

2. Резников Н.И., Жарков И.Г., Зайцев В.М. и др. Производительная обработка нержавеющей и жаропрочных материалов. М., Машгиз, 1960.

3. Кривоухов В.А., Егоров С.В., Бруштейн Б.Е. и др. Обрабатываемость резанием жаропрочных и титановых сплавов. М., Машгиз, 1961.

4. Кривоухов В.А., Чубаров А.Д. Обработка резанием титановых сплавов. М., Машгиз, 1970.

5. Резание труднообрабатываемых материалов. Под редакцией проф. ПЕТРУХИ П.Г., М., Машгиз, 1972.

6. Урывский Ф.П., Петров Б.И., Трусов В.Н., Бороздин Б.П. Исследование процесса электроалмазной обработки быстрорежущей стали Р9К5. Межвузовский сборник № 3. Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов. Куйбышев, 1974.

7. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. Под редакцией проф. РЕЗНИКОВА Н.И. М., Машгиз, 1972.

М.И.Клушин

**ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ.
СОДЕРЖАНИЕ ПОНЯТИЯ И ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ
КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

Свойство, получившее название "обрабатываемость металлов резанием" (ОМР), относится к группе технологических свойств металлов, т.е. таких, которые проявляются в особых условиях воздействия на металлы, складывающихся при выполнении различных операций технологического процесса.

1. Система резания

При обработке материалов резанием в результате локального разрушения материала, осуществляемого лезвиями (режущими кромками) инструмента и происходящего в последовательности, predetermined kinematic scheme of cutting, происходит образование новой поверхности на изделии. Оно всегда сопровождается упругой и пластической деформацией удаляемого поверхностного слоя и превращением его в стружку, упругой и пластической деформацией самой обработанной поверхности и износом рабочих граней и лезвий режущего инструмента.

Указанный комплекс процессов и является объектом изучения прикладной технологической дисциплины - теории обработки резанием. Эти процессы совершаются одновременно, они тесно связаны между собой и образуют единую систему, которую мы будем называть системой резания. Система резания (рис. 1) входит в состав некоторой органичной целостности [1], которая характеризуется тем, что



"... взаимозависимость частей здесь такова, что она выступает не в виде линейного причинного ряда, а в виде своеобразного замкнутого круга, внутри которого каждый элемент связи является условием другого и обусловлен им" (К.Маркс. Экономические рукописи 1837-1859 гг. Соч., изд. 2-е, т. 46, ч. I).

Р и с. 1. Система резания

На рис. 2 дан перечень независимых переменных факторов состояния системы и параметров (результатов) ее функционирования.

Приведенные перечни как независимых факторов состояния системы, так и параметров ее функционирования не являются исчерпывающими: несомненно, в практике встречаются такие операции обработки резанием, для успешного осуществления которых существенную, а иногда и решающую роль играют другие переменные факторы состояния и другие параметры функционирования.

На каждый из параметров функционирования в большей или меньшей степени влияют все переменные факторы состояния системы. В целом система резания характеризуется большим числом связей и возможных состояний, т.е. является сложной системой.

Общая математическая модель системы резания представляет собой совокупность уравнений:

$$a = f_a (1, 2, \dots, 9, 10),$$

$$\delta = f_\delta (1, 2, \dots, 9, 10),$$

$$u = f_u (1, 2, \dots, 9, 10).$$

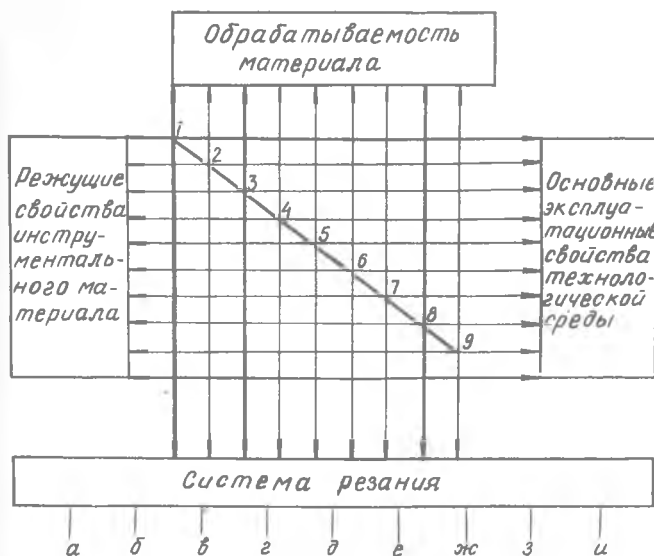


Рис. 2. Факторы состояния системы резания и параметры ее функционирования. Переменные параметры системы - вход:

