рекомендуют скорости (при 16—28 проходах):

для стали  $v_b = 55 \text{ кг/м.м}^2$  6—8 м/мин  
• „  $v_b = 70$  „ 5—6 „

Эти низкие скорости имели свое объяснение в том, что повышение скоростей сверх этих норм ведет, во-первых, к резкому понижению качества поверхности резьбы и, во-вторых, к ухудшению стойкости инструмента, который при нарезке резьбы работает в сравнительно очень тяжелых условиях, благодаря затрудненному отделению стружки сразу по двум лезвиям, сходящимся под острым углом друг к другу. Если бы даже экономическая стойкость инструмента оказалась приемлемой, то все равно повышение скорости оказалось бы невозможным из-за дурного качества поверхности.

## 2. СТАХАНОВСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ НАРЕЗКИ РЕЗЬБЫ

В противоположность упомянутым обычным скоростям резьбовой работы по стали, порядка 5—10 м/мин, стахановцы завода МИЗ по инициативе токаря Аристархова ведут нарезку газовых метчиков при скорости 110—125 м/мин (!), т. е. в 10 раз быстрее. При этом гребенка стоит без переточки от 45 до 60 мин.; во время работы гребенка охлаждается смесью 60% льняного масла и 40% керосина. Другой токарь МИЗ, Кулешов, сохраняя скорость 125 м/мин, достигнутую Аристарховым, добился сокращения числа проходов с 11 до 7. Машинное время по норме составляло 32,4 мин., ручное 2,7 мин.; при новом режиме машинное время упало до 1 минуты.

Чертеж газового метчика, о котором идет речь, приведен на рис. 1. Метчик для 3" газовой резьбы, 11 ниток на 1", имеет наружный диаметр 88 мм, длина резьбы 70 мм, глубина резания  $88,085 - 85,055 = 3,03 \text{ мм}$ . Технологический процесс изготовления метчика состоит на заводе МИЗ из 23 последовательных операций, из которых 12-я — предварительная нарезка резьбы и 13-я — окончательная нарезка резьбы. Та и другая работа производится на токарно-винторезных станках (фирмы Шиплей для первой и фирмы Леве для второй). Предварительная нарезка ведется резцом  $12 \times 12 \text{ мм}$ , имеющим форму, соответствующую треугольному профилю нарезки, с углом передней заточки  $10^\circ$ , углами зазора  $8^\circ$ , радиус у вершины 0,3 мм. Резец вставляется в специальную державку в наклонном положении, что и обеспечивает получение указанных выше углов. Длина резца 55 мм.



Так как угол профиля, полученный при предварительной нарезке, имеет большое значение для припуска под окончательную нарезку резьбы, то обращается особенное внимание на заточку угла реза по шаблону и на его установку, причем профиль угла реза делается корригированным (ввиду наличия переднего угла  $10^\circ$ ) и уменьшенным за счет припуска для окончательной нарезки ( $51^\circ$  вместо  $55^\circ$ ).

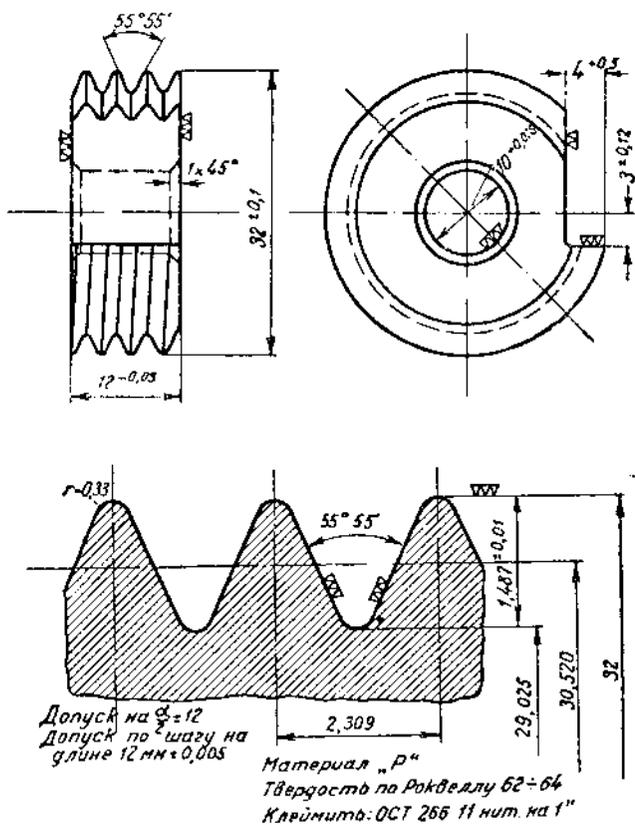


Рис. 2. Дисковая гребенка для окончательной нарезки  $3''$  газового метчика.

Окончательная нарезка ведется дисковой круглой гребенкой из быстрорежущей стали (рис. 2), закрепленной в пружинящую державку. Резьба гребенки со шлифованным профилем. Угол передней заточки  $0^\circ$ , задний угол  $12-15^\circ$ . Установка гребенки производится точно по центру, со строго горизонтальной передней гранью. Еще лучшие результаты дает специальная гребенка с передним углом  $9^\circ$ , облегчающая отделение стружки. Заточка гребенки производится на специальном приспособлении для устранения искажений профиля резьбы. Нарезка выполняется по второму классу точности.

Метчик укрепляется не слишком туго, для избежания обгорания концов. Проверив предварительно точность гребенки и ее установки, токарь сперва проходит первые  $\frac{2}{3}$  стружки, пропускает всю партию метчиков, затем перетачивает гребенку и снова пропускает ту же партию под окончательный размер. В первом случае он работает на скорости 70—80 м/мин, во втором—120—125 м/мин.

Режимы, применяемые стахановцами МИЗ при окончательной нарезке, ограничиваются тем, что станки дают предельное число оборотов—457—500. При 3" метчиках это дает скорость 110—125 м/мин, но при меньших размерах метчиков скорости соответственно снижаются, доходя до 37 м/мин для 1" метчика.

В то время как старая норма составляла для 3" метчика 25 штук, стахановцы вырабатывают в среднем 80 штук.

### 3. НАРЕЗАНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩИХ МЕТЧИКОВ

Кроме углеродистых газовых метчиков стахановцы МИЗ успешно разрешили задачу нарезки быстрорежущих метчиков. Гребенки из углеродистой стали для этой работы вовсе не годились, так как садились в течение 3,5—7 мин. даже при скорости 2—4 м/мин. Быстрорежущие гребенки давали лучшие результаты, примерно раза в два, но даже при скорости 10 м/мин быстро выбывали из строя. При этом благодаря быстрой посадке реза поверхность получалась рваной и, следовательно, негодной. Гребенки из алмазной стали дали лучшие результаты, но кончик реза садился уже через 15—20 мин. при скорости 12—15 м/мин.

Задача эта была разрешена применением резцов с пластинками победит- $\alpha$ . Резцы эти затачивались на карборундовом круге „экстра“ и доводились порошком той же марки. При нарезке победитом- $\alpha$  скорость повысилась до 50 м/мин, было достигнуто безукоризненное качество поверхности, стойкость реза повысилась до 4—6 часов. Оказалось, что резцы победит- $\alpha$  отлично держат профиль резьбы.

Эти результаты опровергли обычное мнение практиков, что вследствие хрупкости победита якобы нецелесообразно применять его для резьбовых работ. В особенности это относится к нарезке крупных резьб на больших диаметрах.

### 4. НОВЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОТНОШЕНИИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

Результаты, изложенные в предыдущих двух параграфах, имеют значение крупнейшего технического переворота. Действительно, повышение скоростей в 10 раз против обычных является достижением крупнейшего масштаба и, конечно, фактическое осуществление на практике новых режимов нарезки резьбы надо поставить нашим славным стахановцам в заслугу первой величины. В чем же можно искать научного объяснения этого пере-

ворота в технике? Объяснение это можно попытаться дать, используя для этой цели новейшую литературу и новейшие исследовательские работы, — с одной стороны в области зависимости между скоростью резания и качеством поверхности и с другой стороны — между скоростью резания и стойкостью реза.

Систематические и всесторонние исследования качества поверхности начались всего 5—6 лет тому назад. Первыми работами, привлечшими общее внимание к этой очень важной теме, были работы Рапаца и Кизеветтера (1930 г.). Затем появились работы Лейензеттера, Карла Шимца, Шверда, Шредера, Бостона, Бауэра и др.<sup>1</sup> Наконец, специально посвящена вопросу о нарезке резьбы работа Валликса и Франка, которая может служить для нас в качестве основного материала для объяснения стахановских достижений в области нарезки резьбы.

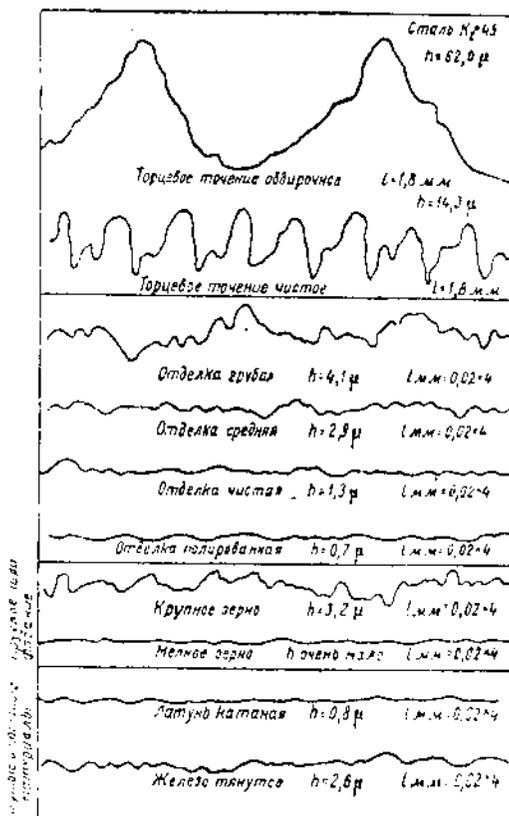


Рис. 3. Профили поверхностей обработки при разных способах работы, полученные методом ошупывания.

## 5. МЕТОДИКА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

Наиболее употребительным способом характеристики качества поверхности является ошупывание последней специальной иглой, которая скользит по поверхности изделия и с помощью специального оптического приспособления колебания иглы в сильно увеличенном виде изображаются на вращающемся барабане, где отраженный луч света чертит кривую профиля этой поверхности на светочувствительной бумаге. Примеры таких профилей

<sup>1</sup> См. Техническое нормирование, 1934 г., № 6 и 7; Машиностроитель, 1934 г., № 7 и 8.

приведены на рис. 3 для разных видов обработки. Длина по горизонтали соответствует 1,8 мм длины хода иглы. Масштаб кривых позволяет измерить величину шероховатостей, т. е. амплитуду кривой. Так, для обдирочного торцевого точения амплитуда колебания равна 62 микронам, для чистового точения — 14,3 микронам и т. д.

Изучая эти кривые, снятые при различных режимах и формах инструмента, можно установить зависимость между размерами шероховатостей, выраженными в микронах, и различными факторами. Изучение этих зависимостей составляет предмет теории качества поверхности — нового раздела теории резания, существующего в науке всего 6 лет.

Кроме метода ощупывания имеется много других методов оценки и характеристики качества поверхности. Назовем наиболее употребительные:

#### А. Способы снятия оттисков и снимков

- 1) снятие желатинового оттиска,
- 2) покрытие детали слоем меди (способ д-ра Зауэра) и разрезание на слои,
- 3) способ микроскопического исследования,
- 4) способ фотографирования поверхности.

#### В. Оптические способы

- 5) способ отражения предметов,
- 6) способ интерференции света,
- 7) способ Кемпфа и Флюгге,
- 8) сеточный способ.

#### С. Способы отраженного света

- 9) способ Енша,
- 10) селеновый способ.

#### Д. Фотометрические способы

- 11) фотометр Шульца,
- 12) способ Оствальда,
- 13) способ Клюггардта.

#### Е. Акустические способы

- 14) калибратор Гаррисона.

#### Способы ощупывания

- 15) алмазный способ,
- 16) ощупывание иглой.

## 6. ЯВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ

Основной причиной образования шероховатостей на поверхности обработки служат явления, связанные с процессом образования стружки, т. е. с характером отделения стружки от обрабатываемого предмета. Розенгейн и Стерней делили все стружки на три вида: рваные, резаные и стекающие. С уменьшением толщины снимаемого слоя и угла резания стружки постепенно переходят от типа рваных к типу резаных и далее к типу стекающих.

Особенность рваных стружек и частью резаных — наличие опережающих трещин. Остальные виды стружек — стекающие и большая часть резаных стружек — не имеют опережающих трещин. Пример стружки с большой опережающей трещиной приведен на рис. 4. С увеличением угла резания направление опережающей трещины изменяется и становится все более опасным для качества поверхности обработки, что ясно видно из рис. 5. Подобные опережающие трещины являются одной из причин появления шероховатостей на поверхности обработки.

Второе явление, имеющее еще большее значение для качества поверхности — это явление образования нароста.

Причиной его образования надо считать отщепление от стружки некоторой ее части клинообразной формы, которая задерживается (заставляется) на передней поверхности резца около лезвия и остается там под давлением стружки и резца, так что отделяющаяся стружка при наличии нароста скользит не по передней грани резца, а по поверхности нароста. Если резец работает продолжительное время и развивает высокую температуру, то нарост приваривается к лезвию резца и образует на нем добавочное лезвие („фальшивый нос“, по английской терминологии). Здесь имеет место как бы наращивание лезвия; отсюда и самое название „нарост“.

Нарост, как явление застоя части стружки на резце, образуется обычно в самом начале резания и оказывает свое влия-



Рис. 4. Микрофотография „рваной“ стружки. Впереди реза видна большая опережающая трещина, белой чертой нанесен контур реза.

ние на все явления совершенно одинаково—будет ли он держаться на резце только давлением или же будет приварен к резцу. Рис. 6 и 7 показывают, как происходит образование нароста в различных стадиях (по опытам Усачева).

Нарост имеет важное значение в процессе резания: с одной стороны, он содействует сохранению лезвия от преждевременного разрушения, так как лезвие защищено от истирания и от нагревания наростом, а с другой стороны, он вредит чистоте поверхности, так как разрывает лежащие перед ним слои металла, образуя заусенцы и царапины.

Размеры нароста зависят от толщины стружки и угла резания. Следовательно, с увеличением этих двух факторов вредное

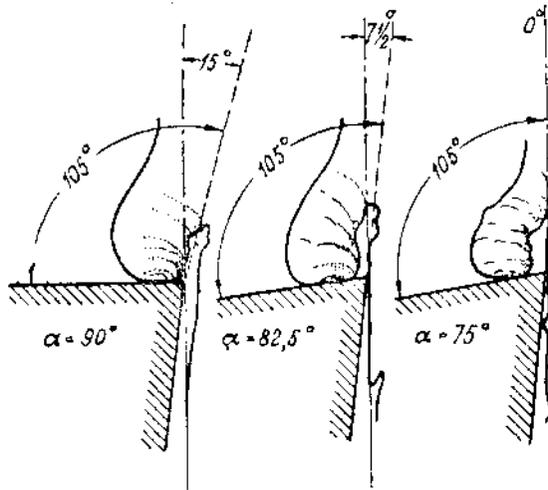


Рис. 5 Изменение направления опережающей трещины с увеличением угла резания. Угол между направлением передней поверхности и направлением трещины при всех углах резания остается постоянным (около  $105^\circ$ ).

действие нароста усиливается и он производит более глубокие разрушения на поверхности обработки.

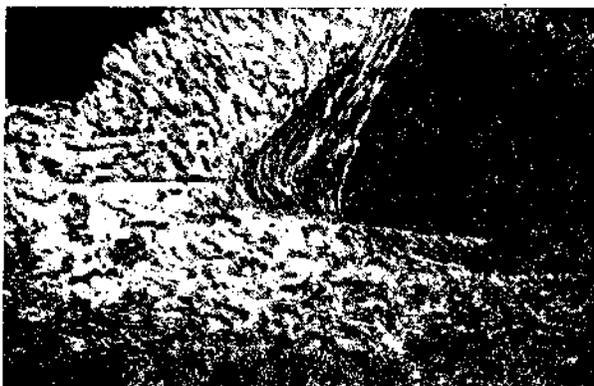
При обработке чугуна и вообще хрупких металлов нароста не образуется, так как элементный характер отделяющейся стружки не дает условий для удерживания нароста на резце, если бы даже нарост и образовался.

Нароста не бывает при очень медленных и очень высоких скоростях. Он образуется только в известном интервале скоростей, который резко сокращается при охлаждении и смазке резца. Рис. 8 дает микрофотографии отделения стружки при обработке стали при разных режимах работы по опытам Валликса и Франка. Из рассмотрения этих микрофотографий следует, что с охлаждением эмульсией нарост начинает впервые образовываться при более высоких скоростях и, наоборот, прекращает свое образование

Д 3 3

при более низких скоростях, чем это имело место при работе без эмульсии.

Герберт считает, что важным моментом в образовании нароста является трение между стружкой и резцом. Поэтому там, где трение это уменьшается (напр. вследствие смазки или вследствие полированной передней грани резца), там имеются менее благоприятные условия для образования и удержания нароста.



5284  
НАУЧНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
БССР  
46035

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

Рис. 6 и 7. Отдельные стадии образования нароста по Усаеву. Машинная сталь.

Указанное явление легко объясняет некоторые стороны работы стахановцев МИЗ. Так в брошюре Алнатова и Соколова читаем: „Для предотвращения наростов при скоростях, могущих дать таковые, наши стахановцы после заточки и установки резца на станок полируют переднюю плоскость его оселком или камнем весьма мелкой зернистости. Также и при образовании нароста токарь счищает его указанным камнем. При больших скоростях это явление менее значительно, поэтому счищать нарост не при-

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА БССР

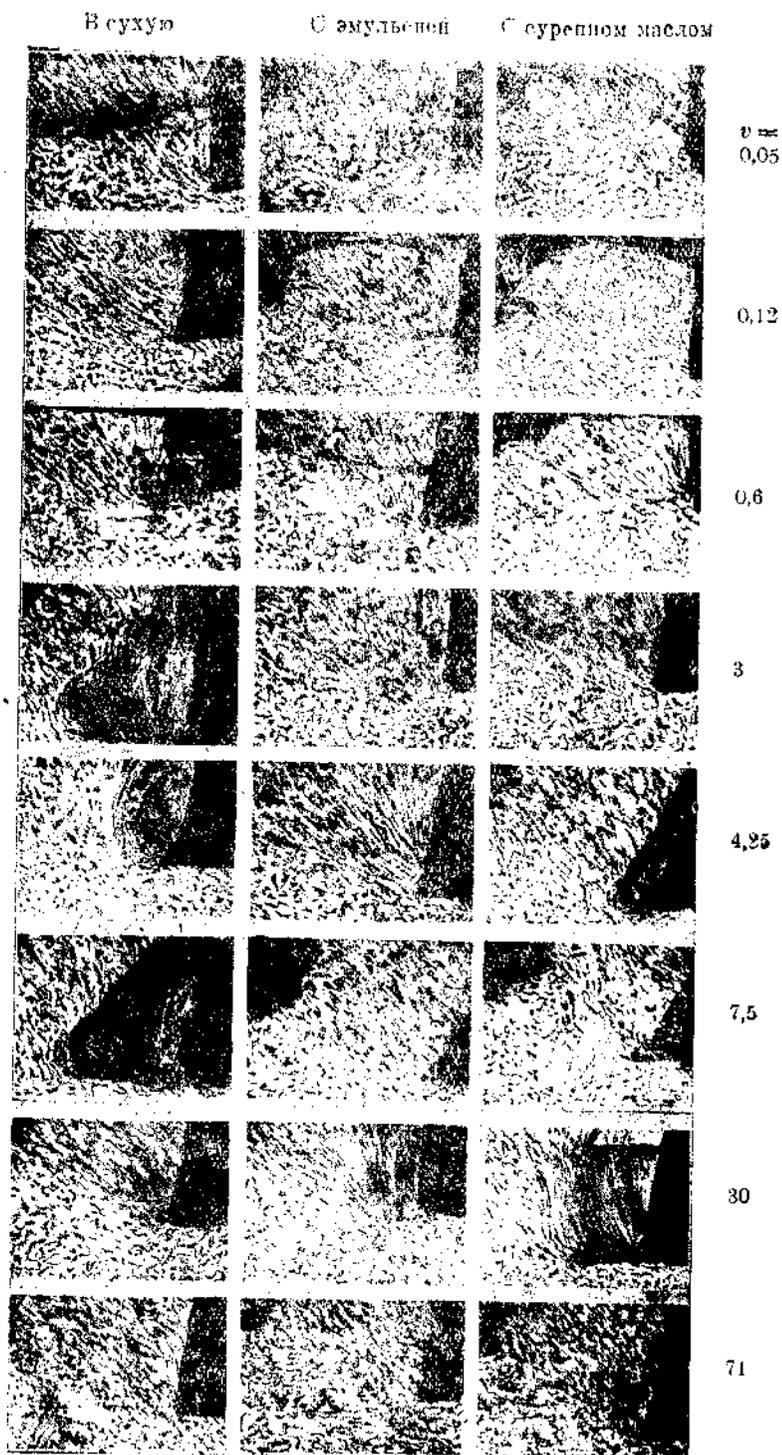


Рис. 8. Влияние режима резания (скорости резания и охлаждения) на характер отделения стружки и образование нароста по опытам Валликса и Франка.

ходится, а нужно периодически полировать переднюю плоскость резца“ (стр. 43—44).

То обстоятельство, что при отсутствии нароста все же оказывается целесообразной полировка передней грани резца, объясняется еще одним явлением, впервые обнаруженным в опытах Валликса и Франка. Это—явление наслоения на передней грани резца. Пример такого наслоения приведен на фотографии Валликса и Франка на рис. 9.

Наслоение на резце имеет совсем другое происхождение, чем нарост. В то время как нарост образуется из довольно значительного по размеру цельного куску стружки, отщепившегося от остальной части стружки, в связи с известным распределением действующих сил и сопротивлений по сечению стружки,



Рис. 9. Наслоения на резце по опытам Валликса и Франка.

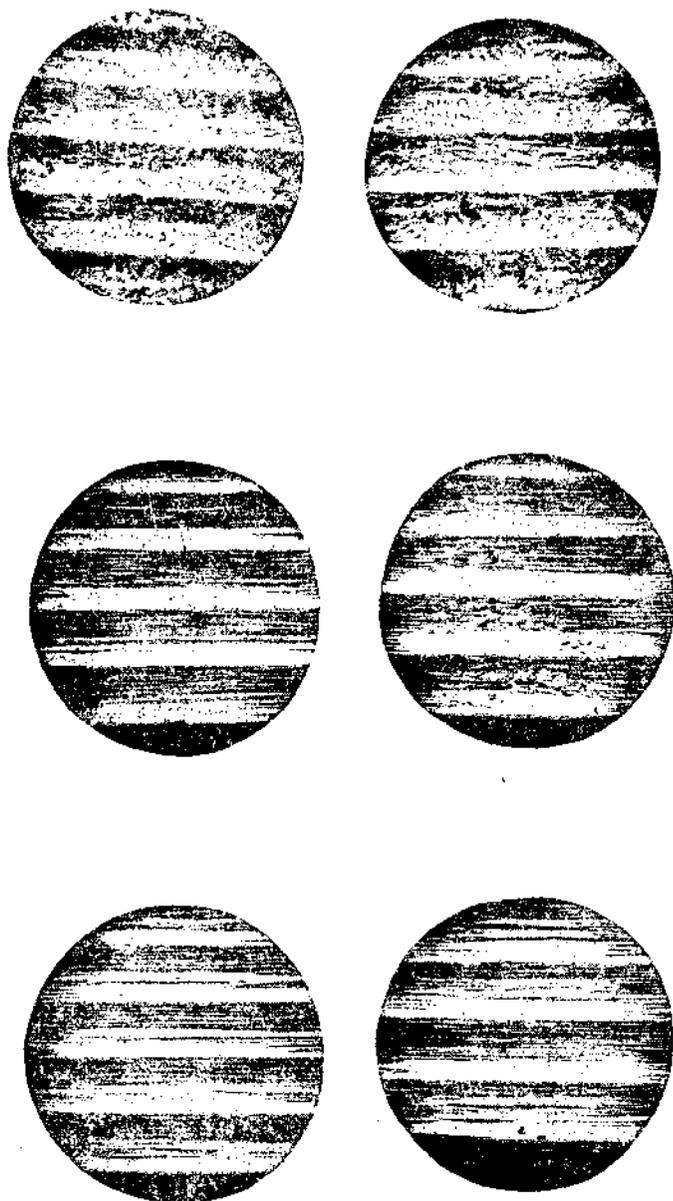
наслоение, повидимому, обязано своим происхождением стиранию с нижней поверхности отделяющейся стружки мелких частиц металла; поверхность передней грани резца, имеющая на себе некоторые шероховатости и неровности, действует здесь наподобие напильника. Полирование передней грани резца устраняет это действие и тем самым предупреждает образование на резце наслоений, наличие которых могло бы привести к искажению линии лезвия, его остроты и по этой причине вредно отозваться на качестве и точности поверхности обработки.

Итак, три главных явления, сопутствующих процессу образования стружки, являются определяющими главные источники происхождения шероховатостей: опережающие трещины, наросты и наслоения на резце.

## 7. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ И СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ

То обстоятельство, что с увеличением скорости резания качество поверхности прогрессивно улучшается, было твердо зафиксировано Рапацем в 1929—1930 году. Это же видно и из рис. 10,

\*



**Рис. 10.** Вид поверхности обработки при разных скоростях резания по опытам Лебензеттера при обработке углеродистой стали 0,17% С;  $v_D = 45$  м/мин;  $s = 0,43$ ;  $t = 0,2$  без охлаждения; I —  $v = 20$  м/мин; II —  $v = 50$  м/мин; III —  $v = 100$  м/мин; IV —  $v = 150$  м/мин; V —  $v = 300$  м/мин; VI —  $v = 600$  м/мин.

зайствованного из данных Лейензеттера, где, начиная с 100—150 м/мин, поверхность становится безукоризненной, а также из рис. 11, взятого из опытов Шверда, который показывает, что в данном случае, начиная со скорости 75 м/мин, получается очень хорошая поверхность, которая при дальнейшем увеличении скорости еще в большей степени улучшается. На рис. 12 приведена диаграмма, построенная Карлом Шимцем для разных

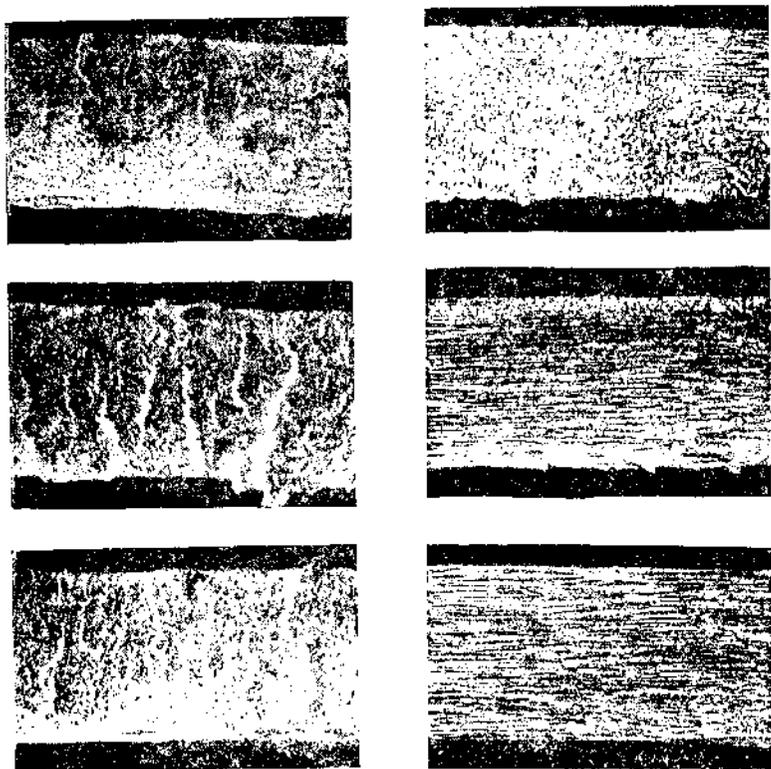


Рис. 11. Вид поверхности обработки при разных скоростях резания по опытам Шверда при обработке мягкой мартеновской стали ( $H=114$ ); толщина стружки 0,33 мм. Ширина стружки 2,5 мм.

сортов углеродистой стали, из которой видно быстрое улучшение качества поверхности (уменьшение неровностей, измеренных в микронах) с увеличением скорости резания.

Ту скорость резания, при которой впервые получается удовлетворительная поверхность, Рапац назвал „критической скоростью резания“. Мы предлагаем называть ее „точкой Рапаца“.

Как видно из приведенных выше данных, точка Рапаца для мягкой углеродистой стали при малых сечениях стружек лежит,

примерно, в зоне 75 — 150 м/мин. Сам Рапац для разных металлов дает следующие примерные „точки Рапаца“ при средних сечениях стружек:

Мягкая литая сталь . . . . .	$\sigma_b$ 85 кг/м.к <sup>2</sup>	40 м/мин
Средняя „ „ „ . . . . .	$\sigma_b$ 76 „	35 „
Хромоникелевая сталь . . . . .	$\sigma_b$ 85 „	18 „
Нержавеющая хромовая сталь	$\sigma_b$ 87 „	20 „
„ хромоникелевая „	$\sigma_b$ 70 „	10 „
Пелегированная инструментальная сталь . . . . .		20 „

Причина улучшения качества поверхности с повышением скорости, по мнению Рапаца, заключается в повышении темпе-

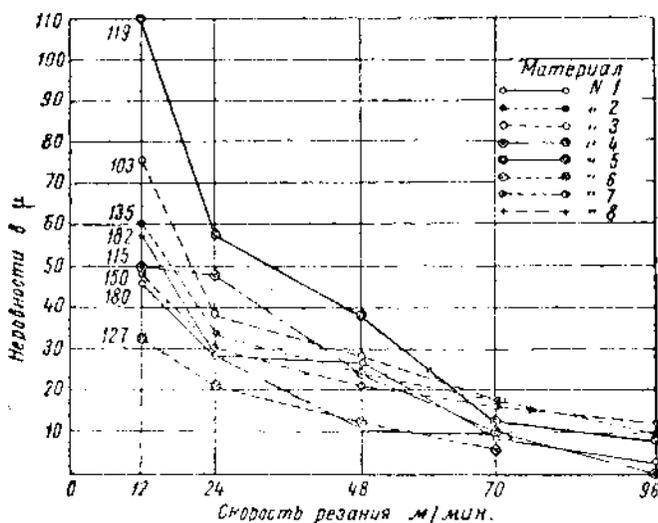


Рис. 12. Опыты Карла Шимца по влиянию скорости резания на высоту шероховатостей для углеродистой стали (от 0,04 до 0,45% С). Твердость по Бригеллю поставлена у кривых.

ратуры резания (вследствие увеличения количества теплоты, выделяемой в одну секунду), а при более высоких температурах отделение стружки происходит с большей пластичностью и плавностью. Это положение Рапац доказывает тем, что при обработке болванки, предварительно подогретой до 300°, точка Рапаца оказалась значительно ниже, чем при обработке той же холодной болванки, так как одна и та же температура, необходимая для плавного и пластичного отделения стружки, была достигнута в первом случае при соответственно более низкой скорости.

Некоторую роль в этом явлении играет также и соотношение между скоростью резания и скоростью деформации, т. е. со скоростью, с какой совершается изменение формы и внутреннего строения металла.

Валликс и Франк связывают улучшение поверхности при высоких скоростях с явлением нароста, который при некоторой, достаточно высокой скорости резания исчезает и перестает оказывать свое вредное действие на качество поверхности. Точно так же при высоких скоростях исчезают опережающие трещины и рваные типы стружек. Все это стоит в тесной связи с более высокой пластичностью деформаций, имеющих место в стружках при достаточно высоких скоростях резания.

Таким образом, улучшенные качества поверхности с увеличением скорости резания и наличие некоторой, достаточно высокой скорости, при которой достигается хорошая поверхность (точки Рапаца или критической скорости) можно считать твердо установленным в теории резания исследованиями последних 5—6 лет, так же, как можно считать вполне доказанными и выясненными физические причины этого явления.

## 8. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ И НАРЕЗКА РЕЗЬБЫ

Явления, имеющие место при нарезке резьбы, стояли в противоречии с установленным Рапацем законом непрерывного ухудшения поверхности при уменьшении скорости резания, так как издавна было известно, что хорошее качество нарезки при резьбовых работах может быть получено именно только при очень низких скоростях резания и что даже небольшое повышение скорости резания сверх некоторого предела немедленно влечет за собой резкое ухудшение качества нарезки. Это противоречие было разрешено работами проф. Валликса и Франка, опубликованными в 1934 году.

Уже из приведенного выше рис. 11, т. е. из опытов Шверда, было видно, что ухудшение поверхности с уменьшением скорости продолжается только до некоторого предела, после чего с дальнейшим уменьшением скорости поверхность вновь получает улучшение. Так, при скорости 2,5 м/мин была достигнута сравнительно удовлетворительная поверхность, а при скорости 10 м/мин эта поверхность сразу делается наихудшей из всех, помещенных на рисунке, после чего вновь начинается постепенное ее улучшение с повышением скоростей.

Эта закономерность оказалась неслучайной и была всесторонне выяснена и изучена работами проф. Валликса и Франка, которые твердо установили, что критических скоростей существует не одна, как считал Рапац, а две, — нижняя, порядка, примерно, 2—6 м/мин, ниже которой поверхность получается очень хорошей, и затем верхняя, порядка 40—100 м/мин (и более), выше которой также достигается хорошая поверхность, иногда даже лучшая, чем при вышеупомянутых низких скоростях. Если верхнюю критическую скорость мы назвали точкой Рапаца, то нижнюю можно назвать точкой Франка.

Между точками Рапаца и Франка лежит зона скоростей резания, при которых поверхность получается неудовлетворитель-

ной, и тем хуже, чем скорость ниже. Это ясно видно из диаграмм рис. 13, заимствованных из работ Валликса и Франка<sup>4</sup>.

На верхней диаграмме даны продольные шероховатости, т. е. измеренные ошупывающей иглой в направлении главного движения реза, при резании всухую. На нижней диаграмме выражены поперечные шероховатости, т. е. измеренные в направлении движения подачи (при работе с охлаждением эмульсией).

