

Ю.В. Барановский

Режимы резания металлов
Справочник

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 621
ББК 34.4
Ю11

Ю11 **Ю.В. Барановский**
Режимы резания металлов: Справочник / Ю.В. Барановский – М.: Книга по Требованию, 2024. – 408 с.

ISBN 978-5-458-27081-6

ISBN 978-5-458-27081-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание справочника «Режимы резания металлов для автомобильного производства» вышло в 1957 г. За эти годы им пользовался широкий круг специалистов заводов и институтов, преподавателей и учащихся высших и средних специальных учебных заведений.

В третьем издании методические основы, общий характер компоновки и содержание справочника сохранены без существенных изменений. Однако с учетом результатов экспериментально-исследовательских работ и производственного опыта последних лет внесен ряд изменений и дополнений. В справочнике частично отражен опыт механообработывающего производства Волжского автозавода, полученный в период пуска первой очереди завода.

Наиболее значительному изменению подверглись рекомендации по копирному точению, зубообработке, протягиванию, абразивной обработке. Существенно изменены, дополнены и перекомпонованы приложения, дополнительно включены рекомендации по режимам обработки магниевых сплавов и деталей из металлокерамики, по применению при резании металлов смазочно-охлаждающих жидкостей, расчеты режимов резания на электронно-вычислительных машинах, а также многие справочные данные.

Авторы сочли целесообразным поместить в справочнике рекомендации по накатыванию зубьев конических колес и раскатыванию внутренних резьб, а также создать специальный раздел, посвященный чистовой обработке поверхностным деформированием, так как эти методы находят сейчас все большее распространение в механообработывающих цехах основного производства заводов автомобильной промышленности.

Из предыдущих изданий использованы материалы, подготовленные В. В. Якиманским, В. Н. Трушенковым, Н. И. Горaeцким (НИИТАвтопром), Э. И. Фельдштейном, Б. И. Наумовым (ГАЗ), Я. М. Бонаром (МЗМА), Г. И. Темчиным.

Нормативы разработаны коллективом авторов — специалистов НИИТАвтопрома и автомобильных заводов с использованием работ ВНИИ, ВНИИАШ, ВНИИАлмаз, ВНИИТС, МСКБАЛ и АС.

Авторы с благодарностью примут все замечания и пожелания по улучшению справочника.

СОДЕРЖАНИЕ НОРМАТИВОВ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Нормативы состоят из девяти разделов¹, каждый из которых включает указания по расчету и карты рекомендуемых режимов резания (подача, стойкость, скорость резания, мощность резания и др.) для наиболее распространенных в автомобилестроении операций.

I. Обработка на токарных станках.

II. Обработка на токарных одно- и многошпиндельных прутковых автоматах.

III. Фрезерование на одно- и многошпиндельных станках.

IV. Обработка на одношпиндельных сверлильных станках, а также на станках, имеющих одну или несколько многошпиндельных головок.

V. Протягивание отверстий и наружных поверхностей на горизонтально- и вертикально-протяжных станках.

VI. Зубообработка цилиндрических и конических зубчатых колес и шлицевых валов.

VII. Нарезание резьбы метчиками, резьбонарезными головками, фрезами и накатывание резьбы круглыми роликами и плоскими плашками.

VIII. Шлифование и абразивно-алмазная обработка, включая круглое врезное шлифование в центрах, бесцентровое шлифование методом продольной подачи и врезания, внутреннее шлифование, плоское шлифование на станках с круглым столом, шлицешлифование, хонингование и суперфиниширование.

IX. Чистовая обработка поверхностным пластическим деформированием.

Карты режимов резания являются едиными для одно- и многоинструментных работ, а указания для них даны отдельно, при этом для каждого вида работ, где применяется многоинструментная обработка, приводится несколько инструкций, расположенных в порядке усложнения наладок. Так, например, для токарных станков даны инструкции по одноинструментной и многоинструментной обработке на одношпиндельных станках, многоинструментной обработке на многошпиндельных полуавтоматах.

Кроме этих основных материалов, имеется 6 приложений, в которых приведены коэффициенты обрабатываемости сталей, рекомендации по обработке магниевых сплавов, металлокерамики и некоторые другие дополнительные данные по режимам резания (приложение 1); рекомендации по выбору твердых сплавов и абразивных кругов, ряда параметров при зубообработке, протягивании и другие технологические рекомендации (приложение 2); некоторые справочные материалы, по-

¹ Каждый раздел охватывает определенный вид обработки и оборудования, поэтому разделам присвоены индексы, например, разделу «Токарные станки» — индекс «Т», разделу «Протяжные станки» — индекс «П» и т. д.

