

УДК 621.9.01

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ РЕЗАНИЕМ

Н.А. Чемборисов

Изложен способ формирования экспертной системы для альтернативного отбора материала режущей части инструмента из баз данных.

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

В настоящее время широкое распространение нашли детали со сложным профилем поверхности, к которым относятся: кулачки и ходовые винты металлорежущих станков, режущие инструменты (РИ), зубчатые колеса редукторов и различных коробок передач автомобилей, коробок скоростей и подач металлорежущих станков. Сюда следует добавить различного рода фасонные пуансоны и матрицы ковочных и вырубных штампов, прессовые формы для вулканизации, металлические модели для точного литья, а также ряд инструментов, применяемых в медицине (нейрохирургии и стоматологии). Для их получения требуется дорогостоящее автоматизированное оборудование. Эксплуатация данного оборудования характеризуется ужесточением условий работы РИ и повышением требований к синхронизации смены РИ и повышению качества самого оборудования. Достаточно жесткие требования предъявляются к продолжительности технологической операции. При этом обработка резанием остается наиболее предпочтительной для окончательного формирования поверхности деталей, несмотря на появление множества других методов. В современных условиях санкций против России на первый план выходят требования по строгому учету затрат на производство, в том числе, на применение РИ, в значительной степени определяющего эффективность обработки резанием. Повысить эффективность применения РИ можно уже на этапе технологической подготовки производства (ТПП) за счет рационального выбора наиболее оптимальных вариантов инструментальных материалов (ИМ) и методов их поверхностного упрочнения, а также определения профиля образующей производящей поверхности РИ.

В современных условиях должно быть проработано возможно большее количество вариантов реализации технологии, т.к. именно это позволяет определить затраты на реализацию различных вариантов обработки, что, в свою очередь, позволяет выбрать наиболее экономичный вариант получения заданного конечного результата.

При формировании сложных поверхностей деталей резанием важное значение придается выбору материала режущей части инструмента (РЧИ). Основой отбора вариантов реализации процесса резания является расчет затрат на сам процесс резания. Они включают в себя затраты на изготовление РИ и используемую электроэнергию.

Значения параметров режима резания обуславливают только одну сторону условий обработки материалов. Резание определяется взаимодействием поверхностных слоев конкретного обрабатываемого материала (ОМ) с конкретным материалом поверхностного слоя РЧИ в условиях, заданных количественными значениями параметров режима резания. Таким образом, необходимо проанализировать, как возможные варианты марки ИМ, а в общем случае и варианты свойств поверхностного слоя РЧИ, получаемых тем или иным способом поверхностного упрочнения, могут быть использованы при заданных технологических ограничениях. На сегодняшний день нет строгой аналитической зависимости между инструментальным материалом и обрабатываемым материалом.

Практически во всех существующих методиках проектирования технологического процесса (ТП) выбор марки ИМ сведен к отдельной единичной процедуре его назначения перед началом расчета количественных параметров в соответствии с технологическими рекомендациями, т.е. не используется возможность альтернативного выбора 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 машиностроительном предприятии участка покрытий является необходимым оперативное сравнение по эффективности хотя бы нескольких конструкций поверхностных слоев. 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 немногих работах, причем представляет собой лишь только достаточно общие рекомендации, не систематизированные настолько, чтобы их можно было использовать для решения задач реального производства.

Сформировать базу знаний для осуществления альтернативного отбора материала РЧИ можно на основе существующих в настоящее время баз данных (БД). Во многих справочных материалах общая совокупность марок ИМ 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 ИМ как правило ограничивается достаточно общими признаками (этап обработки, тип РИ).

В решении проблемы создания ИМ с оптимальным сочетанием основных физико-механических и теплофизических свойств крупный шаг был сделан в начале 70-х годов с появлением газовой и вакуумно-плазменной технологии нанесения износостойких покрытий. Использование таких технологий дает возможность формировать на рабочих поверхностях покрытия заданного состава, структуры и конструкции. Это позволяет создать композицию покрытия-ИМ, которая позволяет в различных комбинациях сочетать такие свойства, как прочность, вязкость, выносливость, твердость, теплостойкость.