Основные выводы из этих диаграмм:

1) выше точки Франка поверхность немедленно приобретает высшую степень шероховатости, и особенно в продольном направлении,

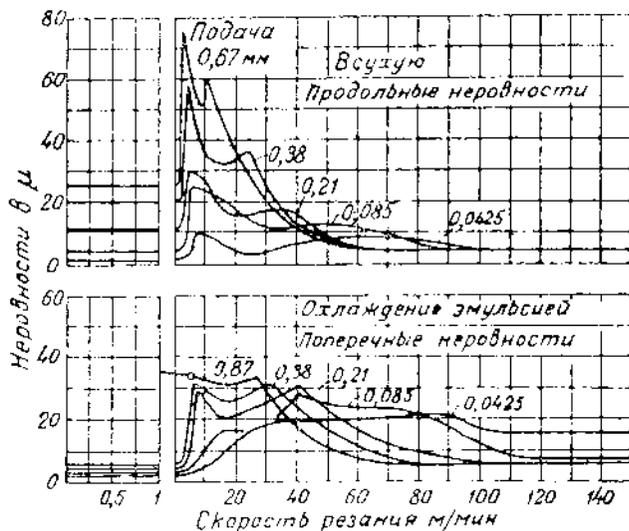


Рис. 13. Результаты продольного (всухую) и поперечного (с эмульсией) ошупывания поверхности при разных подачах по опытам Валликса и Франка.

2) степень шероховатости вблизи точки Франка быстро растет с увеличением подачи,

3) с дальнейшим увеличением скорости резания вплоть до точки Рапаца шероховатость резко и быстро убывает, особенно поперечная,

4) в зоне точки Рапаца качество поверхности мало зависит от подачи.

Чем больше твердость материала, тем ниже критическая скорость (точка Рапаца), т. е. хорошая поверхность обработки получается при меньшей скорости резания. Этот закон вытекает из данных опытов Карла Шимца (см. выше, рис. 12). В общем качество поверхности улучшается с увеличением твердости металла, хотя наблюдаются и исключения. Легированные стали дают по сравнению с углеродистыми сталями при одной и той же твердости более низкую точку Рапаца. В то же время и

качество поверхности при обработке специальных сталей оказывается в общем лучше, чем углеродистых (опыты Бостона). Аустенитные стали дают в свою очередь более низкую точку Рапаца, чем остальные легированные стали.

В пределах одного и того же обрабатываемого материала при скоростях резания в интервалах между точками Рапаца и Франка поверхность обработки становится более чистой и гладкой при уменьшении толщины стружки<sup>1</sup>. Это видно из рис. 14, где с увеличением подачи с 0,1 до 0,28 *мм/мин* шероховатость поверхности резко возрастает. Влияние скорости (20 и 35 *м/мин*) сказывается слабо, но в общем с увеличением скорости качество поверхности улучшается. Те же приблизительно выводы мы уже сделали из рассмотрения рис. 12.

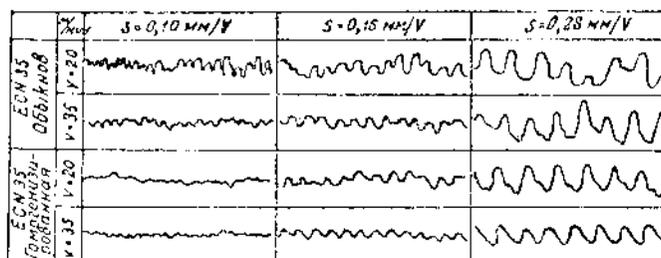


Рис. 14. Профили поверхностей при разных подачах (0,1; 0,15 и 0,28 *мм/мин*) и разных скоростях резания (20 и 35 *м/мин*) для хромоникелевой стали марки EGN 35 обыкновенной и гомогенизированной, по данным Шальброха.

Влияние толщины стружки (а следовательно и подачи) объясняется двумя причинами: с одной стороны при более толстых стружках проявляется тенденция к появлению так называемых опережающих трещин, а с другой—в более толстых стружках увеличиваются размеры нароста на резце.

В связи с изменением качества поверхности при постепенном увеличении скоростей резания меняется также и внешний вид поверхности. Рис. 15 дает фотографии четырех типов поверхностей, получающихся соответственно в четырех зонах и областях различных режимов резания по опытам Валликса и Франка:

а) гладкая поверхность (вверху справа) получена при обработке эмульсией при скорости 0,72 *м/мин* и подаче 0,21 *мм*,

б) слоистая поверхность (вверху слева) получена при обработке всухую при тех же условиях,

в) черепчатая поверхность (в середине) получена при скорости 4,25 *м/мин* в подаче 0,67 *мм* с эмульсией,

<sup>1</sup> Для скоростей резания выше точки Рапаца по данным опытов как Валликса и Франка, так и самого Рапаца, увеличение подачи приводит, наоборот, к некоторому улучшению качества поверхности (см. рис. 13).

г) желобчатая поверхность (внизу) получена при скорости 71 м/мин и подаче 0,67 мм.

Для сравнения этих фотографических снимков с соответствующими кривыми профилей поверхностей приводим рис. 16, на котором даются продольные и поперечные профили для всех четырех типов поверхностей. Кривая *a* слева соответствует гладкой поверхности, справа—слоистой. Кривые *б* и *в* соот-

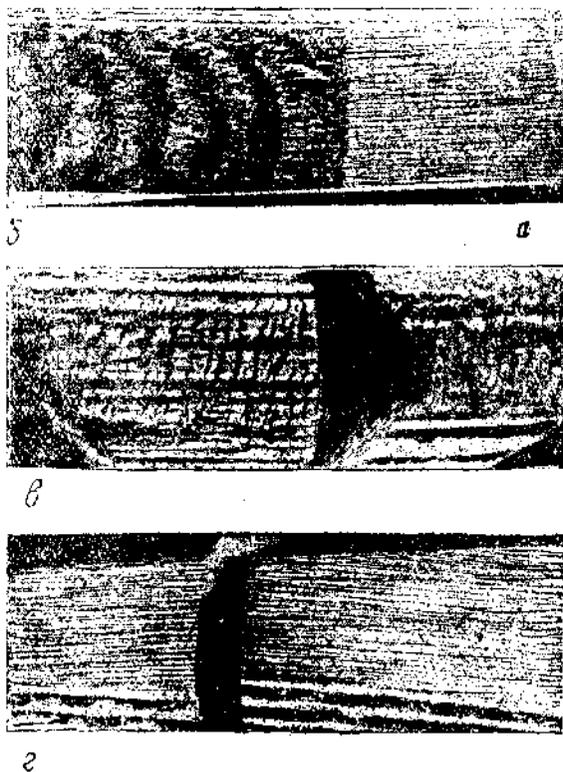


Рис. 15. Четыре типа поверхностей, получающихся после обработки: а) гладкая (верхний рисунок справа); б) слоистая (тот же слева); в) черепичатая (средний рисунок) и г) желобчатая (внизу).

ветствуют черепичатой поверхности—первая для продольного, вторая для поперечного ощупывания. Кривые *в* и *д* соответствуют желобчатой поверхности, то же для продольного и поперечного ощупывания.

Сопоставляя эти данные с диаграммой рис. 15, можно сказать, что скоростям ниже точки Франка соответствует гладкая и слоистая поверхность—первая при обработке с эмульсией, вторая—при обработке всухую. Скоростям критического интервала (между точками Франка и Рапаца) соответствует черепичатая,

шероховатая поверхность. Наконеч, скоростям выше точки Рапаца соответствует желобчатая поверхность.

Изложенные экспериментальные материалы вполне объясняют нам те явления, которые привели к столь поразительным достижениям стахановцев.

На практике резьбовые работы производятся при скоростях ниже точек Франка. Попытки повысить скорость выше этой точки неизменно приводили к неудовлетворительным результатам ввиду резкого ухудшения поверхности обработки. Откры-

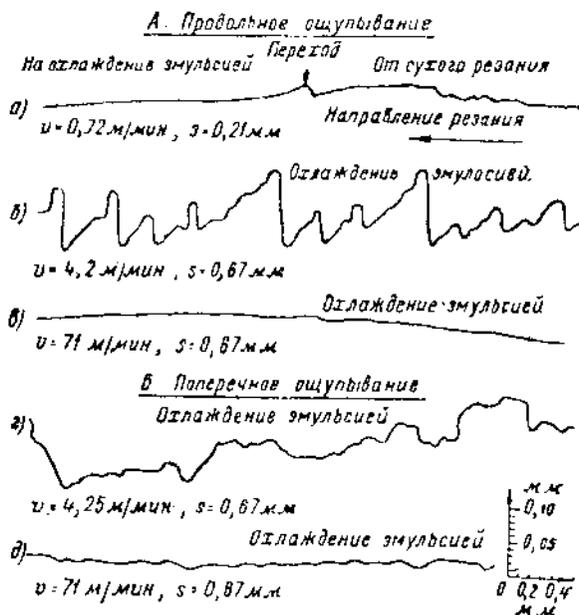


Рис. 16. Профили поверхностей при разных режимах обработки, соответствующие четырем типам поверхностей по опытам Валликса и Франка.

тия Рапаца, Франка и др. поставили на очередь задачу перехода при нарезке резьбы на режим высоких скоростей резания. Эта задача, поставленная в самое последнее время со стороны науки, подлежала практическому разрешению и использованию в заводской практике, что и было осуществлено и блестяще выполнено нашими стахановцами.

### 9. СТОЙКОСТЬ РЕЗЦА ПРИ ТОНКИХ СТРУЖКАХ

Для полного охвата всей проблемы перехода на большие скорости при нарезке резьбы оставалось еще разрешить задачу стойкости резца. Стахановцы МИЗ применяют скорость  $125 \text{ м/мин}$  при нарезке резьбы быстрорежущими резцами и гребенками. Чем можно объяснить, что инструменты выдерживают такие

высокие скорости резания и стоят при этом 45—60 мин., в то время как вполне возможны такие случаи, что при меньшей скорости те же резцы обнаружат худшую стойкость?

Здесь надо учесть то обстоятельство, что нарезка резьбы производится посредством снятия очень тонких стружек. Между тем тонкие стружки имеют ряд важных особенностей. Для нас в данном случае интересна та особенность, что стойкость резца,

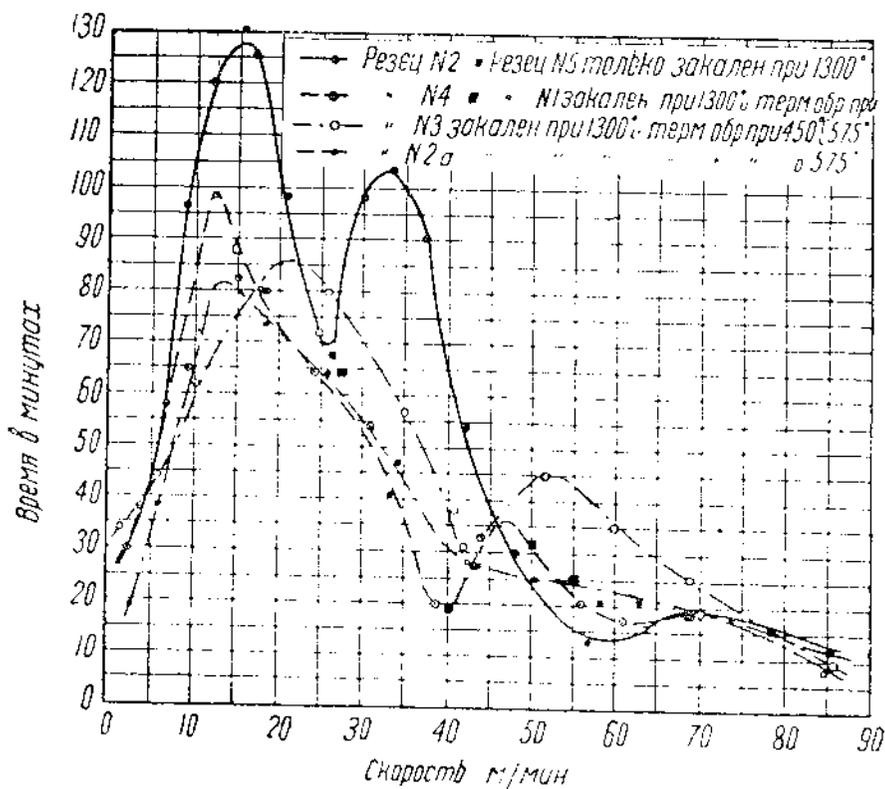


Рис. 17. Колебания стойкости углеродистого резца при разных термообработках по опытам Демпстера Смита и Артура Лейга.

т. е. время работы резца до переточки, с увеличением скорости резания не снижается непрерывно до нуля, как это имеет место при обдирочных стружках, а дает попеременно повышения и понижения, так что в процессе изменения скорости резания имеют место случаи, что повышение скорости резания на некоторых участках вызывает не падение, а даже повышение стойкости резца. Оказывается более рациональным работать не на низких, а на высоких скоростях резания—и производительность выше, и стойкость резца выше.

Рис. 17 представляет полученные Демпстером Смитом и А. Лейгом кривые скоростей быстрорежущих резцов, имевших

разную термическую обработку. Все эти кривые имеют зигзагообразную форму. Возьмем, например, кривую скорости резца, закаленного при  $1300^{\circ}$  без второй термической обработки (сплошная линия). На участке до  $16 \text{ м/мин}$  увеличение скорости резания приводит не к падению стойкости, а наоборот, к ее повышению от 30 до 128 минут. Следующий участок скоростей ( $16\text{--}26 \text{ м/мин}$ ) дает, наоборот, понижение стойкости с 128 до 70 минут. Затем на участке от 26 до  $32 \text{ м/мин}$  стойкость вновь увеличивается от 70 до 103 минут, после чего на следующем участке от 32 до

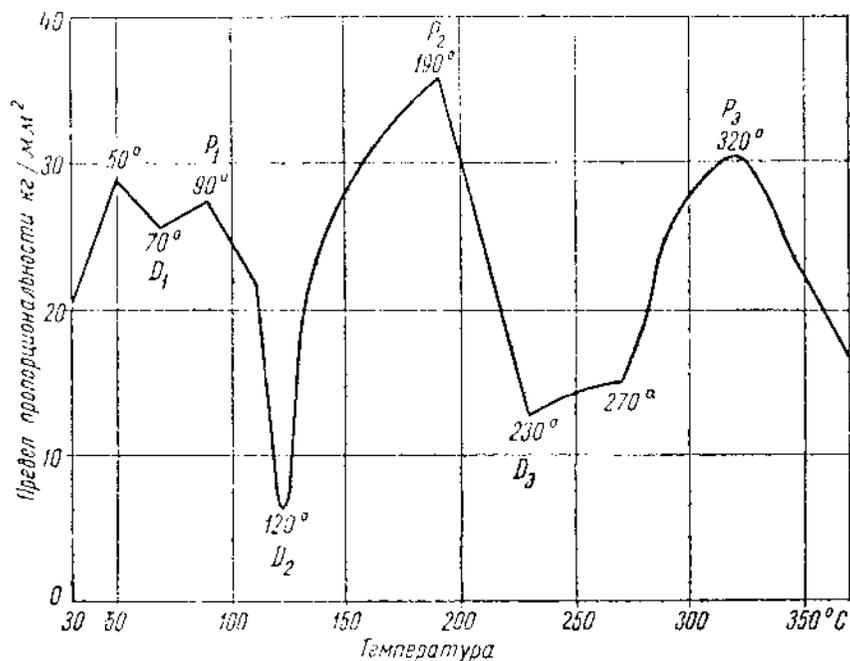


Рис. 18. Изменение предела пропорциональности с увеличением температуры по опытам Гоффея и Томпсона.

$58 \text{ м/мин}$  опять наблюдается непрерывное падение стойкости с 103 до 15 минут. Казалось бы, резец достиг предела своей работоспособности. Однако дальнейшее увеличение скорости резания от  $58$  до  $70 \text{ м/мин}$  снова оживляет резец: он опять повышает свою стойкость с 15 до 20 минут. И только дальнейший участок скоростей (выше  $70 \text{ м/мин}$ ) приводит к неуклонному и уже окончательному падению стойкости резца.

Рассматривая всю кривую стойкости резца в целом, нетрудно заметить, что она имеет в своем течении три „пики“, или максимума: при 16, 32 и  $70 \text{ м/мин}$  и три „падения“, или минимума: при 2, 26 и  $58 \text{ м/мин}$ . В некоторых случаях, в зависимости от свойств материала и резца, а главное, в зависимости от толщины

стружки, количество максимумов и минимумов кривых стойкости может уменьшаться от трех до двух и даже до одного.

Это постепенное уменьшение числа максимумов и минимумов происходит с увеличением толщины стружки.

Демпстер Смит и А. Лейг рядом опытов установили, что с увеличением толщины стружки скорости, при которых наступают минимумы и максимумы, неизменно понижаются, и при тяжелой обдирочной стружке уже никаких максимумов и минимумов не окажется и кривая стойкости получит плавное течение.

Как и чем можно объяснить подобное течение кривых стойкости? Герберт, впервые обнаруживший наличие максимумов и минимумов в кривых стойкости, сопоставляет это явление с явлением совершенно аналогичных кривых обработочного отвердевания и кривых предела пропорциональности, выраженных в зависимости от температуры. Рис. 18 дает диаграмму Гоффея и Томпсона (1923 г.), из которой видно, что при увеличении температуры ведения испытания предел пропорциональности дает вполне определенные три максимума и три минимума. Такие же три максимума и три минимума дает кривая обработочного отвердевания

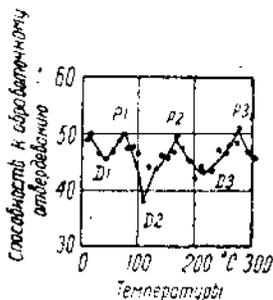


Рис. 19. Изменение способности металла к обработочному отвердеванию с ростом температуры по опытам Гербарта.

металла (рис. 19). Обработочным отвердеванием или наклепом называется повышенная твердость металла, полученная в результате механического воздействия на металл. При резании такое механическое воздействие на металл оказывает резец. В зависимости от температуры, при которой происходит резание, степень обработочного отвердевания меняется, как это видно из таблицы. Замечательно, что изменение температуры испытания отражается одинаковым образом и на кривых предела пропорциональности, и на кривых обработочного отвердевания. Максимумы и минимумы обеих кривых получаются при почти тождественных температурах.

	Температура кривых	
	предела пропорциональности	обработочного отвердевания
первый минимум D <sub>1</sub>	70°	45°
первый максимум P <sub>1</sub>	90°	80°
второй минимум D <sub>2</sub>	120°	110°
второй максимум P <sub>2</sub>	190°	170°
третий минимум D <sub>3</sub>	230°	220°
третий максимум P <sub>3</sub>	320°	280°

Температуры обработочного отвердевания незначительно отстают (на 10—15%) от температур предела пропорциональности.

Кривые стойкости реза имеют прямую связь с этими двумя кривыми. Действительно, увеличение скорости резания влечет за собой увеличение количества выделяемой в единицу времени теплоты и отсюда соответствующее увеличение температуры резания, так как теплота не успевает своевременно отводиться

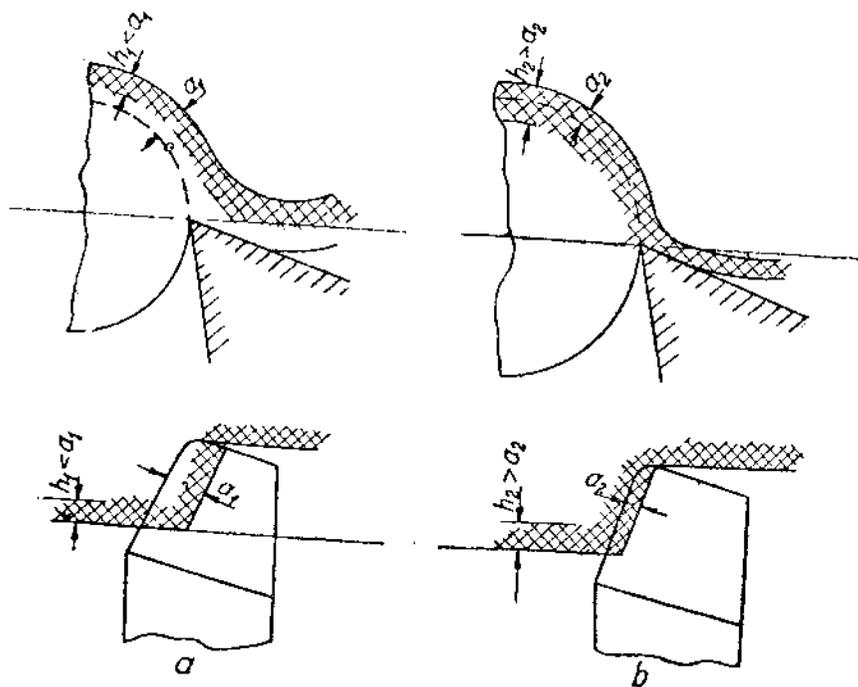


Рис. 20 и 21. Схема резания толстой (а) и тонкой (б) стружки. Заштрихован слой, подвергнувшийся обработочному отвердеванию.  $h$  — глубина отвердевания,  $a$  — толщина стружки.

и нагревает лезвие реза. Отсюда кривая  $T-v$  (стойкость в зависимости от скорости) является в то же время кривой  $T-t^\circ$  (стойкость в зависимости от температуры резания).

Если с ростом температуры наблюдаются колебания кривой обработочного отвердевания, то такие же точно колебания, только обратного характера, должны иметь место и в кривой стойкости.

Вопрос о том, почему кривые для тонких стружек имеют эти колебания, а кривые для тяжелых обдирочных стружек их не имеют, в литературе еще не обсуждался. Однако, как нам кажется, этот вопрос нетрудно разрешить, имея в виду, что обработочное отвердевание поверхностного слоя предмета, оставаемого после прохода реза, распространяется лишь на небольшую глубину, и степень отвердевания постепенно умень-

шается по мере удаления от поверхности. При толстых стружках лезвие резца работает в неотвердевшем слое металла, также по передней грани стружка производит трение своим мягким слоем (рис. 20). Поэтому при толстых стружках влияние максимумов и минимумов на кривой стойкости не получает отражения; с утонением стружки влияние колебаний обработочного отвердевания начинает сказываться, и соответственно кривая стойкости претерпевает изгибаобразные колебания (рис. 21).

Итак, увеличение скорости резания может при тонких стружках привести не к падению, а даже к повышению скорости, т. е. к лучшей работе резца и в то же время к большей производительности. Вероятно здесь лежит объяснение отзыва, данного Лихорадовым относительно операции подрезки бурта при расточке бандажа: „раньше я боялся давать большую подачу, все думал — как бы не испортить резец. А теперь я убедился, что чем больше нежничаете с резцом, тем он хуже работает, скорее изнашивается. Работать надо как можно увереннее“.

#### **10. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПУТИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВЫСОКИХ СКОРОСТЕЙ ПРИ ПАРЕЗКЕ РЕЗЬБЫ**

Сделанное нами в предыдущих параграфах изложение общей теории режимов резьбовых работ со стороны качества поверхности и стойкости резца позволяет построить принципиальные основы методики ведения этих работ, сводящейся в основных чертах к следующему.

1. Большое количество резьбовых работ, если не громадное их большинство, может быть немедленно переведено со скоростей ниже точки Франка на скорости выше точки Рапаца, достигая этим резкого подъема производительности.

2. Стойкость резца желательнее выдержать при этом в пределах экономической величины, ориентировочно около 40—60 минут. Однако, если бы выдержать стойкость резца в экономических пределах в отдельных случаях оказалось бы невозможным, вероятно все же было бы меньшим злом помириться с пониженной стойкостью инструмента (скажем, порядка 15—30 мин.), чем возвращаться к обычным низким скоростям парезки.

3. Регулирование этой стойкости, т. е. введение ее в рамки экономических величин, может достигаться, главным образом, посредством соответствующего изменения толщины снимаемой стружки, уменьшая последнюю в тех случаях, когда необходимо увеличить стойкость, и увеличивая ее там, где стойкость превышает экономическую.

4. Оставаясь в зонах скоростей выше точки Рапаца, необходимо учитывать первый основной закон резания (см. ниже), т. е. не слишком увеличивать скорости резания за пределами точки Рапаца, если в этом не встречается необходимости в отношении

улучшения качества поверхности, и предпочитая за счет этого увеличивать снимаемую толщину стружки.

5. При регулировании стойкости необходимо иметь в виду „пик Герберта“, т. е. волнообразный характер кривой стойкости; вследствие этого при недостаточной стойкости необходимо проверить, не поведет ли к улучшению последней некоторое увеличение скорости резания или толщины стружки и только в отрицательном случае прибегать к снижению взятого режима.

6. При невозможности вести резьбовую работу быстрорежущими резцами в условиях скоростей резания, превышающих точку Рапаца, необходимо поставить вопрос о попытке перехода на твердые сплавы.

7. При резьбовых работах на сверх-высоких скоростях резания необходимо обращать особое внимание на надлежащую смазку и охлаждение, в особенности на последнее.

8. Высота скорости резания зависит от высоты точки Рапаца для данного сорта материала, которую нетрудно определить путем простых испытаний на разных скоростях резания. Найдя эту точку и работая на скорости не ниже последней, надо попытаться сперва идти в направлении увеличения толщины стружки и только в том случае, если такое увеличение приводит к недопустимому ухудшению качества поверхности резьбы, вновь перейти на путь повышения скоростей. Увеличение скоростей и толщины стружки следует предпринимать вплоть до того предела, который определится достижением экономической стойкости реза.

Эти руководящие указания, непосредственно вытекающие из теории резьбовой работы, намечают достаточно ясный общий план установления наилучшего резьбового режима, конкретизация которого в отдельных случаях будет зависеть от данных условий работы: профиля резьбы, свойств обрабатываемого материала и режущих качеств реза.

## II. РЕЖИМЫ СТАХАНОВЦЕВ НА ОТДЕЛОЧНЫХ СТРУЖКАХ

То, что сказано о режимах резьбовых работ, в большей своей части относится и к отделочным стружкам, с той лишь разницей, что отделочные стружки в практике и раньше велись при сравнительно высоких скоростях резания. Изложенные в предыдущем параграфе закономерности показывают, что нередко могут быть случаи, что улучшение стойкости резов при отделочных стружках окажется достижимым не путем снижения скоростей резания, а наоборот, путем их довольно значительного увеличения. Поэтому, в практических условиях необходимо, как правило, производить попытки повышения скоростей резания даже в тех случаях, когда при взятой скорости наблюдается недостаточно длительная стойкость реза.

Повышение скоростей в некоторых случаях упирается в отсутствие на станке требуемых чисел оборотов. Например на МНЗ изделия малых диаметров (15—20 мм) обрабатываются

при скорости резания 30 *м/мин*, в то время как выяснено, что при стойкости 60 мин. резцы могут работать здесь со скоростью не ниже 100 *м/мин*. Ограничением в повышении скорости здесь являются станки, не дающие достаточно больших чисел оборотов. Практика МПЗ по чистой обработке хвостов метчиков показала, что работая с такой же подачей, как при обдирке (0,3—0,4 *мм*) и со скоростью 100—110 *м/мин*, можно достигнуть чистой поверхности, подобной шлифованной. Это даст возможность заменить сырую шлифовку обточкой и дать при этом повышение производительности в 2—2½ раза.

Паряду со скоростями резания, при отделочных стружках имеют значение и подачи. Так, токарь Лихорадов довел подачу при чистой расточке бандажа до 2 *мм*, употребляя прямое (широкое) лезвие отделочного резца, параллельное оси предмета. Это дало сокращение машинного времени с 20,8 мин. до 7,5 мин. А так как Лихорадов использовал для этой операции левый супорт, действующий во время самохода правого супорта, то фактически он свел непрерывное машинное время к нулю.

Применение при отделочных работах широких или прямых лезвий, направленных по линии продольной подачи, не является само по себе новостью. Однако в практике такое ведение отделочной работы ограничивалось до сих пор преимущественно областью пружинных резцов, для снятия же отделочной стружки применение прямого лезвия было редким и избегалось. Опасности применения такого лезвия заключаются в том, что малейший перекос в установке лезвия приводит к винтовым шероховатостям довольно значительных размеров. Так, при подаче в 1 *мм* перекос в установке резца в 1° дает глубину шероховатости, равную

$$\operatorname{tg} 1^\circ = 0,0175 \text{ мм или } 17,5 \mu.$$

Если же взять подачу Лихорадова, равную 2 *мм*, амплитуда шероховатости даже при абсолютной чистоте поверхности составит 35 микрон. Чтобы составить себе представление о степени получаемой неровности, достаточно принять в расчет, что для очень грубой обдирочной стружки Кизветтер определил среднюю амплитуду получаемых шероховатостей в 62 микрона. А ведь даже после прямого резца мы не получаем абсолютно чистой поверхности вследствие ряда причин: вибрация резца (которые при широком лезвии многократно усиливаются), налипание «наслоений» на лезвие, наросты и пр. Шероховатости, возбуждаемые этими причинами, сложенные с шероховатостью от перекоса прямого резца, могут в сумме дать большие недочеты в отношении точности полученной поверхности (даже если чистота будет удовлетворительной).

Поэтому, при применении прямых (широких) лезвий в отделочных работах необходимо принять меры к абсолютно точной установке резца без всяких перекосов, а также к абсолютно точной заточке его лезвия и во всяком случае применять ши-

рокое лезвие весьма осторожно и в пределах лишь некоторого определенного круга работ.

Объяснение большей производительности прямых лезвий по сравнению с обычными отделочными резцами лежит в том законе, который мы назвали первым основным законом резания (см. ниже IV—4). Этот закон, выведенный для обдирочных стружек, переносится таким образом в область стружек отделочных и дает соответствующее повышение производительности. Сущность этого первого закона резания заключается в большей выгоде работы большими сечениями стружек с соответствующим понижением скоростей резания.

Это последнее требование — понижение скоростей резания при прямом лезвии (как следствие повышенного сечения стружки) — чревато своими невыгодными последствиями, так как ведет, как выше было выяснено, к быстрому ухудшению качества поверхности обработки. Поэтому удовлетворительные результаты это мероприятие может дать главным образом в тех случаях, где применение его не потребует понижения скоростей, т. е. там, где скорости резания брались ниже экономических или где в силу указанных выше особенностей кривых стойкости для отделочных стружек увеличение сечения стружки для скорости ведет не к понижению, а к повышению стойкости реза.

Эти соображения необходимо принять во внимание в тех случаях, когда имеет в виду использовать опыт Дихорадова в отношении работы широких прямых лезвий при отделочных стружках. В тех случаях, когда эти соображения по данным условиям и требованиям работы окажутся второстепенными и не существенными, применение широких лезвий вполне оправдывается достигнутым соответствующей повышенной производительности.

### **III. СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И СТОЙКОСТЬ РЕЗЦОВ ПРИ ОБДИРОЧНЫХ СТРУЖКАХ**

#### **I. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА**

Большим злом нашей заводской практики является нередко наблюдаемое стремление работать при таких режимах, которые обеспечивают очень длительную работу до переточки. Если резец работает без переточки подряд одну-две смены, то об этом токари иногда говорят с гордостью и восхищением. Особенное удовольствие в таких токарях вызывает победитовые резцы, которые при избираемых ими режимах (мало отличающихся часто от режимов быстрорежущих резцов) способны стоять без переточки целую неделю, а то и больше. Этому заблуждению же лишены даже некоторые видные стахановцы. Так например, у токаря Дихорадова мы встречаем свидетельство, что улучшенная им форма резцов привела к значительному увеличению их стойкости. Он с гордостью указывает, что заточенные таким образом резцы работали гораздо дольше. Бывали случаи, что

резец не перестачивался по 2—3 смены, тогда как раньше одного резца едва хватало на расточку одного-двух бандажей". Не лучше ли было бы использовать достигнутые улучшения на увеличение сечения стружки или скорости резания, добившись тем самым еще более значительного повышения производительности?

Чтобы несколько уяснить теоретическую сторону этого вопроса, ознакомимся вкратце с методом расчета экономической стойкости инструмента, который в большинстве существующих руководств с достаточной полнотой обычно не излагается и потому в практике не всегда используется. Отсутствует он и в нашей „Теории невыгоднейшего резания“.

Еще со времен Тойлора известно, что резцом следует работать при такой стойкости, при которой его экономическая производительность  $Q_{эк}$  окажется наибольшей. Под экономической производительностью резца понимается количество стружки, снятой резцом за все время его работы до переточки, деленное на полное время, затраченное в пределах одной переточки. Это полное затраченное время составляется из времени работы резца на станке между двумя его переточками плюс время, затраченное в связи с самой переточкой, включая в последнее все затраты, падающие на одну переточку, переведенные в единицы времени работы станочника по соответствующему эквиваленту. Следовательно

$$Q_{эк} = \frac{s \cdot t \cdot v \cdot T}{T_1} = \text{максимум.} \quad (1)$$

Здесь  $s$  — подача в мм,  $t$  — глубина резания в мм,  $v$  — скорость резания в м/мин,  $T$  — стойкость резца, т. е. время его работы без переточки в минутах и  $T_1$  — стоимость всех расходов, связанных с переточкой, выраженная в единицах времени работы станочника. Величина  $T_1$  может быть представлена следующим выражением:

$$T_1 = A + \sum B \cdot \frac{R_c}{R_m} + \sum C \frac{R_c(100 - r_0)}{R_c(100 - r_c)} + \frac{M}{R_c \left(1 + \frac{r_c}{100}\right)}, \quad (2)$$

где  $A$  — время работы станочника, связанное с переменной и переточкой резца (мин.),  $B$  — время, затраченное другими рабочими того же цеха в связи с переточкой (напр. точильщика),  $C$  — время, затраченное рабочими других цехов (инструментального, термического, кузничи и пр.),  $R$  — заработная плата в одну минуту,  $r = \%$  накладных расходов. Значки  $s$  означает станочника,  $m$  — рабочего того же цеха,  $n$  — рабочего других цехов завода,  $M$  — денежные расходы, падающие на 1 переточку резца (стоимость материала резца и пр.).