лезные технологю при назначении им режимов резания, такие как маркировки сталей, соотношение чисел твердости и др. (приложение 3); основные зависимости, принятые при составлении рекомендаций по скоростям резания (приложение 4); данные по применению ЭВМ для расчета режимов резания (приложение 5); примеры расчета режимов резания (приложение 6).

При обобщении и анализе данных производственной практики, помимо установления уровня режимов резания, выявилась также необходимость изменения некоторых принципиальных и методических положений по расчету режимов, являющихся основой нормативных материалов, выпущенных рядом организаций и отдельными авторами.

Особенности нормативов кратко можно свести к следующему:

1. Принята не степенная зависимость стойкости инструментов от скорости резания $T = \frac{C}{V^\mu}$ (см. приложение 4, стр. 304).

2. Значительное влияние жесткости системы станок—деталь—инструмент на подачу, которое, однако, не поддается количественному определению, и отсутствие данных о динамической жесткости станков не позволили рекомендовать однозначные решения при назначении подач на токарных и фрезерных станках. В нормативах даны указания о назначении в этих случаях больших подач при жестких станках, деталях и оснастке. Однако эти указания носят качественный характер и приводят в известной мере к субъективным решениям при выборе в диапазоне рекомендуемых подач.

3. Одной из основных задач расчета режимов резания многоинструментных наладок является установление стойкости инструментов многоинструментной наладки, обеспечивающих экономически рентабельный режим работы.

Анализ большого количества действующих многоинструментных наладок в автомобильной промышленности показал, что с достаточной для практики степенью точности стойкости можно определять по предложенной НИИТАвтопромом формуле

$$T_m = K \sum T_{mi},$$

где T_m — условноэкономическая стойкость в минутах машинной работы, по которой ведется расчет скоростей резания инструментов наладки (стойкость лимитирующих инструментов); T_{mi} — условноэкономическая стойкость каждого инструмента в предположении, что он работает на данной станке один; K — коэффициент, учитывающий вид обработки, количество инструментов в наладке и равномерность их загрузки, устанавливается на основании анализа производственной практики.

Эта формула положена в основу разработки нормативных карт, посвященных определению стойкости инструментов.

4. Нестабильность свойств обрабатываемого и инструментального материала по твердости и структуре, допускаемая техническими условиями, а также невозможность в настоящее время количественно учесть некоторые факторы (например, жесткость системы станок—деталь—инструмент), оказывающие существенное влияние на скорость резания, приводят к расхождению расчетных и фактических скоростей резания для принятой стойкости в среднем на 10—25% в зависимости от вида и метода обработки.

Поэтому рекомендуется экспериментально уточнять режимы резания при их внедрении в производство.

Оказалось целесообразным уменьшить количество поправочных коэффициентов на скорости резания, исключая мало влияющие на конечный результат.

По мере улучшения качества заготовок и инструмента и установления влияния жесткости системы появится возможность повысить точность нормативов, а также увеличить уровень режимов резания.

5. Работы, проведенные НИИТАвтопромом и заводами (ГАЗ, ЗИЛ, ЯМЗ, ХТЗ) в области протягивания, и успешное внедрение в промышленность прогрессивных протяжек взамен обычных в диапазоне широко применяемых скоростей резания до 10—12 м/мин для протяжек из быстрорежущих сталей нормальной производительности позволили принять за основу следующие положения:

а) стойкость протяжек (количество обработанных деталей до затупления) изменяется в зависимости от подачи на зуб s_z в мм/зуб: с увеличением подачи от 0,02—0,04 до 0,08—0,1 мм стойкость увеличивается в среднем в 2 раза; при дальнейшем увеличении изменение незначительно;

б) стойкость протяжек при повышении скорости резания существенно не изменяется;

в) скорость резания в решающей степени определяется требуемой точностью и чистотой обработки, возможностями оборудования и др.

Поэтому скорость резания в данных нормативах не связана со стойкостью, а принята в зависимости от обрабатываемого металла, точности и чистоты обработанной поверхности и вида протягивания.

6. Рекомендации по определению скорости резания при развертывании и нарезании резьбы основаны на тех же принципиальных положениях, что и в случае протягивания.