Наиболее широко РИ с износостойкими покрытиями применяются в массовом производстве. Прежде всего, это многогранные неперетачиваемые режущие пластины (МНРП) с различными вариантами покрытий, получаемые централизованно. Во-вторых, это специальные РИ из быстрорежущих сталей (БРС) (червячные фрезы, долбяки), а также осевые РИ с покрытиями нанесенным методом катодно-ионной бомбардировки (КИБ) [1].

Важнейшие свойства композиции покрытие-ИМ определяются составом, структурой, строением покрытия, типом формируемой связи между покрытием и ИМ, методом и технологическими параметрами процесса нанесения покрытия, геометрическими параметрами РИ, исходными свойствами материала основы. Наиболее эффективно свойствами композиции можно управлять за счет варьирования химического состава покрытия, его структуры и типа связи с ИМ. Эти факторы определяются в основном технологией нанесения покрытия, а также исходными свойствами ИМ.

Обычно покрытия классифицируют по типу связи с ИМ (тип 1, 2, 3), строению (однослойные и многослойные), составу (одноэлементные, многоэлементные, композиционные). А.С. Верещака доказал, что в наибольшей степени концепции покрытия как промежуточной технологической среды удовлетворяет покрытие композиционно-многослойного типа [2].

Необходимо заметить, что существуют следующие особенности РИ с покрытиями, которые оказывают решающее влияние на их работоспособность [3]: свойства поверхностного слоя резко отличаются от свойств основы. Прежде всего, это более высокая микротвердость, температура плавления, химическая инертность. Эти свойства зависят не только от состава, но и от технологии получения покрытия; в соответствии со своими свойствами покрытия изменяют условия трения на контактных площадках, контактные давления, температуру резания; очень важной характеристикой является прочность сцепления покрытия с основой; существенное влияние на устойчивость покрытия к различным видам износа оказывает их конструкция, т.е. заданный градиент свойств по толщине каждого слоя, а также сама толщина (при многослойных покрытиях).

Износостойкие покрытия являются весьма твердыми, и значит, значительно влияют на повышение износостойкости РИ. Чтобы РИ мог противостоять контактными напряжениям при резании, весьма важно, чтобы процесс

осаждения покрытия проходил в условиях, не снижающих твердости основы ИМ. Поскольку в процессе резания происходит интенсивное выделение теплоты, материал основы должен обладать высокой теплостойкостью.

За счет износостойких покрытий можно уменьшить некоторые недостатки материалов основы и усилить их достоинства. Например, путем подбора соответствующего покрытия есть возможность повысить работоспособность РИ даже при повышении скорости резания за счет уменьшения схватывания с ОМ. С помощью износостойких антифрикционных покрытий можно воздействовать на величину силы резания, а отсюда – и на интенсивность изнашивания РИ.

В целом совокупность имеющихся справочных материалов, по сути, представляет собой достаточно подготовленную общую БД для выбора ИМ на верхних структурных уровнях технологии. Для более конкретной проработки задачи повышения эффективности обработки резанием за счет рационального применения ИМ требуется однозначно рекомендовать или не рекомендовать данную марку к применению в конкретных условиях рабочего хода, определяемых на всех иерархических уровнях структуры ТП. Это значит, что необходима дополнительная дифференциация справочных рекомендаций.

Кроме того систематизация марок ИМ должна быть также дополнена систематизацией характеристик поверхностных слоев с измененными свойствами, иначе невозможно объективно определить возможность применения и технологий упрочнения в целом, и множества вариантов состава и конструкций упрочненных слоев для конкретных условий обработки. В общем виде такая систематизация представлена на рис.

Применяемые способы сгруппированы в ней не просто по их физическим особенностям, но и по результату – диапазону характеристик и вариантам конструкции получаемых слоев, которые и необходимо знать для принятия решения об их применении.

