

УДК 621.9.02

**Н.В. Новиков, д.т.н., проф.
С.А. Клименко, д.т.н., проф.**

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины*

ИНСТРУМЕНТЫ С ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СВЕРХТВЕРДЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В ТЕХНОЛОГИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

На примере поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) предложен подход к выбору материалов для оснащения режущих инструментов, показаны современные тенденции развития технологий лезвийной обработки и рассмотрены основные области применения инструментов, оснащенных ПСТМ.

Введение. При совершенствовании машин особое внимание должно уделяться процессам механической обработки их деталей. Именно механическая обработка обеспечивает, в конечном итоге, получение требуемого изделия.

К сожалению, в сравнении с технологией создания материала и технологией изготовления заготовки, механической обработке уделяется гораздо меньше внимания. При этом, нужно отметить, что все переходы изготовления деталей машин: изготовление конструкционного материала; получение из него заготовки и ее механическая обработка, связаны необходимостью получения изделия необходимых форморазмеров и с требуемыми потребительскими качествами.

Цель работы. Рассматриваются: современное состояние вопроса с выбором материала для оснащения режущего инструмента; современные тенденции совершенствования технологий механической обработки; показаны примеры применения инструментов в машиностроении и металлообработке.

Основная часть. Фундаментальной основой создания и эффективного применения режущих инструментов является изучение контактных явлений в зоне резания, которые исследуются на уровне оценки параметров механики и теплофизики, кинетики, термодинамики и физико-химии.

Контактное взаимодействие в зоне резания характеризуется как комплекс процессов адгезии, диффузии, микро- и макродеформирования и разрушения, химического взаимодействия, включающего в различных средах окисление, азотирование,

наводораживание, контактно-реактивное плавление и др. Эти процессы определяют механизм изнашивания поверхностей режущих инструментов и возможности инструментов по эффективной обработке и формированию заданного состояния поверхностного слоя у обрабатываемых изделий (рис. 1).

Количественное описание текущего физико-химического и механического состояния материала инструмента и обрабатываемого материала в контактной зоне для конкретных условий процесса механической обработки, изучение эволюции и возможности трансформации поверхностей инструмента в контактной зоне под действием термобарических условий процесса резания, составляет научную базу для совершенствования режущих инструментов и процессов механической обработки, используется в мотивации выбора или создания материалов для режущих инструментов. Особенности контактного взаимодействия инструмента со стружкой и изделием в зоне резания обусловлены химическим составом, состоянием материалов рабочей части применяемого инструмента и обрабатываемого изделия, условиями термобарического нагружения в контактной зоне (конструкция инструмента, его геометрические параметры, режимы резания).



Рис. 1. Схема связей условий контактирования в зоне резания с выходными параметрами процесса обработки

Идеальным представляется решение технологических задач механической обработки исходя из условий контактного нагружения для каждого обрабатываемого материала и режущего инструмента.

Свойства материала режущего инструмента могут быть условно разделены на объемные физико-механические, поверхностные механические и химические.

Объемные физико-механические свойства. На первом этапе выбор материала для режущего инструмента производится на основе сравнения твердостей контактирующих материалов $K = HV_{и}/HV_{о} \geq 2,4$, где $HV_{и}$, $HV_{о}$ – соответственно твердость материалов инструмента и обрабатываемого изделия. При этом выбирается материал инструмента, для которого величина K имеет наибольшее значение.

Для предварительного выбора нужно произвести сравнение твердости различных обрабатываемых материалов с твердостями твердых сплавов при температуре 800 °С, сталей с ПСТМ – при температуре 1000–1100 °С, а покрытий с ПСТМ – при 900–1000 °С. Это уровень температур в зоне резания отвечающий наибольшей стойкости режущего инструмента. Для каждой пары материал инструмента–обрабатываемый материал имеется свое оптимальное значение температуры резания [1].

Как видно из таблицы 1, наибольшим соотношением твердостей материалов инструмента с твердостями наплавленных и напыленных покрытий $HV_{и}/HV_{о}$ характеризуются поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ).

Учитывая относительно малую величину пятна контакта инструмента со стружкой, а также тот факт, что при обработке конструкционных материалов высокой твердости инструмент имеет отрицательный передний угол, для предотвращения хрупкого разрушения в области режущей кромки инструментальный материал должен иметь предел прочности на сжатие [2]: при переднем угле инструмента $\gamma = 0^\circ - R_{cm} \geq 2,6\tau_{\phi}$; при переднем угле инструмента $\gamma \neq 0^\circ - R_{cm} \geq 2\tau_{\phi}(1,3 + \gamma)$, где τ_{ϕ} – касательные напряжения в плоскости сдвига.