Так как по формулам теории резания

$$v = \frac{C}{T^k}, \quad (3)$$

какое выражение можно представить в форме

$$v = \frac{C}{\left(\frac{T}{T_1}\right)^k \cdot T_1^k} \quad (4)$$

то, деля числителя и знаменателя формулы (1) на  $T_1$  и подставляя в нее  $v$  из выражения (4), получим:

$$Q_{\text{max}} = \frac{s \cdot t \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)}{\left(\frac{T}{T_1} + 1\right)} \cdot \frac{C}{\left(\frac{T}{T_1}\right)^k \cdot T_1^k} = \text{max.}$$

Приравнявая

$$\frac{C \cdot s \cdot t}{T_1^k} = C_0 \text{ и } \frac{T}{T_1} = n,$$

найдем

$$Q_{\text{max}} = C_0 \frac{n^{k-1}}{n+1} \quad (5)$$

Чтобы найти максимум функции  $Q_{\text{max}}$ , возьмем производную от (5) и приравняем ее к нулю:

$$\frac{dQ_{\text{max}}}{dn} = C_0 \frac{(n+1) \binom{k-1}{k} n^{\frac{k-1}{k}-1} - n^{\frac{k-1}{k}}}{(n+1)^2} = 0.$$

Так как  $C_0$  есть величина постоянная, а знаменатель не может быть равен ни 0, ни  $\infty$ , то приравняем нулю числитель:

$$(n+1) \binom{k-1}{k} n^{\frac{k-1}{k}-1} = n^{\frac{k-1}{k}}$$

Делим все выражение на  $n^{\frac{k-1}{k}}$ :

$$n+1 = (n+1) \binom{k-1}{k} n^{\frac{k-1}{k}-1} = n \cdot \frac{k-1}{k} + \frac{k-1}{k},$$

откуда

$$n = \frac{\binom{k-1}{k}}{1 - \frac{k-1}{k}} = k-1.$$

Следовательно

$$T = (k-1) T_1 \quad (6)$$

Если принять  $k = 8$ , то  $T = 7T_1$ , т. е. экономическая стойкость реза окажется в 7 раз больше времени, затрачиваемого на переточку (учитывая все расходы, связанные с переточкой) <sup>1</sup>.

Приведенный расчет показывает, что экономическая стойкость реза  $T$  зависит только от двух факторов: от величины показателя степени  $k$  и от величины затрат, связанных с переточкой реза или, точнее, падающих на одну переточку. Чем меньше эти два фактора, тем меньше и экономическая стойкость, а чем меньше последняя, тем выше соответственно скорость резания и производительность.

Показатель степени  $k$  для обработки стали быстрорежущими резами принимается обычно со времени Тейлора равным 8, но, как показывают многочисленные исследования различных авторов последнего времени, величина  $k$  дает значительные колебания в обе стороны, и только как среднее можно считать  $k = 8$ .

В последнее время в ряде заводских лабораторий обнаружено, что для цеховых условий работы (переточка резов задолго до полного разрушения, частые перерывы в работе в связи со сменой деталей, работа по корке и т. п.) показатель  $k$  оказывается значительно меньше, чем для лабораторных условий (крупные болванки, сплошная непрерывная работа до переточки, полное разрушение лезвия и т. п.) и имеет величину, примерно, от 3 до 6. Хотя этот закон еще нельзя считать окончательным и причины этого явления еще не совсем ясны и научно не обоснованы, однако при расчете экономической стойкости все же было бы великим учитывать возможность уменьшения  $k$ , а следовательно, и экономической стойкости реза в рамках заводских условий работы.

Если принять  $k$  за некоторое постоянное, именно, — взять среднее  $k$  для данного рода материала, то тем самым определится и величина экономической стойкости реза, т. е. наивыгоднейшая продолжительность работы реза без переточки, так как  $T$ , тоже можно принять для данного реза и данного характера его износа за постоянное.

Экономическая стойкость реза, как известно, для закругленных резов принимается по Тейлору в среднем 90 минут, для прямоугольного лезвия 60 минут. Фасонные резы, фрезы, автоматные резы требуют большей экономической стойкости, которая в этих случаях составляет 3—6 часов и даже больше. Учитывая сказанное выше относительно особенностей величины  $k$  для цеховых условий, надо иметь в виду возможность значительного понижения (примерно вдвое) приведенных здесь цифр.

На рассчитанную таким путем экономическую стойкость реза и надлежит ориентироваться в практической заводской

<sup>1</sup> Выражение (6) для частного случая  $k = 8$  было получено впервые Тейлором (Искусство резать металлы, § 727). Проф. А. В. Панкял применил к этому выводу метод дифференцирования с приравниванием производной нулю. В общем виде, т. е. для любого значения  $k$ , этот вывод был выполнен посредством того же приема проф. В. А. Кривоуховым и позднее проф. Вальдсом в Германии. Мы приводим несколько измененный вариант этого вывода.

работе. Практика заводской работы показывает, что это требование, к сожалению, далеко не осуществляется — даже в работе многих стахановцев.

В области понижения средних стойкостей инструмента в заводской практике обычно имеются крупные, а иногда и очень крупные резервы; как правило, стойкости инструмента могут быть в несколько раз понижены с целью доведения их до экономических, с соответствующим увеличением скорости резания и производительности.

Как это ясно само собою, понижение стойкости осуществляется посредством либо повышения скорости резания при тех же прочих условиях, либо повышения тех или других элементов сечения стружки. Тот и другой способ будут исследованы в ближайших параграфах этой главы.

## 2. СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ

Один из первых и важнейших вопросов резания, который тесно связан с результатами стахановских достижений, — это вопрос о том, как правильно рассчитать и установить скорость резания, если заданы все остальные условия работы.

Скорости резания у нас берутся нередко невероятно низкими в сравнении с теми, которые соответствуют наилучшим условиям работы. Приведем примеры из практики стахановцев.

На заводе револьверных станков им. Орджоникидзе токарь Енифанов применял при черновой расточке и подрезке шестерш-штулки из хромоникелевой стали скорость 34—39 *м/мин*, а при чистовой обработке 56 *м/мин*. Между тем, оказалось вполне возможным работать при тех же условиях при черновой обработке со скоростью 56—61 *м/мин*, а при чистовой 106—153 *м/мин*. Переход на новые скорости вдвое сократил машинное время. То же самое оказалось у другого токаря — Чулкина. Скорость была повышена при обдирке с 31 до 98 *м/мин*, при черновой подрезке торца с 60 до 170 *м/мин*, а при чистовой обточке поверху с 50 до 170 *м/мин* (работа велась победитом). Хромоникелевую сталь резцами из сергонита на том же заводе обрабатывали со скоростью 96 *м/мин*, теперь обрабатывают со скоростью 202 *м/мин* при той же подаче 0,32 *мм/об* с производительностью в два раза большей.

На заводе „Самочка“ токарь Алфеев с переходом на победит стал обтачивать коробки скоростей для шепингов со скоростью 120 *м/мин*, в то время как быстрорежущими резцами эта же работа выполнялась со скоростью 30 *м/мин*.

Эти громадные увеличения скоростей показывают, что прежние скорости были рассчитаны явно неправильно и неудовлетворительно.

Какими же путями эти расчеты фактически ведутся и какими способами их надо рассчитывать, чтобы получить правильные результаты?

Расчет скоростей может быть произведен разными способами; все они могут быть разделены на три главных группы:

Расчет по первому приближению производится на основании различных справочных таблиц, дающих приблизительные (ориентировочные) сведения о средних скоростях резания данного материала. По самой своей природе эти справочные данные никогда не могут дать правильного результата, так как таблицы, учитывающие все факторы, играющие роль при назначении скорости, во всем их сложном взаимодействии, были бы слишком громоздки и сложны, а всякое упрощение их неизбежно ведет к большим погрешностям и падению производительности.

В среднем справочные таблицы приводят к скоростям, дающим в 2—3 раза пониженную производительность, а иногда и более значительное понижение.

Поэтому, было бы большим достижением в практике технического нормирования, если бы эта практика раз навсегда отказалась от пользования какими бы то ни было справочными таблицами и данными там, где имеются возможности для более точного расчета.

А между тем, в практике большинства заводов технико-нормировочные бюро в широкой мере или пользуются готовыми справочниками или сами составляют для себя такие „шаржажные“ справочные таблицы.

Расчет по второму приближению заключается по нашей терминологии в использовании таких формул, которые учитывают только площадь сечения стружки и не принимают во внимание формы этого сечения. Таковы формулы проф. Никольсона, а в последнее время — формулы так называемой немецкой школы (AWF, Кроненберга, Гиншера), которые составляют таким образом частный случай второго приближения, и др.

Эти формулы второго приближения немногим лучше справочных данных, так как неизбежно приводят к большому падению производительности, как это ниже будет доказано.

Расчет по третьему приближению учитывает не только размеры сечения стружки, но и форму стружки. Эта форма стружки учитывается введением в расчет отдельных элементов сечения стружки, например, толщины и ширины стружки или, взамен их, подачи, глубины резания и угла в плане, либо включением в формулу, кроме площади сечения, еще отношения глубины резания к подаче и угла в плане. Для закругленных резцов форма стружки учитывается введением в расчет подачи, глубины резания и радиуса закругления лезвия. Частным случаем формул третьего приближения являются формулы Тейлора, т. е. так называемая американская школа.

Однако, и формулы третьего приближения бывают разного качества и назначения. Их можно разделить в свою очередь на три подгруппы: формулы для прямолинейного лезвия, формулы

для закругленного лезвия и формулы смешанные, предназначенные для тех и других резаков. В последнюю группу входят так называемые упрощенные формулы Тейлора, представляющие собой переделку подлинных формул Тейлора, произведенную с одной стороны Катковым и с другой — Кривоуховым, в целях облегчения техники вычисления. Однако упрощение привело к очень крупным неточностям, проистекающим из двух причин: во-первых, из того, что формулы, рассчитанные для

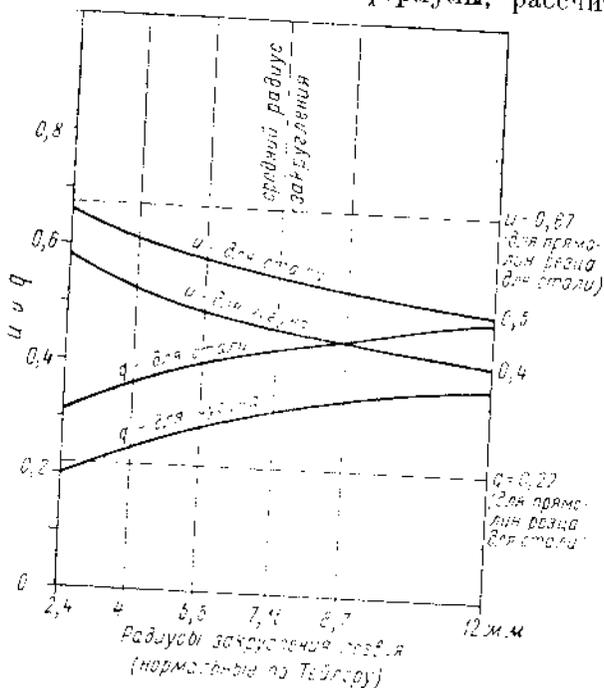


Рис. 22. Изменение показателей при подаче ( $u$ ) и при глубине резания ( $q$ ) в формуле скорости для закругленного лезвия по данным Тейлора.

закругленного лезвия, оказываются вообще непригодными для прямолинейного, а во-вторых, из того, что эти упрощенные формулы даже для закругленного лезвия дают недопустимо большие пределы неточностей по сравнению с подлинными формулами Тейлора.

Что касается непригодности формул, рассчитанных на закругленное лезвие, то в этой непригодности нетрудно убедиться из анализа показателей при подаче и глубине резания в подлинных формулах Тейлора. Рис. 22 представляет диаграмму изменения этих показателей для разных радиусов закругления.

Общий вид формулы

$$v = \frac{C}{u^m q^n} \quad (7)$$

Как видно из диаграммы, показатель  $n$  с увеличением  $r$  уменьшается, а показатель  $q$  увеличивается, причем для больших  $r$  они становятся равными друг другу, именно для стали влияние подачи и глубины резания на скорость резания становится одинаковым, а отсюда оказывается совершенно безразличным, работать ли с большими подачами и малыми глубинами резания или наоборот. Для средних радиусов  $n$  и  $q$  сравнительно немного отличаются друг от друга. Для малых радиусов  $n$  примерно вдвое больше, чем  $q$ , тогда как для прямоугольного лезвия в пределах прямых стружек (т. е. когда  $l > s$ ) показатель  $n$  втрое, а иногда вчетверо больше  $q$ , т. е. изменение подачи несравненно сильнее отражается на скорости, чем такое же изменение глубины резания.

Все это видно хотя бы из табл. 1, составленной для обработки стали.

Таблица 1

	$n$	$q$	$n:q$
Для прямоугольного лезвия	0,67	0,22	3
Для закругленного лезвия			
при $r = 2,4$ мм	0,67	0,32	2
" $r = 7,15$ мм	0,55	0,42	1,3
" $r = 15$ мм	0,5	0,5	1
по формулам Каткова	0,56	0,42	1,3
" Кривоухова	0,53	0,4	1,3

Это сравнение показывает, что вместо отношения показателей 3:1 для прямоугольного лезвия формулы Каткова и Кривоухова дают отношение 1,3:1, что соответствует среднему радиусу закругленного лезвия, но никак не годится для прямоугольного лезвия.

Но и для закругленного лезвия никак нельзя ориентироваться на средние показатели степени, так как это ведет к очень большим ошибкам в расчете. Представление об этих неточностях дает табл. 2.

Как видно из таблицы, расхождение между подлинными формулами Тейлора и упрощенными формулами Каткова (которые в нашей заводской практике нередко фигурируют под наименованием „формулы Тейлора“ или „формулы американской школы“) достигает до 60%. Если учесть при этом, что формулы, рассчитанные на криволинейное лезвие, могут быть использованы для прямоугольного лезвия в лучшем случае только при самых малых радиусах закругления ( $2 - 2\frac{1}{2}$  мм), и то с оговорками и поправками (на угол в плане и пр.), станет

Таблица 2

Подрез	Глубина резания	Сталь					Чугун				
		по Тейлору для $r =$			по Каткову	в % ошибок	по Тейлору для $r =$			по Каткову	в % ошибок
		3/32"	9/32"	15/32"			3/32"	9/32"	15/32"		
0,4	2	70	75,5	88,5	90	28,5	54,8	58,5	68,5	72,5	32
	4,5	54	55	59,2	64	18,5	46	44,8	47,7	57	27
	10	43	38,8	39,9	45,5	17	39,7	35	35,4	45	28,5
0,9	2	40,7	50	58,5	57	40	36,3	42,6	50,3	50	37,5
	4,5	31,4	35	39,3	40,6	29	30,6	32,5	36,1	39,4	28,5
	10	25	24,9	26,5	28,9	16	26,4	25,5	26,8	34,1	22
2	2	23,7	32,1	30	36,3	53	22,5	29	35,5	34,5	53
	4,5	18,4	22,5	26	25,9	40	19	22,2	25,5	27	42
	10	14,7	16	17,6	18,4	25	16,4	17,3	18,9	21,4	30

очевидным, что применение в нашей практике подобных упрощенных формул не может быть оправдано.

Поэтому нам кажутся вполне обоснованными следующие выводы:

1) при работе прямолинейным лезвием следует применять исключительно формулы, специально рассчитанные для прямолинейного лезвия, т. е. основанные на опытах, проведенных с резами прямолинейного лезвия,

2) при работе закругленными резами следует вести расчет по формулам, основанным на опытах с закругленным лезвием и обязательно учитывающим радиус закругления лезвия,

3) упрощенные формулы, дающие расхождение с опытными данными свыше 10%, считать непригодными для применения в заводской практике.

### 3. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ЛЕЗВИЯ

Нами выведен ряд формул по данным различных авторов, преимущественно новейших исследований, которые позволяют рассчитать скорости резания с наибольшей возможной в настоящее время точностью.

а) Формула Тейлора — Глебова выведена нами исходя из опытов Тейлора, проведенных с прямолинейным лезвием, и используя указания Тейлора о соотношении скоростей резания прямолинейного и закругленного лезвия. Формула рассчитана для обработки углеродистой отожженной стали быстрорежущими резами, в трех вариантах <sup>1</sup>:

$$v_{90} = \frac{C}{x^{0,67} \cdot f^{0,22} \cdot \sin^{0,45} \alpha} \quad (8)$$

<sup>1</sup> Эти формулы названы „формулами Тейлора—Глебова“ (см. G. Leff, Einfluss des Spanquerschnittes auf die Schnittgeschwindigkeit, Werkzeugmaschine, 1932 г., № 18), поскольку выведенные нами формулы деликом основаны на

Здесь  $C$  зависит от качества и сорта материала

$$v_{90} = \frac{86\,900\,W}{s^{0,67} \cdot t^{0,22} \cdot \sin^{0,45} \varphi \cdot R \cdot \sigma_b^{0,2}}, \quad (9)$$

$$v_{90} = \frac{672\,000 \cdot W}{s^{0,67} \cdot t^{0,22} \cdot \sin^{0,45} \varphi \cdot R \cdot H^{0,2}}. \quad (10)$$

Из этих трех формул основной является формула (9); коэффициент 672 000 формулы (10) выведен исходя из соотношения  $\sigma_b = 0,36H$ .

Здесь  $W$  — коэффициент охлаждения, равный 1 для работы в воздухе и 1,3 для работы с водой,  $s$  — подача в мм,  $t$  — глубина резания в мм,  $\varphi$  — угол в плане,  $H$  — число Бригелля,  $\sigma_b$  — сопротивление разрыву кг/мм<sup>2</sup>,  $v$  — скорость резания в м/мин, соответствующая стойкости резца 90 минут.

В эти формулы включен  $\sin \varphi$  с показателем, равным разности показателей 0,67 и 0,22, и кроме того дополнительный множитель  $R$ , учитывающий добавочное (технологическое) влияние угла в плане, рассчитанный на основе данных Демпстера Смита.

Для  $\varphi = 38^\circ$  этот дополнительный множитель  $R = 1$ , для  $\varphi = 38^\circ$ :

$$R = 1,34 \sin^{0,6} \varphi. \quad (11)$$

Таким образом, для углов в плане больше  $38^\circ$ :

$$v_{90} = \frac{506\,000 \cdot W}{s^{0,67} \cdot t^{0,22} \cdot \sin^{1,05} \varphi \cdot H^2}. \quad (12)$$

Для легированных сталей, в частности для хромоникелевых, эта формула несколько изменяется, так как твердость по Бригеллю для легированных сталей входит в степени 1,7, а не 2:

$$v_{90} = \frac{160\,000 \cdot W}{s^{0,67} \cdot t^{0,22} \cdot \sin^{0,45} \varphi \cdot R \cdot H^{1,7}}. \quad (13)$$

В конце книги приведена номограмма I для расчета скорости резания по формулам (10) и (13). Способ пользования номограммой ясен из примера, нанесенного пунктиром. При заданной

подлинном экспериментальном материале Тейлора. Подобный способ сокращенного обозначения нередко применяется в литературе, в частности и в теории резания; например переработка книги Тейлора „Искусство резать металл“, произведенная в Германии проф. Валликом, издача переводчиком под аналогичным именем „Тейлора—Валлика“; точно так же известны формулы АWF—Кроненберга, термонары Герберта-Гольвейна и мн. др. Как „формулы Тейлора—Глебова“ вапи формулы цитируются и в иностранной литературе (см. P l a g e n s, Archiv für Eisenhüttenwesen, 1934 г., № 8). В советской литературе они иногда ошибочно именуются „формулой Беспрозванного“ (см. напр. Р е з н и к о в, Теория резания стр. 67, 160, 161, Сборник режимов Гипролмана, Журнал „Техническое нормирование“, 1935 г., № 9, сборник „К новым нормам“). Объяснение этого недоразумения см. в предисловии издательства к моей книге „Теория невыгоднейшего резания“ и Вестник Металлопромышленности, 1932 г., № 4, стр. 51, примечание.

$v_{90}$ , обратно, можно найти подачу  $s$  — наибольшую, допускаемую резцом в заданных условиях.

Несмотря на то, что опыты Тейлора, на которых построены формулы (8) — (10) и (12), были произведены 30 лет назад, эти формулы сохраняют полную свою ценность и в наше время. Так, в книге „К новым техническим нормам“ на стр. 4 для обдирочной стружки сечением  $3 \times 1,08$  мм<sup>2</sup> для стали средней твердости ( $\sigma_b = 60$  кг/мм<sup>2</sup>) указана скорость 35 м/мин, как высшая, достижимая в лабораторной обстановке. По рекомендациям наших формул при непосредственном расчете цеховых режимов для этого случая получается скорость при работе с водой 32 м/мин, что представляет собой, очевидно, почти точное совпадение.

б) Формула, составленная нами по данным опытов Манчестерского комитета, проведенных Демпстером Смитом.

Для мартеновской стали

$$v_{90} = \frac{6,350}{\sin^{0,45} \varphi \cdot R \cdot H^{1,7}} \left( 3,5 \frac{16}{s} + \frac{12,4}{t} + \frac{8,25}{s \cdot t} \right) \quad (14)$$

Для чугуна

$$v_{90} = \frac{204\,000}{s^{0,32} \cdot t^{0,11} \cdot \sin^{0,2} \varphi \cdot R \cdot H^{1,7}} \quad (15)$$

В этих формулах  $R$  для стали, как и выше, для  $38^\circ$ , равен 1, для  $\varphi > 38^\circ$   $R$  выражается формулой (11).

Для чугуна значения  $R$  следующие:

При $\varphi = 35^\circ$	$R = 1$
„ $\varphi$ от $35^\circ$ до $50^\circ$	$R = 1,13 \sin^{0,25} \varphi$
„ $\varphi$ „ $50^\circ$ „ $60^\circ$	$R = 1,19 \sin^{0,41} \varphi$
„ $\varphi$ „ $60^\circ$ „ $70^\circ$	$R = 1,25 \sin^{0,78} \varphi$
„ $\varphi$ „ $70^\circ$ „ $90^\circ$	$R = 1,32 \sin^{1,5} \varphi$

В конце книги приведены номограммы II и III для расчета скоростей резания по этим формулам.

в) Формула по данным Валликса — Дабрингауза. В конце книги приведены номограммы IV и V Валликса — Дабрингауза для стали и чугуна, рассчитанные на угол в плане  $45^\circ$ .

При пересчете на другой угол в плане Валликс и Дабрингауз рекомендуют пользоваться поправочными коэффициентами Демпстера Смита, а так как наши формулы  $R$  составлены именно на основе этих коэффициентов, то для углов в плане иных, чем  $45^\circ$ , полученные по номограммам Валликса и Дабрингауза скорости надо умножить на отношение  $R_{45} : R_\varphi$ , где  $R_{45}$  — величина  $R$  для  $\varphi = 45^\circ$ , а  $R_\varphi$  — то же для заданного  $\varphi$ , согласно формулам (11) и (16).

Номограммам Валликса и Дабрингауза соответствует следующая, выведенная нами по этим номограммам формула

$$v_{90} = \frac{C(C - 2)gs - t}{\sin^{0,45} \varphi \cdot R \cdot H^2} \quad (17)$$

где для стали  $C' = 8500$  и  $g = 1,28$ , а для чугуна  $C' = 48000$  и  $g = 1,685$ .

При пользовании всеми этими формулами надо помнить, что они являются непосредственно соответствующими точным экспериментальным данным, т. е. лабораторным условиям; следовательно, они не учитывают обычных практических недостатков цеховой заводской жизни: неоднородности резцов и обрабатываемого материала и пр. Что касается, в частности, формул, основанных на тейлоровских данных (формулы Тейлора—Глебова), то при пользовании ими надо учитывать, что данные Тейлора имеют под собой не только лабораторную, но и многолетнюю цеховую проверку, что придает этим данным особенный вес и значение.

г) Формулы для твердых сплавов. Все вышеприведенные формулы рассчитаны на работу быстрорежущими резцами, содержащими 18% вольфрама. При переходе на резцы других марок необходимо делать поправочные пересчеты. Для подобных пересчетов можно использовать следующую таблицу Паане (см. табл. 3).

Таблица 3

	C	W	Va	Mo	Co	Поправочный коэффициент
1	0,6—0,8	14—18	0,2—0,8	—	—	0,75
2	0,6—0,8	18—20	1—1,5	—	—	0,85
3	0,8—1	18—25	1,2—2,5	0—1,2	—	0,9
4	0,6—0,9	18—20	1,2—2	—	2—3	1
5	0,6—0,9	17—20	1—1,8	0—1	4—6	1,1
6	0,6—0,85	17—20	1—1,6	0—1	9—12	1,15
7	0,6—0,85	17—20	1—1,6	0—1	16—20	1,20

Группа резцов, обозначенных 5—7, именуется „сверхбыстрорежущими“.

Что касается резцов из твердых сплавов, то здесь возникают два вопроса. Первый — о возможности использования для расчетов тех же самых формул, как и для быстрорежущих резцов, что сводится к вопросу о совпадении показателей степени при различных факторах для быстрорежущих резцов и резцов из твердых сплавов. Второй вопрос — о соотношении абсолютных величин скоростей резания тех и других резцов.

Первый вопрос решается сопоставлением соответствующих исследовательских данных, для какой-либо цели рассмотрим табл. 4.

Сравнение показателей степени в этих таблицах убеждает нас в том, что для твердых сплавов  $k$  несколько меньше, чем для быстрорежущих резцов, именно — составляет в среднем 5 вместо 8, что же касается величин показателей  $n$  и  $q$  (при подаче и глубине резания), то они в среднем настолько близки к соответствующим показателям в формулах для быстрорежу-

Показатели степени в формулах скоростей резания типа (7) для резцов твердых сплавов

Автор опытов	Вид материала	$n$	$q$	$k$
А. Обработка стали				
а) Победит				
ЦНИИМАШ	Осевая сталь $H = 170$	0,7	0,27	6
"	Углеродистая сталь $H = 200$	0,7	0,27	6
Оргаметалл	" $H = 212$	0,32	0,18	5
"	Хромоникелевая сталь	0,40	0,22	4
Медведевский	Углеродистая сталь $H = 163$	0,5	0,27	5
Пром. академия	Хромоникелевая сталь $H = 265$	0,71	0,27	3,8
Жебровский	Инструментальная сталь 9М	0,47	0,17	5
"	" 3У - 10	0,57	0,24	5
Рудник	Стальные литые $H = 140, 180$ и $240$	0,6	0,15	6
б) Победит-з				
Пром. академия	Хромоникелевая сталь $H = 285$	0,63	0,35	12,8
ЦНИИМАШ	Углеродистая сталь $H = 160, 200$	0,25	0,21	9
"	Хромоникелевая сталь $H = 250$	0,28	0,21	9
Б. Чугун				
а) Победит				
Резников	Чугун равной твердости	0,68	0,15	—
Оргаметалл	Чугун $H = 176$	0,42	0,24	5
Медведевский	" $H = 214$	0,37	0,28	4
Рудник	" $H = 120, 170, 200$	0,45	0,15	6
б) Победит-з				
ЦНИИМАШ	Чугун $H = 100, 150$ и $190$	0,45	0,25	4

дних резцов, что пока мы не видим достаточных оснований применять для твердых сплавов иные формулы, чем для быстрорежущих резцов. Окончательное решение этого вопроса требует более обширных опытов и использования в опытах более однородных пластинок, которые доказали бы, что наблюдающиеся различия объясняются не простыми случайными отклонениями, а особыми свойствами работы резцов из твердых сплавов. Пока же, по видимому, в большинстве случаев можно рекомендовать пользоваться для твердых сплавов всеми выведенными в этом параграфе формулами скоростей, причем последние должны быть умножены на некоторый поправочный коэффициент, зависящий от марки резца и рода материала. Для этой цели можно, например, использовать табличку Рапаца (см. табл. 5).

Можно считать, что данные, относящиеся здесь к резцам вида, могут быть распространены и на наш советский победит.

Таблица 3

Материал	Коэффициент скорости	
	Стеллит	Види
Мартеновская сталь $\sigma_b = 47$	1,6	2,5
" " $\sigma_b = 88$	1,7	2
Хромоникелевая " $\sigma_b = 110$	1,25	1,8
Чугун $H = 200$	3	5

#### 4. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ЗАКРУГЛЕННОГО ЛЕЗВИЯ

Наиболее точные и полные результаты для закругленного лезвия дают подлинные формулы Тейлора; однако для вычисления они чрезвычайно сложны. При выводе их Тейлор имел в виду исключительное использование их для расчета специальных счетных линеек. Так как для этих формул Тейлор не опубликовал соответствующей счетной линейки, мы еще в 1916 году построили и провели в заводскую практику нашу основную счетную линейку для наимыгоднейшего резания, рассчитанную в точности по формулам Тейлора, без малейших их упрощений и изменений. Она дает расчеты режимов для любого радиуса закруглений от 2,4 мм до 12 мм.

Так как наша счетная линейка не для всех доступна, и в ряде случаев на практике прибегают к расчету по формулам, мы подвергли формулы Тейлора для криволинейного лезвия особой математической обработке, не пользуясь для этой цели вышеописанный метод преобразования, а также произведенный нами специальный анализ этих формул, установивший ряд важных свойств показателей степени в этих формулах<sup>1</sup>.

В результате такой переработки мы предлагаем вниманию читателя следующую формулу Тейлора — Глебова для закругленного лезвия:

а) для отожженной углеродистой стали:

$$v_{90} = \frac{66000 (r + 11,5) m^w}{f^{0,48} H^2} ; \quad (18)$$

б) для чугуна

$$v_{90} = \frac{14200 (r + 19) m^{0,6}}{f^{0,385} H^{1,7}} ; \quad (19)$$

<sup>1</sup> Эти замечательные свойства следующие: 1) показатель степени при подаче с увеличением  $r$  непрерывно уменьшается, 2) в то же время показатель при глубине резания непрерывно увеличивается, в результате чего 3) эти два показателя, будучи для малых радиусов в 2—3 раза больше один другого, 4) для больших  $r$  становятся постепенно равными друг другу, 5) вследствие чего с увеличением  $r$  постепенно исчезает действие второго основного закона резания, в то время как б) для малых  $r$  показатели очень близки к показателям прямолинейного лезвия, 7) Полуусумма показателей при  $s$  и  $t$  остается постоянной для всякого  $r$ , как для стали (0,48), так и для чугуна (0,385); 8) полуразность тех же показателей с увеличением  $r$  стремится к нулю.

в) для легированных сталей

$$v_{90} = \frac{14700(r - 11,5)m^{\omega}}{f^{0,48}H^{1,7}} \quad (20)$$

Последняя формула рассчитана по данным Дайджеса и Френча, опыты которых были произведены в 1926 г. с резцами, аналогичными тейлоровским и имели задачей выяснить возможность использования формул Тейлора для специальных сталей.

В этих формулах под  $m$  подразумевается отношение  $t:s$ , причем показатель  $\omega$ , равный полуразности показателей при  $s$  и  $t$ :

$$\omega = \frac{u - q}{2}$$

для всех материалов один и тот же и может быть взят из следующей таблицы:

при	$r = 2,4$	$t = 5,5$	$7,2$	$8,7$	$12$ и т.
	$\omega = 0,2$	$0,14$	$0,1$	$0,075$	$0,052$

Номограмма VI для расчета по этим трем формулам приведена в конце книги.

## 5. НЕТОЧНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ФОРМУЛАМИ ВТОРОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Выражение

$$s^u t^q, \quad (21)$$

которое входит во все формулы второго приближения, может быть преобразовано заменой  $s$  и  $t$  через  $f$  и  $m$  (где  $m = t:s$ ) следующим предложенным нами способом. Из двух выражений

$$m = t:s$$

и

$$f = s \cdot t$$

имеем

$$s = \sqrt[2]{\frac{f}{m}}$$

и

$$t = \sqrt[2]{f m}.$$

Следовательно выражение (21) получит по замене  $s$  и  $t$  через  $f$  и  $m$  такую форму:

$$s^u t^q = \frac{f^{\frac{u+q}{2}}}{m^{\frac{u-q}{2}}}. \quad (22)$$

Вставляя это выражение, например, в формулу Тейлора — Глебова (8), найдем:

$$C = \frac{t m^{\frac{u-q}{2}}}{f^{\frac{u+q}{2}} \cdot \sin^{\frac{u}{2}} \frac{t}{s}}. \quad (23)$$

Сравнивая эту формулу с соответствующей формулой второго приближения

$$v = \frac{C_v}{f^p}, \quad (24)$$

нетрудно заметить, что обе формулы в точности совпадут, если принять

$$C_v = \frac{C_m \cdot 2^{\frac{u-q}{2}}}{\sin^u \varphi \cdot R}; \quad p = \frac{u+q}{2}, \quad (25)$$

т. е., если в формуле (23)  $t : s = \text{const}$  и  $\varphi = \text{const}$ . А это последнее условие соответствует подобным стружкам. Действительно, сечения стружек будут подобными, если стороны пропорциональны и соответственные углы равны. В этом случае (т. е. для подобных стружек) показатель степени при сечении стружки будет равен полусумме показателей при глубине резания и подаче.

Отсюда вывод: формулы второго приближения могут быть точное совпадение с формулами третьего приближения только для подобных стружек (а также для квази-подобных, о чем см. ниже). Они будут тем более неточны, чем в меньшей мере стружки окажутся подобными. Вот почему формулы проф. Никольсона были рассчитаны исходя из опытов исключительно с подобными сечениями стружек. Точно так же формулы Фридриха имеют в виду подобные стружки. По этой же причине оказались неправильными и негодными формулы Каопштока по давлению на резец, а также построенные на их основе формулы Кроненберга; именно, при выводе этих формул были приняты в расчет случайные соотношения элементов стружек и при этом значительное количество стружек было обратных (т. е.  $s > t$ ).

Но даже, если формулы второго приближения рассчитаны на базе изучения только подобных стружек, еще не значит, что расчет по этим формулам дает правильные результаты, по крайней мере в отношении скоростей резания.

Дело в том, что коэффициент  $C_v$  в формулах второго приближения по необходимости приходится сильно понижать с той целью, чтобы даже при самых невыгодных формах стружек данного сечения скорости, рассчитанные по этим формулам, оказались бы фактически осуществимыми. Повидимому, именно по этой причине все формулы немецкой школы (AWF, Кроненберга, Гиншлера) в среднем дают в 2—3 раза пониженные скорости против действительно возможных.

Неточности, которые могут быть получены при расчете по формулам второго приближения, могут достигать громадных размеров. Так на основании формулы (25) легко найти, что колебания скоростей могут достигнуть величины

$$\left( \frac{m_2}{m_1} \right)^{\frac{u-q}{2}} \cdot \left( \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} \right)^{u-q} \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

Взяв здесь крайние возможные пределы колебаний  $m$  и  $\varphi$ , например  $m = 1$  и  $15$ ,  $\varphi = 10^\circ$  и  $90^\circ$ , найдем для стали

$$\left(\frac{15}{1}\right)^{0,225} \left(\frac{\sin 90^\circ}{\sin 10^\circ}\right)^{0,45} \cdot \frac{1,34 \sin 90^\circ}{1} = 1,84 \cdot 2,95 = 5,44.$$

Другими словами, изменение отношения  $t:s$  с 1 до 15 и одновременно угла в плане с  $90^\circ$  до  $10^\circ$  привело бы к увеличению скорости резания в  $5\frac{1}{2}$  раз при той же площади сечения стружки  $f$  и для одного и того же металла и реза.

