
МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 621.9.01

И.А. Савин

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ВАРИАНТОВ МАТЕРИАЛА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА И МЕТОДА ЕГО ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ (НЧФ КНИТУ-КАИ)
г. Набережные Челны

Современное механообрабатывающее поточное производство характеризуется значительными объемами выпуска деталей. Эффективная эксплуатация специального дорогостоящего оборудования приводит к интенсификации процессов резания. Этими процессами можно эффективно управлять за счет выбора оптимального сочетания свойств инструментальных материалов и методов их поверхностного упрочнения и комбинаций параметров режима резания. Окончательный выбор наиболее экономичного варианта обработки производится не для отдельного процесса резания, а для всей системы связей в операции.

Ключевые слова: инструментальный материал, поверхностное упрочнение, процесс резания.

В настоящее время в процессе проектирования технологии обработки резанием зачастую весь расчет сводится только лишь к назначению параметров режима резания. Но данные параметры обуславливают только одну сторону условий протекания процесса резания. Резание как физический процесс определяется взаимодействием поверхностных слоев конкретного обрабатываемого материала с конкретным материалом поверхностного слоя режущей части инструмента в заданных параметрах режима резания. Таким образом, необходимо проанализировать, какие возможные варианты инструментального материала, а, в общем случае, и варианты свойств поверхностного слоя режущей части, получаемых тем или иным способом поверхностного упрочнения, могут быть использованы при известном режиме резания. При уже полностью спроектированном на верхних структурных уровнях содержании технологии этот ее элемент остается единственным, за счет которого можно достаточно гибко управлять ее эффективностью.

В большинстве существующих методик технологического проектирования выбор марки инструментального материала сведен к отдельной единичной процедуре его назначения перед началом расчета количественных параметров в соответствии с технологическими рекомендациями. В этом случае практически не используется возможность альтернативного выбора, т.е. назначения хотя бы двух марок с последующим сравнением их эффективности по количественным показателям. Наиболее наглядно это проявляется при назначении только одного варианта поверхностного упрочнения, хотя совершенно очевидно, что при наличии на заводе участка покрытий является необходимым оперативное сравнение по эффективности хотя бы нескольких конструкций поверхностных слоев. Это вполне возможно выполнить даже без использования ЭВМ, так как не требуется чрезмерных затрат времени на относительно небольшой объем вычислений по

каждому варианту. К сожалению, до сих пор нет нормативных материалов, содержащих достаточно четкие обоснования по выбору метода поверхностного упрочнения, состава и конструкции покрытия для конкретных условий обработки в конкретных операциях и переходах. Вся информация сосредоточена в статьях и немногих монографиях, причем представляет собой лишь только достаточно общие рекомендации, не систематизированные настолько, чтобы их можно было использовать для решения практических задач.

В соответствии с общей логикой проектирования и последовательностью расчетов параметров режима резания методика отбора вариантов материала режущей части должна представлять собой строго упорядоченную процедуру отбора. Практически это значит, что необходима соответствующим образом организованная база данных марок инструментальных материалов, методов их поверхностного упрочнения, состава и свойств упрочненных слоев. Структура ее должна определиться строением принятой модели технологии.

Сформировать такую базу можно на основе существующих в настоящее время баз. Во многих справочниках общая совокупность марок инструментального материала уже сгруппирована по очевидным признакам - способу получения, химическому составу, строению, диапазону значений основных свойств. Примерная рекомендуемая область применения каждой марки обусловлена ее комплексом свойств. Однако глубина рекомендаций на применение того или иного инструментального материала, как правило, ограничивается достаточно общими признаками (зависит от этапа обработки, типа инструмента). Существует множество примеров базы марок инструментальных материалов. Развитие же современных методов повышения износостойкости режущих инструментов требует четкой систематизации материалов режущей части инструмента, имеющих поверхностные слои с измененными свойствами.