Для некоторых случаев обработки твердых материалов характерно пластическое течение поверхностных контактных слоев инструментального материала и, как следствие, пластическое разрушение инструмента. Развитию этого процесса способствует интенсивный разогрев контактных участков инструмента. Граничным условием пластической прочности режущей части инструмента является [2] $HV_{и}/HV_{ст} \geq 1$, где $HV_{и}$, $HV_{ст}$ – твердость при температуре резания инструментального материала и материала стружки соответственно.

Таблица 1

Соотношение твердостей материала инструмента и обрабатываемого материала при температуре резания

Материал инструмента	Обрабатываемый материал			
	ПП-Нп-25Х5ФМС	ПП-Нп-35В9Х3СФ	ЛС-5Х4В3МФС	Покрытие системы Ni-Cr-B-Si
Твердый сплав ВК3 ВК6 Т5К10 Т15К6	8,7	7,9	6,7	12,5
	7,3	6,6	5,6	11,6
	6,7	6,2	5,2	7,6
	7,9	7,7	6,1	12,2
Безвольфрамовый твердый сплав КНТ 16 СТИМ 3Б	8,6	7,5	6,3	–
	12,0	10,9	9,2	16,0
Керамика ВОК 60	14,7	12,7	10,7	–
ПСТМ Композит 10 Киборит	21,2	21,2	21,2	100,0
	36,5	36,5	36,5	130,0

Необходимая твердость материала инструмента при температуре резания определяется по зависимости [2] $HV_{и} = 6n_m \sqrt{\tau_{\phi}^2 + \tau_{к}^2}$, где $\tau_{к}$ – касательные напряжения в контактных слоях стружки; n_m – коэффициент запаса пластической прочности инструментального материала.

При больших скоростях резания, когда температура контактных слоев выше, чем температура в плоскости сдвига, можно принять $HV_{и} = 6n_m \tau_{\phi}$.

Зная твердость материала инструмента при температуре резания (800 °С при обработке твердым сплавом и 1000–1100 °С при обработке ПСТМ на основе КНБ), твердость инструментального материала при комнатной температуре можно определить по температурной зависимости или из выражения $HV_0 = HV_{и} \cdot e^{\alpha\theta}$, где HV_0 – твердость инструментального материала при комнатной температуре; θ – температура резания; α – коэффициент.

Объемные характеристики контактирующих материалов далеко не всегда определяют их работоспособность в паре трения. В этих условиях при выборе наиболее износостойкого материала необходимо учитывать совокупность свойств его поверхностных слоев. Одним из перспективных методов таких исследований является деформационно-

спектральный анализ [3], в основу которого положено использование явления структурной чувствительности трибометрических характеристик, связанных с неоднородностью напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя сопрягаемых деталей, определяющего спектральный характер формирования сил трения в связи с немонотонностью распространения упруго-пластических деформаций через структурные барьеры при контактном взаимодействии.

Механические поверхностные свойства. При испытании по деформационно-спектральному методу поверхностный слой материала сканируется алмазным индентором в режиме упруго-пластического деформирования и измеряются статистические характеристики сопоставления его перемещению.

Представив модель поверхностного слоя как систему случайно распределенных структурно-энергетических барьеров различной мощности, препятствующих распространению упруго-пластических деформаций, можно оценить изменения однородности прочностных и деформационных свойств поверхностного слоя комплексом численных характеристик.

Наибольшей износостойкостью обладают ПСТМ на основе КНБ, имеющие высокие значения параметра m' при наименьшем разбросе прочностных свойств (D) (табл. 2).

Таблица 2

Механические свойства и удельные параметры деформационно-спектрального анализа материалов инструмента