Даже оставаясь в гораздо более узких пределах  $m$  и  $\varphi$ , соответствующих повседневным условиям практики, например, взяв  $m$  от 1 до 10 и  $\varphi$  от  $90^\circ$  до  $30^\circ$ , найдем

$$t_2 : t_1 = 1,68 \cdot 1,83 = 3,08,$$

т. е. трехкратную разницу в скоростях, причем одно изменение  $t:s$  без изменения  $\varphi$  ведет к разнице в 1,68 раз.

При таких громадных разностях в скоростях резания при одном и том же сечении стружки, очевидно, нет никакого основания признавать допустимым расчет скоростей резания по формулам второго приближения<sup>1</sup>.

Степень неточности формул второго приближения может быть уменьшена, если их строить на базе не подобных, а квази-подобных стружек. Квази-подобными стружками мы называем такие, в которых при постоянном угле в плане отношение  $t:s = m$  не остается постоянным, а увеличивается по тому или иному закону с увеличением сечения стружки. Другими словами, в квази-подобных стружках отношение  $t:s$  есть прямая функция от площади сечения стружки  $f$ :

$$m = \psi(f).$$

Откуда и для чего нами вводится это новое понятие квази-подобных стружек? Дело в том, что среднее применяемое в заводской практике отношение  $t:s$  с увеличением сечения стружки, как показывает опыт, неизменно увеличивается. Чем больше  $f$ , тем в большей степени обычно растет глубина резания в сравнении с подачей. Этот "обычай" практики вполне понятен: во-первых, увеличение сечения стружки имеет пределы более ограниченные, чем увеличение глубины резания, а во-вторых, применение второго закона резания (см. ниже) заставляет больше налегать на увеличение глубины резания, чем на увеличение подачи, между тем это оказывается более осуществимым в тяжелых стружках, чем в легких.

А раз отношение  $t:s$  с увеличением  $f$  тоже растет, то его уже нельзя принимать в формуле (25) постоянным; его надо рассматривать, как некоторую функцию  $f$ .

<sup>1</sup> Дело в том, что при расчете формул второго приближения приходится вводить среднее значение основного коэффициента формул исходя из самых невыгодных форм стружек, могущих встретиться на практике, чтобы обеспечить универсальную возможность применения таких формул (см. например нашу дискуссию с Кропленбергом в „Русско-Германском Вестнике Науки и Техники“, 1936 г., № 2, стр. 6, 7 и 24).

Энгель дает в одной из своих работ средние практические отношения  $t:s$  для разных  $f$ . Эти данные по нашему расчету отвечают формуле

$$t:s = \sqrt{10f}$$

или

$$m = 3,16 f^{0,5}. \quad (26)$$

В общей форме

$$m = \text{const} \cdot f^m. \quad (27)$$

Приравняв друг другу формулы (23) и (24), получим:

$$\frac{Cm^{\frac{u-q}{2}}}{f^{\frac{u+q}{2}} \cdot \sin^{u-q}\varphi} = \frac{C_0}{f^p}.$$

откуда

$$m = \sqrt{\frac{C_0 \cdot \sin^{u-q}\varphi}{C}} f^{\frac{u+q}{2} - p}. \quad (28)$$

Приравнявая  $m$  из (27) и (28), имеем

$$\left( \frac{C_0 \sin^{u-q}\varphi}{C} \right) f^{\frac{u+q}{2} - p} = (\text{const} \cdot f^m)^{\frac{u+q}{2}}.$$

Показатели при  $f$  в обеих частях этого равенства должны быть равны, также и коэффициенты. Следовательно

$$\frac{u+q}{2} - p = \omega \left( \frac{u+q}{2} \right).$$

Откуда

$$\omega = \frac{\left( \frac{u+q}{2} - p \right)}{\left( \frac{u+q}{2} \right)} = \frac{u+q-2p}{u+q}$$

и

$$p = \frac{u+q}{2} - \omega \left( \frac{u+q}{2} \right),$$

т. е. в случае расчета формул второго приближения на базе квази-подобных сечений стружек показатель степени  $p$  при  $f$  окажется равным уже не  $\frac{u+q}{2}$ , как это было для подобных стружек, а будет меньше этой величины на выражение

$$\omega \left( \frac{u+q}{2} \right).$$

Если взять, например по Рипперу, для стали  $u=0,67$  и  $q=0,33$ , то  $p$  будет равно не  $(0,67+0,33):2=0,5$ , а меньше на величину

$$0,5 \left( \frac{0,67+0,33}{2} \right) = 0,5 \cdot 0,17 = 0,085,$$

т. е.

$$p = 0,5 - 0,085 = 0,415.$$

Если  $n$  и  $q$  взять по тейлоровским данным для прямолинейного реза, т. е.  $n = 0,67$ ;  $q = 0,22$ , то

$$p = \frac{0,67 + 0,22}{2} - 0,5 \left( \frac{0,67 - 0,22}{2} \right) = 0,33.$$

Таким образом, чтобы уменьшить степень неточности при расчете по формулам второго приближения, следует показатель  $p$  брать несколько меньше полусуммы  $n$  и  $q$ , т. е. ориентироваться на квази-подобные стружки. Однако и в этом случае неточность формул второго приближения все же будет очень значительной, хотя и несколько меньшей, чем если эти формулы построены на базе подобия стружек.

## 6. ВАРЬИРОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ЗАГОТОВОК ЦЕРМЕДНОЙ ТВЕРДОСТИ

Все наши заводы в равной, пожалуй, степени страдают от недостаточной однородности заготовок в отношении их твердости и обрабатываемости даже в пределах одной и той же данной партии. Вследствие этого для обработки заготовок одной и той же партии требуются разные скорости, разные комбинации наиболее выгодных режимов, разные наиболее выгодные углы и формы инструментов. Стахановцы разными путями приспосабливаются к этому „стихийному бедствию“. Они сортируют заготовки по твердости и обрабатывают группами, подбирая с группой одинаковые по твердости заготовки.

На заводе револьверных станков им. Орджоникидзе, например, ввели систематическую сортировку литья по твердости.

Токарь Лихорадов (завод им. Урицкого) заготовлял для расточки бандажей два комплекта резцов, — один затачивал под расточку более мягких бандажей, другой — для более крепких. Для первых он делал угол резания в резце поменьше, для вторых — побольше. В результате резцы стояли дольше, медленнее изнашивались и не требовали частой переточки.

На заводе МИЗ все метчики, идущие в нарезку, предварительно сортируются по твердости. Имеющие число Бригелля выше определенной нормы отбираются и направляются предварительно в термообработку (отжиг), после которой их твердость понижается и они идут в обработку. Оказывается выгоднее производить проверку на твердость, сортировку и отжиг метчиков, чем обрабатывать их в первоначальном чрезмерно твердом состоянии, работая при низких скоростях и получая при этом еще недоброкачественную поверхность резьбы.

Строгальщик Принцеватов на заводе „Красный пролетарий“ также обращается к качеству обрабатываемого литья (он обрабатывает каретки и супорта токарного станка). С двух-трех проходов реза он увеличивает наибольшую возможную для данного литья подачу и с этой подачей ведет дальнейшую

работу. Таким образом твердость металла регулируется выбором подачи (поскольку скорость продольно-строгоального станка приходится сохранять постоянной).

В одной и той же партии заготовок, при одном и том же химическом составе может оказаться разное кристаллическое строение металла, мелкозернистое и крупнозернистое, что существенно отражается на обрабатываемости отдельных деталей. В зависимости от колебаний теплопроводности, характера стружкообразования, способности деформироваться и др. свойств металла, допускаемые скорости резания могут значительно меняться. Точно так же очень важное значение имеет и металлографическая структура материала (мы различаем понятия кристаллического строения и металлографической структуры, что, к сожалению, не всегда строго проводится). Например известно, что аустенитовая структура под действием реза превращается в мартенситовую. Имеют свои особенности перлитовые структуры и т. д.

В связи с этим возникает также вопрос и о правомерности введения в формулы скоростей резания числа Брицелля  $H$  или сопротивления разрыву  $\sigma_b$ , вообще тех или других показателей механических и физических свойств материала.

Действительно, ни один из существующих способов характеристики свойств металла не может в достаточной степени характеризовать обрабатываемость материала, как мы это неоднократно подчеркивали. Было бы поэтому правильнее основывать расчеты скоростей резания не на механических или других свойствах обрабатываемого материала, а на специальных коэффициентах, именно: 1) на коэффициенте резания  $K_r$  и 2) на коэффициенте обрабатываемости  $K_{\text{обр}}$ .

Понятие коэффициента резания установлено стандартом. Это есть удельное давление в  $\text{кг/м.м}^2$  при определенных стандартных условиях резания, именно, при

подача . . . . .	$s = 1 \text{ мм}$
глубина резания . . . . .	$t = 5 \text{ мм}$
угол в плане . . . . .	$\varphi = 45^\circ$
радиус закругления лезвия . . . . .	$r = 1 \text{ мм}$
угол резания . . . . .	$\delta = 75^\circ$
резание без охлаждения и смазки, прямолнейном лезвии.	

Понятие коэффициента обрабатываемости, по определению автора этого понятия, проф. Валликса, обозначает скорость резания, допускаемую данным предметом при определенных стандартных условиях резания. За такой стандарт проф. Валликсе принимал  $s = 1 \text{ мм}$ ;  $t = 1 \text{ мм}$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $T = 60 \text{ мин}$ . Другой способ характеристики обрабатываемости, как известно, был предложен Тейлором, который брал несколько иной стандартный режим (закругленное лезвие,  $r = 7,15 \text{ мм}$ ;  $s = 1/16''$ ;  $t = 3/16''$ ;  $T = 20 \text{ мин}$ ), причем по полученной скорости находил соответствующий класс металла, характеризующийся номером класса.

Скорости этих классов составляли геометрическую прогрессию с знаменателем, равным 1,1.

Было бы весьма целесообразным стандартизировать наряду с коэффициентом резания также и коэффициент обрабатываемости; стандартный режим удобнее взять тот же, как и для коэффициента резания, добавив сюда недостающие факторы, например:

стойкость резца . . . . .	$T = 60$ мин.
быстрорежущий резец . . . . .	$W = 18\%$
угол наклона резания . . . . .	$\lambda = +5^\circ$
задний угол в плане . . . . .	$\varphi' = 10^\circ$

Используя понятия коэффициента резания и коэффициента обрабатываемости, можно было бы применять в практике более точные методы расчета. Самые формулы для расчета давления на резец и скорости резания приняли бы иной вид, именно:

$$P = \frac{K_p \cdot s^x \cdot t_0^y \cdot v_0^m}{B_k \cdot \sin^{\nu-x} \varphi} \quad (29)$$

$$v = \frac{C_k \cdot K_{обп} \cdot W \cdot Q}{s^{u+q} \sin^{u-q} \varphi \cdot R} \quad (30)$$

где

$$B_k = \frac{s_0^x \cdot t_0^y \cdot v_0^m}{\sin^{\nu-x} \varphi_0} \quad (31)$$

$$C_k = \frac{s_0^u \cdot t_0^q \cdot \sin^{u-q} \varphi_0 \cdot R_0}{W_0 \cdot Q_0} \quad (32)$$

где значок „0“ обозначает соответствующие значения стандартного режима. Коэффициент  $Q$  есть коэффициент качества резца.

Установление коэффициентов резания и обрабатываемости для каждой данной марки материала имело бы громадное практическое значение и ценность, и позволило бы еще ближе и точнее подойти к расчету усилий, режимов и скоростей резания.

Коэффициенты резания и обрабатываемости должны быть связаны с определенным показателем механических свойств и определенной термической обработки данной марки материала. Для перехода на другие механические свойства, в зависимости от рода технической обработки, должны быть установлены переходные формулы или поправочные коэффициенты. Выполнение этой задачи в неизмеримой степени могло бы уточнить все вычисления и расчеты и дать для практики надежную опорную базу.

Так или иначе, стахановское движение в этом отношении ставит перед теорией резания и перед заводской практикой определенные задания, которые нуждаются в срочном разрешении.

## IV. ВЫБОР НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА ОБРАБОТКИ

### 1. СТАХАНОВСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Главная масса стахановских достижений опирается на вопросы правильного расчета режимов обработки — нахождения правильного соотношения между скоростью и сечением стружки, между толщиной и шириной стружки и т. д. В этой области, действительно, скрыты громадные, может быть даже неисчерпаемые резервы производительности: надо только умело подойти к их выявлению и использованию.

На заводе им. Орджоникидзе револьверщик Бельский при содействии инструктора т. Рабиновича вместо скорости резания 62 м/мин и подачи 0,09 мм стал работать при скорости 265 м/мин (!) и подаче 0,28 мм. В результате машинное время уменьшилось в 9 раз. При этом резец работал без переточки две смены, следовательно, даже этот режим допускал еще скрытые возможности некоторого повышения.

На том же заводе т. Ануров повысил скорость с 29 м/мин до 35 м/мин, а подачу с 0,18 до 0,32 мм, увеличив производительность вдвое. Токарь Назаров, подрезая торец резьбового кольца (сталь 9Х) победитовым резцом, перешел со скорости 45 м/мин и подачи 0,06 мм на скорость 77 м/мин и подачу 0,19 мм, в результате чего машинное время сократилось в 5½ раз. Токарь Шавенков при обработке быстрорежущей фрезы быстрорежущим резцом вместо двух проходов стал вести работу в один проход, т. е. с удвоенной глубиной резания, причем одновременно скорость была повышена с 16 до 27 м/мин, что дало уменьшение машинного времени в 3,4 раза.

На Харьковском электромеханическом заводе токарь Олейник достиг снижения машинного времени при обработке чугуновых крышек на токарно-револьверном станке с 7,51 мин. до 1,31 мин., т. е. почти в 6 раз. При проточке торцов диаметром 90 и 120 мм вместо двух проходов он применил один проход, осуществляя почти все операции ручной подачей вместо механической и т. д. Работая победитом, он берет на проточке торца скорость 71 м/мин при подаче 0,47 мм и глубине 3 мм вместо 55 м/мин, рекомендуемой номограммой Харьковского машиностроительного института. На проточке внутренней выточки при подаче 2,25 мм и глубине 2 мм Олейник берет скорость 47 м/мин вместо рекомендуемых той же номограммой 29 м/мин. Наконец, на проточке торца во второй установке при подаче 0,7 мм и глубине 2 мм он берет скорость 71 м/мин вместо 42 м/мин.

Зуборезчик Евсеев на Уралмаше на станке Лоренц-60 при нарезке редукторных шестерен изменил режим работы так, что вместо двух проходов с подачей 0,95 стал делать три прохода: один черновой и два чистовых, причем подачу при черновом проходе брал 2—2,2 мм. В результате вместо 900 часов он затратил на нарезку 580 часов.

На том же заводе зуборезчики Пивоваров и Маливина при нарезке на станках Эрликов концевых шестерен повысили скорость резания с 20 *м/мин* до 30 *м/мин*, а подачу увеличили в  $1\frac{1}{2}$ —2 раза. При этом они сократили число операций: вместо трех проходов стали нарезать в два прихода — прорезка прорезным резцом и профилировка зуба боковыми резцами. Таким образом отпала невыгодная операция работы ступенчатым резцом, имеющим большую поверхность резания. В результате норма выходяется на 280—350%.

На Московском тормозном заводе при обработке корпуса воздухораспределителя на револьверном станке Вайд скорость резания была увеличена с 45,7 *м/мин* до 72,1 *м/мин*, а сечение стружки с 0,5 до 0,74 *мм*<sup>2</sup>; при этом подача была уменьшена с 0,97 до 0,37 *мм*, т. е. почти втрое. В результате сечение стружки увеличилось, улучшилась форма стружки и увеличилась скорость резания. Машинное время сократилось на 39%.

В числе мероприятий, которыми токарь Лихорадов при обработке бабцакшей добился своих успехов, фигурирует увеличение подачи с 0,55 *мм* до 0,82 *мм*, что соответственно сократило машинное время. Возникшее при этом дрожание резца было устранено посредством уменьшения вылета резца из державки.

На заводе им. Орджоникидзе при обработке детали хромоникелевой стали 3312 при сопротивлении разрыву 90 *кг/мм*<sup>2</sup> резцом Р38 вместо прежней скорости 47 *м/мин* и подачи 0,32 *мм* стали вести работу со скоростью 98 *м/мин* и подачей 0,17 *мм*, в результате чего машинное время сократилось втрое.

Приведенные примеры показывают, что повышение режимов идет в этих случаях путем либо одновременного повышения скоростей и подачи, либо изменения числа проходов, либо перераспределения в соотношении между скоростью и сечением стружки. Нередко все изменение режима происходит главным образом за счет одного повышения скорости резания.

Разбирая эти и другие примеры, необходимо поставить два вопроса: во-первых, насколько выбранная новая скорость резания соответствует экономической стойкости резца, т. е. полностью ли используются при данном режиме резания режущие способности инструмента, и во-вторых, насколько рационально выбрано соотношение отдельных элементов режима, в частности подачи, глубины резания и скорости.

В этих двух вопросах, можно сказать, сосредоточено 75% всех достижений стахановцев в области сокращения машинного времени станочной работы. Самым трудным делом в области резания является именно правильное установление режима резания, но оно как раз решает главным образом вопрос о производительности. В практике редко оценивают то обстоятельство, что простой выбор одного только угла в плане при всех прочих равных условиях может дать разницу в производительности почти в два раза. Одно изменение отношения глубины резания к подаче при том же угле в плане и при той же пло-

щадн сечения может дать разницу в  $2-2\frac{1}{2}$  раза. Наконец одно изменение соотношения между площадью сечения стружки и скоростью резания может привести к изменению производительности в несколько раз. Ясно, что в том или другом решении вопроса о выборе режима резания кроются в конечном счете громадные размахи колебаний производительности; а если сюда добавить вопрос об обеспечении нормальной (экономической) стойкости резца, т. е. о выборе экономических скоростей резания, то станут вполне объяснимыми и понятными те резервы производительности, которые вскрыты стахановским движением.

Решение первого вопроса теоретически разобрано нами в предыдущей главе. Ответ на второй вопрос связан с детальным исследованием всей теории наиболее выгодного резания. Между тем как раз в этой области теория резания в настоящее время представляет собою поле многочисленных дискуссий и споров, сильно затемнивших простые по существу понятия и положения, вследствие чего простой и ясный ответ на самые типовые и обычные практические вопросы здесь был бы возможен лишь после уяснения всей теории наиболее выгодных режимов в целом или в своих главнейших ведущих частях. Учитывая громадную, если не решающую, важность этих вопросов для обоснования и объяснения успехов стахановского движения, а также отсутствие в литературе достаточно систематического изложения этой темы, мы сочли необходимым изложить здесь важнейшие вопросы теории режимов для обдирочной стружки в последовательном и систематизированном порядке.

## 2. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ РЕЗАНИЯ

В основу дальнейших выводов нами положены следующие выведенные нами формулы третьего приближения для прямолинейного лезвия<sup>1</sup>:

А. Формула тангенциального усилия на резце:

$$P = \frac{B_s s^{\lambda} t^{\lambda} v^{\lambda} m H^{\lambda}}{\sin^{\lambda} \alpha - \lambda \varphi} \quad (33)$$

В. Формула рабочего момента на оси шпинделя:

$$M_p = \frac{P \cdot D_p}{2} = \frac{B_s s^{\lambda} t^{\lambda} v^{\lambda} m H^{\lambda} D_p}{2 \sin^{\lambda} \alpha - \lambda \varphi} \quad (34)$$

С. Формула скорости резания

$$v = \frac{C_{H_p}}{s^{\lambda} t^{\lambda} \sin^{\lambda} \alpha - \lambda \varphi R H^{\lambda}} = \pi D_p n \quad (35)$$

<sup>1</sup> Следует подчеркнуть, что замена наших формул любыми другими несколько не изменит хода решения задачи и всех выводов, сделанных нами в последующих главах: такая замена может отразиться лишь на точности вычисления.

В этих формулах  $\delta$  — угол резания в градусах,  $B_3$  и  $C_{Ha}$  — коэффициенты,  $R$  — множитель, выражающий технологическое влияние угла в плане (см. выше). Величина средних показателей стени и коэффициентов формул (33) и (34) приведены в табл. 6.

Таблица 6

Для формул (33) и (34)			Для формулы (35)			
	сталь	чугун		углерод-сталь	легированная сталь	чугун
$x$	0,85	0,75	$n$	0,67	0,67	0,35
$y$	0,97	0,95	$q$	0,22	0,22	0,15
$y - x$	0,12	0,2	$n - q$	0,45	0,45	0,2
$m$	0,8	1	$C$	2	1,7	1,7
$g$	0,45	0,4	$C_{Ha}$	672 000	160 000	155 000
$B_3$	0,61	0,17				

Для упрощения расчетов по формулам давления (33) и момента (34) можно принимать  $\delta$  и  $\varphi$  постоянными для данного материала, что даст соответствующую упрощенную формулу давления, годную в пределах применения этих углов:

$$P = B_4 s^{x_1} t^{y_1} H^g, \quad (33a)$$

$$M = \frac{B_4 s^{x_1} t^{y_1} H^g D \rho}{2}, \quad (34a)$$

Величина коэффициента  $B_4$  и соответствующие величины  $\delta$  и  $\varphi$ , взятые за постоянные, согласно норматив АWF, приведены в табл. 7.

Таблица 7

Материалы	Рекомендуемые АWF углы		$B_4$	$X$	$Y$	$G$
	$\delta^\circ$	$\varphi^\circ$				
Сталь углеродистая $H = 95 - 140$ . . . . .	65	45	20,5	0,85	0,97	0,45
Сталь углеродистая $H = 140 - 195$ . . . . .	73	45				
Сталь углеродистая $H = 195 - 235$ . . . . .	83	45				
Сталь легированная . . . . .	76	45	15,1	0,75	0,95	0,40
Чугун . . . . .	83	45				
Латунь . . . . .	75	60	11,3	0,80	0,95	0,42
Медное литье . . . . .	90	60	25,8	0,72	0,95	0,42
Бронза . . . . .	90	60	11,3	0,75	0,95	0,42

Эти упрощенные формулы, разумеется, рассчитаны только на те случаи, когда расчет давления производится с помощью вычислений. При пользовании номограммами (см. ниже, номограммы VII и VIII) в применении упрощенных формул нет надобности.

### 3. КРИТЕРИИ НАИВЫГОДНЕЙШИХ РЕЖИМОВ

Наивыгоднейшим режимом вообще называется такой, который приводит к наиболее экономичной обработке предмета, т. е. дает возможность обработать данный предмет с наименьшими денежными затратами, учитывая как зарплату, так и накладные расходы.

а) Метод Кроненберга. Приведенная общая формулировка наивыгоднейшего режима разными авторами конкретизируется по-разному. Так, Кроненберг принимает за наивыгоднейший режим такой, при котором достигается полное использование мощности станка и режущих свойств резца.

Так как по формулам второго приближения

$$k_s = \frac{C_{K_s}}{\sqrt[3]{f}}, \quad (36)$$

$$r = \frac{C_r}{\sqrt[3]{f}}, \quad (37)$$

то необходимая для обработки мощность станка

$$N_p = \frac{P \cdot r}{4500} = \frac{C_{K_s} \cdot C_r}{4500} \cdot \frac{f}{\sqrt[3]{f} \cdot \sqrt[3]{k_s} \sqrt[3]{f}},$$

откуда

$$N_p = C_N \sqrt[3]{f}, \quad (38)$$

где

$$C_N = \frac{C_{K_s} C_r}{4500}$$

и

$$\varepsilon_N = 1 - \frac{1}{\varepsilon_r} = \frac{1}{\varepsilon_{K_s}}.$$

Если нам дано сечение стружки  $f$ , то по формуле (38) может быть рассчитана необходимая полезная мощность  $N_p$ . Таким образом формула (38) может служить для расчета необходимой мощности при заданном режиме и тем самым для выбора станка при обработке данного предмета соответственно намеченному для него режиму. Так как в формулу  $N_p$  введена экономическая скорость резания  $v$ , т. е. скорость, соответствующая полному использованию режущих свойств резца в условиях его экономической стойкости, то формула  $N_p$  дает выражение мощности, при которой будет достигнута полная нагрузка резца.

Обратно, если нам дан станок, имеющий некоторую мощность  $N_p$ , то из уравнения (38) можно определить  $f$ :

$$f_{*} = \left( \frac{N_p}{C_N} \right)^{\frac{1}{z_N}}. \quad (39)$$

Величина  $C_N$  и  $z_N$  для разных металлов по Кроненбергу следующая:

	$C_N$	$z_N$
Для латуни . . . . .	1,74	3,82
„ хромопальцевой стали . . . . .	2,37	4,32
„ марганцевой стали $\tau_b = 40-50$ . . . . .	2,5	2,55
„ „ „ $\tau_b = 50-60$ . . . . .	2,05	2,55
„ „ „ $\tau_b = 60-80$ . . . . .	1,55	2,55
„ стального литья . . . . .	1,12	2,05
„ мягкого чугуна . . . . .	0,68	1,7
„ среднего „ . . . . .	0,5	1,7
„ твердого „ . . . . .	0,33	1,7

Это сечение стружки будет соответствовать тому случаю, когда: 1) мощность станка используется в полном объеме и в то же время 2) резец будет работать при экономической стойкости, т. е. при наиболее выгодной продолжительности работы до переточки. Такие условия работы мы называем полной одновременной нагрузкой станка и резца. Это понятие и соответствующие формулы были нами выведены впервые в мировой литературе в брошюре „Процесс резания, как единая эмпирическая формула“, 1923 г.

Сечение стружки, рассчитанное по формуле (4), Кроненберг называет экономическим, т. е. считает его наиболее выгодным при данной мощности станка. Отсюда нахождение наиболее выгодного режима по Кроненбергу сводится к расчету  $f_{*}$  по формуле (39) независимо от свойств обрабатываемого предмета и прочих конкретных условий работы. Наиболее выгодный режим зависит здесь только от мощности станка и сорта металла предмета и для всех работ этого станка по данному металлу одинаков.

Метод Кроненберга обладает рядом существенных недостатков, которые ниже будут подробно рассмотрены.

б) Метод проф. С. Ф. Глебова, предложенный автором еще в 1916 г. и преобладающий до сего времени в нашей заводской практике, принимает за наиболее выгодный режим такой, при котором снимается наибольшее количество стружки в единицу времени  $Q_H$ :

$$Q_H = s \cdot t \cdot v \quad f \cdot r = \max \quad (10)$$

или, что одно и то же,

$$Q_H = (s \cdot t \cdot \pi D)_p n = \max. \quad (11)$$

т. е. достигается наибольшая производительность. Отсюда наш метод мы называем методом наибольшей производительности.

При  $t = \text{const}$  и  $D_p = \text{const}$  выражение критерия производительности может быть упрощено. Разделив выражение (41) на  $\pi D_p \cdot t = \text{const}$ , получим:

$$L = \frac{Q_H}{\pi D_p t} = s \cdot n = s_n. \quad (42)$$

Таким образом, при  $t = \text{const}$  и  $D_p = \text{const}$  за характеристику производительности можно принять подачу  $mm$  в минуту  $L$ , равную произведению подачи на число оборотов.

В основу расчета невыгоднейшего режима наш метод ставит, во-первых, особенности обрабатываемого предмета и задаваемые последним лимиты и, во-вторых, первый и второй основные законы резания. Разберем вкратце содержание этих двух законов.

В советской литературе, кроме нашего метода, имеются еще два предложения, подвергавшиеся продолжительным дискуссиям в литературе. Это — метод Каткова и метод Орентлихера.

Общей чертой обоих методов является следование принципу Кроненберга, утверждающего, что критерием невыгоднейшего режима является достижение полной одновременной нагрузки станка и резца. С другой стороны, оба автора придерживаются ведения всего расчета по формулам третьего приближения, а не второго, как это делает Кроненберг. В то же время каждый из этих авторов имеет свои индивидуальные установки.

Д. С. Катков делает главный упор на увеличение скорости станка за счет сечений стружек, полагая, что это приведет к уменьшению износа станков. В то же время при выборе формы стружки Катков сохраняет тейлоровский порядок выбора, которого также придерживается и наш метод, именно — в первую очередь устанавливается глубина резания (по припускам), а затем уже выбирается подача.

Г. Ф. Орентлихер идет обратным путем: исходит из постоянной подачи, которую он во всех случаях и для всех работ и материалов рекомендует брать равной  $1 \text{ мм}$ , а имея готовую подачу, рассчитывает уже глубину резания, при которой достигается полная нагрузка станка и резца<sup>1</sup>.

Оба упомянутые метода, если отбросить их явные ошибки, которые нет надобности подвергать здесь особому обсуждению

<sup>1</sup> Эта установка на постоянную подачу в  $1 \text{ мм}$  явно нелепая, объясняется недоразумением, несомненно, явной ошибкой автора. Обоснование этой подачи в  $1 \text{ мм}$  Орентлихер находит в том, что при этой подаче линия станка и резца на построенной им диаграмме пересекались в одной точке, соответствующей как раз подаче в  $1 \text{ мм}$ . Однако из рассмотрения диаграммы Орентлихера становится несомненным, что если бы он проводил все свои построения по формулам, выраженным не в метрических мерах, а, например, в английских, то обе линии у него пересеклись бы на подаче, равной  $1''$ , и тогда Орентлихер с таким же правом должен был бы защищать идею универсальной «экономичности» подачи в  $1''$  (Ср. С. П. Бостреки и П. Новову «Новый» метод, «Техническое Нормирование», 1934 г., № 3, стр. 26; С. Ф. Глебков, «Новый» метод решения задачи невыгоднейшего резания, там же, стр. 23; Б. Пирожков, К вопросу о новом методе невыгоднейшего резания металлов проф. Г. Ф. Орентлихера, там же, 1935 г. № 1).

и рассмотрению, в сущности совпадают с методом Кроненберга, а в части применяемых для расчета формул — с методом третьего приближения.

#### 4. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ РЕЗАНИЯ

На основе зависимостей, известных еще со времен Тейлора, автором в свое время (в 1917 году) были формулированы следующие два основных закона резания, указывающие путь к повышению производительности.

**Первый основной закон резания.** Для достижения наибольшей производительности при обдирочной работе рекомендуется брать возможно большие сечения стружек за счет скорости резания.

Математически этот закон основывается на том, что в формулах скорости резания показатели степени при сечении стружки в среднем примерно вдвое ниже, чем при скорости резания. Вследствие этого увеличение сечения стружки в  $m$  раз приводит к повышению скорости резания по первому приближению только в  $\sqrt[m]{m}$  раз.

Технологически первый закон объясняется тем, что с увеличением стружки количество теплоты, отводимой от лезвия в единицу времени, увеличивается в гораздо большей степени, чем при увеличении скорости резания, так как в первом случае увеличивается площадь касания стружки и резца и дуга резания (длина работающей части лезвия). Это ухудшение отвода теплоты пропорционально, примерно, дуге резания. В результате ухудшения отвода теплоты температура лезвия понижается. По этой причине в эмпирической формуле температуры резания

$$t = A v^a s^d t_{III}^e \quad (43)$$

показатели  $a$  и  $e$  значительно меньше (в среднем, вдвое), чем показатель при скорости  $v$ .

Увеличение сечения стружки возможно только до пределов, выше которых действующие усилия окажутся презерными и могут вызвать дрожание резца, либо неточность обрабатываемой поверхности, либо будут недопустимы при данном способе закрепления предмета на станке.

Наибольшее допускаемое предметом сечение стружки может быть рассчитано по номограмме рис. 23, взятой нами из сборника Кефа. Аналогичные диаграммы и номограммы предложены Ноффе („Режим обдирочной стружки“), В. Назаровым („Техническое нормирование“ 1935 г. № 2, стр. 31—32) и др. Для предметов, имеющих сложный профиль, расчет более труден и в общем случае производится на основании практики и опыта. В условиях современного массового машиностроения, при работе с маленькими припусками, наибольшее сечение стружки по предмету  $f_{пр}$  обычно легко определяется в тех случаях, где

нежелательны обратные стружки <sup>1</sup>, дающие опасность заедания реза вглубь обрабатываемой чистовой поверхности предмета. В таком случае

$$f_{пр} < t^2. \quad (14)$$

Действительно, в обратных стружках при достаточно больших углах в плане имеем  $s > t$ ; соответственно для прямых стружек  $s \leq t$ ; умножая это неравенство на  $t$ , получим выражение (14).

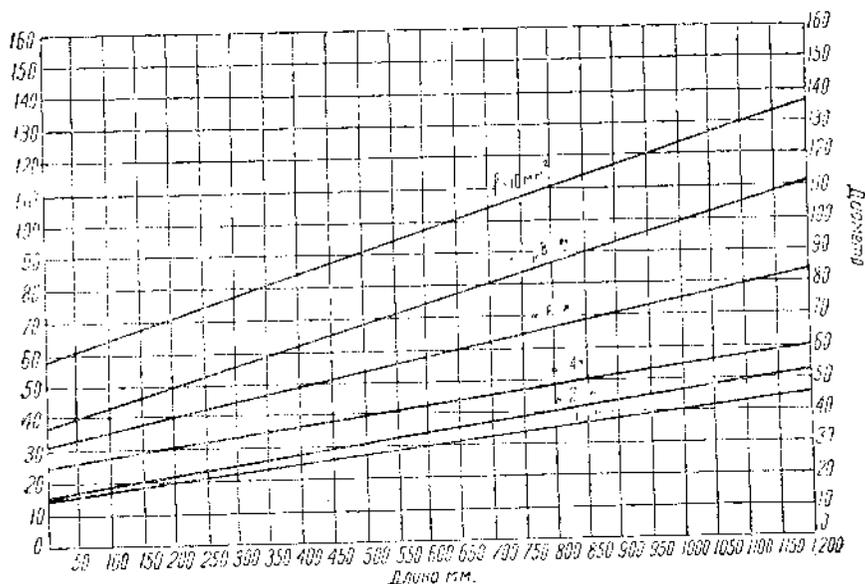


Рис. 23. Допустимые сечения стружки при обработке валов, по данным справочника Reka.

Во всяком случае, очевидно, что для каждого предмета должно иметься вполне определенное предельное сечение стружки, выше которого будут иметь место указанные отрицательные последствия.

