

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.793.1

М. Ш. МИГРАНОВ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНСТРУМЕНТОВ
С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

Рассматриваются вопросы повышения износостойкости инструмента, снижения температуры и усилий резания, а также шероховатости обработанной поверхности при использовании инструментов с износостойкими покрытиями. *Износостойкие покрытия; контактные явления; тепловые процессы; триботехнические характеристики*

ВВЕДЕНИЕ

Использование современного высокопроизводительного и дорогостоящего металлорежущего оборудования, оснащенного системами с числовым программным и адаптивным управлением, особенно в условиях гибких автоматизированных производств и мехатронных станочных систем, повышает требования, предъявляемые к качеству и надежности режущего инструмента, а также усложняет условия его работы. Режущие инструменты таких систем работают при высоких контактных напряжениях и температурах, при активации всех физико-химических процессов. При этом контактные площадки инструмента интенсивно изнашиваются от абразивного воздействия твердых включений в обрабатываемых материалах, протекания адгезионно-усталостных, коррозионно-окислительных и диффузионных явлений.

В этих условиях работоспособность инструмента может быть повышена за счет изменения состояния приповерхностных свойств, при которых контактные площадки режущего клина будут наиболее эффективно сопротивляться изнашиванию, особенно при повышенных температурах. При этом инструментальный материал в объеме тела инструмента должен одновременно обладать достаточным запасом прочности при сжатии и изгибе, приложении ударных импульсов и знакопеременных напряжений.

Перечисленные свойства обычно являются взаимоисключающими, и для создания режущего инструмента с комплексом указанных свойств на поверхности и в объеме тела в настоящее время используются различного рода износостойкие покрытия (ИП). Широкое промышленное использование режущих инструментов с ИП позволяет [1]: повысить стойкость и надежность инструмента; сократить удельный расход дорогостоящих остродефицитных инструментальных материалов; расширить область использования твердых сплавов и сократить номенклатуру применяемых сплавов стандартных марок и т. д.

**ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНЫХ ЯВЛЕНИЙ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИП**

Направленное изменение свойств покрытий путем варьирования их составом, структурой и строением позволяет существенно влиять на контактные характеристики процесса резания. Известно [1], что химический состав, физико-механические и теплофизические свойства покрытий могут значительно отличаться от соответствующих параметров инструментального и обрабатываемого материалов, и, как следствие, покрытие следует рассматривать как своеобразную «третью среду». Причем эта среда, с одной стороны, может заметно изменять поверхностные свойства инструментального материала, с другой, — влиять на контактные процессы, температуру и усилия резания, направленность тепловых потоков и термодинамическое напряженное состояние режущей части инструмента.

Процесс трения на контактных площадках передней и задней поверхностях во многом определяется поверхностными свойствами пары трения «инструмент–деталь». Внешнее трение согласно молекулярно-механической теории имеет двойственную природу [2], обусловленную объемным деформированием материала и преодолением межатомных и межмолекулярных связей, возникающих между участками трущихся поверхностей. Адгезионное взаимодействие, как установлено в работе [3], оказывает существенное влияние практически на все параметры резания металлов. В тяжелых условиях трения (при пластических деформациях на контакте) адгезионное взаимодействие приводит к схватыванию. Схватывание можно рассматривать как цепной процесс, начинающийся с образования активных центров и их взаимодействия и заканчивающийся образованием общих металлических связей контактирующих тел с дальнейшим их разрывом и рекомбинацией. Согласно [3] наиболее простым и надежным способом оценки склонности к схватыванию инструментального и обрабатываемого материалов является метод определения таких триботехнических параметров, как прочность адгезионных свя-

зей на срез (τ_{nn}) при наличии пластических деформаций на контакте, предельные нормальные напряжения (P_{rn}) и адгезионная (молекулярная) составляющая коэффициента трения (τ_{nn}/P_{rn}).

Нанесенные на инструментальные материалы покрытия позволяют значительно снизить силу трения [1]. Особенно это характерно для наиболее термодинамически устойчивых покрытий в виде окислов некоторых металлов, а также для покрытий, склонных к диссоциации при температурах, соответствующих максимальным температурам резания. С повышением температуры увеличивается частота собственных колебаний валентных атомов, растет пластичность материала и снижается его сопротивляемость пластическому деформированию. Таким образом, даже при постоянном нормальном напряжении увеличиваются количество активных центров и площадь фактического контакта. Кроме того, повышение температуры способствует разрушению поверхностных пленок и образованию химически чистых, «ювенильных» поверхностей. Последнее способствует проявлению схватывания и увеличению сил трения. Однако в результате дальнейшего повышения температуры происходит разупрочнение «узлов» схватывания и интенсивное окисление трущихся поверхностей. Эти обстоятельства зачастую приводят к снижению сил трения.