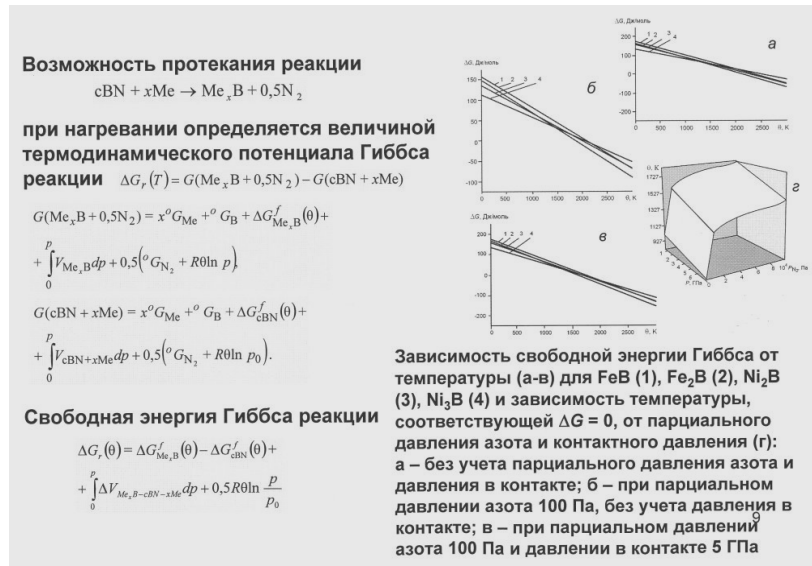
Материал	E , ГПа	μ	HK , ГПа	K_{1e} , МПа·м ^{1/2}	$\frac{F_i}{F_{киб}}$	m' , Н	$\frac{D_i}{10^4}$, Н ²	$\frac{f_{ср}}{10^4}$, МГц
ПСТМ								
Amborite	680	0,22	28,5	6,32	1,17	1,75	0,93	3,8
Киборит	880	0,16	32,4	8,16	1,0	2,23	0,1	2,8
Композит 02	720	0,16	35,0	–	1,14	1,86	0,16	2,6
Композит 05	620	0,15	18,5	4,58	1,26	1,72	0,35	2,6
Композит 10	715	0,16	36,2	5,83	1,15	2,36	0,03	6,0
Твердый сплав Т15К6	550	0,22	15,5	10,8	1,35	0,51	2,7	3,1

Химические свойства. Как отмечалось [4], в зоне резания инструментом с ПСТМ на основе КНБ имеет место высокая температура (в среднем до 1200 °С), а на контактных участках инструмента реализуются нормальные давления до 5–7 ГПа. Такие условия взаимодействия обуславливают возможность протекания

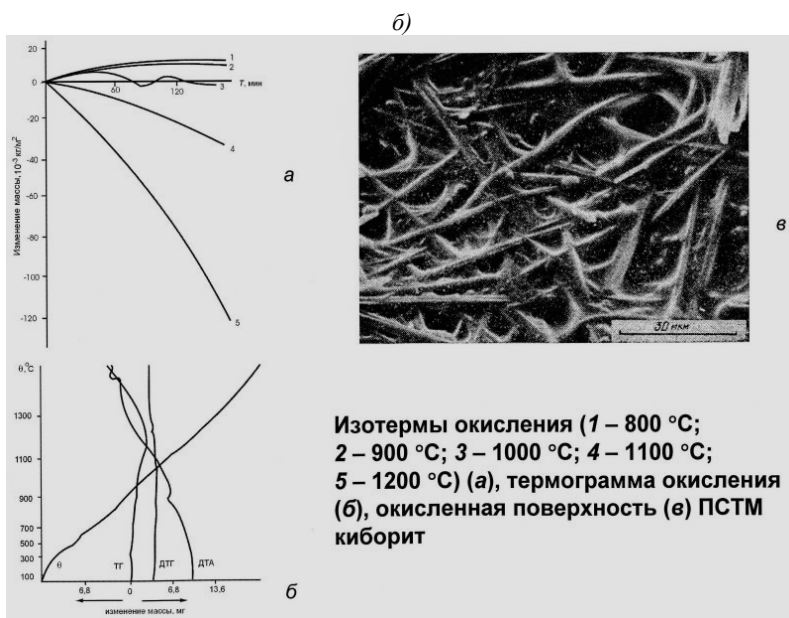
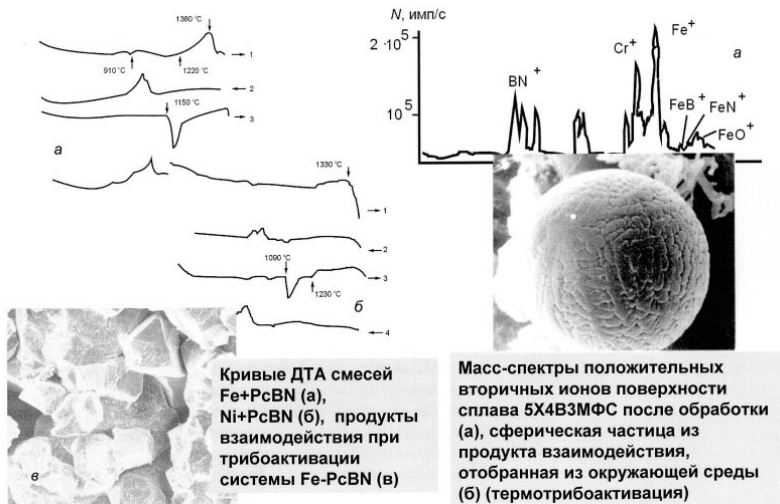
химических реакций между элементами инструментального и обрабатываемого материалов, элементами инструментального материала и окружающей среды.