<sup>1</sup> Обратными стружками при угле в плане  $90^\circ$  мы называем также, у которых  $s > t$ . Если  $s = t$ , стружки называются равнобедренными; если  $s < t$ , стружки называются прямыми (не смешивать со стружками прямоугольного сечения). В общем случае (при  $\varphi < 90^\circ$ ) прямыми стружками называются также, в которых толщина стружки зависит от величины подачи, а ширина — от величины глубины резания; обратными — также, в которых, наоборот, толщина зависит от глубины резания, а ширина — от подачи. При малых углах в плане, а также при больших радиусах закругления в резах с закругленным лезвием, возможны случаи, что даже при  $s > t$  стружка окажется прямой, т. е. в ней толщина стружки будет изменяться с изменением подачи. Напомним, что ширина стружки всегда измеряется по большему из двух измерений сечения стружки, толщина же — по меньшему из них, именно по направлению, кратчайшему от данной точки одной поверхности стружки до другой ее поверхности.

Результатом применения первого основного закона резания будет иметь место увеличение производительности пропорционально  $f^{-p}$ , где  $p$  — показатель степени при  $f$  в формуле второго приближения.

Например, если мы увеличиваем  $f$  с  $2 \text{ мм}^2$  до  $10 \text{ мм}^2$ , т. е. в пять раз, а  $p$ , например, равно 0,42 (как это принимает АWF для стали), то производительность, несмотря на соответствующее падение скорости резания, увеличится в  $5^{0,42} = 2,54$  раза.

Второй основной закон резания. Форму сечения стружки (при данной площади сечения) следует выбирать по возможности большей ширины за счет толщины стружки. Отсюда следует, что при данной площади сечения следует по возможности увеличивать глубину резания за счет подачи и уменьшать угол в плане.

Математически второй закон обосновывается тем, что в формулах скоростей резания показатель степени при подаче втрое больше, чем при глубине резания. Вследствие этого, увеличение глубины резания в  $m$  раз при одновременном уменьшении подачи тоже в  $m$  раз приводит к увеличению скорости резания а следовательно, и производительности, в  $m^{u-q}$  раз.

Например для стали  $u = 0,67$ ;  $q = 0,22$  и  $m^{0,67-0,22} = m^{0,45}$ .

Технологическое объяснение второго основного закона резания заключается в том, что с увеличением глубины резания за счет подачи в прямых стружках быстро увеличивается длина рабочей части лезвия, а следовательно, и отвод теплоты. В результате этого температура резания понижается и позволяет получить соответствующее повышение скорости резания. Понижение температуры резания с увеличением глубины резания за счет подачи доказывается также и формулой (43), где показатель степени  $d$  при подаче в среднем втрое больше показателя  $e$  при глубине резания.

Выгодность уменьшения угла в плане объясняется с одной стороны теми же причинами, именно, увеличением длины лезвия обратно пропорционально  $\sin \varphi$ , т. е. вследствие геометрических соотношений (геометрическое влияние угла в плане). С другой стороны, при больших углах в плане к этому добавляется влияние затрудненного стружкообразования на побочном лезвии, вследствие чего возрастают усилия резания и температура лезвия (технологическое влияние угла в плане).

Ограничения второго закона резания заключаются в 1) размере припуска на обработку, ограничивающего увеличение глубины резания, 2) в дрожании резца, более легко возникающего при широких и тонких стружках, а также при малых углах в плане, 3) в опасностях порчи обрабатываемой поверхности вследствие заедания резца вглубь предмета при малых углах в плане и 4) в необходимости в некоторых случаях увеличивать число проходов для обеспечения требуемой степени точности обработки.

## 5. ВЫБОР НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ДЛЯ ДАННОГО ПРЕДМЕТА

Как сказано было выше, в основу установления наивыгоднейшего режима по нашему методу кладутся особенности обрабатываемого предмета и оба основных закона резания.

Поскольку первый основной закон требует работать с возможно наибольшими сечениями стружки, установление режима следует начинать с выяснения того, какое наибольшее сечение стружки возможно взять для обработки данного предмета. Расчет ведется, пользуясь графиками, подобными номограмме 1 или, для сложных конструкций предмета, на основе опыта и аналогий.

Каждое изделие, в зависимости от его размеров, конструкции, припуска на обработку, требуемой точности обработки и качества получаемой поверхности, допускает вполне определенные пределы увеличения сечения стружки. Длинные и тонкие предметы при больших сечениях стружки дрожат и прогибаются. Отливки и поковки с маленькими припусками вообще не нуждаются в больших сечениях стружки, и если исключить применение для данного случая обратных стружек, предельное сечение определится как квадрат припуска на обработку (за вычетом чистой стружки), а при необходимости двух проходов предельное сечение окажется равным четверти этого квадрата припуска. Предметы, требующие после прохода резца точности и чистоты тоже не допускают чрезмерно больших сечений.

Далее, предметы, трудно закрепляемые, неудобные для установки, обрабатываемые на весу, тонкостенные, ажурной конструкции — не допускают тяжелых стружек. Для каждого предмета существует некоторый предел увеличения сечения стружки по тем или другим основаниям.

Так как второй закон резания требует брать возможно большую ширину стружки за счет толщины, то увеличение сечения стружки должно достигаться в первую голову увеличением глубины резания, а затем уже, при наибольшей глубине, выбирать настолько большую подачу, чтобы полученное сечение стружки по возможности в наибольшей мере приближалось к предельному допускаемому в данных условиях, т. е. для данного предмета. Так как пределом увеличения глубины резания является припуск на обработку, то, руководствуясь общими законами резания, следует свести его возможно меньшим количеством проходов, а где возможно — даже с одного прохода, если получаемая точность и качество поверхности окажутся в достаточной степени удовлетворительными и будет избегнута дрожание резца.

В целях наглядности возьмем следующий частный пример.

Требуется обработать кованый стальной вал твердостью по Бринеллю  $H = 141$ , диаметром  $D = 160$  мм и длиной 1600 мм, имеющий припуск на обработку 16 мм, причем на чистовую стружку следует оставить по 1 мм на сторону. Работа ведется

быстрорежущим резцом, имеющим прямолнейное лезвие, без воды.

Согласно рис. 23, для такого вала допускается наибольшее сечение стружки  $f_{np} = 10 \text{ мм}^2$ . Обработку ведем с одного черного прохода, следовательно глубину резания определяем в  $16:2-1 = 7 \text{ мм}$ , т. е.  $t_{np} = 7 \text{ мм}$ .

Теперь выбираем наибольшую подачу, возможную при глубине резания  $7 \text{ мм}$ , с тем, чтобы 1) площадь сечения стружки не превысила  $10 \text{ мм}^2$ , для чего подача не может быть больше  $10:7 = 1,42 \text{ мм}$ . Следовательно  $s_{np} = 1,42 \text{ мм}$ . Обратная стружка при этом не получится, так как  $s_{np} < t_{np}$ . Знаки  $_{np}$  означают, что данные факторы выбраны по предмету, т. е. как наиболее выгодные для данного предмета.

Взяв здесь подачу  $1,42 \text{ мм}$  и глубину резания  $7 \text{ мм}$ , мы полностью удовлетворили требованиям и первого, и второго законов резания, так как мы здесь получим и наибольшее возможное для данного предмета сечение стружки, и наибольшую возможную глубину резания при данной площади сечения.

Выбираем затем угол в плане  $\varphi_{np}$ , который по второму закону должен иметь наименьшую возможную величину. Выбор  $\varphi_{np}$  должен гарантировать отсутствие дрожаний и подлежащую точность и качество поверхности обработки, каковые требования ставят известный предел уменьшению  $\varphi$ .

Тейлор употреблял в некоторых случаях своей практики угол в плане  $10-15^\circ$ , получая наилучшие условия стойкости резца. В практике обычно применяются углы  $45-60^\circ$ , для подрезных работ  $90^\circ$ , редко употребляются углы  $30^\circ$ . Уменьшение углов в плане имеет ту отрицательную сторону, что увеличивает давление на резец, а также радиальную составляющую давления, увеличивает опасность появления дрожаний и опасность заедания резца в направлении, перпендикулярном оси предмета, т. е. наиболее опасном в отношении чистоты и точности обработки. Если эти отрицательные стороны несущественны для данной работы или они остаются в пределах допустимого, очень выгодно в отношении стойкости резца и его производительности брать наименьший угол в плане, доводя его даже до  $10-15^\circ$ .

В практике, однако, редко встречаются углы  $\varphi < 30^\circ$ , если работа производится одним резцом, как это бывает обычно.

Пусть в нашем примере наиболее выгодный угол в плане  $\varphi_{np} = 30^\circ$ . Мы, следовательно, установили окончательно форму и размеры стружки:

$$s_{np} = 1,42 \text{ мм}; t_{np} = 7 \text{ мм}; \varphi_{np} = 30^\circ.$$

Теперь нам остается найти последнюю составную часть режущего — скорость резания, соответствующую качеству обрабатываемого металла, с одной стороны, и сорту того инструмента, с которым намечено вести работу, исходя из экономической

стойкости реза. Этот расчет производится по формулам, о выборе которых нами подробно говорится в другом месте книги. Воспользуемся, например, формулой Тейлора-Глебова для прамоллинейных резцов:

$$v_{np} = \frac{672000}{1,42^{0,67} \cdot 7^{0,22} \cdot 144^2 \cdot \sin^{0,46} 30^\circ} = 25 \text{ м/мин.}$$

Найденный нами режим является с точки зрения производительности наиболее выгодным режимом, какой вообще возможен при обработке данного предмета в условиях заданного общего технологического процесса. Как бы мы ни меняли форму и размер стружки и соотношение сечения стружки со скоростью резания — нам не удастся повысить полученную производительность. Условимся для сокращения называть этот режим „абсолютным режимом“ для данного предмета, с тем, чтобы в дальнейшем сравнивать с ним фактические режимы на станке.

## 6. ВЫБОР СТАНКА ДЛЯ РАБОТЫ

Найденный нами „абсолютный режим“ позволяет установить требования, которые следует предъявить ко всякому станку, заданному или выбранному для выполнения данной работы. Чем полнее нам удастся осуществить на станке „абсолютный режим“, тем более данный станок удовлетворяет нашей задаче.

а) Требуемое число оборотов. По найденной выше  $v_{np}$  и диаметру предмета  $D_{np} = 160 \text{ мм}$ , находим

$$n_{np} = \frac{v_{np}}{\pi D_{np}} = \frac{25}{3,14 \cdot 0,16} = 50 \text{ об/мин.}$$

Станок должен дать нужное число оборотов  $n_c$  по возможности не меньше и не больше, т. е. 50 об/мин.

Надо помнить, что увеличение (или уменьшение) скорости резания даже на 10% приводит к потере (или к росту) стойкости реза в 2 раза.

б) Станок по своей конструкции должен позволить нам при выбранной  $t_{np} = 7 \text{ мм}$  взять желаемую подачу  $s_{np}$ , т. е. подача, допускаемая общей конструкцией станка  $s_c$ , должна быть не меньше  $s_{np}$ . На каждом станке имеется некоторый общий предел увеличения усилий в зависимости от: 1) прочности наиболее слабых звеньев станка, чаще всего — механизма подачи, например ременной шестерни, 2) конструкции станка и его назначения, именно точности и характера работы, для которой он предназначен, и 3) условий нормального износа его ответственных деталей (подшипников, салазок и т. п.), причем величина этого нормального износа зависит, в свою очередь, от п. 3-го (т. е. от требуемой степени точности работы) и от высоты расходов на капитальный ремонт и амортизацию станка. Вопрос о расчете этого предельного усилия по конструкции станка (обозначим его через  $P_c$ ) в литературе и практике в настоящее время очень слабо разработан. Для обычных старых

станков его рассчитывали по прочности реечной шестерни, вообще по прочности механизма подачи, для новейших сложных, дорогих станков точной работы он уже не годится, ибо ведет к чрезмерно ускоренному разрушению станка и, повидимому, не оправдывается расходами на ремонт и амортизацию. Но, так или иначе, мы должны исходить и в теории, и на практике из некоторого предельного для данного станка усилия  $P_c$ , оставляя пока в стороне вопрос о методах его расчета для каждого отдельного станка.

Величина усилия  $P_c$ , допускаемого станком, должна быть не меньше  $P_{np}$ , т. е. рабочего усилия на резце

$$P_c \geq P_{np}$$

Усилие  $P_{np}$  может быть рассчитано по любой формуле давления на резец, в частности по нашей формуле третьего приближения:

$$P_{np} = \frac{B_s s_{n''}^x t_{n''}^y H^k D^m}{\sin^y \alpha \sqrt[3]{\varphi_{np}}} \quad (45)$$

Для нашего примера

$$P_{np} = \frac{0,61 \cdot 1,42^{0,85} \cdot 7^{0,97} \cdot 144^{0,45} \cdot 70^{0,8}}{\sin^{0,12} 30^\circ} = 1630 \text{ кг.}$$

Величина  $P_c$ , если речь идет о прочности реечной или другой шестерни, может быть рассчитана исходя: а) из наибольшего усилия, допускаемого на зуб реечной шестерни  $P_m$ , б) трения, имеющего место между станиной и кареткой, и в) известного условного соотношения между осевой ( $P_x$ ) и тангенциальной ( $P_t$ ) составляющими давления.

Для целей эксплуатации станка можно для средних станков приблизительно принять, что трение каретки по станине в среднем составляет 20%  $P_2^1$  и что осевое усилие составляет 25%  $P_2$ . Никольсон принимал 26%, что практически не составляет разницы. Тогда усилие на зуб шестерни  $P_u$  будет равно

$$P_u = 0,20 P_2 + 0,25 P_2 = 0,45 P_2.$$

Так как в данном случае  $P_2 = P_{np}$ , то есть усилию, рассчитанному по „абсолютному“ режиму, то

$$P_{np} = \frac{P_u}{0,45} = 2,2 P_u. \quad (46)$$

<sup>1</sup> Коэффициент 0,20 можно получить следующим примерным расчетом. Коэффициент трения чугуна по чугуна 0,15. Сила давления каретки на станину определяется величиной равнодействующей сил  $P_u$  и  $P_2$ ; считая  $P_u = 0,7 P_2$ , найдем, что равнодействующая этих двух сил равна 1,22  $P_2$ . Принимаем вес каретки и супорта в среднем равным 10% от равнодействующей, получим суммарное давление 1,22 + 0,1  $P_2 = 1,34 P_2$ . Относим эту величину к  $P_2$ , получим относительный коэффициент трения 0,15 · 1,34 = 0,20. Более точно этот расчет может быть произведен лишь для данной формы сечения направляющих станины и данного веса каретки и супорта; однако, в таком уточнении расчета вряд ли встретится необходимость.

Величину  $P_{ш}$  обычно рассчитывают по формуле Левиса (Lewis). Так как скорость по ободу шестерен фартука станка близка к нулю, то формула Левиса для этого случая может быть представлена в следующем простом виде:

$$P_{ш} = K t_{ш} b \cdot R_b, \quad (47)$$

где  $t_{ш}$  — шаг шестерни в мм,  $b$  — длина зуба в мм,  $R_b$  — допускаемое напряжение в кг/мм<sup>2</sup> материала, из которого изготовлена шестерня, а коэффициент  $K$  определится из следующей коротенькой таблицы, в зависимости от числа зубцов шестерни  $z$ :

$z =$	12	13	14	15	16	17	18
Для эв. 15°	0,067	0,070	0,072	0,075	0,077	0,080	0,083
" " 20°	0,078	0,083	0,088	0,092	0,094	0,096	0,098
$z =$	19	20	21	23	25	Рейка	
Для эв. 15°	0,087	0,090	0,092	0,094	0,097	0,124	
" " 20°	0,100	0,102	0,104	0,106	0,108	0,154	

Что касается допускаемого напряжения зуба шестерни на изгиб  $R_b$ , то для серого чугуна Левис допускает напряжение 5,63 кг/мм<sup>2</sup>, для стали 14 кг/мм<sup>2</sup>.

Для шестерен с корригированными и укороченными зубцами допускаемое напряжение может быть несколько увеличено, особенно для шестерен с очень малым числом зубцов (10—15). Однако, надо учитывать затруднительность на практике установления типа корригирования и возможность здесь ошибок и недоразумений, особенно при недостаточной квалификации паспортизаторов.

Новейшие экспериментальные данные, приводимые Бэкингом, дают более высокие допускаемые напряжения против Левиса (см. таблицу 8).

Пусть, например, модуль реечной шестерни 4, длина зуба 40 мм,  $H_B = 250$ , число зубцов 12, зацепление эвольвентное 20°. Тогда  $t_{ш} = 4 \pi = 12,5$  мм;  $K = 0,078$ .

$$P_{ш} = 0,078 \cdot 12,5 \cdot 40 \cdot 35,3 = 1378 \text{ кг.}$$

Этим же способом можно рассчитывать и прочность рейки.

Проф. Никольсон еще в 1911 г. указал, что расчет по способу Левиса для малых скоростей, т. е. в частности для шестерен механизма подачи, дает значительно преуменьшенные допускаемые напряжения; к тому же способ Левиса исходит из предположения, что в зацеплении участвует только один зуб. По этим основаниям проф. Никольсон предложил свою поправку в формуле Левиса, которую мы в свое время рекомендовали применять при расчете прочности механизма подачи (см. Глебов, Искусство наилучшей обработки металлов, 1927 г.).

О том, что расчет прочности шестерен по Левису дает заниженные допускаемые усилия (а следовательно, и заниженные



шей шестерни,  $\gamma$  — отношение зубцов сцепляющихся шестерен. Для наглядности проф. Никольсон приводит таблицу величины  $m$  (см. табл. 9).

Таблица 9

Отношение сцепляющихся шестерен	$z =$			
	10	15	20	25
1:1	1,23	1,504	1,74	1,945
2:1	1,42	1,738	2,01	2,245
4:1	1,555	1,905	2,2	2,468
6:1	1,61	1,972	2,28	2,545
8:1	1,64	2,01	2,32	2,59
10:1	1,66	2,03	2,345	2,62
рейка	1,74	2,13	2,46	2,75

Последняя строка таблицы (для рейки) рассчитана нами из допущения  $z = \infty$ .

Для промежуточных чисел зубцов реечной шестерни коэффициент следующий:

$z =$	10	11	12	13	14	16	18	20	22	25
$m =$	1,74	1,83	1,91	1,98	2,06	2,20	2,34	2,46	2,58	2,75

Для нашего примера при  $z = 12$  для реечного зацепления  $m = 1,9$ , следовательно, допускаемое усилие на зуб реечной шестерни  $P_w$  будет по Никольсону равно

$$P_w = 1378 \cdot 1,9 = 2620 \text{ кг.}$$

Тогда

$$P_c = 2,2 P_w = 2,2 \cdot 2620 = 5760 \text{ кг.}$$

т. е. в данном случае

$$P_c > P_{np}$$

так как  $P_{np}$ , как выше было найдено, равно 1630 кг.

В последнее время выпущена литографированная «Инструкция Оргаметалла по пересмотру паспортов металлорежущих станков», Москва, 1936, в которой методика расчета рекомендуется несколько иная. Особенности этой методики следующие: 1) не учитывается трение каретки, что следует считать ошибочным, тем более, что фактически сила трения каретки по станине, обычно, значительно превышает величину осевой силы (так как нередко последняя составляет ничтожную величину); 2) учитывается корригирование и укорочение зуба, что в нашем расчете для упрощения техники паспортизации принимается необязательным; 3) допускаемые напряжения материала берутся не по новейшим данным Бакингема, а по устаревшим данным Левиса и 4) отвергается и не учитывается «поправка Никольсона», что дает в результате повышение допускаемых усилий в 1,75—2 раза. Так как по первому пункту наших замечаний

расчет, предлагаемый Инструкцией Оргаметалла, дает примерно такую же ошибку в обратную сторону, то в конечном счете метод, рекомендуемый этой Инструкцией, приводит для реечной шестерни к результатам, численно совпадающим с нашим методом расчета.

Так, для примера, приводимого в Инструкции Оргаметалла (стр. 129):  $z = 12$ ;  $m = 3,5$  мм;  $b = 35$  мм, ковкая сталь, метод Оргаметалла даст допускаемое тангенциальное усилие на резе

$$P_c = 4 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 35 \cdot 0,078 \cdot 17,5 = 2100 \text{ кг.}$$

По нашему методу, если принять то же самое допускаемое напряжение материала  $17,5 \text{ кг/м.м}^2$ ,

$$P_c = 2,2 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 35 \cdot 0,078 \cdot 17,5 \cdot 1,9 = 2200 \text{ кг.}$$

Если для допускаемого напряжения воспользоваться данными Бэкингема, полученная цифра  $P_c$  значительно возрастет.

Инструкция Оргаметалла относится с некоторым скептицизмом к „поправке Никольсона“ и требует ее предварительной экспериментальной проверки (стр. 9 Инструкции). Между тем, сделанное нами сопоставление показывает, что авторы Инструкции фактически применяют эту поправку, не вводя ее формально в свой расчет. Поскольку заводская практика обычно ведет свои расчеты аналогичными методами и при этом получает достаточные запасы прочности, даже перекрываемые стахановскими режимами, надо вывести заключение, что все имеющиеся место возражения против применения „поправки Никольсона“ не имеют под собой абсолютно никакого основания<sup>1</sup>.

в) На той комбинации скоростей, которая дает нульное нам число оборотов  $n_c \approx n_{np}$ , станок должен давать момент  $M_c$  не ниже  $M_{np}$ , который требуется для осуществления абсолютного режима:

$$M_c \gg M_{np}; \text{ т. е. } K_n \ll 1.$$

Величина  $M_{np}$  рассчитывается по формуле:

$$M_{np} = P_{np} \cdot \frac{D_p}{2}.$$

Для нашего примера

$$M_{np} = 1630 \cdot \frac{0,16}{2} = 130 \text{ кг м.} \quad (49)$$

<sup>1</sup> Изложенное убеждает нас в том, что рекомендуемый той же Инструкцией метод расчета на прочность шестерен коробки скоростей без „поправки Никольсона“ дает чрезмерно пониженные цифры допускаемых напряжений (в 1,5-2 раза) и, следовательно, неизбежно ведет к заниженным режимам. И если инструкция требует при этом полного и детального расчета предельных крутящих моментов на всех скоростях не только по ремню, но и по прочности всех шестерен, то при наличии ременной передачи в станке подобный расчет надо признать совершенно излишним. На то в станке и ременная передача, чтобы гарантировать коробку скоростей от поломок. Дело конструктора станка при проектировании последнего позаботиться достаточным запасом прочности во всей жесткой части передач; зачем осложнять этим делом работу паспортизаторов.

г) Давая определенное число оборотов  $n_c$  и при этом предельный крутящий момент  $M_c$ , станок развивает полезную мощность

$$N_c = \frac{M_c \cdot n_c}{716,2}, \quad (50)$$

причем требуется, чтобы

$$N_c \geq N_{np}.$$

Если бы станок давал возможность при данной своей мощности  $N_c$  получать любое число оборотов  $n_c$ , то нам можно было бы при установлении требований к станку ограничиться требованием, чтобы станок развивал мощность не ниже  $N_{np}$ , а последняя будет равна:

$$N_{np} = \frac{M_{np} \cdot n_{np}}{716,2} = \frac{P_{np} \cdot v_{np}}{4500}. \quad (51)$$

Для нашего примера

$$N_{np} = \frac{1630,25}{4500} = \frac{130,50}{716,2} = 9,1 \text{ л. с.}$$

Тогда пункты (а) и (б) заменились бы одним пунктом (г). Это могло бы иметь место, например, для станков, снабженных гидравлическим приводом. Для обычных станков, где числа оборотов дают довольно большие интервалы, особенно для станков ступенчатошпинных, где на каждой ступени к тому же разная мощность, требовать от станка только заданной мощности  $N_c > N_{np}$  недостаточно, необходимо иметь также конкретное разложение этой мощности на  $n_c$  и  $M_c$  причем  $n_c$  должно быть близким к требуемому  $n_{np}$ , а  $M_c$  — не меньше требуемого  $M_{np}$ . В этих случаях необходимо весь расчет режима вести исходя не из мощности, а из ее составных элементов ( $n_c$  и  $M_c$ ) в отдельности<sup>1</sup>.

д) Станок должен по своей кинематике дать требуемую подачу  $s_{np} = 1,12$  мм. Мы будем в дальнейшем для упрощения предполагать, что станок может нам дать любую нужную подачу.

## 7. ВЫБОР РЕЖИМА ПРИ ЗАДАНОМ СТАНКЕ

При заданном станке приходится считаться с теми возможными ограничениями, которые налагает конструкция станка. Эти ограничения могут лежать в недостаточной мощности, в слабости механизма подачи, в выборе имеющихся комбинаций скорости и т. д. Эти ограничения могут вынудить некоторые изменения в намеченном выше «абсолютном» режиме. В результате таких изменений режима, очевидно, должна измениться и производительность. Чтобы судить о степени этого изменения,

<sup>1</sup> Метод Кроненберга при расчете режима исходит как раз из мощности, а не из  $M_c$  и  $n_c$ . Этот путь решения приводит неизбежно к неправильным выводам об условиях использования станка.

нужно сравнить производительность „абсолютного режима“ с производительностью „фактического режима“.

Производительность „абсолютного режима“ или „абсолютная производительность“ может характеризоваться или количеством снятой стружки в единицу времени  $Q_{np}$  или подачей в мм/мин  $L$ . Для нашего примера имеем:

$$\begin{aligned} Q_{np} &= 1,42 \cdot 72,5 = 25 \text{ см}^3/\text{мин.} \\ L_{np} &= 1,42 \cdot 50 = 71 \text{ мм/мин.} \end{aligned}$$

Это есть наивысшая производительность, вообще возможная для данного предмета в условиях данного технологического процесса.

Если фактический режим, возможный на станке в связи с налагаемыми станком ограничениями, обозначим через  $s_{\phi}$ ;  $t_{\phi}$ ;  $\varphi$ ;  $v_{\phi}$ ;  $n_{\phi}$ , то отношение фактической производительности к наивысшей или „абсолютной“ выразится коэффициентом производительности  $K_n$ :

$$K_n = \frac{Q_{\phi}}{Q_{np}} = \frac{L_{\phi}}{L_{np}} = \frac{s_{\phi} \cdot n_{\phi}}{s_{np} \cdot n_{np}} \quad (52)$$

Величина  $K_n$  позволяет наглядно видеть, в какой степени нам удастся на заданном станке достигнуть „абсолютной производительности“, т. е. тех результатов, которые являются наиболее выгодными для обработки данного предмета.

В отношении располагаемой на заданном станке мощности, выбор станка для данной работы может привести к трем возможным случаям, которые мы разберем каждый в отдельности.

А. Мощность заданного станка больше требуемой. Тогда:

1) „абсолютный режим“ окажется полностью осуществимым (предполагая, конечно, что  $s_c \gg s_{np}$  и станок по своей кинематике может дать требуемые  $s_{np}$  и  $n_{np}$ ),

2) при этом резец будет работать с полной нагрузкой, т. е. при экономической стойкости (так как  $n$  рассчитана исходя из этого условия),

3) станок никогда не будет нагружен полностью, что является следствием избытка в нем мощности,

4) производительность станка будет равна производительности абсолютного режима, т. е. будет наибольшей возможной для данного предмета.

Суммируя эти положения, можно сказать, что в случае избытка мощности мы будем иметь осуществление наибольшей „абсолютной“ производительности при полной нагрузке резца, но неполной нагрузке станка. Наглядный пример подобного случая см. ниже в табл. 10 для станка 10 л. с.

Случай некоторого, хотя бы незначительного превышения заданной мощности против требуемой, очевидно, должен считаться самым нормальным и естественным случаем заводской практики при правильно подобранном станочном парке. Было бы

очень печально для производительности наших заводов, если бы преобладающим явилось обратное: массовая нехватка мощности против требуемой.

В. Мощность заданного станка в точности равна требуемой. Этот случай отличается от предыдущего только тем, что при осуществлении „абсолютного“ режима мы достигнем полной нагрузки станка. Условия, осуществляемые в этом идеальном случае, можно формулировать так: достижение наибольшей („абсолютной“) производительности при полной одно-временной нагрузке станка и реза.

Отсюда вывод: сочетание полной нагрузки станка и реза с наибольшей производительностью возможно только в том редком случае, когда станок имеет мощность, в точности равную требуемой. При избытке мощности возможно второе („абсолютная“ производительность), но невозможно первое (полная нагрузка станка и реза). При недостатке мощности, как сейчас увидим, наоборот, возможно первое, но невозможно второе.

С. Мощность станка меньше требуемой. Здесь, как бы мы ни комбинировали разные скорости резания с разными сечениями стружки, т. е. какое бы ни брали разделение мощности на силу и скорость, на момент и число оборотов, мы никогда не сможем достигнуть „абсолютного режима“ и „абсолютной производительности“.

В формуле

$$N_{np} = \frac{M_{np} \cdot n_{np}}{716,2} > N_c \quad (53)$$

нам приходится выбирать одно из двух:

1) либо взять  $M_c$  шже  $M_{np}$ , т. е. жертвовать сечением стружки, сохраняя скорость (все остальное, от чего зависит  $M_{np}$ , не может изменяться в зависимости от нашего желания), причем мы можем здесь искать „полной одновременной нагрузки станка и реза“, но при пониженной против „абсолютного“ режима производительности;

2) либо взять  $n_c$  меньше  $n_{np}$ , т. е. жертвовать скоростью резания при сохранении сечения стружки, работая в данном случае при полной нагрузке станка, но при неполном использовании реза, также с пониженной производительностью.

Возможно еще третье решение задачи. Именно, увеличивая  $n$  за счет одновременного снижения  $M$ , мы можем достигнуть такого соотношения между  $M$  и  $n$ , при котором резец будет работать при полной нагрузке, т. е. при экономической стойкости. Это окажется возможным благодаря тому, что увеличение скорости резания по первому закону гораздо вреднее отзывается на стойкости реза, чем такое же увеличение сечения стружки. Между тем, увеличивая  $n$ , скажем, в два раза, мы должны будем, чтобы осталось в пределах той же мощности, уменьшить  $M$  тоже в два раза, для чего сечение стружки должно быть понижено (по первому приближению) также в два раза. Очевидно, подобная операция увеличения скорости за счет сечения стружки быстро приведет нас к полной нагрузке реза, а так как мы

во всех комбинациях остаемся при полном использовании мощности станка, то рассматриваемое третье решение задачи даст нам полную одновременную нагрузку станка и резца, т. е. будет осуществлен принцип, требуемый методом Кроненберга.

Однако это осуществление требования Кроненберга достигается за счет глубокого нарушения первого основного закона резания, а следовательно, за счет неизбежного понижения производительности.

Первый метод в последнее время получил название скоростного, третий — силового<sup>1</sup>.

Оба метода ведут к значительному понижению производительности против „абсолютной“ т. е.  $K_n$  будет в обоих случаях значительно меньше 1. При этом для скоростного метода  $K_n$  будет несколько ниже, чем для силового, так как помимо недостатка мощности скоростной метод к тому же еще нарушает первый основной закон резания. При обоих методах потери производительности будет тем больше, чем больше разрыв мощностей.

## 8. РАЗБОР ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕРА ИЗБЫТОЧНОЙ И НЕДОСТАТОЧНОЙ МОЩНОСТИ СТАНКА

Разберем на конкретном примере соотношения, имеющие место как при избыточной, так и при недостаточной мощности станка. Пусть нам дан станок потезной мощностью 9,5 л. с. При работе быстрорежущим резцом он будет иметь небольшой избыток мощности (для „абсолютного“ режима требуется 9,1 л. с.), при работе победитом его мощность окажется резко недостаточной (считая, что победит допускает удвоенные скорости резания).

В табл. 1 приведена сводка расчетов для всех комбинаций скоростей, как для быстрорежущего резца (верхняя часть таблицы), так и для победита (нижняя часть), именно, числа оборотов станка  $n_s$ , предельные полезные крутящие моменты  $M_s$ , затем четыре подачи, определяемые следующим расчетом:

1) наибольшая подача  $s_{пр}$ , допускаемая обрабатываемым предметом, рассчитывается по графику № 1 и корректируется на основании опыта и аналогии с подобными предшествующими работами,

2) наибольшая подача  $s_p$ , допускаемая прочностью станка и общей его конструкцией, рассчитывается, исходя из наибольшего

<sup>1</sup> Как ясно из изложенного, вся дискуссия о силовом и скоростном методах может относиться не ко всем случаям практической работы на станках, а только к работе на маломощных станках, чего обычно не учитывают и не замечают участники этой дискуссии. Точно так же обычно неправильно понимают скоростной метод не как метод полной одновременной нагрузки станка и резца, а как метод максимального и неограниченного повышения скоростей резания за счет сечений стружки. Эти две ошибки в понимании скоростного метода могут повести к опасным практическим извращениям в назначении режимов.

тангенциального усилия на резце  $P_c$  (см. выше), допускаемого прочностью механизма подачи, и корректируется на требования в отношении нормального износа и точности работы станка. Расчет можно произвести по нашей формуле:

$$s_c = \left[ \frac{P_c \cdot \sin^{y-x_\varphi}}{B_0 l^y H^k \delta^m} \right]^{\frac{1}{x}}; \quad (54)$$

3) наибольшая подача  $s_M$ , допускаемая предельным полезным крутящим моментом станка  $M_c$ , рассчитывается по формуле

$$s_M = \left[ \frac{2M_c \sin^{y-x_\varphi}}{B_0 l^y H^k \delta^m D} \right]^{\frac{1}{x}}; \quad (55)$$

4) наибольшая подача  $s_p$ , допускаемая при данном  $n_c$  режущими свойствами резца при условии достижения его экономической стойкости, рассчитывается по формуле

$$s_p = \left[ \frac{C}{\tau D n_p n_c^k H^c \sin^a - a_c R} \right]^{\frac{1}{a}}. \quad (56)$$

Показатели степени и коэффициенты для всех этих формул были даны выше.

Далее, в табл. 1, приведена экономическая, т. е. наиболее выгодная в данных условиях, подача  $s_{эк}$ , равная наименьшей из подач  $s_{np}$ ,  $s_c$ ,  $s_M$  и  $s_p$ .

Очевидно, на данной комбинации скоростей мы не можем превзойти эту  $s_{эк}$ , иначе у нас либо предмет даст дрожания и неудовлетворительное качество поверхности, либо поломаются какая-либо ответственная деталь станка (или стапок изнаются раньше времени), либо ремень не сможет вести, либо, наконец, резец не будет работать с экономической стойкостью.

В следующей колонке дана  $s_{ф}$ , именно, ближайшая к  $s_{эк}$  даваемая кинематикой данного станка. Для упрощения в нашем примере мы предположили, что станок может нам дать все требуемые подачи, т. е. везде  $s_{ф} = s_{эк}$ .