В результате анализа особенностей промышленной эксплуатации режущего инструмента с покрытием можно отметить следующее:

- инструмент с покрытием заметно дороже инструмента без покрытия, что требует более высокой культуры производства, использования неизношенного станочного оборудования, тщательного экономического анализа целесообразности использования инструмента с покрытием;
- наиболее целесообразно эксплуатировать инструмент с покрытием на скоростях, превышающих скорость резания обычного инструмента на 30–60%. Такие скорости соответствуют оптимальной экономической скорости резания, минимизирующей интенсивность изнашивания и затраты на обработку резанием;
- в настоящее время промышленность использует разнообразный режущий инструмент с покрытием, получаемый различными технологическими методами, что требует от заводских технологов знаний областей наиболее рационального использования такого инструмента. Эффективность инструмента с покрытием при различных условиях обработки сильно зависит от метода получения покрытия даже одного химического состава.

В целом совокупность имеющихся справочников, по сути, представляет собой достаточно подготовленную общую базу данных для выбора инструментальных материалов на верхних структурных уровнях технологии. Но для более конкретной проработки задачи повышения эффективности обработки резанием за счет рационального применения инструментальных материалов требуется однозначно рекомендовать или не рекомендовать данную марку к применению в конкретных условиях рабочего хода, определяемых на всех иерархических уровнях структуры технологии. Это значит, что необходима дополнительная дифференциация справочных рекомендаций. Кроме того, систематизация марок инструментальных материалов должна быть также дополнена систематизацией характеристик поверхностных слоев с измененными свойствами (СИС), иначе нельзя

объективно определить возможность применения и технологий упрочнения в целом, и множества вариантов состава и конструкций упрочненных слоев для конкретных условий обработки. В общем виде предложенная систематизация представлена на рис. 1.



Рис. 1. Систематизация вариантов материала режущей части инструментов, имеющих слой с измененными свойствами (СИС) для их альтернативного выбора при проектировании процессов резания

Применяемые способы сгруппированы в ней не просто по их физическим особенностям, но и по конечному результату - диапазону характеристик и вариантам конструкции получаемых слоев, которые и необходимо знать для принятия решения об их применении. Всего предусмотрено четыре признака, ранжированных в строго определенном порядке.

Исходя из того, что области применения традиционных марок материалов определены достаточно четко, **первым признаком** становится наличие на материале режущей части инструмента какого-либо варианта упрочненного слоя. Это условие разграничивает диапазоны свойств этих слоев, т.е. по сути, вводятся новые классы материалов, обладающие качественно различными служебными характеристиками. Очевидно, что упрочнение основы,

т.е. изменение свойств уже имеющегося материал, не позволит намного увеличить их твердость и износостойкость, в отличие от нанесения покрытий, свойства которых практически не зависят от свойств основы.