Собственно, процесс отбора представляет собой последовательность процедур ввода ограничений на применение вариантов. На каждом этапе 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. Имеется возможность встраивания подобной программы и в информационно-справочную систему РИ [6], которая является составной частью САПР РИ [7].

Например, применение такого процесса выбора материала РЧИ на примере наиболее развитой операции обработки заготовки на станке токарной группы показывает, что только за счет этих процедур возможно повышение эффективности обработки до 10 %, т.к. в токарной операции возможна

обработка практически всех групп ОМ 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 РИ, как цельных, так и сборных. Режущая часть инструментов кроме того может быть изготовлена из ИМ различных групп, в том числе имеющих поверхностные слои с различными свойствами.



Систематизация вариантов материала режущей части инструментов, имеющих слои с измененными свойствами для их альтернативного выбора при проектировании процессов резания

Разработанные на сегодня двухслойные и трехслойные покрытия на основе TiN, (Ti, Zr) N, (Ti, Mo) N и (Ti, Al) N позволяют, по сравнению с однослойными покрытиями, нанесенными по традиционной технологии, повысить период стойкости РИ в 1,6–4,2 раза.

Для РИ, работающего в условиях прерывистого резания на основе анализа механизма разрушения покрытия, предложены принципы конструирования многослойного покрытия. Такое покрытие должно иметь минимум два слоя. Верхний слой, непосредственно контактирующий со стружкой, должен отвечать за тепловое состояние режущего клина РИ и обеспечить максимальное снижение контактных температур, минимальную амплитуду их колебаний за время рабочего и холостого ходов. Это позволит снизить интенсивность процесса трещинообразования в покрытии и режущем клине РИ. Нижний слой, прилегающий к инструментальной основе, должен сдерживать процессы распространения трещин как на границе «покрытие – инструментальная основа», так и в самом покрытии и иметь высокий уровень сжимающих остаточных напряжений. Например, разработанные на основе этого принципа двухслойные покрытия из нитридов и карбонитридов титана позволяют повысить период стойкости ТС пластин при фрезеровании заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т в 1,5–3 раза.

Таким образом, эффективность РИ с покрытием, его качественные характеристики в значительной степени зависят от возможности обеспечения покрытий оптимальной толщины и их равномерного распределения по рабочим поверхностям инструмента. Между тем толщина покрытия и такие важные показатели его качества, как кристаллохимические свойства, дефектность, в достаточно большой степени зависят от положения рабочих поверхностей РИ относительно плазменного потока.

Нанесение покрытия оказывает заметное влияние на прочностные показатели ИМ, причем основной эффект – это стабилизация его прочностных свойств. Изменяя химический состав покрытия и параметры КИБ (давление, состав катода-испарителя, время воздействия и т.д.), можно заметно стабилизировать прочность ИМ. Данная стабилизация прочностных характеристик ИМ увеличивает надежность РИ в результате, прежде всего, стабилизации стойкости РИ. Увеличение толщин покрытий TiC, получаемых высокотемпературными методами ДТ и ГТ, приводит к заметному снижению прочности твердых сплавов (ТС) и росту разбросов прочности.

С ростом рабочего объема прочность ТС после КИБ и нанесения покрытий различного состава и природы (зависит от технологического способа получения) снижается.

Ионная бомбардировка (W, Mo, Cr, Ti) и вакуумно-плазменные покрытия TiN и (Ti-Cr) N значительно уменьшают влияние рабочего объема на предел прочности при изгибе, что свидетельствует о положительном влиянии КИБ на поверхностные дефекты ИМ. Наиболее эффективно воздейст-

вуют на поверхность ионы Mo, Cr, Ti, имеющие невысокие значения энергии активации (соответственно, 184, 124 и 108 Дж/моль), что способствует наиболее эффективному воздействию на поверхностные дефекты.