1 - обрабатываемый материал, его свойства; 2 - форма и размеры обрабатываемого изделия; 3 - операция обработки - снимаемый припуск, длина обработки; 4 - режущий инструментальный материал, его свойства; 5 - вид инструмента, его геометрические и некоторые конструктивные параметры; 6 - металлорежущий станок, модель, кинематические и динамические характеристики; 7 - жесткость подсистемы СПИД и ее динамические свойства; 8 - состав и способ применения искусственно подводимой в зону обработки внешней среды; 9 - режим резания.

Показатели функционирования системы - выход:

а - темп износа инструмента; б - критерий затупления инструмента; в - шероховатость обработанной поверхности; г - наклеп и напряженное состояние под обработанной поверхностью; д - точность обработанной поверхности; е - мощность, расходуемая на резание; ж - виброустойчивость процесса; з - стружколомание и стружкозавивание; и - сохранность кромок изделия

2. О содержании и специфике понятия ОМР

Можно указать ряд частных показателей ОМР: максимально достижимый размер сечения срезаемого слоя и достижимая скорость резания с учетом заданной (экономической) стойкости инструмента при определенных прочих условиях резания; достигаемое в фиксированных условиях резания качество, в том числе шероховатость обработанной поверхности изделия; возникающие силы резания и расходуемая на резание удельная мощность.

Нередко на характеристику ОМР существенное влияние оказывают например, вид и форма образующейся стружки, что связано с наличием или отсутствием трудностей в ее отводе из зоны резания и последующей транспортировкой.

Однако в обобщенной форме количественно ОМР следует характеризовать (измерять) предельно низким значением себестоимости машинного времени обработки резанием (в одноинструментальном варианте), практически достижимым на данной ступени развития техники и технологии.

Для операций черновых (обдирочных) это совпадает с себестоимостью удаления с изделия и превращения в стружку единицы объема металла припуска; для операций чистовых (отделочных) себестоимость в большей своей части обусловлена затратами, связанными с получением точности и качества единицы площади обработанной поверхности в соответствии с требованиями техусловий на изделие или других параметров, существенно важных для тех или иных обрабатываемых металлов и видов производств (например, отсутствие сколов или заусенцев на кромках изделия).

Явления, имеющие место как в зоне стружкообразования, так и на поверхностях контакта "стружка-передняя грань инструмента" и "обработанная поверхность изделия - задняя грань инструмента", совершаются в условиях, которые, несомненно, близки к экстремальным ^{x)}.

Уделяемый слой изделия при превращении в стружку подвергается весьма интенсивной пластической деформации под действием касатель-

x) В технике экстремальными принято называть такие условия, когда имеют место высокие или низкие (значительно ниже 0°С) температуры, глубокий вакуум или высокое давление, особые схемы напряженно-деформированного состояния, весьма большие деформации и скорости деформаций и т.п. [2]. Физики экстремальными называют состояния вещества, характеризующиеся необычайно высокой концентрацией энергии, а экстремальными условиями - соответствующие этому внешние условия [3].