7. Нормативы режимов резания на зубообрабатывающих станках отличаются тем, что в них дополнительно учитывается та технологическая последовательность зубообработки, которая применяется в настоящее время на автомобильных заводах.

Режимы резания на зубофрезерных станках даны не только для работы однозаходными червячными фрезами, но также и двух-, и трехзаходными, получившими широкое распространение в автомобильной промышленности.

Для прямозубых конических колес, кроме распространенных методов обработки (предварительное прорезание впадины зуба дисковыми фрезами, зубострогание), режимы резания разработаны и для новых прогрессивных методов обработки — качающимися резцовыми головками и круговыми протяжками.

Для ведомых спирально-конических колес, кроме способа обработки зуба с обкаткой и без обкатки, режимы резания даны и для обработки зуба одноцикловой головкой, а также режимы накатывания зубьев.

8. Анализ данных производственной практики по шлифованию показал, что основными факторами, предопределяющими производительность шлифования, являются качество обработанной детали, величина снимаемого припуска, жесткость системы и режущая способность шлифовального круга.

При больших припусках с целью увеличения производительности на станках с ручной подачей обычно повышают интенсивность съема металла на первом этапе обработки, не обращая внимания на возможность появления прижогов, так как поврежденный поверхностный слой будет в дальнейшем снят на последнем этапе резания, выполняемом на более низких режимах.

Качество обработки и величина припуска в настоящих нормативах приняты как основные исходные величины, в зависимости от которых выбирают режимы.

Жесткость системы СПИД учтена косвенно: для станков, значительно отличающихся по жесткости, введены различные уровни режимов.

Помимо указанного, предлагаемые способы расчета режимов шлифования от принятых в настоящее время отличаются следующим:

1) включены рекомендации по выбору характеристики шлифовального круга;

2) принята минутная поперечная подача в качестве основного расчетного параметра, предопределяющего производительность процесса шлифования;

3) введена дифференцированная формула машинного времени, учитывающая непостоянство рабочего цикла, состоящего из трех самостоятельных этапов: врезания, в течение которого выбираются имеющиеся в системе деталь—станок—инструмент зазоры и люфты и, следовательно, создается натяг; основного резания, в течение которого происходит съем основного припуска при примерно постоянной интенсивности съема, и выхаживания (работа без подачи), в течение которого отжата система постепенно возвращается к исходному состоянию, при этом происходит улучшение чистоты и точности обработки;

4) даны рекомендации по выбору числа проходов при бесцентровом шлифовании методом продольной подачи в зависимости от исходной и требуемой точности формы, а также по обеспечению постоянства ритма потока, что достигается применением на всех станках, установленных в потоке, одинаковой продольной подачи;

5) предусмотрено как обычное шлифование ($v_{кр} = 30 \div 35$ м/сек), так и скоростное ($v_{кр} = 45 \div 50$ м/сек);

6) в картах режимов резания на кругло- и внутришлифовальных станках предусмотрено шлифование с ручным и автоматическим циклом.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Нормативы разработаны для использования при расчете режимов обработки по запроектированному или действующему технологическому процессу и наладкам в поточно-массовом производстве.

Режимы резания рассчитаны для инструментов из быстрорежущей стали и оснащенных твердосплавными пластинками. При отсутствии указаний подразумевается применение инструментов из быстрорежущих сталей нормальной производительности (P18, P12, P6M5 и др.).

Значения стойкости и соответствующие им скорости резания рассчитаны на такие износы инструмента и критерии притупления, которые обеспечивают его надежную и экономичную работу при условии нормальной эксплуатации. Силы, крутящие моменты и мощности резания приведены для инструмента к периоду его нормального затупления, если в картах нет специальных указаний.

Хотя нормативы предназначены для спроектированных или действующих технологических процессов и наладок обработки, в ряде случаев необходимо вносить изменения, если в процессе расчета выяснится, что можно повысить производительность или улучшить условия обработки. Например, при определении подач суппортов многолезцовых станков может быть выявлена целесообразность уменьшения длины хода суппорта, лимитирующего производительность по времени работы, за счет введения дополнительных инструментов, перенесения части обработки на другие суппорты, позиции и в отдельных случаях — на другие операции; при расчете мощности резания может оказаться необходимым сместить время начала или окончания работы отдельных суппортов; иногда целесообразно изменить конструкцию инструментов, инструментальных материалов и т. п. Такое активное отношение к расчету режимов резания будет способствовать более полному использованию имеющихся резервов производства, повышению производительности труда и его экономических показателей.