На рисунке 2, а приведен пример оценки свободной энергии Гиббса для реакции взаимодействия КНБ с железом и никелем, свидетельствующий о возможности образования в реакции боридов и свободного азота.

Образовавшиеся бориды создают с железом или никелем эвтектическую пару, которая в результате эвтектического плавления образует в контактной зоне жидкую фазу.



а)



в)

Рис. 2. Химическое взаимодействие в зоне резания:

а – термодинамическая оценка; б – продукты модельной термоактивации и реальной термотрибоактивации взаимодействия в зоне резания; в – характеристики жаростойкости ПСТМ киборит

Ее наличие в контактной зоне подтверждено в модельных экспериментах в условиях термоактивации и для реального процесса резания в условиях термотрибоактивации (рис. 2, б).

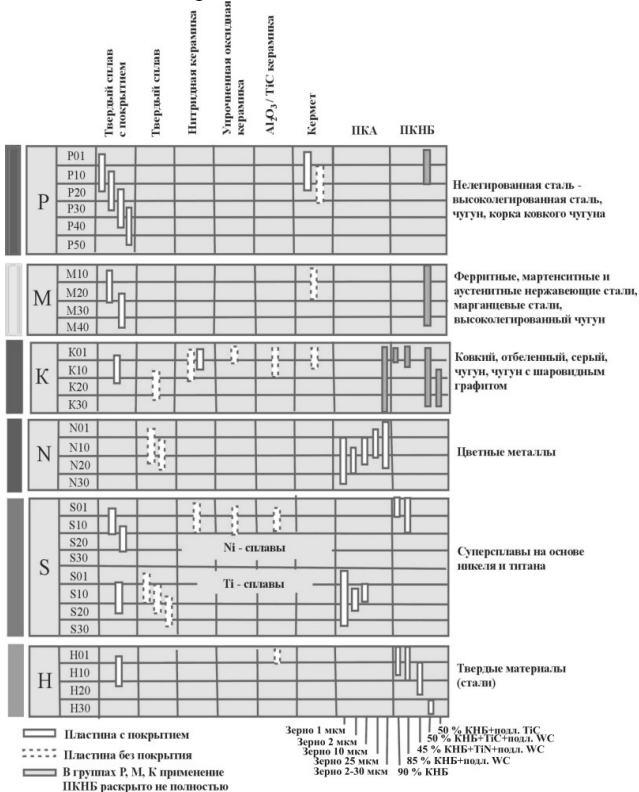
Важнейшее свойство инструментального материала – жаростойкость (рис. 2, в). Окисление материала инструмента интенсифицирует его изнашивание. Для обработки материалов высокой твердости инструмент должен оснащаться материалом, который практически не окисляется до температур 1200–1300 °С.

Учитывая изложенное выше, а также данные литературы [4–6], в качестве примера, можно сформулировать перечень свойств ПСТМ на основе КНБ, для оснащения инструмента, обрабатывающего наплавленные и напыленные покрытия 45–60 HRC: – предел прочности при растяжении $R_m > 0,3$ ГПа; – предел прочности при изгибе $R_{em} > 0,6$ ГПа; – модуль упругости $E \approx 800$ ГПа; – коэффициент трещиностойкости $K_{1c} > 7$ МПа·м^{1/2}; – коэффициент теплопроводности $\lambda > 50$ Вт/(м·К); – компоненты инструментального материала должны иметь близкие коэффициенты линейного расширения; – математическое ожидание удельной силы контактного взаимодействия с индентором при нагрузке 200 сН $m' > 2,2$ Н; дисперсия удельной силы $D' \cdot 10^4 < 0,1$. Химические свойства инструментальных материалов для обработки покрытий: – термостойкость на воздухе – 1200 °С; – минимальная интенсивность взаимодействия компонентов инструментального материала с элементами обрабатываемого материала (Fe, Cr, Ni, Co, Ti, Mo, W) и кислородом воздуха.