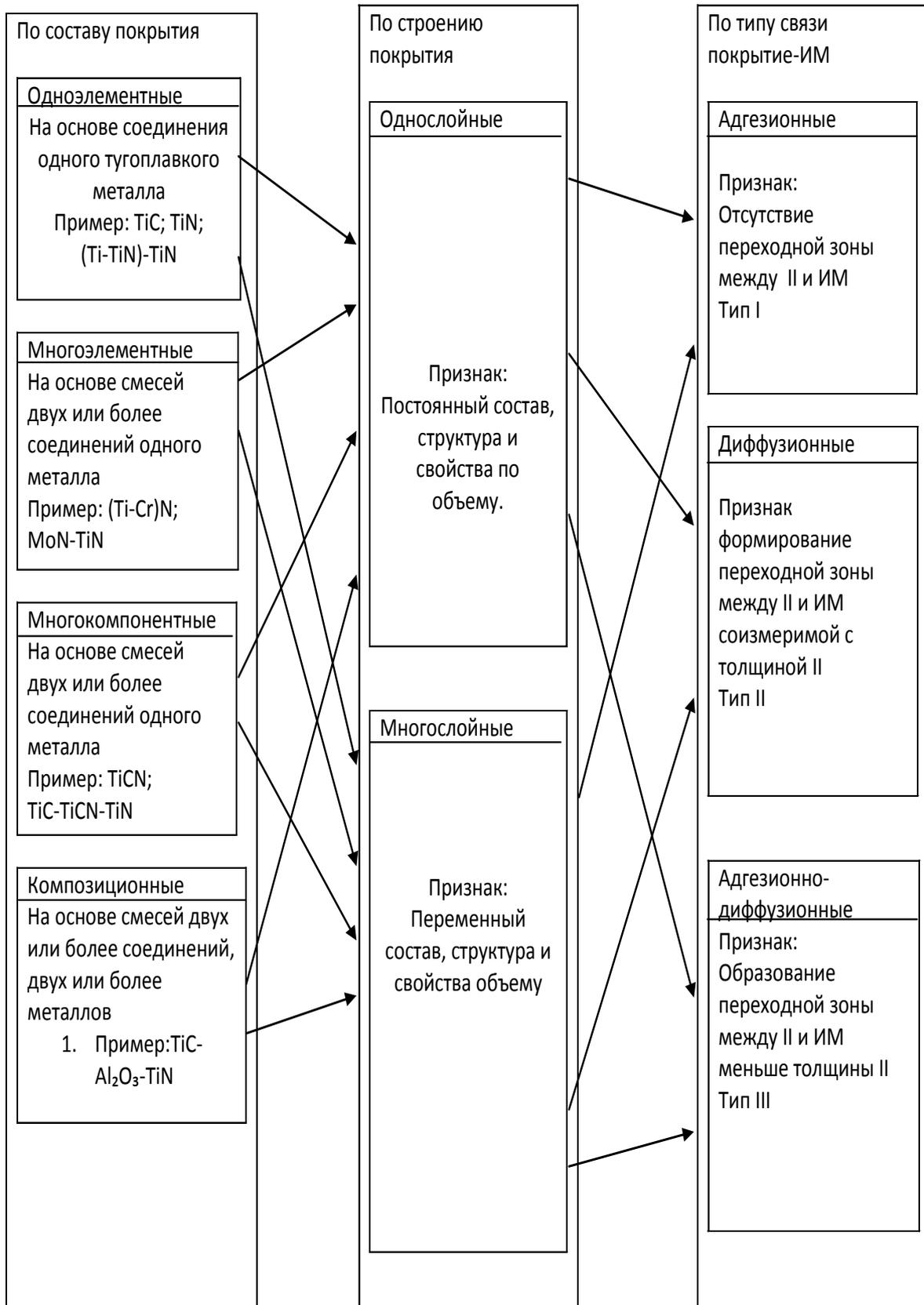


Рис. 2. Классификация износостойких покрытий для режущего инструмента [1]

Вторым признаком систематизации является возможная технология получения того или иного варианта упрочненного слоя режущей части инструмента. Он определяет возможности использования упрочненного слоя в производстве. Наиболее распространенной технологией поверхностного упрочнения является нанесение износостойких покрытий на режущие инструменты. Существующие и широко применяемые в промышленности методы нанесения покрытий укрупнено разбиты на три группы (рис. 2) [1].

Однако, помимо нанесения износостойких покрытий на поверхности инструментов, существуют еще четыре группы технологий поверхностного упрочнения режущих инструментов[1]:

1. Методы механического упрочнения: вибрационный, дробеструйный, взрывом и т.д. Наиболее часто используют для упрочнения инструментов из быстрорежущей стали и твердых сплавов. Поверхностное пластическое деформирование (ППД) – наклеп поверхностного слоя на глубину 0,2-0,8 мм с целью создания в нем остаточного напряжения сжатия. При наклепе поверхностный слой расплющивается. Удлинению поверхностного слоя препятствует сила сцепления с нижележащими слоями металла. Вследствие этого в наклепанном слое возникают двухосные напряжения сжатия, а в толще основного металла незначительные реактивные напряжения растяжения. Складываясь с рабочими напряжениями растяжения, остаточные напряжения сжатия уменьшают, а при достаточно больших значениях компенсируют первые. Возникающие при наклепе множественные искажения структуры (деформация зерна, местные пластические сдвиги) эффективно тормозят развитие усталостных повреждений и расширяют область существования нераспространяющихся трещин, увеличение которых обуславливает существование разрушающих напряжений.