Далее, приведена характеристика производительности станка, выражаемая подачей в *мм/мин*.  $L_{ф} = s_{ф} \times n_c$ , а также коэффициент производительности  $K_n$ , найденный делением  $L_{ф}$  из предыдущей колонки на  $L_{np}$  из „абсолютного режима“, т. е.

$$K_n = \frac{s_{ф} n_c}{s_{np} n_{np}}, \quad (57)$$

дающий возможность судить о степени приближения к наиболее выгодным условиям „абсолютного режима“.

Рассматривая полученные соотношения, приходим к выводу, что на 2-й комбинации теоретически достигается полная одно-временная нагрузка станка и резца ( $s_p = s_M = 3,2$  мм), т. е. режим, соответствующий „скоростному“ методу, но он фактически неосуществим, так как предмет допускает подачу не выше

$s_{pp} = 1,42$  мм, вследствие чего на 2-й комбинации приходится брать подачу 1,42 мм. Это является неизбежным следствием избытка мощности в станке. Как видим, даже небольшое увеличение мощности станка (всего на 10%) приводит к значительному расхождению между  $s_{\phi}$  и  $s_p = s_M$  (в  $2\frac{1}{2}$  раза).

На 4-й комбинации мы достигаем наибольшей производительности ( $L = 66$ ), равной 93% абсолютной производительности ( $K_n = 0,93$ ). Она достигается при неполной нагрузке станка, что объясняется тем же избытком мощности. Этот режим ( $s_p = 1,42$ ;  $n_c = 56$ ) соответствует „силовому“ методу.

В табл. 10 следует обратить внимание на то, что на первой комбинации  $s_M < s_p$ , на второй  $s_M = s_p$ , а на следующих везде  $s_M > s_p$  и  $s_{\phi}$  устанавливается уже по  $s_M$ . Точно так же для победы сперва  $s_M < s_p$ , затем на 9-й комбинации они уравниваются („скоростной“ режим), после чего  $s_M$  начинает превышать  $s_p$ . Это является следствием того, что  $s_p$  растет (или падает) обратно пропорционально числам оборотов  $n_c$  в степени  $\frac{1}{x}$ , а  $s_M$  растет пропорционально моментам  $M_c$  в степени  $\frac{1}{x}$ , между тем  $\frac{1}{n_c}$  всегда значительно больше, чем  $\frac{1}{x}$ , а потому  $s_p$  растет быстрее, чем  $s_M$ , особенно при обработке чугуна.

Совсем другое дело получается при работе на том же станке победитом. Здесь необходимая мощность ( $9,1 \cdot 2 = 18,2$  л. с.) уже резко превышает располагаемую на станке (10 л. с.), следовательно станок имеет недостаточную мощность. Как видим из таблицы, коэффициент производительности  $K_n$  сразу резко снижается и в лучшем случае (по режиму „силового“ метода) составляет только 0,56, т. е. производительность окажется даже по силовому методу почти вдвое ниже „абсолютного“ режима, очевидно, вследствие маломощности станка.

Для победыта полная одновременная нагрузка станка и резца („скоростной“ режим) достигается на 11-й комбинации, при  $s_p = 0,09$  и  $n_c = 605$ , что соответствует  $K_n = 0,38$ . Следовательно, в этом случае производительность составит только  $\frac{1}{3}$  по сравнению с абсолютным режимом и в  $1\frac{1}{2}$  раза меньшую, чем по „силовому“ режиму.

### 9. МЕТОД КРОНЕЙБЕРГА („СКОРОСТНОЙ“)

Выше (§ 1) было указано на существование двух основных методов расчета наиболее выгодного режима: 1) метода Кронейберга, который иногда называется скоростным и который заключается в отыскании условий полной нагрузки мощности станка и режущих свойств резца и 2) нашего метода, который соответственно получил в советской литературе название силового и который заключается в отыскании условий наибольшей производительности. В предыдущем § дано наглядное сравнение того и другого на конкретном примере.

Автор первого метода, д-р Кронейберг, применяет для расчета свои собственные формулы (второго приближения): по

Расчет напыгод

№ ком- бин.	$n_c$	$M_c$	$s_{np}$	$s_c$	$s_p$	$s_{M1}$	$s_{эж}$
А. Для быстрорежущих резцов							
1	19	364	1,42	1,75	5,4	2,7	1,42
2	26	260	1,42	1,75	3,25	3,2	1,42
3	37	181	1,42	1,75	1,92	2,11	1,42
4	52	130	1,42	1,75	1,18	1,42	1,18
5	72	92	1,42	1,75	0,7	0,96	0,7
6	102	66	1,42	1,75	0,42	0,63	0,42
7	143	47	1,42	1,75	0,25	0,43	0,25
8	200	33,5	1,42	1,75	0,15	0,29	0,15
9	283	23,7	1,42	1,75	0,09	0,20	0,09
10	400	16,7	1,42	1,75	0,053	0,13	0,05
11	560	11,9	1,42	1,75	0,032	0,09	0,03
12	786	8,4	1,42	1,75	0,019	0,06	0,02
В. Для победита							
1	19	364	1,42	1,75	—	4,7	1,42
2	26	260	1,42	1,75	—	3,2	1,42
3	37	181	1,42	1,75	5,4	2,11	1,42
4	52	130	1,42	1,75	3,25	1,42	1,42
5	72	92	1,42	1,75	1,94	0,96	0,96
6	102	66	1,42	1,75	1,18	0,63	0,63
7	143	47	1,42	1,75	0,7	0,43	0,43
8	200	33,5	1,42	1,75	0,42	0,29	0,29
9	283	23,7	1,42	1,75	0,25	0,20	0,20
10	400	16,7	1,42	1,75	0,15	0,13	0,13
11	560	11,9	1,42	1,75	0,09	0,09	0,09
12	786	8,4	1,42	1,75	0,053	0,06	0,05

нейшего режима

$s_{\phi}$	$L_{\phi}$	$K_n$	Выводы
1,42	28,4	0,40	Неполная нагрузка станка и резца
1,42	40,0	0,58	Полная нагрузка станка и резца (невозможна в виду $s_{np} < s_p$ и $s_M$ )
1,42	57,0	0,80	Неполная нагрузка станка и резца
1,18	<u>66,0</u>	<u>0,93</u>	Наибольшая производительность при неполной нагрузке станка
0,7	55,5	0,78	Неполная нагрузка станка
0,42	46,2	0,65	То же
0,25	38,5	0,54	"
0,15	32,4	0,46	"
0,09	27,4	0,38	"
0,05	21,5	0,30	"
0,03	18,1	0,25	"
0,02	16,0	0,23	"
1,42	28,4	0,20	Неполная нагрузка станка и резца
1,42	40,0	0,28	То же
1,42	57,0	0,40	"
1,42	<u>80,0</u>	<u>0,56</u>	Наибольшая производительность при неполной нагрузке резца
0,96	75	0,53	Неполная нагрузка резца
0,63	69	0,48	То же
0,43	66	0,46	"
0,29	63	0,44	"
0,20	60	0,42	"
0,13	57	0,40	"
0,09	54	0,38	Полная нагрузка станка и резца
0,05	45	0,32	Неполная нагрузка станка

которым экономическое сечение стружки  $f_{эк}$  вычисляется по формуле (58):

$$f_{эк} = \left( \frac{N_c}{C_N} \right) \cdot \varepsilon_N \quad (58)$$

Для расчетов по этому методу можно пользоваться также нашими формулами  $P$  и  $v$ , что дает возможность более точно (по третьему приближению) рассчитать величину экономического сечения стружки (точнее — экономической подачи  $s_{эк}$  при заданной  $t_{np}$ , определяемой исходя из припуска на обработку).

Умножая нашу формулу  $P_z$  на формулу  $v_{эк}$ , найдем следующую формулу потребной мощности для заданного режима обработки (т. е. для заданных  $s$ ,  $t$ ,  $H\delta$ ,  $\varphi$ ):

$$N = \frac{P_z v_{эк}}{4500} = \left( \frac{B_3 s^3 v_{нс} \delta^m}{4500 \sin \nu - x \varphi} \right) \left( \frac{C}{s^u v_{нс}^q \sin u - q \varphi R} \right)$$

или

$$N = \left( \frac{B_3 C}{4500} \right) \left( \frac{s^x - u \cdot t \nu - q \cdot \delta^m}{H^c - k \sin u - q \cdot \nu - x \varphi} R \right) \quad (59)$$

Эта формула дает также мощность, при которой мы получаем полную одновременную нагрузку как станка, так и реза. Если подставить сюда  $s_{np}$ ,  $t_{np}$  и  $\varphi_{np}$ , то формула соответственно дает расчет  $N_{np}$ . Из этой формулы получаем формулу экономической подачи  $s_{эк}$ , т. е. подачи, при которой достигается полная нагрузка станка и реза:

$$s_{эк} = \frac{4500 N}{B_3 C} \cdot \frac{H^c - k \cdot \sin u - q \cdot \nu - x \cdot \varphi_{np} \cdot R}{t_{np}^{\nu - q} \cdot \delta^m} \left]^{1/x - u} \quad (60)$$

или, вводя соответствующие сокращения:

$$s_{эк} = \left[ \frac{N_c \cdot H^c \cdot \sin^2 \varphi_{np} \cdot R}{A \cdot t_{np}^m \cdot \delta^m} \right]^{\varepsilon} \quad (61)$$

где коэффициент  $A$  и показатели  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $m$ ,  $\varepsilon$  приведены в следующей таблице:

Материал	A		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$m$	$\varepsilon$
	быстр.	победит.					
Для март. отож. стали	91	182	1,55	0,57	0,75	0,8	5,55
„ легированной „	20,3	40,6	1,25	0,57	0,75	0,8	5,55
„ чугуна	5,87	11,7	1,3	0,4	0,8	1	2,5

Подставляя сюда мощность станка  $N_c$  и элементы „абсолютного“ режима  $t_{np}$  и  $\varphi_{np}$ , найденные из условий припуска на обработку и требуемого качества поверхности, найдем подачу  $s_{эк}$ , при которой достигается требуемая методом Кроненберга полная одновременная нагрузка станка и реза.

В частности, для случая нашей задачи, т. е. быстрорежущего резца при обработке март. стали на станке  $N_c = 9,5$  л. с.

$$s_{\text{ж}} = \left[ \frac{9,5 \cdot 144^{1,55} \cdot \sin^{0,52} 30^\circ}{91,7^{0,75} \cdot 70^{0,8}} \right]^{5,55} = 3,2 \text{ мм.}$$

Точно так же для победита найдем

$$s_{\text{ж}} = 0,09 \text{ мм.}$$

Расчет экономического сечения стружки  $f_{\text{ж}}$  по формуле (58) или экономической подачи  $s_{\text{ж}}$  по формуле (61) имеет большое преимущество простоты. Однако эта простота окунается существенными недостатками предлагаемого Кроненбергом метода.

Во-первых, этот метод не дает решения задачи для самого нормального случая заводской практики: когда мощность станка хотя бы незначительно больше требуемой. Так, в нашем примере достаточно было взять станок, имеющий всего на 4% большую мощность, как экономическая подача вырастает с 1,42 мм до 3,2 мм и оказывается фактически неосуществимой для данного предмета. Поэтому, одного вычисления по формулам (58) и (61) недостаточно: надо еще произвести дополнительные вычисления, чтобы отыскать действительно осуществимый и притом наимыгоднейший режим. В конечном счете количества вычислений и манипуляций требуется не меньше, если не больше, чем по нашему методу.

Во-вторых, этот метод связан с потерями в производительности в тех случаях, когда мощность станка ниже требуемой для наимыгоднейшей обработки данного предмета. В нашем примере производительность для победита по сравнению с еловым методом в  $1\frac{1}{2}$  раза ниже, не говоря уже о том, что в этом случае оба метода дают значительно пониженную производительность против работы на станке надлежащей мощности.

В-третьих, результаты, которые будут получены при расчете по методу Кроненберга, обладают весьма значительной долей случайности. Эта случайность объясняется высоким показателем степени (5,55), в которую возводится правая часть формулы (61), вследствие чего малейшие отклонения в мощности станка, в качестве резца, в точности применяемых для расчета формул, особенно в твердости и свойствах обрабатываемого металла, влекут за собой резкие скачки в величине  $s_{\text{ж}}$ , которая вследствие этого становится неустойчивой и неуловимой. Ее нельзя определить даже приближенно, так как под действием различных факторов она быстро перемещается то резко вверх, то столь же резко вниз. В тех пределах, в каких на практике колеблется качества резцов, мощности станков, свойства и твердость металла,  $s_{\text{ж}}$  может давать внезапные скачки в обе стороны в десятки раз. Практически в таком случае оказывается, что для любой данной работы вполне можно принять за экономи-

\*

ческую любую произвольно взятую подачу, так как всегда можно подобрать к ней оправдывающий ее расчет, оставаясь в пределах обычных практических отклонений участвующих в работе факторов.

Например, мы получили при расчете по формуле (61) для нашего примера  $s_{жк} = 3,2$  мм. Допустим, мы произвольно задумали бы получить при расчете экономическую подачу не 3,2 мм, а какую-нибудь другую, хотя бы самую нелепую, например, 0,5 мм или 20 мм. Этого очень нетрудно было бы достигнуть весьма несложными манипуляциями; стоит только сделать незначительные „исправления“ или „уточнения“ в задании. Достаточно лишь сделать следующие предположения:

а) для получения подачи 0,5 мм. Предположим, что наш материал окажется в отдельных своих частях немного мягче, например,  $H = 140$  вместо  $H = 144$ ; что формула скорости имеет небольшой запас, скажем в 10%, т. е.  $A = 100$ , а не 91, что качество реза в действительности на 10% лучше, чем предполагалось при расчете, что предельный момент станка рассчитан тоже с запасом в 10%. Тогда получим, что  $s_{жк}$  будет не 3,2 мм, а меньше:

$$s_{жк} = 3,2 \left( \frac{140}{144} \right)^{8,6} \left( \frac{1}{\frac{100}{91} \cdot 1,1 \cdot 1,1} \right)^{5,55} = \frac{3,2}{1,29 \cdot 4,875} = 0,51 \text{ мм};$$

б) для получения подачи 20 мм. Предположим теперь обратное: что материал немного тверже, чем предполагалось, например,  $H = 150$ , что формулу скорости надо считать несколько жесткой и понизить скорости на 10%, что качество реза хуже на 10% и что предельный момент станка в действительности окажется на 10% ниже, например, вследствие вытягивания ремня. Тогда получим:

$$s_{жк} = 3,2 \left( \frac{150}{144} \right)^{8,6} \cdot (1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1)^{5,55} = 3,2 \cdot 1,4 \cdot 4,875 = 21,8 \text{ мм};$$

Мы здесь предполагали, что формулы скоростей имеют запас всего в 10%. Но ведь выше было доказано, что формулы немецкой школы (второе приближение) дают неточность в сторону понижения не на 10%, а в 2—3 и более раз. Какие богатые возможности для произвола в выборе „экономических“ режимов открываются при расчете по методу Кроненберга! Здесь можно, пожалуй, найти „экономическими“ самые невероятные и нелепые режимы резания.

Как видите, пользуясь методом Кроненберга, нормировщик легко может „технически обосновать“ любую, даже самую нелепую норму и любую, даже самую низкую производительность и при этом будет оперировать якобы „научными“ данными.

В-четвертых, представляется неправильной и необоснованной основная предпосылка всего метода Кроненберга: почему собственно для „экономического“, т. е. наиболее выгодного режима,

необходимо, чтобы при этом была достигнута обязательно полная одновременная нагрузка и станка, и резца? В самом деле, мы видели из табл. 1, а также из теоретического анализа, что полная нагрузка станка и резца совпадает с наибольшей производительностью только в одном случае: когда мощность станка в точности равна требуемой. Если же она выше или ниже хотя бы на 3—5%, то совпадения уже не наблюдается и наибольшая производительность достигается при совсем других режимах, чем получаемый по методу Кроненберга.

В оправдание того обстоятельства, что его метод не дает наибольшей производительности, Кроненберг и его сторонники указывают, что по рекомендуемому нами методу получают повышенные усилия резания, а это якобы приводит к износу станка и к повышению затрат на ремонты. Однако повышение скоростей при пониженных усилиях тоже сказывается на увеличении износа станка, а во-вторых надо доказать, что повышенный расход на ремонты при пользовании нашим методом, если он и имеет место в действительности, не окупается соответствующим повышением производительности. А это обстоятельство пока еще никем не доказано и вряд-ли его удастся доказать; скорее будет доказано как-раз обратное.

В-пятых, как выше доказано, применимость метода Кроненберга фактически ограничивается теми случаями, когда мощность заданного станка меньше требуемой, т. е. в явно ненормальных для здоровой практики случаях. Нельзя серьезно защищать метод, пригодный исключительно для таких „патологических“ случаев. Всякий правильно настроенный метод должен в первую голову иметь в виду нормальные и здоровые случаи практики.

В-шестых, метод Кроненберга дезориентирует как нормировщика, так и токаря: первому он дает в руки возможность „обосновать“ негодные режимы и произвольно выбранные любые сечения стружки, второму он внушает ошибочную идею стремиться неограниченно в сторону всемерного повышения скоростей резания за счет сечений стружек, т. е. идти на явное и сознательное нарушение первого основного закона резания, а следовательно, на неизбежное снижение производительности. Этому содействует не совсем удачное наименование „скоростного“ метода, внушающее при выборе режима идею идти в обратную сторону от действительно наиболее выгодного режима, ориентироваться на увеличение скоростей вместо увеличения сечений стружек.

В-седьмых, метод Кроненберга начинает решение не с того конца, с которого, по нашему убеждению, надо исходить; именно, он идет от станка и резца, т. е. считает станок всегда заданным, и к нему приспособляется. Да и весь ход решения он сводит к учету только двух факторов: мощности станка и резца (ищет условий полной одновременной нагрузки того и другого). Между тем наш метод исходит прежде всего из особенностей предмета и на первом месте ставит вопрос о выборе станка для

осуществления наиболее выгодного режима; последний же рассчитывается на базе всемерного использования и применения первого и второго основных законов резания.

Приведенная здесь критика скоростного метода должна быть понята в том смысле, что этот метод не может рекомендоваться как общий метод на все случаи практической работы, для всех вообще общепромышленных операций. Однако, в ряде случаев практики, в условиях работы на станках недостаточной мощности, он все же может найти свой круг применения, когда окажется по тем или иным причинам целесообразным прибегнуть к повышению скоростей резания за счет сечения стружки. Так поступал, в частности, Тейлор, на что мы указывали еще в 1923 г. в брошюре „Процесс резания, как единая эмпирическая формула“ (стр. 16); так поступали неоднократно и мы сами в заводской обстановке при наличии соответствующих условий. Подобная практика иногда может оказаться целесообразной 1) при работе твердыми сплавами, которые, ввиду их особой хрупкости, в некоторых случаях дают лучшие результаты при пониженных сечениях стружек, 2) при работе в условиях высокой требуемой точности и чистоты поверхности, 3) в целях упрощения установки и закрепления предмета на станке и уменьшения опасности дрожания или прогиба предмета и пр. Разумеется, во всех этих случаях, во-первых, приходится считаться с неизбежной потерей производительности, связанной с нарушением первого основного закона резания, во-вторых — повышение скоростей резания за счет сечения стружки нет никакой надобности обязательно и всегда доводить до полной одновременной нагрузки станка и резца, требуемой скоростным методом, а ограничиваться таким понижением стружки, которое окажется целесообразным при данных условиях и рамках работы. Таким образом, даже и в этих случаях, в сущности, вопрос идет не о полном проведении принципов скоростного метода, а лишь об известных ограничениях в применении силового метода.

#### 10. УСЛОВИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ПОЛНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАНКА И РЕЗЦА

Полная одновременная нагрузка станка и резца, к достижению которой стремится метод Кроненберга, сводится к использованию лишь мощности станка, но не стремится использовать в максимальной степени всех остальных имеющихся в станке резервов и возможностей. В числе последних, как видно из изложенного выше детального анализа наиболее выгодного режима, важное место занимают резервы, предоставляемые общей конструкцией станка в отношении возможного увеличения сечения стружки, именно — величины наибольшего сечения стружки по станку  $f_c$  и наибольшей подачи по станку  $s_c$ , определяемых прочностью ответственных деталей станка и условиями его нормального износа, т. е. величиной наибольшего усилия  $P_c$ , допускаемого станком (см. выше, IV—6).

Очевидно, станок будет наилучшим образом использован не тогда, когда его мощность окажется вообще нагруженной на все 100%, но когда вместе с тем будет использован на те же 100% резерв прочности и износа его ответственных деталей, т. е. когда действующее на станке усилие  $P_2$  окажется равным  $P_c$ .

Отсюда следует, что для достижения действительно полного использования станка и резца необходимо наличие трех условий (а не двух, как это предполагается методом Кроуенберга), именно:

1) работа резца при экономической его стойкости, т. е.  $T_p = T_{эк}$ ,

2) полная нагрузка мощности станка, т. е.  $N_{np} = N_c$ ,

3) полное использование лимитов наибольшего усилия, допускаемого станком, т. е.  $P_2 = P_c$ .

Это требование иначе может быть выражено равенством

$$s_p = s_M = s_c. \quad (a)$$

Нетрудно доказать, что для каждого данного станка на данной комбинации скоростей возможен только один строго определенный по твердости сорт материала, при котором этот станок будет работать в условиях действительно полного использования станка и резца. Действительно, приравнивая  $s_{эк}$  по формуле (61) и  $s_c$  по формуле (54), получим

$$\left[ \frac{N_c \cdot H_a \cdot \sin^2 \varphi_{np} \cdot R}{A \cdot V^2 m} \right] s = \left[ \frac{P_c \cdot \sin \gamma - x \varphi}{B_3^2 V H^2 \delta^m} \right] s^2, \quad (b)$$

откуда при заданных  $N_c$  и  $P_c$  получаем вполне определенную твердость обрабатываемого материала  $H_{эк}$ .

Так как обычно станок дает нам лишь вполне определенные комбинации скоростей, а не любое разложение мощности на момент и число оборотов, то для каждой комбинации мы получим при данной твердости материала, вычисленной из уравнения (b) вполне определенный диаметр обработки  $D_{эк}$ , который можно вычислить хотя бы из формулы

$$D_{эк} = \frac{2M_c}{P_c}.$$

Следовательно, для станков с постоянной на всех комбинациях мощностью мы будем иметь только один обрабатываемый материал и только нескольких определенных диаметров обработки, при которых будет достигнуто действительно полное использование станка и резца. Для станков же с переменной мощностью (например, для всех ступенчато-пиковых станков) для каждой комбинации имеется свой единственный сорт материала (по твердости), и притом одного единственного диаметра, при которых может быть достигнуто такое полное использование.

Если же учесть при этом и экономический („абсолютный“) режим по предмету, то-есть преследовать осуществление четырехчленного равенства.

$$s_p = s_M = s_c = s_{np},$$

то можно сказать, что вполне идеальные условия обработки осуществимы лишь тогда, когда предмет сделан не только из материала определенной твердости и имеет определенную диаметр, но еще в то же время наибольшая допустимая им подача  $s_{np}$  в точности совпадает с  $s_{м}$  и  $s_c$ .

Очевидно, подобные идеальные условия почти никогда в действительности не смогут осуществиться и все стремления к достижению таких идеалов являются бессмысленными и неразумными. Мы должны от станка требовать не того, чтобы он был обязательно нагружен до предела, а чтобы он смог обеспечить нам прежде всего максимум производительности и минимум себестоимости обработки. Будет, конечно, очень хорошо, если станок при этом даст высокий коэффициент использования, в частности высокий процент нагрузки, близкий к максимуму, но такое требование может явиться лишь добавочным, дополнительным, а не основным, желательным, но не обязательным.

## II. МЕТОД С. Ф. ГЛЕБОВА

(словой или метод наибольшей производительности)

Сущность нашего метода была выше подробно изложена. Нам остается дополнить сказанное лишь вопросами техники ведения расчета при заданном станке. Конечно, для отыскания наивыгоднейшего режима нет никакой необходимости строить сложные таблицы, вроде табл. 1, которую мы поместили исключительно в целях наглядного сравнения всевозможных вариантов.

Решение ведется следующим порядком:

1) Находим  $s_{np}$  тем путем, который был выше описан при отыскании „абсолютного“ режима.

2) Находим  $s_c$  по прочности ременной шестерни и по условиям нормального износа станка (см. выше § 6).

3) Выбираем из этих двух подач меньшую.

4) Рассчитываем для этой меньшей подачи  $M$  и  $n$ .

5) Выбираем в паспорте две ближайшие комбинации скорости: одну ближайшую по величине момента, другую ближайшую по величине числа оборотов.

6) Рассчитываем для первой комбинации  $s_p$ , для второй  $s_{м'}$  находим для обеих комбинаций  $s_{с'}$ , как наименьшую из четырех:  $s_{np}$ ,  $s_c$ ,  $s_{м'}$  и  $s_p$  и рассчитываем (опять-таки для обеих комбинаций)  $L$  так, как это мы делали при составлении таблицы 1. Выбираем ту комбинацию, которая даст большую  $L$ , т. е. большую производительность.

Все эти расчеты, конечно, нет никакой надобности производить вычислением. Для этого необходимо использовать графические средства — номограммы и счетные линейки. Что касается номограмм, то для всех формул, которые нами рекомендуются для целей практического применения, мы разработали и опубликовали специальные номограммы<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> См. Техническое нормирование, 1934 г., № 6 и 7, Машиностроитель, 1934 г. № 7 и 8.

Счетные линейки также имеются, в частности, может быть применена наша основная счетная линейка системы 1916 г., построенная по подлинным формулам Тейлора, без каких-либо их переделок и упрощений. Способ ее применения для прямолинейных резцов — см. нашу статью в „Техническом Нормировании“, 1934 г. № 3, стр. 23. При пользовании номограммой весь расчет наиболее выгодного режима занимает не больше одной — двух минут, при пользовании специальными счетными линейками — несколько секунд.

## 12. ДОВОДКА РЕЖИМА

Доводкой режима мы называем практическое улучшение и усовершенствование на самом станке (посредством испытания) того режима, который был определен теоретическими расчетами. При массовом производстве каждый назначаемый режим должен пройти лабораторную проверку в заводской лаборатории резания или в цеховых условиях. Это испытание должно иметь целью отнюдь не простую проверку намеченного теоретического режима, как это обычно имеет место, а должно стремиться прежде всего отыскать и использовать все резервы и ресурсы, все запасы, скрытые в тайниках станка, резца, предмета, приспособлений и пр. Это те самые резервы, которые так блестяще используются стахановцами в их практике. В чем же эти резервы заключаются и как их обнаружить и использовать?

Основные резервы лежат в лимитирующих условиях обрабатываемого предмета. Выше были приведены ограничения, лимитирующие применение обоих законов резания. Какое наибольшее сечение стружки может допустить предмет без дрожания резца и при условии достижения требуемого качества и точности поверхности? Необходимо ли вести обработку с двух черновых проходов или можно ограничиться одной обдирочной стружкой? Нельзя ли попытаться уменьшить угол в плане в большей степени, чем это предполагается намеченным режимом? Нельзя ли устранить получающиеся дрожание или заедание резца такими простейшими приемами, как применение большего сечения резца, меньшего вылета конца резца из супорта, лучшего закрепления резца и предмета, изменение формы лезвия, углов резца, формы передней грани резца, включения в работу одновременно второго резца и т. д. Никакой теоретический расчет, очевидно, не в состоянии точно и безошибочно разрешить все эти вопросы и отыскать все практические возможности максимально полного использования обоих законов резания. Все это область доводки режима, выполняемой непосредственно на станке.

Вторая стадия доводки режима — окончательное установление скорости резания, допускаемой данным резцом при найденном сечении и форме стружки с условием экономической стойкости резца. Это есть, в сущности, проверка качества резца и точности применяемых для расчета эмпирических формул.

Эта стадия завершает установление того режима, который мы выше назвали „абсолютным режимом“.

Наконец, третья стадия доводки режима — приспособление найденного режима к заданному станку. Если станок заранее задан готовым независимо от „абсолютного“ режима (другого станка все равно нет), то все три стадии фактически соединяются в одну общую. Эта третья стадия заключается в использовании всякого рода резервов, предоставляемых станком, прежде всего его мощностью.

Дело в том, что цифры предельных моментов, а следовательно, и мощностей, в паспортах станков рассчитываются обычно очень приближенно и имеют иногда значительные запасы. Происходит это от недостаточного учета качества и натяжения ремня, его скорости, дуги обхвата и т. д. Все эти резервы могут быть в каждом случае вскрыты только в процессе доводки режима.

С другой стороны, формулы давления на резец, по которым рассчитываются потребные моменты и мощности, а также наибольшие подачи, допускаемые предельным моментом станка, также заключают в себе известные неточности, имеющие целый ряд источников, в частности, невозможность точно учесть все свойства обрабатываемого материала. Нужно в порядке доводки режима тщательно выяснить, в какой мере нагружается станок при том или другом режиме и может ли он повышать свою нагрузку, если режим будет усилен за счет увеличения сечения стружки.

Если нормировочные органы завода сдают цеху режим без доводки, то это значит, что рабочие сами могут заняться такой доводкой и значительно усовершенствовать и усилить заданный режим, а следовательно, перевыполнить норму в части машинного времени. Результаты подобных „доводок“ и обнаруживаются в громадных размерах в стахановских достижениях. Эти достижения стахановцев тем крупнее, чем хуже и грубее был сделан расчет режима при нормировании.

Доводка режимов есть дело прежде всего заводской лаборатории резания, ее основная работа и задача. На наших заводах нередко лаборатория резания загружена не тем, чем ей в действительности следует заниматься: на одних заводах она занята контролем выпускаемой продукции, на других — решением общих проблем теории резания и установлением эмпирических зависимостей, не располагая для этого соответствующими силами и оборудованием, и т. д. Между тем, первое совсем не является задачей лаборатории резания, второе ей не всегда под силу и должно, по существу, выполняться центральными и научными лабораториями. Главная же задача заводской лаборатории нередко отодвигается на второй план или вовсе остается без внимания.

Для осуществления задачи доводки режимов и испытания режима на станке отнюдь нет необходимости заводить в помещении лаборатории все виды нужных для этого станков: доводка режима может и должна в значительной степени производиться

в цехе, на тех самых станках, на которых эта работа выполняется в производстве, но силами штата лаборатории. На станках, имеющихся в помещении лаборатории, следует доводить только типовые режимы, выяснять общие вопросы, относящиеся к ряду работ, а также выяснять наиболее выгодные формы и углы инструментов для отдельных сортов обрабатываемых в цехе материалов.

### 13. РАСЧЕТ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА ПО НАШИМ НОМОГРАММАМ

Для обеспечения быстрого решения задачи выбора режима по рекомендуемым нами формулам (см. § 1), нами построены специальные номограммы — для стали (VII) и для чугуна (VIII).

Каждая номограмма состоит из двух частей — левой для вычисления скоростей резания (номограмма резца) и правой — для вычисления усилий и крутящих моментов (номограмма станка). Промежуточной схемой, связывающей обе части номограммы вместе, является схема подачи.

Каждая номограмма состоит из нескольких групп диагоналей, идущих под углом  $45^\circ$  к основанию номограммы и наклонных в ту или иную сторону. Ход вычисления идет непрерывно ломаной линией, причем от диагоналей, наклоненных вправо, линия переходит всегда в группу диагоналей, наклоненных влево и наоборот. Порядок групп диагоналей показан на номограммах цифрами в кружках, кроме того, можно руководствоваться пунктиром, соответствующим ходу решения одного частного примера.

Номограммы построены для нахождения подачи по резцу  $s_p$  и подачи по моменту  $s_m$ ; расположение номограмм позволяет непосредственно сравнивать их между собой. Если искомое неизвестное иное, например, число оборотов или момент, т. е. переменное, находящееся внутри номограммы, то ломаная линия ведется одновременно с двух сторон — со стороны шкалы чисел Бригелля и со стороны шкалы подачи. Пересечение этих ломаных линий при их встрече в группе диагоналей искомого переменного определит искомую диагональ; последняя будет проходить через точку пересечения обеих ломаных линий.

Если в задании требуется или задается не число оборотов, а линейная скорость, то надо весь расчет вести по номограмме, исходя не из заданного диаметра, а из  $D = 318$  мм (так как при  $D = 318$  длина окружности равна 1 метру) и численные значения шкалы  $v$  принимать за  $v$  в метрах в минуту.

Точно так же, если требуется или задается не момент, а давление на резец, то надо весь расчет вести исходя не из заданного диаметра, а из диаметра 2000 мм (так как при этом диаметре плечо силы давления, т. е. радиус предмета, равно 1 метру) и полученные численные величины моментов принимать за давление в кг. На практике вместо диагоналей  $D = 2000$  мм удобнее пользоваться диагоналями  $D = 200$  мм или  $D = 20$  мм, причем полученные числа давления умножать соответственно на 10 или на 100.

Решение основной задачи наиболее выгодного резания можно иллюстрировать следующим практическим примером.

**Задача.** Найти наиболее выгодный режим обработки стальной болванки  $H = 160$ ;  $D = 318$  мм. Глубина резания (по припуску) 2,5 мм, угол в плане  $45^\circ$ , угол резания  $70^\circ$ , быстрорежущий резец, без воды; станок имеет предельные полезные крутящие моменты с перебором 60, 51 и 43 и числа оборотов соответственно 21, 30 и 42. Наибольшая подача, допускаемая прочностью и нормальным износом станка, не должна превышать 1 мм, предмет допускает наибольшую подачу без прогиба, дрожания и пр. 0,75 мм.

**Решение.** От шкалы чисел Бринелля ( $H_B = 160$ ) на левой части номограммы VII ведем линию через соответствующие диагонали „быстрорежущий резец, без воды“, „угол в плане“, „диаметр обработки“ до пересечения с диагоналями чисел оборотов. Для каждого из чисел оборотов станка находим соответствующую подачу:

Ступени . . . . .	1	2	3
Числа оборотов . . . . .	21	30	42
Наиб. подачи по резцу . . . . .	1,2	0,67	0,42 мм

Таким же образом на правой части той же номограммы ведем аналогичным образом линию от шкалы  $H_B = 160$  через диагонали „угол резания“, „глубина резания“, „угол в плане“, „диаметр обработки“ и для каждого из предельных моментов станка имеем наибольшую подачу:

Ступени . . . . .	1	2	3
Предельные моменты . . . . .	60	51	43
Наибольшие подачи . . . . .	0,8	0,67	0,53

При работе на первой ступени ограничивающим фактором является обрабатываемый предмет, допускающий наибольшую подачу 0,75 мм, в то время как наибольшая подача по резцу 1,2 мм, по моменту 0,8 и по станку 1 мм. Здесь ни мощность станка, ни резец не будут полностью нагружены.