ных напряжений с наложенным на них высоким гидростатическим давлением (в таких условиях пластичность металлов резко возрастает). Скорость деформации при резании чрезвычайно велика (в миллионы раз более высокая, чем при статических испытаниях, и на несколько порядков выше, чем обычно принятая при испытаниях металлов скорость на удар). Температурные условия деформации при обработке средне- и низкотемпературопроводных металлов приближаются к адиабатическим (т.е. таким, когда основная часть тепла, образующегося как результат деформации, остается в деформируемом объеме и сильно его разогревает). На передней и задних гранях инструмента появляются весьма высокие контактные напряжения (на большей части контактных зон), что означает господство там тяжелых режимов граничного трения, сопровождающихся интенсивным изнашиванием поверхностных слоев металла инструмента, в результате чего непрерывно образуются участки новых металлических поверхностей и на инструменте. Вновь возникающие металлические поверхности на стружке, обрабатываемом изделии и режущем инструменте в первые мгновения являются физически чистыми и, будучи интенсивно пластически деформированными, обладают необычайно высокой химической и каталитической активностью. В микрizonaх истинного контакта металлов при трении в условиях резания возникают температурные вспышки, которые, охватывая лишь весьма малые объемы металла, создают там очень высокую плотность энергии (хотя и не влияют существенно на среднюю контактную температуру). В связи с этим не исключено, что сам металл в зоне вспышки и окружающая среда частично переходит в плазменное состояние [4]. Пластически деформируемые металлические поверхности излучают поток электронов, причем особенно интенсивно в момент разрыва металлических связей. Эмитированные свободные электроны бомбардируют молекулы внешней среды (кислорода, влаги углеродородных и иных соединений, если они находятся близко к зоне резания), что способствует их ионизации или образованию радикалов (например, гидроксидов OH), весьма активных в химическом отношении [5].

ОМР, разумеется, в первую очередь зависит от комплекса свойств самого обрабатываемого материала: его прочности и пластичности, теплофизических характеристик, химических и физико-химических и других свойств, хотя нельзя выпускать из виду то обстоятельство, что определенные в обычных условиях свойства металлов в условиях резания будут существенно иными.

В то же время обрабатываемой резанием металл находится в активном физико-химическом взаимодействии с инструментальным режущим материалом (ИРМ) и внешней средой, как естественной (воздух), так и искусственно вводимыми в зону резания смазочно-охлаждающими технологическими средствами (СОТС), главным образом, смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ).

В связи с этим ИРМ и СОТС являются важнейшими факторами ОМР, причем важны как свойства этих веществ каждого в отдельности, так и соотношение между их свойствами и свойствами обрабатываемого металла.

Переменные факторы состояния системы резания (см.рис.2) также оказывают влияние на ОМР, поскольку они, некоторые непосредственно, а в большинстве своем косвенно, влияют как на процессы пластической деформации и разрушения срезаемого слоя, так и на условия взаимодействия обрабатываемого металла, инструментального материала и внешней среды. Это осуществляется, в первую очередь, через воздействие на температуру и давления в контактных зонах, а также на динамичность нагружения режущего инструмента и условия проникновения внешней среды в контактные зоны.

Свойствами каждого из взаимодействующих при резании трех тел, соотношением между их свойствами, условиями взаимодействия между контактирующими поверхностями образующейся стружки и передней гранью инструмента, а также обработанной поверхностью изделия и задней гранью инструмента определяются реальные механизмы, интенсивность и результаты взаимодействия. От этого, в свою очередь, зависят процесс стружкообразования, качество обработанной поверхности изделия и особенно сильно - износ рабочих поверхностей режущего инструмента.

Сильная зависимость ОМР не только от обрабатываемого металла, но и от ИРМ, СОТС и большого числа других факторов, необходимость определять максимально достижимое значение ОМР являются глубокой спецификой этого технологического свойства металлов в ряду других свойств.

По мере того, как расширяется наш опыт обработки резанием различных материалов и углубляется научное осмысление этого опыта, становится все более ясным, что не имеют реального смысла понятия "обрабатываемость металлов", "режущие свойства инструментальных материалов", "технологические свойства СОЖ", если трактовать их только как свойства, внутренне присущие собственно обрабатываемому ма-

материалу, собственно инструментальному режущему материалу или собственно СОЖ. Всегда в равной мере решающими оказываются как свойства каждого из этих трех тел, рассмотренные в отдельности, так и процессы, происходящие при их взаимодействии в условиях, складывающихся при выполнении той или иной технологической операции. Поэтому сравнительная оценка режущих свойств инструментального материала или основных эксплуатационных (технологических) свойств СОЖ, сделанная при выполнении группы операций по изготовлению деталей из определенной группы металлов, существенно изменяется, а нередко при изменении обрабатываемых металлов и выполняемых операций будет противоположной. Аналогично и оценка обрабатываемости металлов сильно изменяется при изменении операции обработки, инструментального режущего материала и СОЖ (см.рис.2).