На рисунке 3 представлены рекомендации [7, 8] по выбору материалов инструментов и выбору конкретных характеристик ПСТМ на основе КНБ для обработки ряда конструкционных материалов. Наличие на обрабатываемом изделии поверхностей разных конфигурации и размеров, диктует необходимость комплексного обеспечения обработки и показывает сложность вопроса выбора материала для режущего инструмента. В целом ряде случаев речь должна идти о гибридной обработке, когда параллельно применяются инструменты, оснащенные различными материалами. Требования к современному режущему инструменту обусловлены основными тенденциями развития технологий механической обработки в машино-

строении, особенно авиа- и автомобилестроении, которые получили развитие в настоящее время и будут актуальными на длительную перспективу. Прежде всего, это обработка с высокой скоростью резания, следствием чего является минимизация применения СОТС, использование инструментов с покрытиями и пр.

Характерной особенностью процессов высокоскоростной обработки (в зависимости от операции и обрабатываемого материала скорости резания достигает 4000 м/мин.) является уменьшение интенсивности роста температуры резания, снижение деформаций, повышение виброустойчивости процесса резания, улучшение формы стружки, снижение износа инструмента, шероховатости обработанной поверхности и повышение качества поверхностного слоя и точности изделий.



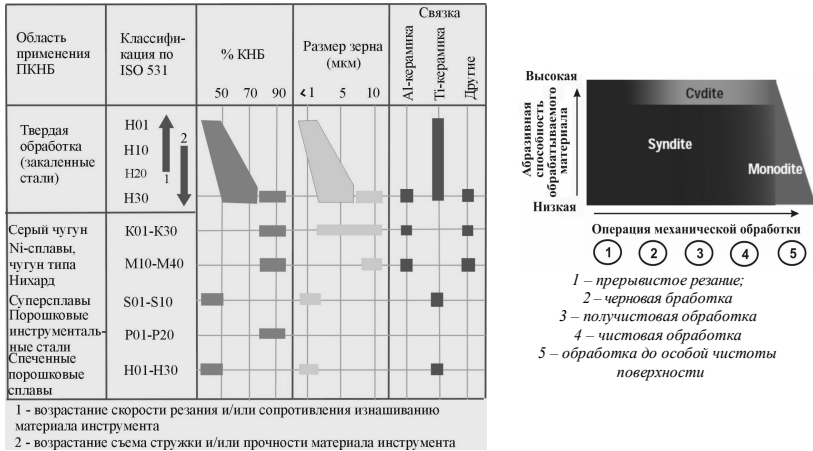


Рис. 3. Общие рекомендации по выбору материала инструмента

С увеличением режимов обработки влияние физико-химических процессов в зоне резания на износ инструмента интенсифицируется. Поэтому к материалу режущего инструмента, применяемого при высокоскоростной обработке, предъявляются очень высокие требования по химической инертности к таким металлам, как железо, никель, титан и др., и требования высокой стойкости к окислению. На рисунке 4 представлена диаграмма, разработанная специалистами Sandvik Coromant, которая показывает перспективы применения инструментов, оснащенных ПСТМ, При обработке современных конструкционных материалов. Высокопроизводительная обработка наряду с высокими скоростями резания характеризуется также большими значениями подачи.

Экономически (с учетом влияния на окружающую среду и утилизацию, затраты на жидкую СОТС составляют до 30 % от общих затрат на металлообработку), технически (учитывая сложности подачи СОТС в зону резания при высокой скорости перемещения инструмента или детали), технологически и экологически (учитывая затраты на ее рекуперацию и уборку стружки) выгоднее производить обработку резанием без применения или с минимальным применением смазочно-охлаждающих технологических сред.

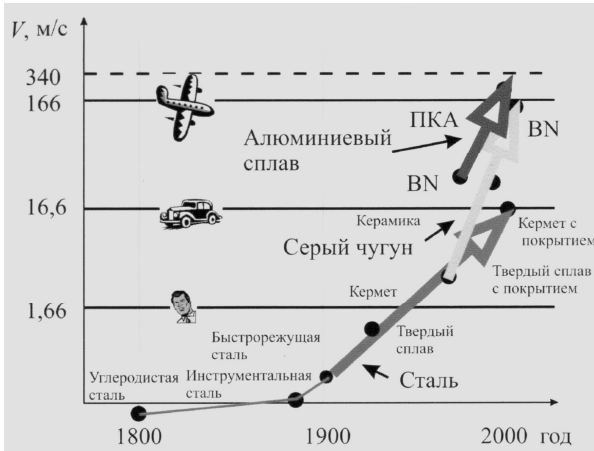


Рис. 4. Диаграмма изменения скорости резания по годам для инструментов, оснащенных различными ПСТМ

В случае необходимости обработки с охлаждением подача СОТС в зону резания может производиться каплями или СОТС может применяться в распыленном виде. В качестве хладагента может быть использован холодный воздух, подаваемый в зону резания.