При работе на второй ступени ограничивающими факторами являются одновременно и резец, и станок, дающие оба наибольшую подачу 0,67 мм; здесь будем иметь, следовательно, условия полной одновременной нагрузки и станка, и резца, т. е. здесь будут осуществлены требования скоростного метода (метода Кроненберга).

При работе на третьей ступени ограничивающим фактором окажется резец, допускающий наибольшую подачу 0,42 мм, что даст полную нагрузку резца, но неполную нагрузку станка.

Наибольшая производительность будет получена на второй ступени, что видно из следующего сопоставления характеристик (подач мм/мин):

- I.  $0,75 \times 21 = 15,75$
- II.  $0,67 \times 30 = 20,1$
- III.  $0,42 \times 42 = 17,6$

#### 14. ВОПРОСЫ ПЕРЕНАСТРОЙКИ И ПАСПОРТИЗАЦИИ СТАНКОВ

Из предыдущего изложения ясно, какое значение для производительности может иметь недостаточная мощность станочного оборудования, особенно в связи с переходом на работу победитом.

Наши стахановцы, переходя на повышенные режимы работы, сплошь и рядом наталкиваются на это затруднение и принимают меры к повышению мощности своих станков. Самой простой и употребительной мерой является повышение скоростей станка, — увеличение числа оборотов контрприводов, усиление передач от моторов, замена моторов более мощными.

На заводе МИЗ по требованию стахановцев „цеховые механики получили задание увеличить число оборотов трансмиссии и выяснить безопасность работ при увеличенных скоростях и подачах. Иногда при незначительной поправке к технологическому процессу производительность поднималась от 2 до 5 раз“ (Алпатов и Соколов, стр. 9).

На заводе МИЗ токарь Орлов производит нарезку ленточной резьбы. В апреле 1935 года ему была установлена норма 230 червяков в смену. Достигнув разными путями выработки нормы на 300%, он в целях дальнейшего повышения выработки потребовал от администрации смены шкивов контрпривода его станка для увеличения числа оборотов. После этого Орлов поднял выработку нормы на 425%.

На заводе револьверных станков им. Орджоникидзе при сплошном повышении режимов обработки дошли в этом повышении вилотную до того предела, что лимитирующими условиями стали мощности и скорости станков. Вследствие этого на заводе пришлось систематически повышать скорости станков и тем самым увеличивать мощности моторов. Сменяются шкивы на моторах, сменяются и сами моторы. Так, у продольно-строгальных станков „Биллитер и Клуцц“ поставили новые моторы, чтобы увеличить скорость с 780 до 1200 оборотов. У станка Биллитер с муфтой „Вулкан“ вместо мотора в 15 *кв* со шкивом диаметром 175 *мм* поставили мотор 18 *кв* со шкивом 190 *мм*. Увеличили мощности, количество оборотов моторов на двух шпинделях и на токарных станках ТН 20, где вместо моторов в 3,7 *кв* на 940 оборотов поставили моторы в 5,2 *кв* на 1440 оборотов, повысили мощность мотора на шпинделе в пролете рычагов с 1,9 до 2,2 *кв*. На карусельных станках вместо 15 *л. с.* ставятся моторы 25 *л. с.* На полуавтомате Шютте мотор 8 *л. с.* заменен мотором 12 *л. с.* На станках „136“ мощность моторов увеличена до 10 *л. с.* По всем станкам ремонтно-механического цеха после смены шкивов скорости были повышены на 25%. На токарно-винторезных станках Магдебург были заменены шкивы, после чего скорость шпиндели тоже повысилась на 25%.

На Мытищинском заводе у карусельного станка № 1078 по

требованию стахановцев мотор в 8 л. с. был заменен мотором в 15 л. с., эта замена увеличила производительность почти вдвое, без всякого вреда для станка, причем станок работает спокойно и надежно. Предполагается в дальнейшем еще увеличить мощность мотора до 20 л. с.

На том же заводе у станков № 1031 и 1034 нагрузку повысили вдвое, сменив несколько шестерен и приведя станок в порядок, причем станок работает бесперебойно.

Точно так же на электромоторном заводе им. Дзержинского увеличение режимов уже достигло такой степени, что во многих случаях станки и моторы лимитируют производительность станочников. В некоторых случаях станок вовсе не даст нужного достаточно большого числа оборотов. Подсчитано, что смена моторов на револьверных станках Герберт позволит повысить максимальные скорости станков с 500 оборотов до 850, что увеличит производительность примерно на 70%. Отдельные моторы в цехах уже горели ввиду чрезмерной перегрузки, и замена сгоревших более мощными показала, что станки вполне хорошо работают с большей нагрузкой.

В сборнике „К новым техническим нормам“ имеется подробное исследование токарного станка ДИП-200, в результате которого оказалось, что этот станок, снабженный мотором в 3,5 кв, может нормально работать и с мощностью 7 кв. Это увеличение мощности достигается увеличением числа оборотов шпинделя.

Еще Тейлор в широкой мере практиковал повышение скоростей станка как меру борьбы с недостаточной мощностью станков.

„Скорость всех станков по обработке металлов. — писал он, — на всех наших заводах выбирается наугад, не опираясь на научно установленные данные. На машиностроительных заводах, приведенных нами в порядок, мы не нашли ни одного станка, который работал бы со скоростью резания, хотя бы приближающейся к наилучшей. Для достижения надлежащей скорости токарь должен был бы прежде всего изменить шивы контрпривода“ (Научные основы организации, стр. 88). Далее он описывает метод настройки одного из станков. „Посредством четырех прекрасно разработанных счетных линеек, приготовленных специально для определения производительности металлообрабатывающих станков, был произведен обстоятельный анализ этого станка по отношению к данной работе: движущая сила при разных скоростях, величина подачи, скорости и т. д., все это было определено при помощи счетных линеек. Затем были произведены изменения в контрприводе и шивах, для того, чтобы иметь надлежащую скорость.“

„Потом была приготовлена большая счетная линейка, дававшая также скорости и подачи для каждого рода работ, при которых работа производилась на этом токарном станке в кратчайшее время. После всей этой подготовительной работы.. производительность повысилась в 2½ раза уже при наименьшей,

а при наивысшей скорости в 9 раз" (курсив везде наш. С. Г.).

По примеру этой практики Тейлора мы неоднократно прибегали к подобному повышению мощности посредством повышения скоростей станка, — контрпривода и мотора. Вообще, мы всегда рекомендовали принять за правило пересматривать скорости станка каждый раз при переходе на лучшие марки инструментов и даже при наладке станка на новую работу. Необходимость придерживаться такого правила особенно своевременна в настоящих условиях стахановского движения<sup>1</sup>.

В наших статьях о модернизации оборудования, а также в докладе, прочитанном на специальной конференции газеты „Техника“ и журнала „Машиностроитель“, мы рекомендовали, наряду с перенастройкой станков, проводить в случае надобности и переконструирование отдельных узлов станка, с целью дать возможность на станках, построенных в расчете на быстро-режущую сталь, вести работы твердыми сплавами.

Это наше предложение о переконструировании отдельных узлов станка, к сожалению, еще почти не проводится в жизнь, и за редкими исключениями пока дело ограничивается, в лучшем случае, только перенастройкой, но в отдельных случаях сама жизнь толкает заводы в сторону решительной реконструкции некоторых частей старых станков.

„Надо сказать, — пишет С. Гуров по поводу пересмотра режимов на заводе им. Орджоникидзе, — что не раз случалось и так, что пересмотр режимов приводил к необходимости конструктивного пересмотра отдельных узлов станка“ („Техника“ от 21/1—36 г.). Автор приводит пример того как для увеличения вдвое подачи стола фрезерного станка Биллитер поменяли местами ведущую и ведомую шестерни. В результате шестерни, ранее работавшие безотказно в течение года, были окончательно сработаны в одну неделю. Оказалось, что они были изготовлены из стали 1015 и поставлены сырыми, без цементации. Понятно, пришлось заменить шестерни другими, после чего работа станка была вполне налажена.

При расчете наибольших допускаемых сечений стружки необходимо учитывать не только вопросы прочности механизма подачи, но и вопросы износа ответственных частей станка, например подшипников, шпиндели, шестерен и т. д. В производстве, в особенности современном массовом производстве, построенном на принципе баз и взаимозаменяемости, вопрос о точности работы станка и сохранении этой точности на протяжении нормального времени до его ремонта имеет такую же важность, как и вопрос о прочности его ответственных частей. Поэтому при паспортизации назначение наибольших допускаемых усилий должно учитывать не только прочность, но также нормальный износ и нормальную точность работы станка.

<sup>1</sup> См. Глебов, Настройка и приспособление станочного парка для работы твердыми сплавами. „Машиностроитель“, 1935, № 1.

Паспортизация станочного оборудования на наших заводах требует коренного пересмотра как в отношении предельных крутящих моментов, так и предельных мощностей и чисел оборотов, а также и предельных допускаемых усилий. Во всех этих направлениях методика расчетов должна быть пересмотрена в сторону повышения получаемых результатов. „Оказалось, что (на заводе им. Орджоникидзе) в паспортах предельные скорости шпинделей резко занижены. Пересчет крутящих моментов, чисел оборотов шпинделя и подач обнаружили полную несостоятельность паспортов, составленных в 1929 г. на основе инструкции проф. Орентлихера“ (статья С. Гурова в „Технике“ от 6/II—36 г.).

В частности, по ряду станков (Риерсон, Монарх, Эврика, Лева и др.) крутящие моменты увеличены на 30—100%, а числа оборотов—на 21% в среднем по всему станочному парку.

Необходимость увеличения крутящих моментов против рассчитанных по обычным рекомендуемым методам объясняется рядом причин.

Во-первых, на практике имеют широкое применение для расчета усилий резания формулы Тейлора. Подлинные формулы Тейлора были даны им только для двух сортов чугуна и одного сорта стали. Для остальных материалов тейлоровские формулы подвергаются „экстраполяции“. В той грубой форме, в которой подобная экстраполяция обычно делается, расчет оказывается не точнее, чем по второму и даже первому приближению. Независимо от этого, формулы Тейлора отражают результаты его опытов с закругленными резцами, между тем известно, что для закругленного лезвия давление значительно выше (иногда до 30%), чем для прямолинейного. Преувеличенные цифры рассчитанного давления приводят неизбежно к пониженным сечениям стружки, так как при данном предельном крутящем моменте станка увеличение сечения стружки привело бы к мнимой перегрузке станка. В действительности же подобной перегрузки не окажется, так как истинное давление будет меньше рассчитанного по тейлоровским формулам. Поэтому пользование тейлоровскими данными для расчета давления ведет к заниженным сечениям стружки, а следовательно, и к искусственному понижению производительности.

Во-вторых, обычно применяемые методы расчетов ориентируются на самое слабое натяжение ремня, получаемое после продолжительной работы между двумя перешивками. Однако, перешивка ремней должна производиться чаще и нельзя допускать чрезмерного их ослабления. В случае надобности можно практиковать установку двойных ремней, что имеет прецедент еще в практике Тейлора, который вообще предпочитал на всех станках работать с двойными ремнями.

В-третьих, расчет усилий, передаваемых ремнем, производится по общим нормам и методам, не учитывая, что станковые ремневые передачи имеют ряд своих особенностей и работают

в своих специфических условиях. При расчетах не учитываются также важнейшие моменты, как угол обхвата и скорость движения ремня. А эти два фактора имеют чрезвычайно важное значение в деле эксплуатации станковых ременных передач. Таким образом оказывается, что на разных ступенях шкива станка берется одно и то же передаваемое ремнем усилие, в то время как, например, на трехступенчатом шкиве две меньшие ступени передают по крайней мере на 10% большее усилие, чем большая ступень, где соединяются наиболее невыгодные условия работы ремня и в отношении скорости его движения и в отношении угла обхвата (малый шкив в контрприводе). По этой причине мы приняли за правило для большой ступени брать усилия на 10% меньше, чем для остальных двух ступеней.

В четвертых, в практике до сих пор широко применяется метод расчета предельных моментов станка для скоростей с перебором иной, чем для скоростей без перебора, а для короб скоростей, соответственно, понижение коэффициента полезного действия станка с увеличением числа передаточных шестерен.

Такая практика в свое время была заимствована из нашего личного заводского опыта. Приступая к разработке методики паспортизации станков и их рационального использования в 1911 году на Брянском паровозостроительном и затем на Коломенском заводах, и не имея опоры в литературе и заводской жизни того времени, мы применили общие правила расчета, рекомендованные учебниками деталей машин, и принимали коэффициент полезного действия станка с перебором с поправкой в 0,92 на каждую пару шестерен. Этот расчет приводил к искусственному понижению предельных моментов станка при работе с перебором.

Принятый нами метод расчета постепенно распространился и в настоящее время является общепринятым. Примерно в 1928—1929 гг., изучая результаты экспериментов разных авторов (проф. Фридриха, проф. Шлезингера и др.), мы обратили внимание на то, что коэффициент полезного действия станка, определенный тормозным, т. е. экспериментальным путем, если и изменяется несколько с переходом от одной комбинации скоростей к другой, то эти изменения все же настолько неопределенны и неустойчивы, что кажется гораздо более осторожным и правильным принимать одинаковый коэффициент полезного действия на всех комбинациях скоростей, а еще лучше определить его индивидуально, где это возможно и нужно, посредством метода торможения.

## 15. ВЫВОДЫ

1) Резервы повышения производительности по линии режимов обработки лежат, главным образом, в способах правильного назначения скоростей резания при заданных прочих условиях,

а, с другой стороны, в умении полностью использовать и заполнить лимиты, устанавливаемые в каждом данном случае предметом, станком и инструментом. Разрыв между фактической производительностью по стахановским режимам и производительностью по „нормам“ вполне может быть оправдан и объяснен этими двумя моментами.

2) Расчет скоростей резания рекомендуется производить по формулам, специально рассчитанным для прямолинейного лезвия, используя исключительно метод третьего приближения.

3) При расчете по формулам второго приближения точность результата достигает 2—3 и более раз и, как правило, получается в несколько раз пониженная производительность.

4) Выбор наиболее выгодного режима должен исходить из принципа наибольшей производительности, а следовательно, из отыскания условий максимального использования обоих основных законов резания.

5) Принцип полной нагрузки станка и резца, т. е. скоростной, рекомендуемый Кроненбергом, может иметь применение только для станков, имеющих недостаточную для данной работы мощность.

6) Но и для этих случаев в самой технике расчета по скоростному методу имеется такое большое количество существенных внутренних дефектов, что вряд ли можно рекомендовать на практике широкое применение этого метода. Он окажется пригодным и допустимым только для очень ограниченного круга работ.

7) Имеющиеся сведения о стахановских режимах работы показывают, что стахановские режимы превосходят режимы, определяемые справочными данными и грубыми формулами, но вполне согласуются с режимами, получаемыми при расчете по рекомендуемым нами формулам третьего приближения.

Это обстоятельство доказывается вышеприведенными расчетами по формуле Тейлора-Глебова, а также аналогичными свидетельствами авторов сборника „К новым техническим нормам“<sup>1</sup>.

8) При пользовании как нашими, так и всякими другими формулами теории резания, надо помнить, что подобный расчет может дать лишь приближенные цифры и что всякий расчетный режим должен подвергаться специальной опытной доводке на станке, где практически проверяются все лимиты, принятые при расчете приближенно и ориентировочно.

---

<sup>1</sup> „Следует отметить, что скорости резания, которые достигаются стахановцами, как правило, не являются поделными, хотя в ряде случаев они приближаются к теоретическому пределу для данного качества инструмента в данной геометрии“ (стр. 49—53) Кроме того, в том же сборнике на стр. 28, 35, 53 и 60 и др. имеются сравнения испытанных режимов с результатами расчета по „формуле Беспровозанного“, причем те и другие оказываются совпадающими. Между тем „формула Беспровозанного“ и есть та самая „формула Тейлора-Глебова“, которую мы много лет рекомендуем заводским работникам.

## V. ГЕОМЕТРИЯ ИНСТРУМЕНТА

### 1. ФОРМА ПЕРЕДНЕЙ ГРАНИ

Обычная рекомендуемая теорией резания форма передней грани — это форма плоскости, наклоненной под соответствующим углом для образования надлежащего угла резания и угла наклона лезвия. Форма плоскости предпочитается по двум соображениям: с одной стороны ее легче и проще получить при заточке, с другой — такая форма позволяет сделать резец лучше сопротивляющимся на выкрашивание лезвия под действием сил резания и потому позволяющим брать большие сечения стружек. Однако теория резания знает и исключения из этой практики.

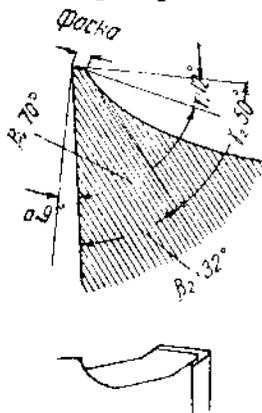


Рис. 24. Резец Клопштока.

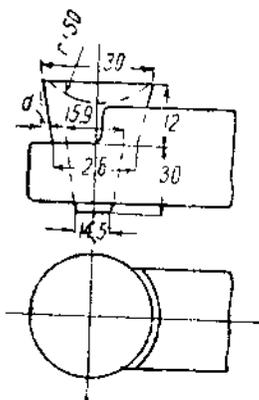


Рис. 25. Французский или грибовидный резец.

Так, резцы Клопштока имеют на передней поверхности кривизну, окаймленную у лезвия узкой фаской (рис. 24). Немецкие нормы резцов предусматривают подобную узкую фаску у лезвия при обработке более твердых материалов при сохранении формы плоскости для остальной части передней грани резца. Французские (грибовидные) резцы имеют сферическую форму передней грани (рис. 25).

В нашей заводской практике токари очень любят прибегать к различным „канавкам“, „ложбинкам“, „галтелям“ на передней грани резца. С этими увлечениями часто приходится бороться, — связанное с такими галтелями ослабление сечения режущей кромки резца иногда бывает нецелесообразно, так как ведет к невозможности работать с достаточно большими сечениями стружек, что фактически приводит к нарушению первого основного закона резания, а следовательно, к потере производительности. Кроме того, погоня за такими канавками, не оправдываемыми в отдельных случаях логикой законов резания, объясняется нередко ложным и призрачным стремлением к уменьшению действующих усилий в ущерб стойкости инструмента.

Известно, что законы стойкости резко расходятся с законами давления и если в каком-либо данном случае форма инструмента обеспечивает минимум действующих усилий, то отсюда вовсе нельзя вывести заключения, что эта форма реза обеспечит лучшую его стойкость, т. е. что она окажется действительно наиболее выгодной и рациональной. Заточка на передней грани канавки как-раз нередко и ведет к такому результату: уменьшению давления, но к худшей стойкости реза. Вот почему в теории резания относятся не совсем одобрительно к подобным чрезмерным увлечениям канавками и в стандартах нигде их не предусматривают.

Однако отсюда вовсе нельзя сделать тот вывод, что канавки и галтели на передней грани реза должны быть везде и всегда изгнаны из употребления. Имеется очень много практических случаев, где канавки и галтели целесообразны, выгодны и даже незаменимы.



Рис. 26. Резец с галтелью токаря Лихорадова.

Такой случай незаменимости и необходимости галтелей встретился в практике токаря Лихорадова на расгонке бандажей.

Лихорадов заметил, что резцы без галтелей, с формой передней грани в виде плоскости, работали значительно хуже, вызывая вибрацию и пинделя, потребляя гораздо больше энергии на работу, и скоро выбывали из строя. Поэтому Лихорадов систематически перетачивал все резцы, получаемые из кладовой, делая везде галтели. Получавшаяся при этом форма реза показана на рис. 26.

Когда Лихорадову было предложено обучить своему методу работы токарей Калининского завода, он попытался сперва вести работу их резцами (без галтелей), но „из этого,— как говорит Лихорадов,— ничего не получилось. Я попросил разрешения поехать домой за своими резцами. Когда я привез с собой мои резцы, я снова приступил к работе и сделал бандаж за 49 минут“.

Чем же объясняется такой успех работы резцами с галтелью, именно незаменимость такой формы реза? И какую, собственно, пользу может принести галтель в работе?

Здесь, как нам кажется, надо прежде всего резко разграничить две разных цели, достигаемые применением галтелей и канавок.

Первая цель галтелей и канавок заключается в уменьшении угла резания, и, как результат этого, — в уменьшении давления на резец, в достижении более плавного, спокойного и легкого стекания стружки. Конечно, уменьшение угла резания может быть достигнуто и без канавок, но тогда резец будет давать слишком большое углубление на передней грани, ослабляющее сечение резца. При наличии канавки этого ослабления не получается.

Это наглядно видно на рис. 27, где простым пунктиром показана форма передней грани для образования правильного угла резания  $\delta_n$ , соответствующего роду и твердости обрабатываемого металла, а также тем сечениям стружек, которые являются для данного случая наиболее благоприятными с точки зрения первого закона резания. Образование канавки  $A$  ведет к чрезмерному уменьшению угла резания до размера  $\delta_k$ , что

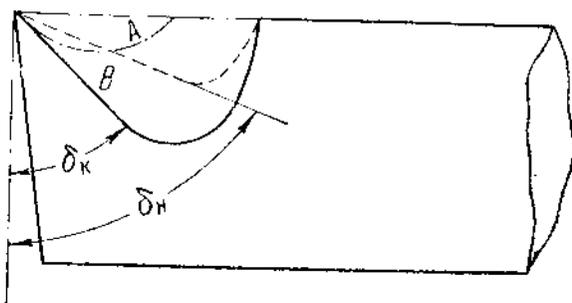


Рис. 27.

для данного случая нельзя признать приемлемым. Но было бы, очевидно, еще хуже образовать здесь переднюю грань в форме плоскости  $B$ , так как такая форма резца черезчур ослабила бы головку резца. С такими канавками, уменьшающими чрезмерно угол заострения, конечно, следует бороться, ибо в лучшем случае они ограничивают возможности брать нормальные сечения стружек, а в худшем — ведут к понижению стойкости резца даже при малых стружках.

Другая цель галтелей — это создать условия более плавного отделения стружки. Так как стружка в силу процесса своего образования имеет более глубокие деформации у своей нижней поверхности, чем у верхней, форма ее делается спиральной, т. е. образуется завиток — винтовой или простой логарифмический. Если подобрать радиус галтели для передней грани резца соответствующим образом, то процессе деформации стружки распределится так, что будет протекать постепенно по мере движения стружки по передней грани (т. е. по галтели). Отсюда получаются три важных преимущества. Во-первых, уменьшаются вибрации резца, так как деформация каждого элемента стружки распределяется по длине галтели, и колебания давления, свя-

занные с образованием отдельных элементов стружки, перекрываются одновременно происходящей деформацией в других пунктах галтели. Этим, по всей вероятности, и объясняется уменьшение дрожаний резца, достигнутое Лихорадовым посредством применения галтелей. Во-вторых, удлиняется поверхность касания стружки и резца, что уменьшает относительное давление на единицу площади опоры и истирание передней грани. По этой же причине облегчается нагрузка лезвия и опасность ее выкрашивания. В третьих, удлинение поверхности касания стружки и резца улучшает отвод теплоты от лезвия в глубь резца и уменьшает температуру резания, что должно благоприятно отзываться на стойкости резца, зависящей, главным образом, от температуры резания.

Радиус галтели, конечно, не должен быть чрезмерно маленьким, так как в противном случае вызываются более усиленные деформации стружки, повышение давления на резец, увеличение общей работы резания и выделяющейся теплоты и, как следствие, ухудшается стойкость резца.

Лихорадов применял свои галтели именно со второй из указанных нами двух целей. Об этом красноречиво свидетельствуют два указания, имеющиеся в его работе. Во-первых, они прямо говорят, что галтели применялись им, главным образом, с целью устранить дрожания резца, которые при обычной, плоской форме передней грани были неизбежными и срывали все усилия увеличить производительность. Во-вторых, имеются определенные указания на то, что при заточке галтелей на стандартных резцах, получаемых из кладовой, Лихорадов внимательно следил за тем, чтобы образование галтели не делало угол заострения резца чрезмерно малым; наоборот, нередко он даже увеличивал этот угол, если в стандартном резце он оказывался недостаточным.

На образование галтелей с целью устранения или уменьшения дрожания в теории резания обращается, к сожалению, очень мало внимания. А между тем, как показывает опыт тов. Лихорадова, в этом обстоятельстве скрыт источник больших возможностей в смысле повышения производительности. Нередко воздерживаются от образования галтелей в целях обеспечения возможности брать большие сечения стружки, а между тем именно без галтелей не удается брать достаточно больших сечений вследствие возникающих при этом дрожаний резца. А дрожание резца удается устранить именно посредством работы резцами с галтелями... Оригинальный заколдованный круг! Выход из него в каждом конкретном случае пока может быть дан только опытом или практическим испытанием, вследствие чего не представляется возможным рекомендовать на все случаи практики одну определенную форму резца.

## 2. КАНАВОЧНЫЕ РЕЗЦЫ

Тот же токарь Лихорадов применил для прорезки канавки и развалки конусов резцы новой, остроумной формы. В практике завода им. Урицкого применялись для этих операций резцы

с наклонной передней гранью, сделанной в форме плоскости (рис. 28 и 29). Одним из этих резцов производилась прорезка



Рис. 28.

канавки, вторым — развалка конусов. Невыгода обоих резцов заключалась в отсутствии галтели, а при работе второго резца,

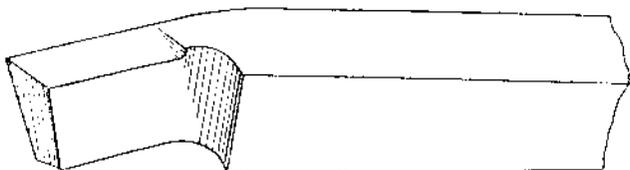


Рис. 29.

кроме того, одно из двух параллельных лезвий имело угол резания  $> 90^\circ$ , а поэтому он не резал, а отдирав стружку, превращая ее в мелкие крошки (рис. 30).

Лихорадов заточил резцы по-своему (рис. 31 и 32). В первом он сделал галтель, во втором переднюю грань сделал в форме корыта, имеющего наклон в продольном направлении. Тогда работа первого резца улучшилась, работа второго из ненормальной стала вполне нормальной и хорошей (схему см. на рис. 33). У второго резца оба

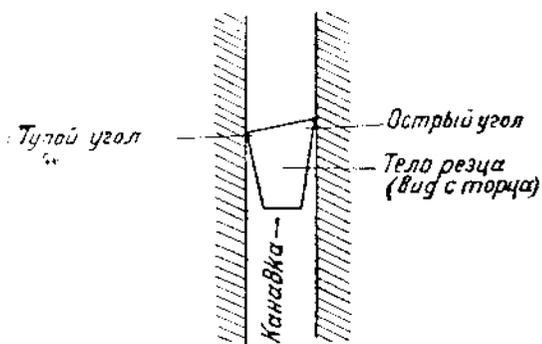


Рис. 30.

угла резания сделаны острыми. В результате образование конусов в канавке стало требовать 2 мин. вместо 8 мин.

### 3. УГЛЫ РЕЗЦА

Выбор углов резца имеет иногда решающее значение для производительности, вопреки обычной установке теории резания, утверждающей со времен Тейлора, что для стойкости инструмента угол резания имеет второстепенное значение.

В первом механическом цехе Уральского завода тяжелого машиностроения пашли, что резцы для нарезки червячных



Рис. 31.

шестерен, изготовленные по фирменной инструкции, имели невыгодный угол резания, равный или даже больший  $90^\circ$ . Такой

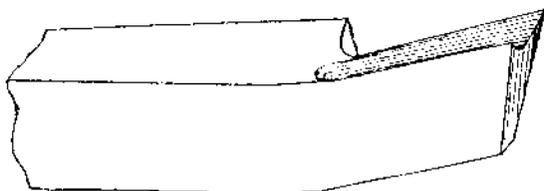


Рис. 32.

угол резания был, вероятно, принят в целях получения правильного профиля зуба. Но он невыгоден для стойкости и производительности реза.

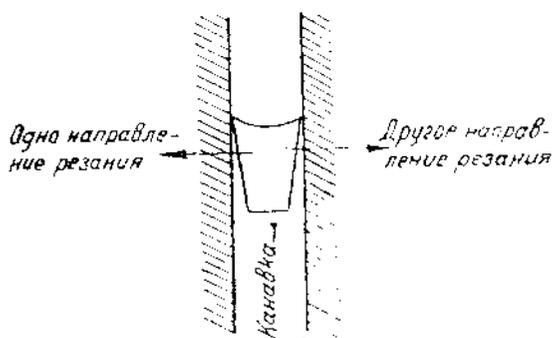


Рис. 33.

Изменив угол резания на наиболее выгодный, введя поднутрение на передней грани, удалось при нарезке пятизубового червячного колеса выполнить норму на  $760\%$ . Вместо 92 часов шестерню стали нарезать за 12 часов.

Этот пример лучше всего показывает, насколько важное значение

имеет правильный выбор угла резания. Главная разница в производительности может быть объяснена тем, что при угле резания больше  $90^\circ$  происходит не резание, а сдирание металла, вызывающее значительное трение режущей кромки и соответствующий значительный ее нагрев и истирание.

#### 4. УПОТРЕБЛЕНИЕ КОМПЬЮРИРОВАННЫХ ПРОХОДНЫХ РЕЗЦОВ

Один из стахановцев ЗИС, тов. Фомичев, в целях сокращения длины хода супорта при расточке чугунного картера, ввел работу тремя резцами вместо четырех.

На супорте станка прежде было закреплено четыре резца. Первый производил обдирку литья на глубину 2—3 мм, второй вел полуступовую расточку глубиной 1 мм, третий зачищал получаемую поверхность с целью вывести следы предыдущего резца, дать точный размер, исправить эллиптичность; наконец, четвертый снимал фаску.

Тов. Фомичев соединил второй и третий резцы в один, давая ему комбинированный профиль (рис. 34). Резец получил два главных лезвия и два побочных и представлял собою как бы простое соединение двух отдельных резцов. Такая заточка была выполнена несмотря на то, что резец имел победитовую пластинку, трудно допускавшую изготовление подобной профилировки.

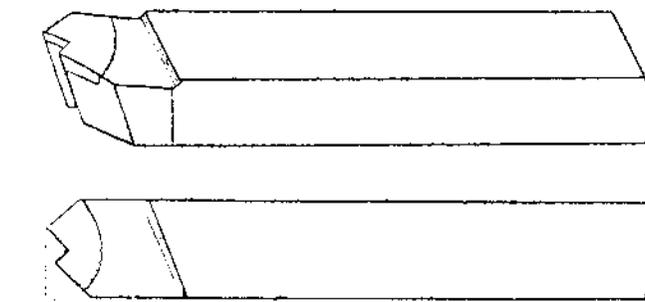


Рис. 34. Резец с комбинированным профилем токаря Фомичева (ЗНС).

Благодаря новой форме резца длина хода сократилась с 104 до 71 мм с соответствующим повышением производительности. Можно было бы, казалось, достигнуть той же цели зажимом вместо одного двух вплотную лежащих резцов. Однако это или удлинило бы расстояние от одного лезвия до другого, или же заставило бы работать более тонкими сечениями резцов, более легко подвергающимися вибрациям и изгибам.

Иногда комбинирование резцов применяется в практике в несколько иной, более простой форме, именно так, что один и тот же резец используется для двух разных, следующих друг за другом операций, для чего-либо резцу придается соответствующая форма, либо резец одной формы применяется одновременно для другой операции.

Простейшим примером подобного комбинирования резцов может служить использование подрезного или бокового резца вместо проходного, с тем, что этот же резец, работая в качестве проходного, в то же время подрезает бурты. В такой же степени комбинированным резцом может служить галтельный резец, заточенный под определенный радиус, который одновременно играет роль проходного. Выгода применения подобных комбинированных резцов — в устранении расхода времени на смену резцов; однако такое комбинирование двух операций од-

ним резцом может иметь ту отрицательную сторону, что одну из операций резец выполняет при менее выгодных условиях, чем это мог бы сделать резец специальной формы. Например, работа боковым резцом невыгодна тем, что у него угол в плане  $90^\circ$ , а это понижает стойкость и производительность резца. Но если длина проточки небольшая, — а в массовом машиностроении таких операций громадное большинство, — то выгода комбинирования все же преобладает.

В аналогичной форме применял комбинирование резцов токарь Лихорадов. Вместо шести резцов, применявшихся раньше,

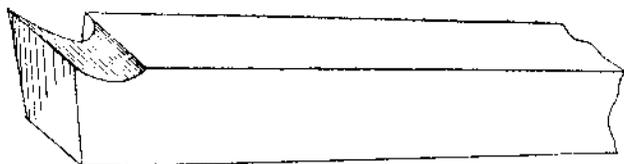


Рис. 35.

он стал растачивать бандажи только четырьмя резцами, для чего потребовалось изменить форму двух резцов. Это мероприятие сократило время перестановки резцов.

Рис. 35 изображает один из комбинированных резцов Лихорадова, служивший одновременно: 1) для подрезки бурта, 2) для подрезки усика и 3) для чистовой расточки бандажа. Раньше для каждой из этих операций служил специальный резец.

## VI. РАБОТА СТАХАНОВЦЕВ НА НЕ-ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Достижения стахановцев в области не-токарных работ не менее замечательны, чем в токарных работах. Достаточно вспомнить фрезеровщика Гудова, достигшего крупнейших результатов частью за счет рационализации технологического процесса, частью за счет режимов резания. Основную базу этих достижений, как и в токарных работах, составляет выбор режима резания, — подачи, скорости, сечения стружки. Законы резания, в сущности, одинаковы во всех этих областях, а потому объяснение главных успехов стахановцев в области не-токарных работ читатель легко сделает по аналогии с приведенным выше изложением, относящимся к токарным работам.

Изложение детальной теоретической базы этих достижений потребовало бы обширного систематического исследования теории сверления, фрезерования, шлифования, что, очевидно, никак не может уложиться в узкие рамки настоящей работы. Это — вопросы второй книги „Теории наиболее выгоднейшего резания“, где они подвергнутся надлежащему детальному исследованию. Здесь

же нам придется ограничиться лишь кратким обзором некоторых типичных примеров соответствующих стахановских достижений.

## 1. РАБОТА НА ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Режимы резания на продольно-строгальных станках нередко оказываются правильнее и здоровее построенными с точки зрения основных законов резания и принципа наибольшей производительности, чем на токарных.