3. Оптимизация сочетания факторов, влияющих на ОМР

Для количественной характеристики какого-либо свойства условия, в которых оно определяется, обычно строго нормируются или, по крайней мере, они заранее известны. Так, например, испытания на твердость металлов проводятся при определенной температуре, определенных (для каждого метода испытания твердости) условиях нагружения.

При испытании металлов на обрабатываемость резанием мы можем нормировать только ИРМ, СОТС и некоторые геометрические и кинематические параметры, такие, как геометрические параметры инструмента, форму и размеры сечения среза, скорость резания. Однако при фиксированных значениях перечисленных факторов физические условия, которые создаются в зоне стружкообразования и на трущихся контактных поверхностях, предопределены, но нам не известны заранее, и их нормировать мы не можем.

Сложность же вопроса состоит в том, что, определяя показатели ОМР для разных металлов при неизменных ИРМ, СОТС, геометрических и кинематических факторов, мы, по существу, еще ничего не определяем, так как путем изменения ИРМ, СОТС, геометрии инструмента и прочего есть возможность очень существенно изменить как абсолютные, так и относительные (т.е. относительно ОМР какого-то определенного металла) значения ОМР данного металла, причем в различной степени для разных комбинаций элементов режима резания.

Следовательно, определению действительного значения ОМР предшествует определение оптимального сочетания факторов, обуславливаю-

щих ОМР, причем не только для каждого металла, но и для каждой операции обработки данного изделия это сочетание будет особенным.

Каков же перечень параметров, влияющих на ОМР, сочетание свойств и численных значений которых подлежит оптимизации?

Для ответа на этот вопрос обратимся ко "входам" системы резания (см.рис.2), т.е. к независимым факторам ее состояния. Среди них заданными являются: обрабатываемый материал, форма и размеры обрабатываемого изделия, операции обработки, в том числе снимаемый припуск и длина обработки, модель станка и вид инструмента. Такой параметр, как жесткость подсистемы СПИД, несомненно, сильно влияющий на функционирование системы резания, в принципе может быть оптимизирован, но это - область еще пока только формирующейся научной дисциплины "Динамика станков". Практически приходится ограничиваться требованием, чтобы были приняты все доступные и разумные меры для увеличения жесткости подсистемы СПИД. Элементы режима резания на данной стадии процедуры определения ОМР выбираются произвольно и не варьируются, так как оптимизация режима резания может быть проведена лишь после того, как установлена ОМР. Заметим, что определение оптимального режима резания есть оптимизация управления системой резания, и эта задача является технико-экономической. Таким образом, практически при определении ОМР подлежат оптимизации сочетания численных значений и свойств следующих параметров: режущий инструментальный материал, геометрические, а для многолезвийных также и некоторые конструктивные параметры инструмента; состав и способ применения искусственно подводимой в зону обработки внешней среды.

Более конкретный перечень относящихся сюда частных параметров устанавливается применительно к каждой операции особо.

Обычно критерием оптимизации является минимальный в единицу времени или на единицу пути удельный износ (темп износа) режущего инструмента или максимальная его стойкость, которая зависит от удельного износа и критерия затупления. Прочие показатели ОМР - ими являются остальные параметры функционирования системы резания - учитываются в форме ограничений. Последние представляют группу неравенств, в левой части которых дается выражение параметра функционирования в зависимости от факторов состояния, в правой - указываются предельно допустимые на данной операции численные значения параметра функционирования. В принципе ОМР можно оптимизировать (если в этом возникает необходимость) по другому какому-либо

критерию, и тогда требуемая величина стойкости войдет в состав ограничений.

Оптимизация сочетания параметров, существенно влияющих на ОМР, в настоящее время может быть осуществлена только экспериментально. При этом обязательно следует базироваться на математической теории многофакторного эксперимента, конкретно - на статистической теории планирования экстремальных экспериментов, поскольку это открывает возможность существенного сокращения объема экспериментальной работы и позволяет отразить взаимовлияния варьируемых параметров.

В данной задаче мы сталкиваемся с необходимостью выявить влияние на ОМР количественных факторов, (например, геометрических параметров инструмента), характеризующихся определенным числом, и качественных (например, ИРМ, СОТС), которые охарактеризовать числом не удастся. Поэтому при составлении плана экспериментов целесообразно использовать комбинаторный анализ, являющийся синтезом факторного (качественного) и регрессионного анализов. Сам комбинаторный план может быть построен, например, на основе метода случайного баланса и полного факторного эксперимента.