Покрyтия TiC, получаемые высокотемпературными методами ДТ и ГТ, увеличивают влияние рабочего объема на предел прочности при изгибе (особенно термодиффузионный метод ДТ), что связано не только с формированием переходной фазы и декарбидизацией локальных объемов ТС, но и структурно-фазовыми превращениями в объемах ТС, вследствие длительного высокотемпературного воздействия.

При разработке технологии нанесения покрытия чрезвычайно важно учитывать исходные свойства, структуру, фазовый состав ИМ.

На формирование остаточных напряжений в композиции покрытие-ИМ оказывают следующие факторы: структурные напряжения (растягивающие, сжимающие), возникающие при повышении плотности атомной упаковки в процессе нанесения покрытия и после его окончания; фазовые напряжения (растягивающие, сжимающие), связанные с процессами рекристаллизации и перекристаллизации, которые приводят к изменениям удельного объема материала; термические напряжения (растягивающие, сжимающие), возникающие вследствие разницы теплофизических характеристик материалов покрытия и РИ (теплопроводность, линейное расширение и т.д.); термоконденсационные напряжения (растягивающие), формирующиеся при значительных перепадах температуры по толщине покрытия; физико-химические напряжения (сжатие), природа которых обусловлена физико-химическими процессами (окисление, глубинная коррозия, адсорбция, диффузия чужеродных атомов и т.д.).

Указанные механизмы формирования напряжений в композиции покрытие-ИМ действуют интегрально, однако превалируют термонапряжения.

Возможность оптимизации технологических параметров КИБ для конкретных условий обработки, типа РИ и используемой модели вакуумно-плазменной установки говорит о необходимости жесткой регламентации параметров и управления ими от ЭВМ с помощью программ, полученных на основе математических моделей.

Покрyтие принципиально не изменяет механизмы изнашивания ТС, сдвигая их скорости резания, минимизирующие интенсивность изнашивания в область более высоких скоростей резания благодаря снижению уровня термомеханической напряженности зоны резания. Сопrotивляемость покрытий разрушению определяется составом, методом получения и условиями их эксплуатации. Длительность работы покрытия до разрушения уменьшается по мере роста подачи, при использовании ТС инструмента в условиях прерывистого резания, а также при работе РИ в условиях, приводящих к потере формоустойчивости РЧИ или ее пластическому разрушению.

Эффективность от наличия на поверхности РИ слоев с измененными свойствами, в т.ч. и покрытий, заметно повышается с увеличением скорости резания и ростом сопротивляемости РЧИ пластическому деформированию.

Выбор альтернативных вариантов материала РЧИ в идеале представляет собой не разовую, отдельную процедуру, а упорядоченный процесс ввода ограничений на использование всех возможных марок сердцевины РЧИ, 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 ТП обработки резанием в массовом и крупносерийном производстве при минимуме понесенных затрат.

Библиографический список

1. Савин, И.А. Исследование характеристик износостойких покрытий, наносимых на режущий инструмент сложной формы методом катодно-ионной бомбардировки / И.А. Савин // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 41–44.
2. Верещака, А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
3. Резание материалов. Режущий инструмент: учеб. для ВУЗов в 3 т. / Н.А. Чемборисов, В.А. Гречишников, И.А. Савин и др. – Наб.Челны.: ИНЭКА, 2006.
4. Савин, И.А. Формирование базы данных вариантов материала режущей части инструмента и метода его поверхностного упрочнения / И.А. Савин // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. – № 3 (96).
5. Савин, И.А. Повышение эффективности процессов резания в операциях поточного производств на основе проектирования альтернативных вариантов их реализации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.А. Савин. – М.: МГТУ «Станкин», 1995.
6. Чемборисов, Н.А. Информационно-справочная система режущего инструмента / Н.А. Чемборисов // СТИН. – 2001. – № 8. – С. 12–15.
7. Чемборисов, Н.А. Проектирование процесса резания при разработке САПР / Н.А. Чемборисов, И.А. Савин // Сборник научных трудов. Вып. 3. – М.: МГТУ «Станкин», 1996. – С. 9–14.

[К содержанию](#)