Одно из перспективных направлений повышения эффективности механической обработки, непосредственно связанная с необходимостью обеспечения высокой скорости резания – многокоординатная обработка одним инструментом. Такая обработка получила распространение при изготовлении штамповой оснастки, колес турбин и компрессоров, ободов колес самолетов и других деталей сложной формы. Она производится инструментом с переменной режущей вершиной практически методом обката рабочей части режущего инструмента и, во многих случаях, выполняется с высокой скоростью резания. Хотя технология предусматривает необходимость проектирования и изготовления специальных инструментов, она является перспективной как с технической, так и с экономической точек зрения.

Как уже отмечалось, материалы высокоэффективных режущих инструментов характеризуются сложным комплексом свойств, которые обеспечивают ему способность противостоять изнашиванию и разрушению в условиях термобарического нагружения в процессе обработки резанием. Поскольку такими свойствами в полном объеме ни один материал инструментального назначения не обладает, то одним из наиболее эффективных решений проблемы повышения работоспособности инструмента (стойкость повышается в 2–5 раз) является нанесение на его

рабочие поверхности различных покрытий. Нужно отметить, что одной из наиболее перспективных областей применения инструмента с покрытием является высокоскоростная обработка без применения СОТС.

В последнее время на рынке появились режущие инструменты с ПСТМ на основе КНБ с вакуум-плазменными покрытиями. На рисунке 5 представлен пример покрытия на таком инструменте.

Современная технология механической обработки имеет тенденцию ухода от дискретных методов, значительно растягивающих операции изготовления деталей во времени и пространстве, к совмещению нескольких операций на одном станке, работающем в автоматическом режиме независимо от твердости материала и конфигурации обрабатываемой детали. Во многом это решается за счет геометрических параметров и особенностей конструкции инструмента.

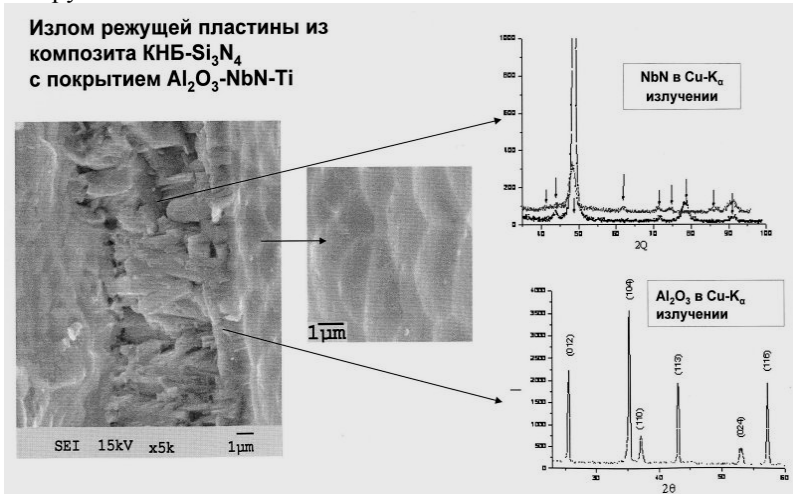


Рис. 5. Защитное вакуум-плазменное покрытие на инструменте, оснащенном ПСТМ борсинит

Прежде всего, речь идет об обработке на одном рабочем месте или одним инструментом гаммы различных поверхностей, о комплексной обработке, совмещающей различные виды формирования поверхностей резанием с поверхностным пластическим деформированием или термической обработкой, например, точение чугуновых деталей с обеспечением одновременного съема припуска и формированием на поверхности изделия «белого» слоя.

Широкое распространение в машиностроении получают детали, изготовленные из материалов с гетерогенной структурой. Они формируются с использованием технологий наплавки, напыления, различных видов литья. Многие детали конструктивно имеют прерывистые поверхности. Обработка таких изделий сопровождается если не ударными нагрузками на режущий инструмент, то значительным изменением глубины резания, что также обуславливает динамические нагрузки.

Обработка деталей с отмеченными особенностями существенно затрудняется, если материал детали обладает специфическими свойствами, например, повышенной твердостью или способен к деформационному упрочнению.