Ограничения по другим показателям функционирования системы резания, кроме оптимизируемого, (как указывалось, чаще всего таковым является стойкость инструмента) при проведении экспериментов на основе комбинаторного плана и при обработке их результатов не устанавливаются. Поэтому дополнительно следует проверить, удовлетворяются ли все ограничения при оптимизированном сочетании независимых параметров состояния системы резания.

Следует подчеркнуть, что в описанной процедуре есть один уязвимый момент, объясняющийся тем, что элементы режима резания вообще и скорость резания в частности, при конкретных численных значениях которых проводилась оптимизация, выбираются в конечном итоге произвольно.

Дело в том, что зависимости стойкость инструмента - скорость резания являются немонотонными и пересекающимися. Для примера на рис. 3 показаны зависимости $T - V$ [6], полученные при обработке одного металла резцом из минеральной керамики (кривая 1) и резцом, оснащенным металлокерамическим твердым сплавом (кривая 2).

Вполне очевидно, что если оптимизация проводилась при $V > V_3$, то в оптимальное сочетание факторов, обуславливающих ОМР, войдет минеральная керамика, при $V < V_3$ - металлокерамический твердый сплав.

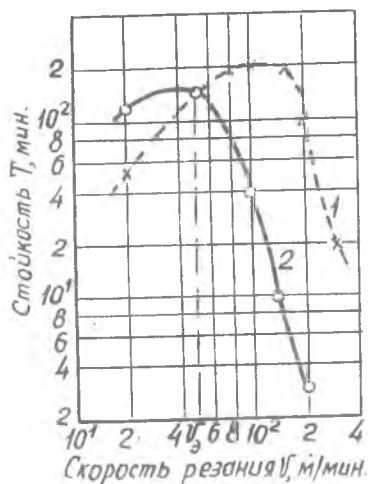


Рис.3. Пример зависимости стойкости инструмента - скорость резания

Убедительного пути преодоления этих трудностей пока не видно.

Единственным средством, которое с большой вероятностью может предотвратить серьезную ошибку в выводах, является предварительное проведение однофакторного эксперимента по установлению зависимости $T - V$ при произвольно выбранных значениях остальных параметров (с учетом ранее накопленной информации) в широком диапазоне изменения скорости резания. Это даст достаточные основания для выбора значений элементов режима резания при последующем проведении многофакторного эксперимента.

4. Расчетные уравнения для определения OM^*

Полная характеристика OM^* включает ту часть уравнений общей математической модели, которая устанавливает зависимость существенно важных для данной операции параметров функционирования системы (темп износа инструмента, показатели качества обработанной поверхности, вибрации и другое) от факторов ее состояния, причем в первую очередь и обязательно от элементов режима резания при оптимизированном сочетании других переменных состояния.

Для большинства операций важнейшей является зависимость стойкости режущих инструментов от элементов режима резания, которая требуется для того, чтобы составить выражение себестоимости операции в зависимости от элементов режима резания. Последнее и является оптимизируемой целевой функцией при расчете режима резания. Уравнения, отражающие зависимость других показателей функционирования от элементов режима резания, представляют основу для записи накладываемых ограничений (неравенств).

Существенно важным для практики количественного определения ОМР является выбор структуры (модели) зависимости стойкость - элементы режима резания.

Мы предлагаем [7] эту зависимость (обобщенную стойкостную зависимость) аппроксимировать формулой

$$T = \frac{C_V^M C_T}{V^M X^{K_X M} + \frac{C_T}{T_{пр}} C_V^M}$$

Такая запись предполагает, что при определенном сочетании переменных факторов состояния системы резания (кроме варьируемых элементов режима резания) существует некоторая предельно достижимая стойкость режущего инструмента $T_{пр}$, превзойти которую не удастся за счет изменения элементов режима резания. Этот вывод вытекает из анализа производственного опыта автомобильной промышленности [8] и подтверждается в ряде случаев результатами лабораторных испытаний, хотя, принципиально рассуждая, это положение не может считаться вполне справедливым.