Тепловые процессы при резании металлов являются своеобразным индикатором, отражающим характер протекания целого ряда явлений, определяющих работоспособность режущего инструмента и качество формируемых поверхностей обрабатываемых деталей [4]. С повышением температуры инициируются процессы макро- и микроразрушения контактных площадок инструмента [5–7]. При наличии на контактных площадках инструмента ИП снижаются работа деформации и силы резания [1]. Это свидетельствует о снижении интенсивности основных источников тепла в зоне резания — деформационного и фрикционного по передней и задней поверхностям. ИП, отличаясь по своим теплофизическим характеристикам от соответствующих характеристик инструментальной матрицы, может также изменять или регулировать направление и интенсивность тепловых потоков: в сторону инструмента, детали и стружки, а также в окружающую среду. Очевидно, что в этом случае снижение интенсивности основных источников теплоты и изменение направления тепловых потоков приведет к изменению теплового состояния инструмента и температуры резания. Тепловое состояние зоны резания, согласно [4], можно оценить, решая дифференциальное уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} - \frac{\partial}{\partial x} \left[a(x, y) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[a(x, y) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] + V_x \frac{\partial \theta}{\partial x} + V_y \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{f(x, y, \tau)}{c_p}$$

где $a(x, y) = \lambda(x, y)/c_p$ — коэффициент температуропроводности, м/с²; $\lambda(x, y)$ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c_p — произ-

ведение теплоемкости на плотность, Дж/(м³·К); $f(x, y, \tau)$ — интенсивность источника теплообразования, Вт/м³; τ, θ — время, с и температура, К соответственно; V_x, V_y — скорости по направлениям x и y , м/с.

Для решения уравнения теплопроводности применительно к инструменту с покрытием в данной работе были приняты следующие допущения: теплопроводность и удельная теплоемкость инструментального и обрабатываемого материалов не зависят от температуры; источники теплообразования распределены в контактных поверхностях и в плоскости скальвания. В работе была получена система уравнений для каждого из источников тепла, разработана программа для их расчетов на ПЭВМ и проведены расчеты тепловых полей в зоне резания, позволяющие прогнозировать температурный режим при обработке инструментом с покрытием. При этом такие параметры, как коэффициенты температуропроводности и теплопроводности, были приняты согласно рекомендациям [1].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки степени влияния указанных выше факторов на эффективность процесса резания выполнены экспериментальные исследования.

Триботехнические характеристики определяли на адгезионере [3] при использовании сферических инденторов из быстрорежущей стали Р6М5 без покрытия, с покрытиями (TiCr)N и (TiCr)N + эпилама, твердосплавного материала ТТ8К6 с покрытиями TiN, (TiCr)N, (TiAl)N, (AlTi)N, (TiAlCr)N, (AlTiCr)N — материал образцов из стали 40Х (20 HRC). Выполнены также натурные испытания при фрезеровании и точении. Фрезерование осуществлялось на вертикально-фрезерном станке HECKERT сталей и сплавов 40Х, 12Х18Н10Т, 15Х18Н12С4ТЮ, ХН73МБТЮ концевыми фрезами ($d = 12$ мм, $z = 4$) и резцовыми фрезами ($d = 90$ мм, $z = 1$) со сменными четырехгранными твердосплавными пластинами ТТ8К6 и ТТ8К6 + покрытия TiN, (TiCr)N, (TiAl)N, (AlTi)N, (TiAlCr)N, (AlTiCr)N с различным процентным содержанием каждого из элементов покрытия толщиной до 15 мкм. Исследование выполнено при различных режимах фрезерования ($n = 500$ – 900 об/мин; $S = 60$ – 100 мм/мин; $t = 1$ – 3 мм; $b = 4$ – 10 мм); продольное точение выполняли при $V = 150$ – 450 м/мин, $S = 0,11$ мм/об, $t = 0,5$ мм. Покрытия на инструментах были нанесены различными фирмами («Бальцерс», «Caromant», «Carbide», «Rimet») по заводским технологиям. Точение заготовок из сталей и сплавов 40Х, 12Х18Н10Т, 15Х18Н12С4ТЮ, ЖС6УВИ производилось на токарно-винторезном станке 16К20 неперетачиваемыми твердосплавными пластинами ТТ8К6 ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$; $\phi = \phi_1 = 45^\circ$; $r = 0,5$ мм) со всеми вышеперечисленными покрытиями.