Рассчитанные по нормативам режимы резания не следует считать предельными, а их необходимо рассматривать, как первый этап установления рациональных режимов резания. В ряде случаев при внедрении их следует уточнять по уровню подач и скоростей резания.

В конкретных производственных условиях в зависимости от загрузки станка по программе может оказаться, что целесообразно повысить режимы, когда, например, станок является «узким» местом в линии, или, наоборот, понизить на недогруженных по программе станках, если это, например, диктуется целесообразностью многостаночного обслуживания, позволяющего резко повысить производительность труда рабочего.

Однако следует иметь в виду, что форсирование режимов резания на «узких» местах возможно лишь до режима так называемой наибольшей

производительности станка, когда количество обработанных деталей будет наибольшим.

Пределы возможного увеличения скоростей резания ограничены и составляют в большинстве случаев в среднем 15—20%, так как дальнейшее повышение приводит к понижению производительности станка вследствие резкого возрастания простоев по техническому обслуживанию (смена и подналадка инструмента). Поэтому при уточнении режима резания в процессе внедрения во всех случаях следует применять лучшие конструкции инструмента, более износостойкие инструментальные материалы и т. д., лишь в крайних случаях прибегая к изменению режимов за счет снижения стойкости инструмента. Введение быстросменного и бесподналадочного инструментального оснащения позволяет уменьшать значения стойкости и тем самым несколько увеличивать экономически рентабельные скорости резания.

Несмотря на разнообразие работ, охватываемых нормативами, и наличие особенностей, присущих каждой из них, методический подход, порядок расчета и задачи, которые приходится решать при расчете режимов резания, являются общими.

Предлагаемая методика расчета сводит по существу многоинструментные работы к одноинструментным, при этом многошпиндельные станки рассматриваются, как несколько одношпиндельных, связанных одним временем обработки.

Материалы справочника могут применяться и при установлении режимов работы автоматических линий. Для автоматических линий с гибкой транспортной связью оборудования расчет производится так же, как и для отдельных станков поточной линии, но, определяя производительность, следует учитывать простои, вызываемые работой транспортной системы. Автоматическую линию с жесткой транспортной связью оборудования нужно рассматривать как один станок.

Согласно опыту МСКБАЛ и АС и Горьковского автозавода, для ряда значений рабочего цикла $t_{\text{ц}}$ подсчитывается действительная производительность Q с учетом времени простоев.

Данные по простоям оборудования (включая отказы систем управления) устанавливаются на основании обобщения опыта эксплуатации автоматических линий и в большинстве случаев могут считаться независимыми от уровня режимов резания. Затраты времени на смену и регулирование инструментов зависят от уровня стойкостей, а следовательно, от режимов резания.

На основании полученной в результате расчета зависимости производительности Q от времени цикла $t_{\text{ц}}$ с учетом требований программы выпуска деталей устанавливается рациональное значение $t_{\text{ц}}$ и соответствующие ему режимы резания.

Укрупненные расчеты можно выполнять аналогично тому, как рекомендуется для соответствующих многопозиционных станков, принимая стойкость лимитирующих инструментов равной 200 мин машинной работы.

Для всех видов работ прежде всего следует выявить исходные данные, необходимые для расчета. К ним относятся требования технологического процесса, принятая схема обработки (наладка), паспорт оборудования и т. п.

Назначение режимов резания почти во всех случаях начинают с выбора подачи, после чего рассчитывают стойкость, скорость резания и при необходимости — усилия и мощности резания.

Последовательность расчета режимов резания для каждого вида работ указана в картах и нормативных таблицах. Рекомендуемые в кар-

тах и рассчитанные по ним подачи, число оборотов и другие данные уточняют по паспорту станка.

Одной из основных особенностей расчета при многоинструментных наладках является необходимость согласования работы отдельных позиций, шпинделей, суппортов и отдельных инструментов между собой с подчинением расчета общему кинематическому параметру или времени обработки. Общим параметром при точении на одношпиндельных многорезцовых станках является общая для всех инструментов одного суппорта подача на оборот s_0 в мм/об и общее число оборотов детали в минуту; при обработке многошпиндельной сверлильной головкой — единая минутная подача s_m в мм/мин; при работе на многошпиндельном станке — время обработки t_m в мин и т. д.

При пользовании справочником необходимо обратить внимание на то, что в картах вместе с табличными значениями параметров ($v_{табл.}$, $s_{табл.}$ и т. д.) даны коэффициенты и примечания. Для определения режима резания необходимо табличное значение умножить на произведение указанных коэффициентов, учитывая примечания.