Эффективен наклеп в напряженном состоянии, представляющий собой сочетание упрочнения перегрузкой с наклепом. При этом способе деталь нагружают нагрузкой того же напряжения, что и рабочая, вызывая в материале упругие или упругопластические деформации. После снятия нагрузки, в поверхностном слое возникают остаточные напряжения сжатия. Наклепанный слой чувствителен к нагреву. При температурах 400-500 °С действие наклепа полностью исчезает из-за наступающего при этих температурах процесса рекристаллизации, устраняющего кристалло-структурные изменения, внесенные наклепом. Основные разновидности упрочнения поверхности пластической деформацией: дробеструйная обработка, обкатывание, чеканка, алмазное выглаживание.

Дробеструйная обработка заключается в наклепе поверхностного слоя потоком закаленных шариков (диаметр 0,5-1,5 мм), создаваемым центробежными дробеметками. Качество поверхности при данном процессе немного снижается. Плоские поверхности упрочняют обкатыванием шариками, установленными во вращающемся патроне. Заготовке придают движение продольной и поперечной подачи, при правильно выбранном режиме обкатывания остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое составляют 600-1000 МПа. Глубина уплотнения слоя 0,2-0,5 мм. Данный процесс улучшает качество поверхности детали. Поверхность вращения упрочняют обкатыванием стальными закаленными роликами. Силу прижатия ролика выбирают с таким расчетом, чтобы создать в поверхностном слое напряжения, превышающие предел текучести материала в условиях всестороннего сжатия (для стали 5000-6000 МПа). Чеканку производят бойками со сферической рабочей поверхностью, приводимыми в колебания пневматическими устройствами. Частота колебаний и скорость вращения заготовки должны быть согласованы таким образом, чтобы наклепанные участки перекрывали друг друга. Алмазное выглаживание заключается в обработке предварительно шлифованной и полированной поверхности закругленными алмазными резцами (радиус 2-3 мм). Поверхностный слой уплотняется до глубины 0,3-0,5 мм.

2. Методы химико-термической обработки (ХТО) инструментальных сталей: азотирование, цементация, карбонитрация, оксидирование, борирование в газовых и жидких средах,

тлеющем газовом электрическом разряде (ионное азотирование). Высокую поверхностную прочность обеспечивает изотермическая закалка, а также термомеханическая обработка поверхности детали. При поверхностной закалке (газопламенная закалка) и химико-термической обработке (цементование) упрочнение обусловлено главным образом возникновением в поверхностном слое остаточных сжимающих напряжений вследствие образования структур большего удельного объема (нитриды и карбонитриды при нитроцементации и азотировании), чем структуры основного металла. Расширение поверхностного слоя тормозит сердцевина, сохраняющая исходную перлитную структуру, вследствие чего в поверхностном слое возникают двухслойные напряжения сжатия. В нижних слоях развиваются реактивные растягивающие напряжения, имеющие малое значение из-за незначительности сечения термически обработанного слоя сравнительно с сечением сердцевины. Создание предварительных напряжений сжатия снижает среднее напряжение в области сжатия, тем самым повышается предел выносливости. Газовая закалка повышает предел выносливости по сравнению с исходной конструкцией из необработанной стали в 1,85 раза. Наиболее эффективным способом обработки является азотирование, которое практически полностью устраняет внешних концентраторов напряжений. Азотирование не вызывает изменения формы и размеров детали. Азотированный слой обладает повышенной коррозионно- и термостойкостью. Твердость и упрочняющий эффект сохраняются вплоть до температур 500-600 °С. Оптимальные толщины слоя уплотнения при цементации 0,4-0,8 мм, цементовании и азотировании 0,3-0,5 мм, закалке с нагревом и газовой закалке 2-4 мм. Качество поверхности значительно улучшается.

3. Электроискровое, магнитное, ультразвуковое упрочнение. Данные метода редко применяются для обработки режущих инструментов.

4. Физическое упрочнение: лазерная обработка, ионная имплантация. Технология ионной имплантации является на сегодня одной из наиболее перспективных с точки зрения создания композиционных материалов с оптимальным набором поверхностных и объемных свойств.