Выбор режущего инструмента и условий резания для деталей из таких материалов должны производиться с учетом особенностей их структуры и свойств (рис. 6).

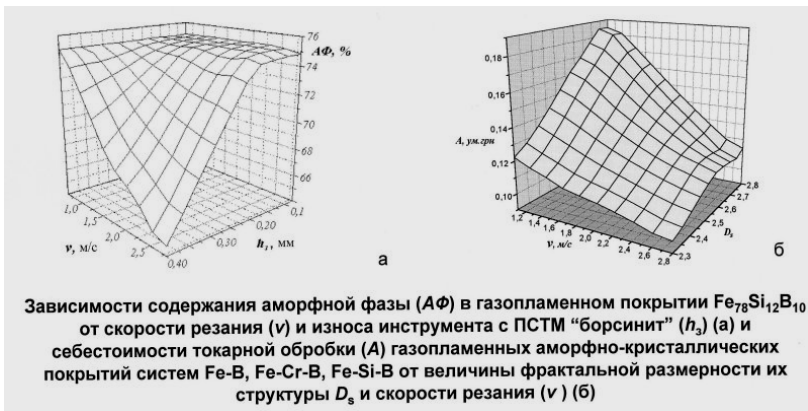


Рис. 6. Пример зависимости условий обработки и параметров структуры обрабатываемого материала

Анализ производственного опыта в области машиностроения показывает, что будущее за широким использованием технологических процессов на базе станков с использованием микропроцессорных систем управления. Именно такое оборудование позволяет в полной мере реализовать процессы высокоскоростной обработки сложнопрофильных деталей.

Реализация отмеченных тенденций на практике, прежде всего, связана с созданием материалов для режущих инструментов с повы-

шенными механическими, теплофизическими и химическими свойствами, разработкой принципов управления процессами механики и физико-химии контактного взаимодействия инструментального материала с обрабатываемым и элементами окружающей среды, созданием эффективных составов и технологий нанесения защитных покрытий и модифицирования поверхностного слоя инструментов, разработкой инструментов, конструкции которых базируются на новейших представлениях о закономерностях процесса резания.

Большие перспективы для технологий, связанных с отмеченными тенденциями, имеют инструменты, оснащенные ПСТМ. Создание специальных конструкций режущих инструментов – еще одно перспективное направление обеспечения эффективности процессов механической обработки (рис. 7).

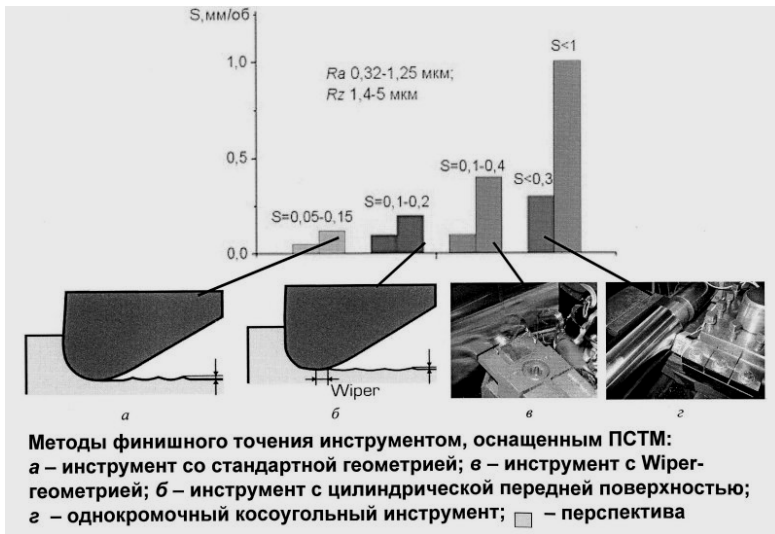
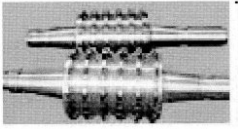


Рис. 7. Возможности инструментов различной конструкции по обеспечению шероховатости обработанной поверхности при обработке деталей из закаленной стали

На рисунках 8, 9 представлены примеры высокоэффективного использования режущих инструментов, оснащенных ПСТМ, в процессах обработки изделий из широкой гаммы конструкционных материалов.