Величина X получила название характеристики резания. Она зависит от размеров и формы сечения среза (толщины среза и ширины среза); формулы для ее определения приведены в ряде источников [8, с.18], [9, с.305] и др. Показатель степени M и константу C_T получают из зависимости

$$T = \frac{C_T}{V^M},$$

которая может быть определена на основании экспериментов, осуществляемых при постоянном сечении среза (постоянной величине X) в диапазоне скоростей, лежащих на крайне правой ветви кривой $T-V$. Последнее соответствует тому условию, что самая высокая стойкость T_{max} в экспериментах не превышает величину

$$T_{max} \leq T_{S=min} = \frac{M-1}{M} T_{пр}$$

или, что надежнее, величину $T_{max} \leq 0,75 T_{S=min}$,

где $T_{S=min}$ - стойкость, соответствующая минимуму расходов на инструмент.

Константы C_V и K_X определяются из зависимости

$$V_{TC} = \frac{C_V}{X^{K_X}}$$

на основании экспериментов, осуществляемых при постоянной стойкости инструмента $T_C \leq 0,75 T_{S=min}$.

Б. Процедура определения количественных характеристик ОМР

На основании изложенного выше может быть предложена определенная последовательность проведения экспериментальной работы по определению количественных характеристик ОМР.

А. При относительно небольшом сечении среза в целях предварительного выяснения характера зависимости стойкость-скорость при изменении скорости резания в широком диапазоне проводится однофакторный эксперимент. Такие независимые параметры состояния системы резания, как ИРМ, геометрические и конструктивные параметры режущего инструмента и СОТС выбираются на основе имеющегося опыта обработки резанием, близких по свойствам материалов с учетом известных литературных данных. Предварительно отлаживается жесткость системы СПИД. При проведении опытов составляется представление о видах износа режущего инструмента, уточняются критерии затупления и исследуются корни стружек. Одновременно в опытах фиксируются параметры качества обработанной поверхности и некоторые другие параметры функционирования системы резания, а именно, те, которые предположительно могут лимитировать на данной операции режим резания, в том числе и амплитуда вибраций.

Обязательным результатом этого этапа определения ОМР должно являться выяснение скорости резания, соответствующей максимальной стойкости (минимальной скорости износа) инструмента на крайне правой ветви зависимости стойкость-скорость.

Б. При скорости резания, соответствующей максимальной стойкости инструмента для условий проведения опытов, принятых на этапе А, и при том же сечении среза осуществляется оптимизация сочетания ИРМ, геометрических и конструктивных параметров режущего инструмента и СОТС на основе многофакторного планируемого эксперимента.

В качестве критерия оптимизации выбирается, как правило, стойкость режущего инструмента. Одновременно при проведении опытов фиксируются прочие показатели ОМР, существенно важные для данной операции.

Величина стойкости инструмента при оптимальном сочетании переменных факторов состояния системы обозначается $T_{пр}$

В. Проводится серия опытов по определению так называемой "ломающей подачи".

Г. Методом однофакторного эксперимента при трех различных значениях характеристики резания проводится по три опыта на трех скоростях резания при каждом из значений характеристики резания (всего проводится 9 опытов с несколькими повторениями каждого из них).

Максимальное значение характеристики резания соответствует ломающей подаче, минимальное - подаче 0,2 мм/об. Скорости резания подбираются так, чтобы величина получаемой в опытах стойкости удовлетворяла неравенству

$$T \leq 0,75 T_{S=\min}$$

По результатам этого этапа опытов устанавливается значение показателя степени μ в формуле

$$T = \frac{C_T}{V^\mu}$$

значение константы C_V и показателя степени K_x в формуле

$$V_{Tc} = \frac{C_V}{T^{K_x}}$$

где T_c - любое, заранее выбранное значение, $T_c \neq \text{const}$ при условии, что $T_c \leq 0,75 T_{\text{пред}}$.

Это значение стойкости соответствует определенному ранее значению константы C_V .

Д. Записывается обобщенная стойкостная зависимость в форме

$$T = \frac{C_V^\mu T_{\text{пр}} T_c}{(T_{\text{пр}} - T_c) T^{K_x \mu} V^\mu + C_V^\mu T_c}$$

или в форме

$$T = \frac{T_{\text{пр}}}{\frac{T_{\text{пр}} - T_c}{T_c} \left(\frac{T^{K_x} V}{C_V} \right)^\mu + 1}$$

При окончательной аппроксимации полученной совокупности экспериментальных данных (стойкостных опытов) значения констант C_T и C_V дополнительно корректируются.