Ионная имплантация – это процесс, в котором практически любой элемент может быть внедрен в приповерхностную область любого твердого тела – мишени (подложки), помещенной в вакуумную камеру, посредством типа высокоскоростных ионов, имеющих энергию в несколько мегаэлектронвольт. Ионы внедряются в материал мишени (подложки) на глубину от 0,01 мкм до 1 мкм, теряя энергию в процессе столкновений с атомами основы. Профиль (распределение) концентрации примеси по глубине для большинства комбинаций внедряемый атом – мишень (подложка) может быть вычислен. Для малой дозы ионов (малого числа ионов на единицу площади) профиль распределения концентрации примеси по глубине обычно хорошо описывается гауссовым распределением с центром в середине области распространения. В результате ионной имплантации образуется поверхностный слой сплава с изменяющимся составом, который не обладает выраженной поверхностью раздела, характерной для осажденного покрытия.

Преимуществом ионной имплантации, как метода модифицирования поверхности по сравнению с другими методами упрочнения поверхности, являются:

- увеличение растворимости в твердом состоянии;
- независимость образования сплавов от констант диффузии;
- возможность быстрого изменения состава сплава;
- независимость от процессов, протекаемых в объеме материала;
- возможность процесса при низких температурах;
- весьма незначительное изменение размеров обрабатываемой детали;
- отсутствие проблемы аугезии, так как не существует ярко выраженной поверхности раздела;

- контролируемая глубина распределения концентрации;
- вакуумная чистота;
- высокая контролируемость и воспроизводимость.

Основным недостатком ионной имплантации является обработка только той части поверхности инструмента, которая находится непосредственно в области действия пучка ионов.

Технологии нанесения покрытий на инструменты обладают высокой производительностью, универсальностью, экономичностью. Кроме того, появляется возможность управления условиями формирования и свойствами покрытий, а также свойствами композиции покрытие – инструментальный материал. Инструментальный материал с износостойким покрытием является новым материалом композиционного типа, в котором оптимально сочетаются свойства поверхностного слоя (высокие значения твердости, теплостойкости, пассивности по отношению к обрабатываемому материалу и т. д.) и свойства, проявляющиеся в объеме тела инструмента (прочность, ударная вязкость, трещиностойкость и т. д.).

Третьим признаком является общая, интегральная характеристика упрочненного слоя - его суммарная толщина, Влияние толщины износостойкого покрытия на работоспособность инструмента достаточно подробно рассмотрено в [1, 2].

Толщина слоя с измененными свойствами является важнейшей его характеристикой. Во-первых, разные технологии упрочнения могут обеспечить строго определенные диапазоны толщин, во-вторых, каждый вариант слоя имеет свой оптимум. Так, А.С.Верещака и С.В.Касьянов сделали вывод, что "эффективность более толстых покрытий при точении проявляется по мере роста скорости резания. Однако, даже при удовлетворительной жесткости СПИД при скоростях резания 80-120 м/мин, рост толщины покрытия более 7 мкм не приводит к повышению стойкости инструмента вследствие плохой сопротивляемости более толстых покрытий разрушению в условиях выраженных адгезионно-усталостных процессов, свойственных рассматриваемому диапазону скоростей резания. При росте скорости резания более 160 м/мин возникают высокие температуры, резко инициируются коррозионно-окислительные и диффузионные процессы и в большей степени сказывается роль покрытия как барьера диффузионным процессам. Поэтому здесь более эффективны толстые (до 14 мкм) покрытия". В настоящее время достаточно четко установлено, что, например, на инструментах из быстрорежущей стали толщины покрытий не должны превышать 4-5 мкм при непрерывном резании и 2-3 мкм при прерывистом. Для быстрорежущих сталей повышенной теплостойкости рекомендуют повышать толщину покрытия на 2-3 мкм. Рекомендации по назначению толщины слоя для инструмента из твердых сплавов приведены в различных справочниках.

Четвертым признаком группирования является дифференцированная характеристика упрочненного слоя - конкретное сочетание толщин, химического состава и структуры составляющих его слоев. Широко известно, например, что даже незначительное изменение только одного элемента (толщины или химического состава одного из составляющих слоев) позволяет существенно повысить потенциал работоспособности инструментов [1]. Для упрочненных слоев основы важным является оптимальность градиента свойств от сердцевины к поверхности. Технологические особенности получения слоев с измененными свойствами не являются самостоятельными признаками группирования, они лишь обеспечивают служебные характеристики конструкции слоя.