В таблицах коэффициенты для скорости резания в зависимости от уровня стойкости даны только для надежно обеспечиваемой стойкости. Прочерки в таблице свидетельствуют о том, что данная стойкость не может быть гарантирована и не должна приниматься в расчет как при определении скоростей резания, так и для оценки стойкости при изменении скоростей резания.

ТОКАРНЫЕ СТАНКИ

Порядок расчета режимов резания для всех станков токарной группы является общим. Однако особенности кинематики станков влияют на технику расчета, поэтому указания даны на отдельные виды обработки:

- одноинструментная обработка на операционных токарных станках;
- многоинструментная обработка на одношпиндельных станках;
- обработка на токарно-копировальных станках с постоянным числом оборотов шпинделя за время рабочего цикла;
- обработка на токарно-копировальных станках, позволяющих менять число оборотов шпинделя за рабочий цикл;
- обработка на многошпиндельных полуавтоматах последовательного действия;
- обработка на многошпиндельных полуавтоматах непрерывного действия.

Для патронных работ на станках типа 1А240П, 1265 ПМ и пм подобных режимы резания принимать по картам Т-2—Т-6, а методику расчета — по карте А-1.

Рекомендации по расчету режимов резания. Карта Т-1

ОДНОИНСТРУМЕНТНАЯ ОБРАБОТКА НА ОПЕРАЦИОННЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

№ этапа	Последовательность определения режима резания	Расчетная формула и нормативы	Исходные данные
I	Расчет длины рабочего хода суппорта $L_{p. x}$ в мм	$L_{p. x} = L_{рез} + y + L_{дон}$ (значение y см. приложение 3, стр. 300)	1. Длина резания $L_{рез}$ 2. Подвод, врезание и перебеги инструмента y 3. Дополнительная длина хода, вызванная в отдельных случаях особенностями наладки и конфигурацией деталей, $L_{дон}$
II	Назначение подачи суппорта на оборот шпинделя s_0 в мм/об: а) определение рекомендуемой подачи по нормативам; б) уточнение подачи по паспорту станка	См. карту Т-2, стр. 22—25	1. Обрабатываемый металл 2. Вид инструмента 3. Глубина (ширина) резания t (б) 4. Жесткость системы 5. Точность обработки 6. Чистота поверхности

№ этапа	Последовательность определения режима резания	Расчетная формула и нормативы	Исходные данные
III	Определение стойкости инструмента по нормативам T_p в мин	См. карту Т-3, стр. 26–27	Коэффициент времени резания λ
IV	Расчет скорости резания v в м/мин и числа оборотов шпинделя n в минуту: а) определение рекомендуемой скорости резания по нормативам; б) расчет рекомендуемого числа оборотов шпинделя станка; в) уточнение числа оборотов шпинделя по паспорту станка; г) уточнение скорости резания по принятому числу оборотов шпинделя	См. карту Т-4, стр. 29–34 $n = \frac{1000v}{\pi d}$ $v = \frac{\pi dn}{1000}$	1. Вид инструмента и инструментальный материал 2. Обрабатываемый металл и его твердость 3. Глубина резания t 4. Подача s_0 5. Угол в плане (в рабочем положении инструмента) ϕ 6. Принятая стойкость инструмента T_p
V	Расчет основного машинного времени обработки t_m в мин (при работе с различными подачами машинное время суммируется по участкам)	$t_m = \frac{L_{p. x}}{s_0 n}$	1. Длина рабочего хода суппорта $L_{p. x}$ 2. Принятые подача s_0 и число оборотов шпинделя n

МНОГОИНСТРУМЕНТНАЯ ОБРАБОТКА НА ОДНОШПИНДЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

№ этапа	Последовательность определения режима резания	Расчетная формула и нормативы	Исходные данные
I	Определение длины рабочего хода каждого суппорта $L_{p. x}$, исходя из длин L , рассчитанных для отдельных инструментов суппорта. Наибольшая из них является длиной рабочего хода суппорта (для сложных наладок $L_{p. x}$ можно определить графически)	$L = L_{рез} + y + L_{дон}$ (значения y см. приложение 3) $L_{p. x} = L_{max}$	1. Эскиз наладки с указанием размеров обработки 2. Подвод, врезание и перебег инструментов y 3. Дополнительная длина хода, вызванная в ряде случаев особенностями наладки и конфигурацией деталей, $L_{дон}$