Е. Выбирается деталь - представитель, для которой составляется уравнение, выражающее зависимость переменной части себестоимости от элементов режима резания (целевая функция), и неравенства, ограничивающие пределы возможного изменения элементов режима резания. Минимум целевой функции и будет определять меру ОМР металла на данной операции.

Обобщая изложенное, можно сделать два вывода:

1. Математическая модель системы резания, приведенная в символической записи в первом параграфе, содержит в себе исчерпывающую характеристику OM^P , поскольку позволяет решать любые задачи. Однако составить всю систему входящих в модель уравнений пока невозможно. Изложенная процедура определения OM^P является компромиссом между тем, что в принципе требуется для полного определения OM^P и тем, что достижимо реально с затратой времени и средств в разумных пределах.

2. OM^P количественно можно было бы выразить в различных "натуральных" показателях. Основное преимущество оценки OM^P через себестоимость обработки типовых изделий - представителей заключается в том, что при таком подходе количественная оценка OM^P приобретает свойство аддитивности. Последнее очень важно, так как в конечном итоге нам приходится сравнивать обрабатываемость данного металла по сравнению с другим металлом при условии, что они обрабатываются на различных операциях. Разумеется, что при разных наборах типовых операций будет различной и оценка OM^P .

Л и т е р а т у р а

1. Б л а у б е р г И.В., Ю д и н Б.Г. Понятие целостности и его роль в научном познании. М., "Наука", 1972.
2. С а в и к и й Е.М. Перспективы развития металловедения. М., "Наука", 1972.
3. К и р ж и ц Д.А. Экстремальные состояния вещества (сверхвысокие температуры и давления). "Успехи физических наук", 1971, т. 104, вып. 3.
4. П о д о л ь с к и й Ю.Я. Химическая активность смазочных сред при граничном трении. Автореферат диссертации представленной на соискание ученой степени докт.технич.наук. М., 1971.
5. Л а т ы т е в В.Н. Исследование механохимических процессов и эффективности применения смазочных сред при трении и обработке металлов. Автореферат диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 1973.
6. К и ф е р Р., В е н е з о в с к и й Ф. Твердые сплавы. М., "Металлургия", 1971.

7. К л у ш и н М.И. Обобщенные зависимости для расчета режима резания. В сб.: "Физика резания металлов". Изд. АН АССР. Ереван, 1971.
8. Г и л ь м а н А.М. и др. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках. М., "Машиностроение", 1972.
9. Режимы резания металлов. Справочник под ред. Ю.В. Барановского. М., "Машиностроение", 1972.

М.Т. Полетика, В.Н. Сбоев, А.Н. Афонасов

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Выбору оптимальных по экономическим критериям (экономичных) режимов резания в настоящее время уделяется все большее внимание. Разработано значительное количество методик экономических расчетов, но, к сожалению, они или неудобны для повседневных расчетов из-за своей сложности и громоздкости, или не обеспечивают требуемой точности при относительной простоте. Применение ЦЭВМ для экономических расчетов не всегда целесообразно.

Предлагаемый метод позволяет быстро и с высокой степенью точности решать основные задачи, возникающие в процессе технологической подготовки производства (выбор оптимальных режимов обработки, сравнение вариантов используемого оборудования и инструмента и ряд других задач).

В основу метода заложены положения, опубликованные К.М. Великановым и В.И. Новожиловым в работе [1]. Метод позволяет определить не только положение оптимума, но и построить полную совокупность зависимостей $Q = f(V)$ (где Q - критерий оптимальности, V - скорость резания). Такие зависимости более удобны, поскольку технолог сразу получает всю информацию о возможных режимах резания (рис. 1, 2) и может количественно оценить, что он теряет и что выигрывает при смещении режима от оптимального по какому-либо критерию. Сам же оптимальный режим выявляется в процессе построения по положению экстремума используемого критерия.

В качестве основных рассматриваются следующие критерии оптимальности:

реальная производительность труда - Pr ;

максимальная производительность труда - P_{max} ;