В результате проведенных исследований предложена и реализована на практике методика формирования текущей базы данных вариантов материала режущей части инструмента и метода его поверхностного упрочнения.

Собственно процесс отбора представляет собой последовательность процедур ввода ограничений на применение вариантов, включенных в базу данных, построенную на основе

систематизации, предложенной выше. В каждом структурном элементе принимается решение об исключении тех или иных вариантов. Практически методика реализуется путем последовательной работы с комплектом таблиц, раскрывающих содержание ограничений либо с несложной компьютерной программой, встраиваемой как в САПР РИ, так и в САПР ТП.

Конкретному варианту материала режущей части инструмента присваивается свой код. Используя его, легко обеспечить автоматизированный выбор вариантов из созданной базы данных. При этом процедура отбора в каждом структурном элементе выполняется по единой схеме:

- выбор характеристик факторов, влияющих на выбор;
- принятие решения по возможным альтернативным вариантам содержания структурного элемента;
- окончательный результат отбора.

Например, применение предложенного процесса выбора материала режущей части на примере наиболее развитой, универсальной операции обработки заготовки на станке токарной группы показывает, что только за счет этих процедур возможно повышение эффективности обработки до 10%, так как в токарной операции возможна обработка практически всех групп обрабатываемых материалов в широком диапазоне значений твердости, они могут содержать различные сочетания переходов (точение проходными, фасочными, расточными, отрезными, прорезными, отрезными, фасонными, фасонными тангенциальными резцами, сверление, зенкерование, развертывание отверстий, нарезание наружных и внутренних резьб, накатывание рифлений). Во многих переходах могут быть использованы разнообразные конструкции режущих инструментов как цельных, так и сборных. Режущая часть инструментов, кроме того, может быть изготовлена из инструментальных материалов различных групп, в том числе имеющих поверхностные слои с различными свойствами. Процессы резания могут выполняться в широком диапазоне параметров режима резания. Поэтому именно для токарной операции может быть предложено наибольшее количество возможных вариантов материала режущей части инструмента.

Поэтапное упорядоченное выполнение всех расчетов при проектировании технологии при условии группирования расчетных параметров позволяет учесть все возможные варианты реализации процессов резания (комбинацию параметров режима резания и материала режущей части инструмента) при известных ограничениях по условиям производства и требованиям технологии, а значит, оперативно оценить целесообразность применения отдельных вариантов для дальнейших расчетов на любом этапе проектирования. Структура базы исходных данных для расчетов формируется в соответствии с последовательностью выполнения расчетов и группированием расчетных характеристик.

Выбор альтернативных вариантов материала режущей части инструмента, в отличие от существующих методик, представляет собой не разовую, отдельную процедуру, а упорядоченный процесс ввода ограничений на использование всех возможных марок сердцевины режущей части, а также комбинаций "основа-покрытие" из числа применяемых в условиях данного производства в рамках каждого структурного элемента технологии. Именно такой подход позволил заметно повысить эффективность технологических процессов обработки резанием в массовом и крупносерийном производстве при минимуме понесенных затрат.

Библиографический список

1. **Верещака, А.С.** Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.

-
2. Резание материалов. Режущий инструмент / Н.А. Чемборисов [и др.]: учеб. для вузов в 3 т. – Наб. Челны.: ИНЭКА, 2006. – 270 с.

*Дата поступления
в редакцию 30.06.2012*

I.A. Savin

**FORMATION OF THE DATABASE OPTIONS FOR THE MATERIAL
OF THE CUTTING TOOL AND ITS METHOD OF SURFACE HARDENING**

Kazan national research technical university n.a. Tupolev (Naberezhnochelninsky branch)

Modern mass production machining is characterized by significant volumes of production parts. Efficient operation of a special expensive equipment leads to an intensification of the cutting processes. These processes can be effectively controlled by choosing the optimum combination of properties of tool materials and methods of surface hardening treatment parameters and combinations of cutting. The final selection of the most cost-effective treatment option for an individual is not the cutting process, and for the entire system of relations in the operation.

Key words: tool material, surface hardening, the process of cutting.