При работе на продольно-строгальных станках основной упор делается на сечении стружки, что вполне согласуется с первым основным законом резания и объясняется ограниченными скоростями резания, обычно допускаемыми на этих станках, каковой недостаток стремятся компенсировать увеличенными сечениями стружек, тем более, что конструкция станка представляет для этого громадные возможности.

Увеличение сечения стружки производится большей частью путем увеличения подачи, иногда за счет также увеличения глубины резания, сокращая число проходов. Так, на продольно-строгальном станке механического цеха Уралмаша при обдирке крышки станины вместо двух проходов глубиной по 25 мм и подачей 1,5 мм работу производят в один проход глубиной 50 мм при подаче 2 мм, что даю перевыполнение нормы на 280%.

Однако сечение стружки все же нельзя увеличивать безгранично. Поэтому очень часто скорости резания, фактически применяемые на продольно-строгальных станках, оказываются чрезмерно пониженными в сравнении с токарными скоростями. Другими словами, стойкость реза возрастает неограниченно с соответствующим падением производительности. Поэтому, главной бедой при работе на продольно-строгальных станках является не нарушение основных законов резания, выражающееся в неправильно выбранном соотношении между сечением стружки и скоростью и в недостаточном использовании всех возможностей увеличения сечения стружки (хотя и в этом отношении далеко не всегда дело обстоит благополучно), а именно недостаточные величины скоростей резания. Обычно считается, что при работе на продольно-строгальных станках приходится работать с значительно пониженными скоростями резания, чем на токарных, ввиду больших инерций стола, сильно возрастающих с увеличением скорости. Однако никто еще твердо не устанавливал в этом отношении каких либо определенных ограничений.

Со стороны стахановцев встречаются смелые попытки по-рвать со старыми традициями в этой работе, причем эти попытки оказались во многих случаях удачными.

На заводе револьверных станков им. Орджоникидзе при строжке чугушных станин твердостью 180 по Бринеллю при подаче 0,6 мм довели скорость стола с 16 м/мин до 36 м/мин, т. е. в  $2\frac{1}{4}$  раза больше прежней, и оказалось, что с такими

скоростями вполне можно работать. А между тем эта смелая попытка дала удвоенную производительность.

Во всяком случае, можно считать несомненным, что в зависимости от конструкции станка, а главное, в зависимости от веса предмета в большинстве случаев окажется вполне возможным значительно повысить скорости станка и тем самым повысить и производительность операции. Может оказаться, что предел такого повышения будет лежать в моторе — в таком случае смена мотора может разрешить весь вопрос рационализации режима.

Что касается расчета скоростей резания для строгальных резцов, то, поскольку работа токарного и строгального резца почти тождественны, для такого расчета можно использовать все вышеприведенные формулы и номограммы. Этот расчет, конечно, может лимитироваться, как всегда, со стороны возможностей, предоставляемых станком.

## 2. СВЕРЛЕНИЕ

В области сверления режимы усиливались частью за счет скоростей резания, частью за счет подач. Последнее, т. е. увеличение подач, дало особенно значительные результаты в отношении производительности.

На заводе им. Орджоникидзе режимы сверления в основном изменились за счет почти двойного увеличения подач и относительно небольшого увеличения скоростей резания. Это позволило увеличить производительность по большинству операций в 2,28 раза.

На Харьковском электромеханическом заводе при сверлении чугунных крышек на токарно-револьверном станке токарь т. Олейник при прежней скорости резания (310 об/мин для  $d = 15$  мм) увеличил подачу с 0,14 мм до 0,9 мм (вручную), т. е. больше, чем в 6 раз.

В этом отношении были решительным образом опровергнуты обычные методы расчета предельных подач, допускаемых прочностью сверла. Так например, по методу Демпстера Смита и Полякова, наибольшая подача, допускаемая сверлом в отношении его излома, рассчитывается по формуле

$$s_{\max} = Ad^{1/2},$$

где  $d$  — диаметр сверла,  $A$  — коэффициент, зависящий от обрабатываемого металла. Для средней стали  $A = 0,08$ .

По Гипромашу наибольшая подача по прочности сверла рассчитывается по формуле:

$$s_{\max} = Ad^{0,6}.$$

где  $A$  — для средней мартеповской стали для углеродистых сверл равно 0,03, для быстрорежущих — 0,04.

Кроненберг рассчитывает предельную подачу по формуле:

$$S_{\max} = \frac{3,75 d^{1,5}}{C_{K_2} 1,246},$$

где  $C_{K_2}$  — удельное давление при  $f = 1$  мм<sup>2</sup>. Для средней стали  $C_{K_2}$  по Кроненбергу равно 350. При расчете по этим формулам получаем величины, указанные в табл. 11.

Таблица 11

Ø	Д. Смит и Поляков	Гипромаш	Кроненберг	Завод им. Орджоникидзе
16	0,20	0,21	0,17	0,32
20	0,22	0,25	0,23	0,40
32	0,25	0,32	0,46	0,46
40	0,27	0,37	0,64	0,52
50	0,30	0,42	0,9	0,57

В последней колонке приведены цифры подач, применяемых заводом им. Орджоникидзе. Эти последние подачи относятся к стали твердостью 180 по Бринеллю, тогда как рассчитанные числа подач относятся к более мягкой стали ( $H = 150$ ). Поддачи, допускаемые для стали  $H \approx 150$  будут примерно на 20% выше указанных заводом им. Орджоникидзе.

Сравнение показывает, что расчет по обычным формулам оказывается чрезмерно заниженным. Против расчетов по Д. Смит и по Гипромашу подачи могут быть увеличены на 50—80%. Расчет по Кроненбергу также дает чрезмерно преуменьшенные цифры для малых подач, что явно противоречит его утверждению о преувеличенности для малых диаметров сверл подачи, рассчитанной обычным методом.

### 3. ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Режимы фрезерных работ являются наименее исследованными в области резания, если, конечно, не считать шлифования, где положение дела, пожалуй, еще хуже. Мы еще не умеем правильно и обоснованно рассчитывать не только наимыгоднейшую комбинацию факторов, но даже просто экономическую скорость резания при заданных прочих условиях. Формулы, которыми мы располагаем для этой цели, являются обрывочными, случайными, непоследовательными. Даже самый вопрос о том, какие тенденции при выборе режима являются более выгодными, встречается в литературе иногда противоречивую трактовку.

Успехи, достигнутые стахановцами при фрезеровании, сводятся преимущественно к изменению конструкции фрезера, к увеличению подачи на 1 зуб фрезера и к увеличению скорости резания.

В механическом цехе завода Уралмаш на вертикально-фрезерных станках благодаря применению мелко-зубчатых фрезеров была достигнута подача до 250 *мм/мин* вместо прежних 60—85 *мм*.

В практике принято, что размеры зубцов фрезера увеличиваются с увеличением его диаметра, так что число зубцов фрезера берется пропорциональным квадратному корню из диаметра. Это имеет основание в том, что фрезы большого диаметра могут применяться для фрезерования большой толщины слоя, при которой длина ступени, снимаемой зубом, увеличивается; для выхода стружки пространство между зубами соответственно должно быть больше. Если же фрезой большого диаметра фрезеруются неглубокие слои, то такие фрезы выгоднее делать мелкозубыми, чтобы при данной подаче на 1 зуб увеличить объем стружки, снимаемый за 1 оборот фрезы. Однако этот вопрос иногда выгоднее решать в обратном направлении: вместо увеличения числа зубцов уменьшать диаметр фрезера.

На заводе им. Орджоникидзе изменение режимов резания пошло преимущественно по линии резкого увеличения подач, при относительно небольших изменениях в скоростях и прежних глубинах резания. Результатом было снижение машинного времени в 4—5 раз. При фрезеровании концов двусторонних скоб быстрорежущей фрезой вместо скорости 16 *м/мин* и подачи 33 *мм/мин* при той же глубине резания 35 *мм* была взята скорость 27 *м/мин* (на 67% выше) и подача 76 *мм/мин*, что увеличило производительность в 2—2,2 раза. Интересно отметить, что подобное значительное усиление режимов резания не вызвало, как указывают работники завода, чрезмерного износа станков и не привело к их порче. Так, фрезерный станок Фриц Вернер, в течение свыше месяца выдерживал нагрузку, превышавшую в 2 раза „максимально допускаемую“ по обычным методам расчета; несмотря на это, он все время работал безотказно и не обнаруживал признаков чрезмерного износа. В то же время повышение производительности было громадное: фрезеровка габаритов семидесяти резцов Глиссона по норме должна была занять 4 рабочих дня, а фактически выполнена за 3 часа.

## VII. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАУКИ И ПРАКТИКИ

Разработанный нами материал позволяет сделать некоторые общие выводы и обобщения.

Прежде всего совсем не случайно, что в области резания металлов решающее слово в смысле перехода на полное и глубокое использование техники в производстве оказали именно стажеровцы-рабочие, а не руководящий инженерный персонал, не технико-нормировочное бюро, которое, казалось бы, должно было уже в силу своего положения и своих задач занимать в этом деле самые передовые позиции.

Могучее стахановское движение выразилось прежде всего в широком развитии инициативы рабочих; в данном частном случае инициатива эта нашла свое осуществление и применение в области практического осуществления законов резания металлов. Между тем, коренной перелом в деле широкого использования этих законов в практической заводской жизни мог быть дан только со стороны самих рабочих.

Это массовое стахановское движение создает богатые предпосылки не только для развития производства и промышленности нашей великой страны. Оно создает предпосылки также для богатого расцвета самой науки. Вдвигаясь вперед, стахановское движение уже ставит перед наукой обширные и сложные задачи, требует разрешения ряда практических проблем и вопросов. Эти задачи и вопросы настоятельно требуют своего разрешения и, будем надеяться, будут разрешены в наших советских лабораториях. Радостно работать, зная, что каждый результат исследования уже не будет лежать, как раньше, мертвым капиталом науки, а немедленно найдет свое живое использование в практической заводской работе.

Помимо этого, пришло время, когда науку стали двигать вперед не только профессиональные жрецы этой науки — ученые, а непосредственно сами рабочие массы. Стахановское движение уже дало ряд блестящих практических и теоретических идей в области резания; но это только начало. Мы имеем все основания рассчитывать, что в дальнейшем наука будет все больше и все глубже черпать свои материалы из этого нового и ценнейшего источника.

## ЛИТЕРАТУРА

При составлении настоящего труда автор пользовался следующей литературой:

1. А. И. Ределъман и В. Ф. Повиков, Стахановец токарь Лихоряков. Под редакцией А. М. Фунмапа. Стахановско-буеыгинская серия. ОНТИ, 1935.

2. Соколов и Алпатов, Стахановцы МПЗ. Стахановско-буеыгинская серия. ОНТИ, 1935.

3. А. И. Хренов и В. А. Иванов, К стахановским бригадам и цехам. ОНТИ, 1936.

4. „К новым техническим нормам“. Обследование стахановских режимов резания при точении. Машметиздат, 1934.

5. Инж. М. Рудой, Стахановцы машиностроения. Стахановско-буеыгинская серия. ОНТИ, 1935.

6. Хроника стахановского движения в тяжелой промышленности. Выпуски первый и второй. Москва, 1935.

7. „Работать на отлично“. Опыт Краснознаменного завода им. Менжинского. Стахановско-буеыгинская серия. ОНТИ, 1935.

8. Статьи в газете „Техника“. В частности:

И. Вяткин, „Конкретный инструктаж“ (№ 496).

Сиверов, Воров, Герман, Режимы резания металло-станков (№ 496).

С. Гуров, Как на мытищинском заводе „помогают“ стахановцам. (№ 499).

И. Тюбавин, Профессора станков (№ 503). Стахановские режимы резания (№ 510).

С. Гуров, К стахановскому месяцу (№ 512).

И. Файнберг, Стахановское движение и техническая учеба (№ 513).

С. Гуров, Новые мощности, новые нормы (№ 516).

С. Гуров, Нормы Московского инструментального завода (№ 521).

Гудков и Болеславский, Технические нормы токаря Олейника (№ 521).

А. Самойлов, Уроки стахановской декады (№ 519).

С. Гуров, Технолог-нормировщик пришел в цех (№ 519).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
I. Стахановские достижения и их основные источники . . . . .	5
II. Режимы нарезки резьбы и чистовой обработки . . . . .	8
1. Обычные рекомендуемые режимы . . . . .	—
2. Стахановские достижения в области нарезки резьбы . . . . .	9
3. Нарезание быстрорежущих метчиков . . . . .	12
4. Новейшие исследования в отношении качества поверхности . . . . .	—
5. Методика характеристики качества поверхности . . . . .	13
6. Явления процесса образования стружки . . . . .	15
7. Качество поверхности и скорость резания . . . . .	19
8. Качество поверхности и нарезка резьбы . . . . .	23
9. Стойкость резца при тонких стружках . . . . .	27
10. Практические пути к использованию высоких скоростей при нарезке резьбы . . . . .	32
11. Режимы стахановцев на отделочных стружках . . . . .	33
III. Скорости резания и стойкость резцов при обдирочных стружках . . . . .	36
1. Экономическая стойкость инструмента . . . . .	—
2. Скорости резания . . . . .	39
3. Формулы для прямолинейного лезвия . . . . .	43
4. Формулы для закругленного лезвия . . . . .	48
5. Неточности, связанные с формулами второго приближения . . . . .	49
6. Варьирование скоростей резания для заготовок переменной твердости . . . . .	53
IV. Выбор наилучшего режима обработки . . . . .	56
1. Стахановские режимы работы . . . . .	—
2. Основные формулы резания . . . . .	58
3. Критерии наилучших режимов . . . . .	60
4. Основные законы резания . . . . .	63
5. Выбор наилучшего режима резания для данного предмета . . . . .	66
6. Выбор станка для работы . . . . .	68
7. Выбор режима для заданном станке . . . . .	74
8. Разбор практического примера избыточной и недостаточной мощности станка . . . . .	77
9. Метод Кривенберга («скоростной») . . . . .	79
10. Условия действительно полного использования станка и резца . . . . .	86
11. Метод С. Ф. Глебова . . . . .	88
12. Доводка режима . . . . .	89
13. Расчет наилучшего режима по данным номограммам . . . . .	91
14. Вопросы переналадки и паспортизации станков . . . . .	93
15. Выводы . . . . .	97

	Стр.
V. Геометрия инструмента . . . . .	99
1. Форма передней грани . . . . .	—
2. Канавочные резцы . . . . .	102
3. Углы резца . . . . .	103
4. Употребление комбинированных проходных резцов . . . . .	104
VI. Работы стахановцев на цетокарных станках . . . . .	106
1. Работа на продольно-строгольных станках . . . . .	107
2. Сверление . . . . .	108
3. Фрезерование . . . . .	109
VII. Взаимодействие науки и практики . . . . .	110
Литература . . . . .	113

Редактор доц. *И. Ф. Клоков.*

Техн. редактор *П. А. Кирсанова.*

Изд. № 111. Индекс МО—45-5-4. Тираж 7000. (ТКК-64). Сдано в набор 5-VIII 1936 г. Подп. в печ. 17 IX 1936 г. Формат бумаги 62 × 94. Уч.-авт. л. 8,24. Бум. л. 3<sup>1/16</sup> + 5 вклеек. Печ. зи. в бум. л. 101 000. Заказ № 1379. Уполном. Главлита № В-47004. Выход в свет сентябрь 1936 г.

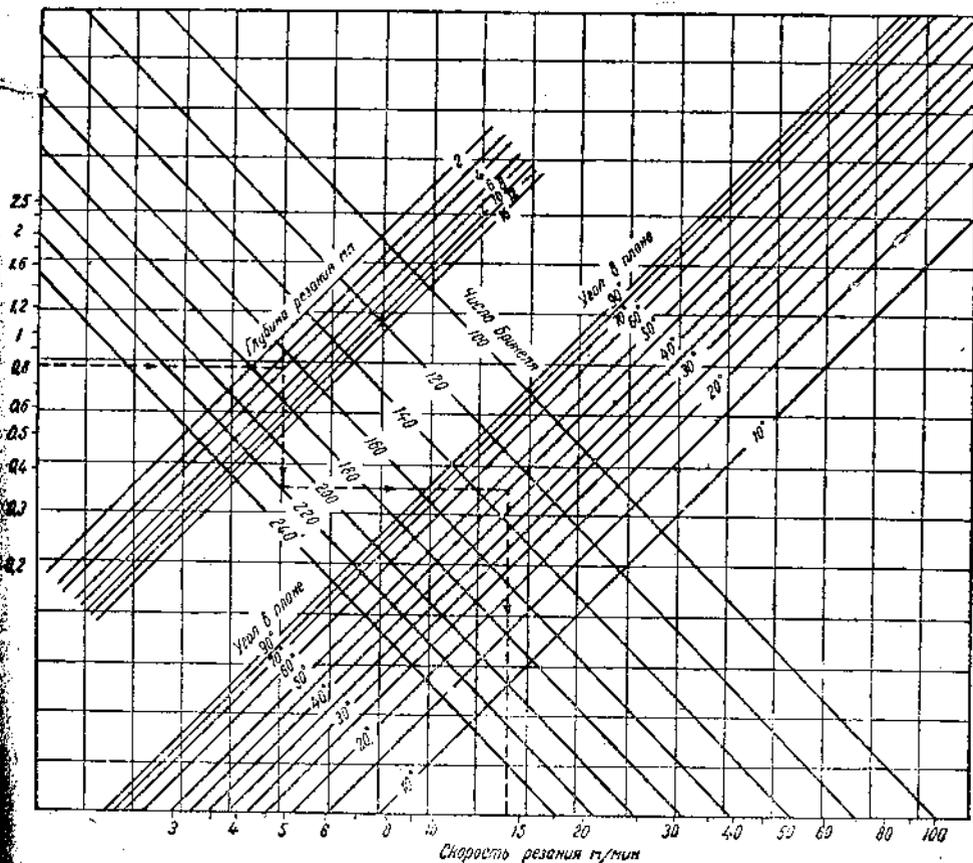
3-я тип. ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

Подана 17

I

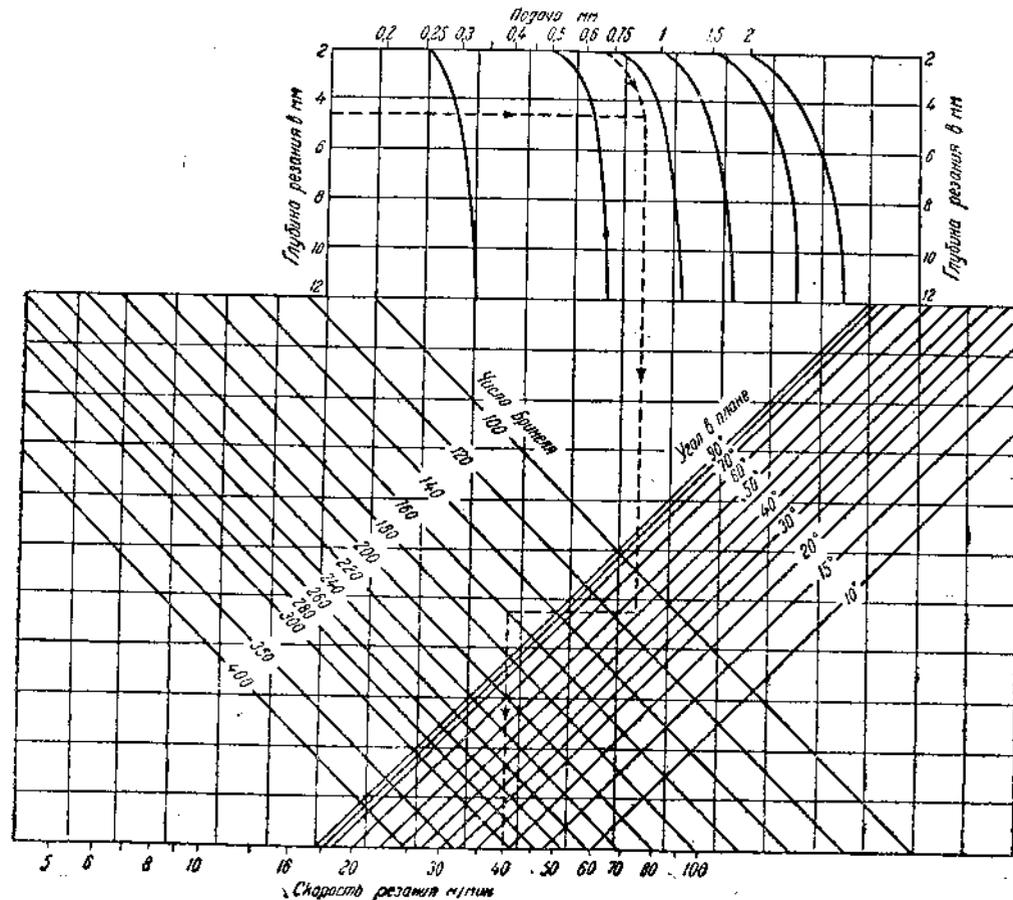
C

ГРАФИК I



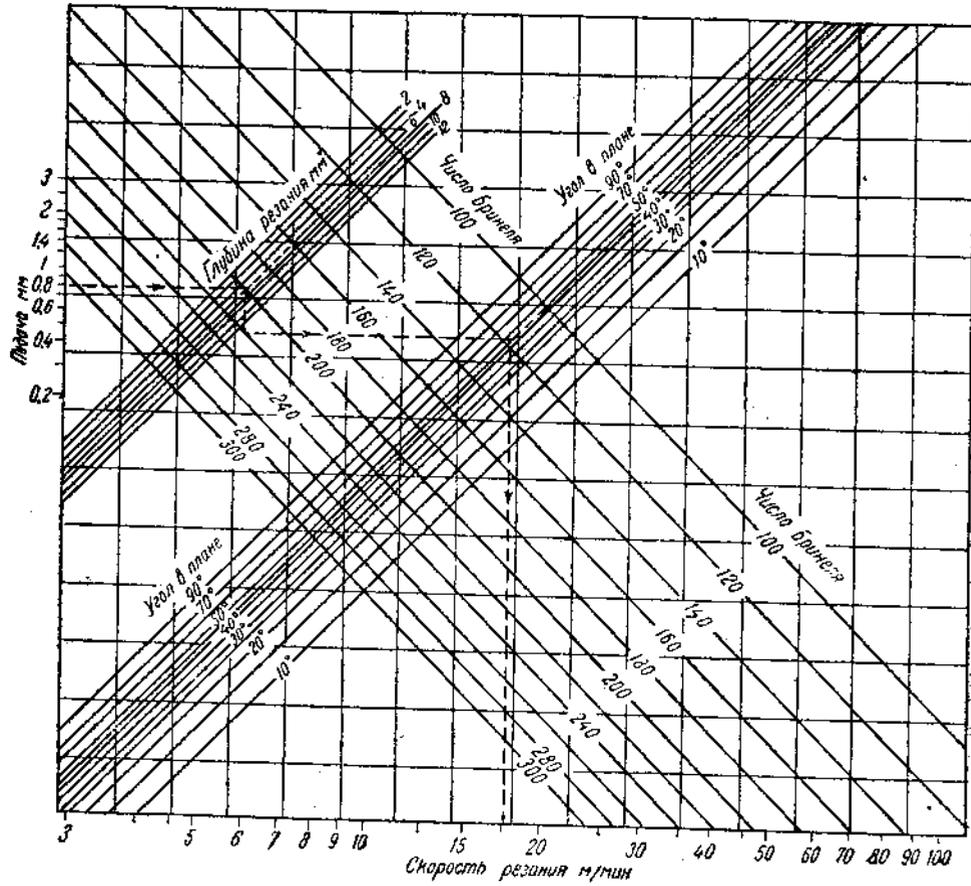
I. Номограмма для расчета скорости резания по формулам Тейлора—Глебова для прямолинейного лезвия при обработке стали.

ГРАФИК II



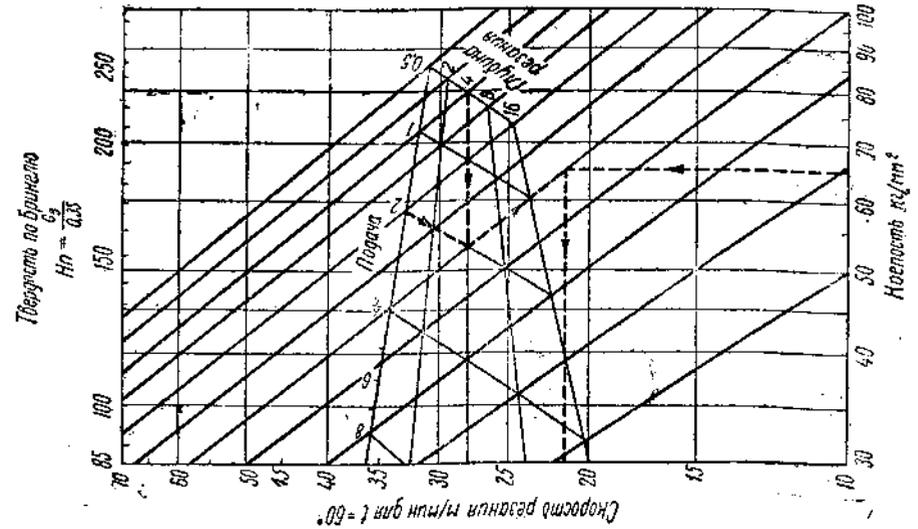
II. Номограмма для расчета скорости резания по формулам Домпстера Смита—Глебова для прямолинейного лезвия при обработке стали.

ГРАФИК III



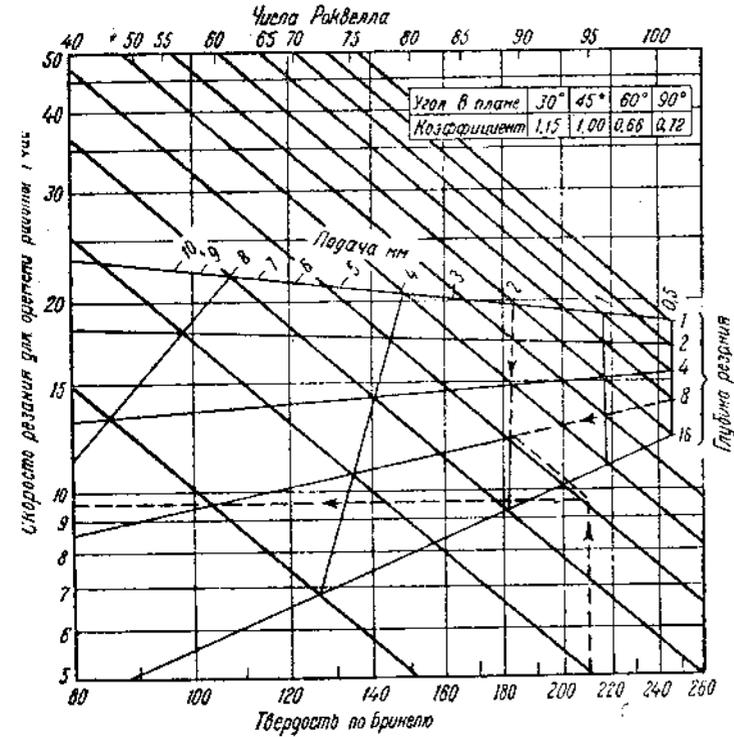
III. Номограмма для расчета скорости резания по формулам Демпстера Смита—Глебова для прямолинейного лезвия при обработке чугуна.

ГРАФИК IV



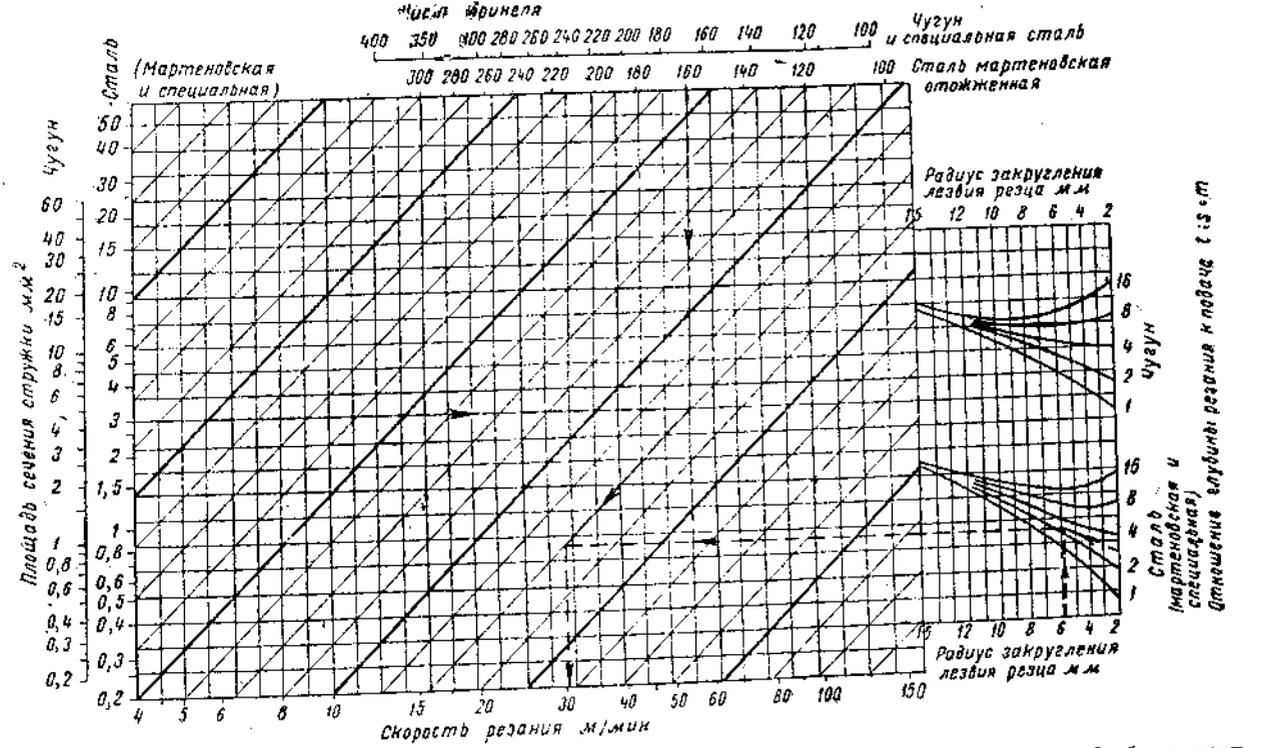
IV. Номограмма Валникса-Дабиргауза для расчета скорости резания для прямолинейного лезвия при обработке стали.

ГРАФИК V

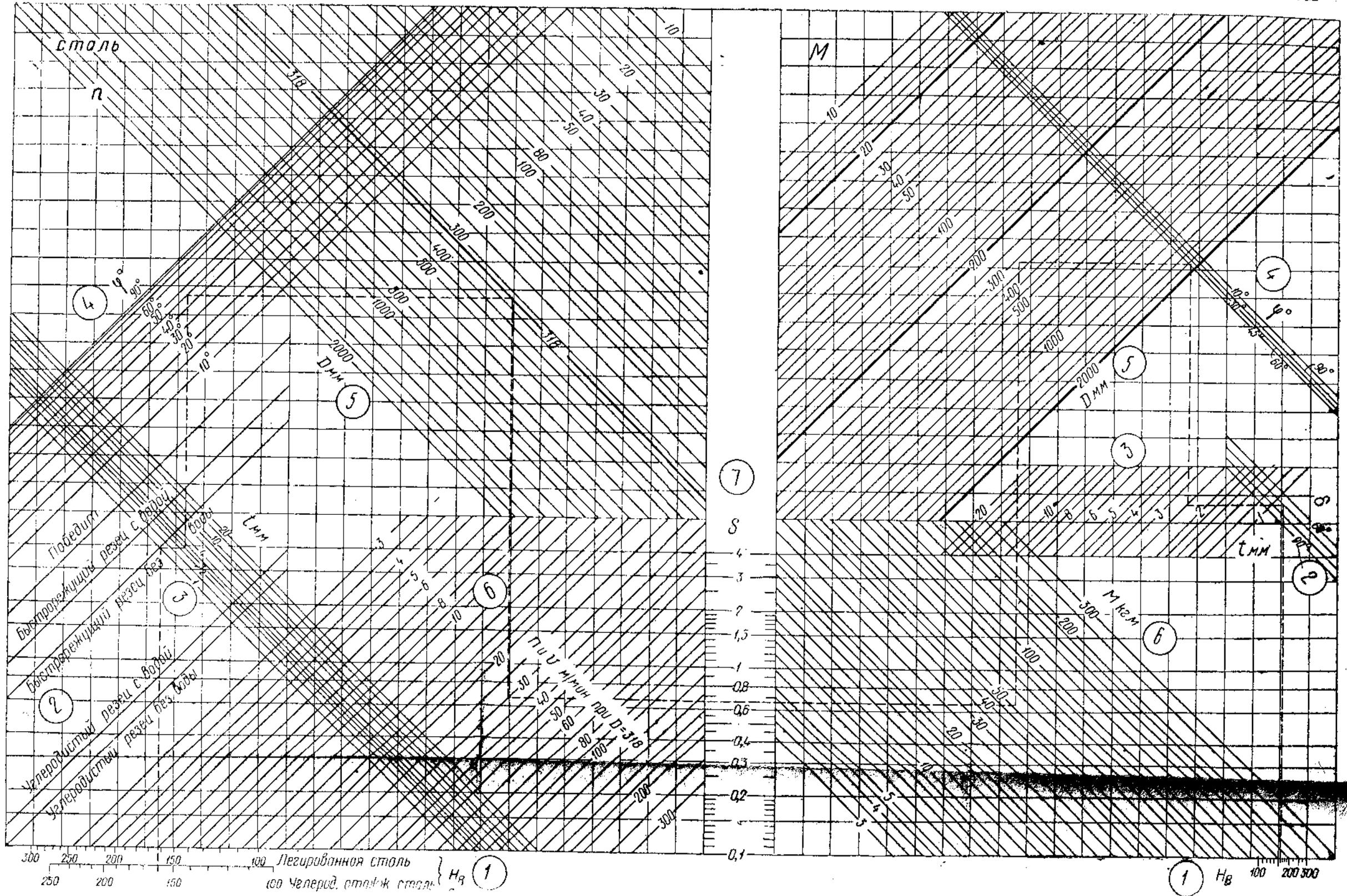


V. Номограмма Валлиса Добрингауа для расчета скорости резания для прямолинейного лезвия при обработке чугуна.

ГРАФИК VI



VI. Номограмма для расчета скорости резания по формулам Тейлора-Глобова закругленного лезвия при обработке стали.



УП Основная номограмма проф. С. Ф. Глебова для расчета наилучшего режима резания при обработке стали.