В натуральных экспериментах при фрезеровании и точении исследовались износ инструмента по задней поверхности, температура резания, усилия

резания и шероховатость обработанной поверхности. Некоторые полученные результаты представлены на рис. 1–5.

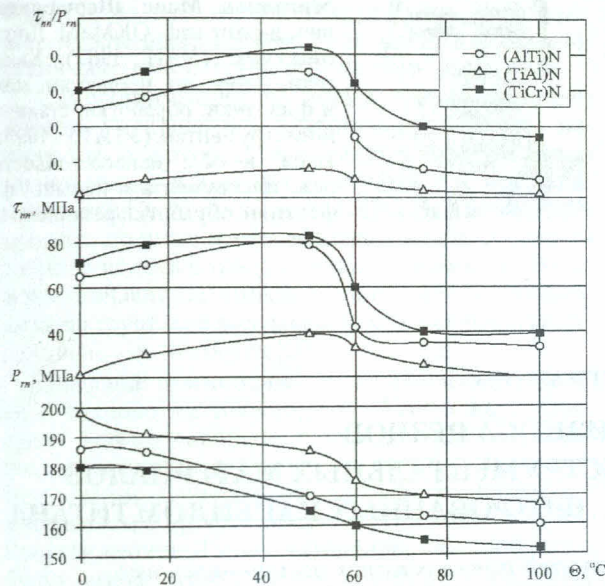


Рис. 1. Влияние температуры на характеристики адгезионного взаимодействия пары сталь 40X-индентор ТТ8К6 + покрытия ((TiCr)N, (TiAl)N, (AlTi)N)

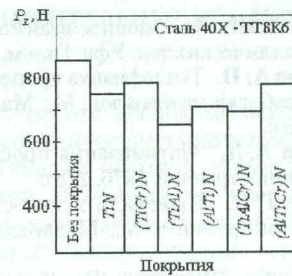


Рис. 4. Влияние покрытия на тангенциальную составляющую силы резания при продольном точении ($V = 450$ м/мин, $S = 0,11$ мм/об, $t = 0,5$ мм, $h_3 = 0,1$ мм)

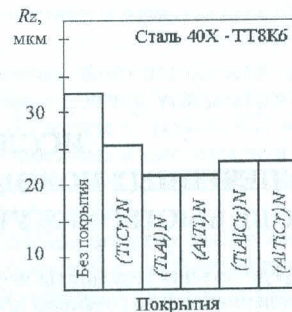


Рис. 5. Влияние покрытия на шероховатость обработанной поверхности при продольном точении ($V = 450$ м/мин, $S = 0,11$ мм/об, $t = 0,5$ мм)

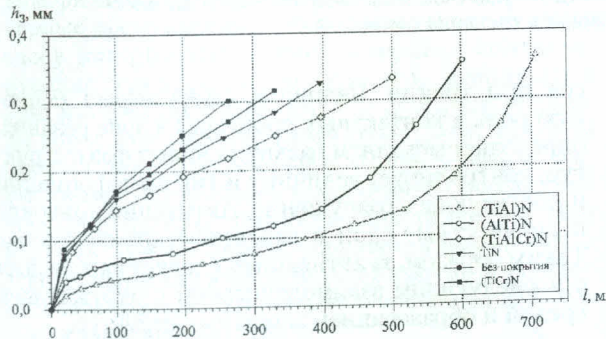


Рис. 2. Влияние длины пути резания на износ инструментов с покрытиями при продольном точении стали 40X-TT8K6 ($V = 450$ м/мин; $S = 0,11$ мм/об; $t = 0,5$ мм)

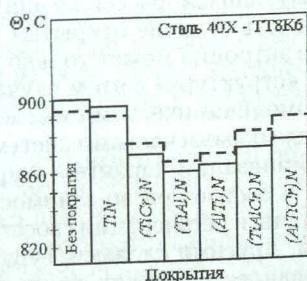


Рис. 3. Влияние покрытия на температуру резания при продольном точении ($V = 450$ м/мин, $S = 0,11$ мм/об, $t = 0,5$ мм, $h_3 = 0,1$ мм; сплошная линия — экспериментально полученная сталь, пунктирная — расчетная)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ:

- триботехнические характеристики ИП, исследованные с помощью адгезиомера при натуральных испытаниях, коррелируют с износостойкостью инструмента с ИП. Это свидетельствует о возможности использования недорогих и нетрудоемких триботехнических исследований для качественной экспресс-оценки износостойкости покрытий;
- использование износостойких покрытий ((TiAl)N, (AlTi)N) приводит к снижению интенсивности и величины прирабочного и нормального износа и позволяет увеличить износостойкость резов и период их стойкости в среднем в 2–2,5 раза;
- использование износостойких покрытий снижает уровень температурно-силовой нагрузки зоны резания;
- разработанная программа для расчета температуры резания с учетом наличия ИП дает незначительные (не более 2%) расхождения с экспериментальными данными;
- лучшие показатели обрабатываемости резанием исследуемых материалов обеспечивают износостойкие покрытия (TiAl)N и (AlTi)N.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.
2. Горячева И. Г. Механика фрикционного взаимодействия. М.: Наука, 2001. 478 с.

3. Шустер Л. Ш. Адгезионное взаимодействие твердых металлических тел. Уфа: Гилем, 1999. 199 с.
4. Резников А. П. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
5. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
6. Лоладзе Т. П. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.
7. Мухин В. С., Шустер Л. Ш. Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов: Учебное пособие Минвуза СССР. Уфа: УАИ, 1987. 216 с.

ОБ АВТОРЕ



Мигранов Марс Шарифуллович, д-р-ант каф. ОКМиМ. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1987). Канд. техн. наук по процессам мех. и физ.-техн. обработки, станкам и инструментам (УГАТУ, 1995). Иссл. в обл. износостойкости реж. инструмента и повыш. эффективности обработки резанием.

УДК 621.726

М. Ш. МИГРАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЗЦОВ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННЫХ КАРБИДОМ ТИТАНА

Представлены результаты исследования особенностей износа режущих инструментов, изготовленных путем спекания порошков на основе быстрорежущей стали. Показано, что порошковые инструментальные материалы на основе быстрорежущей стали, дополнительно легированные карбидом титана (карбидосталь), обладают высокой износостойкостью и их можно классифицировать как новый класс самоорганизующихся инструментальных материалов. Как показали исследования, износостойкость такого инструмента в 2–3,5 раза выше износостойкости обычных инструментов из быстрорежущей стали. *Износостойкость; самоорганизация при трении; инструментальные материалы; триботехнические свойства; вторично-ионная масс-спектрометрия, Оже-электронная спектроскопия*

ВВЕДЕНИЕ

Как правило, традиционные инструментальные материалы имеют повышенную твердость. Однако известно [1], что износостойкость инструментов в значительной мере определяется свойствами поверхности. Тем не менее, твердость чаще всего используется как отправная точка при определении принципов для плавления, спекания, легирования инструментальных материалов, и это в какой-то степени закономерно.

В настоящее время лезвийная обработка резанием требует более полного использования последних достижений в трибологии. Термодинамические подходы к анализу контактных явлений при трении и износе в последние годы отражены в трудах по трибологии [1–4]. Трибосистема рассматривается как открытая термодинамическая система и описывается первым и вторым принципами термодинамики. Согласно первому принципу, работа сил трения ($W_{тр}$) в основном преобразуется в тепло (Q) и частично во внутреннюю энергию материалов трибосистемы (ΔE)

$$W_{тр} = Q + \Delta E.$$

Процессы разрушения и отделения частиц износа возникают и развиваются в результате увеличения (активации) и уменьшения (пассивации) энергии поверхности. Высвобождение тепла (Q) обуславливает термическую активацию процес-

сов при трении. Величина (ΔE) играет основную роль в контактных процессах в зоне резания, определяет механизм развития новых фаз и структур, контролирует величину и тип их деформации и последующее разрушение. Активация приводит поверхностные слои в неравновесное состояние. Таким образом, за активацией следует пассивация с последующим взаимодействием с окружающей средой и образованием защитных структур.

Согласно второму принципу термодинамики в открытых системах при определенных соотношениях потоков энергии и вещества можно наблюдать процессы упорядочения. Этот процесс соответствует уменьшению энтропии и появлению самоорганизующихся рассеивающихся структур [1, 3]. Это и есть отличие открытых систем от закрытых, где энтропия может только увеличиваться. Термин «структура» в этом случае рассматривается в термодинамическом смысле как вид связи между отдельными частями системы. Для явления самоорганизации характерен принцип экранирования, и состоит он во взаимосвязи процессов разрушения и регенерации (восстановления) в зоне трения. Другими словами, существует динамическое равновесие между процессами активации и пассивации на поверхностных слоях. Когда равновесие нарушается, начинается разрушение материала поверхности. Таким образом, эффект экранирования при трении препятствует всем видам непосредственного взаимодействия поверх-