Прокатные валки с ручьями

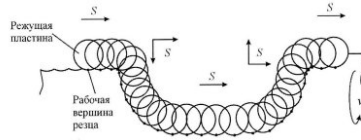
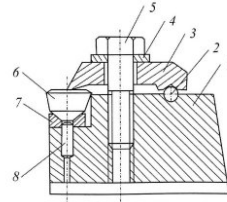
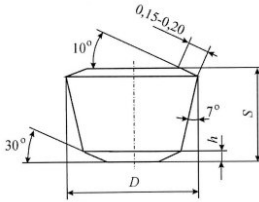
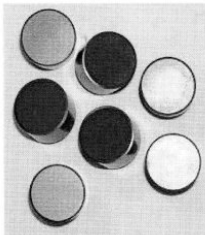


Схема обработки, специальная пластина и режущий инструмент для обработки фасонного профиля



Специальная режущая пластина и инструмент для обработки деталей с фасонным профилем

a)



Круглые режущие пластины
RNUN 19070T

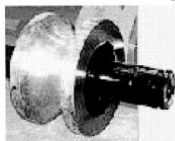


Точение конуса брони из литой стали 110Г13Л по корке: $v = 1,20 \dots 1,67$ м/с, $S = 0,3 \dots 0,4$ мм/об, t до 8...9 мм. Стойкость резца 120...180 мин.
Точение торцевой поверхности брони из литой стали 110Г13Л с неровностями от плазменной отрезки литников: $v = 0,7 \dots 0,8$ м/с, $S = 0,25 \dots 0,35$ мм/об и t до 6...7 мм. Стойкость резца 60...90 мин.

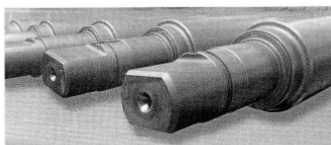
В сравнении с обработкой брони твердосплавным инструментом, обработка инструментом с ПСТМ характеризуется: – в 5...7 раз большей производительности обработки; – в 2...3 раза большей стойкостью инструмента. Производительность обработки приближает к производительности ПМО при меньшем расходе энергии лучших условия труда.

b)

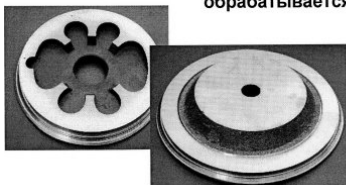
Прокатные валки из отбеленного чугуна (37...85 HS)



Фасонный прокатный валок из чугуна



Инструмент с ПСТМ позволяет обрабатывать валки как по бочке, так и по ручьям с режимами резания: $v = 1,2$ м/с на черновых проходах и $1,4$ м/с на чистовом проходе; $S = 0,2$ мм/об; $t = 1,5$ мм на черновых проходах и $0,2$ мм на чистовом. Стойкость резца 125 минут. Инструментом, оснащенным одной круглой пластиной, обрабатывается по бочке и ручьям 2...3 валка.

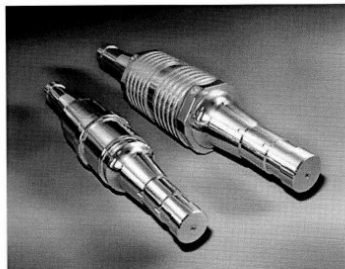


Условия обработки чугуна:

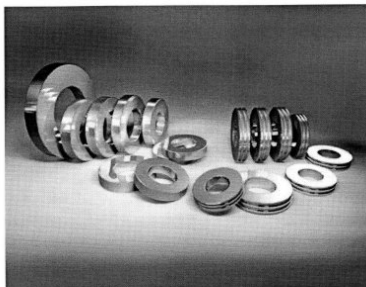
- АЧС-1: $v = 7,50-8,33$ м/с, $S = 0,08-0,1$ мм/об, $t = 0,4-0,6$ мм;
- СЧ-18: $v = 6,66-7,5$ м/с, $S = 0,08-0,1$ мм/об, $t = 0,3-0,5$ мм.

Производительность обработки 20–30 см³/мин
Шероховатость обработанной поверхности Ra 0,56–0,63.

в)



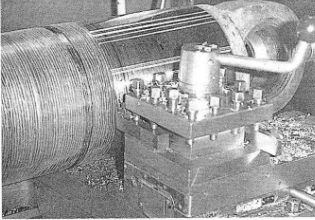
Прокатные валки из твердого сплава



Прокатные шайбы из твердого сплава

Инструмент, оснащенный ПСТМ «борсинит», позволяет обрабатывать арматуру прокатных валков из твердых сплавов ВК25, ВК30 со скоростью резания $v = 0,2...0,3$ м/с. Инструмент до износа по задней поверхности $0,25$ мм обрабатывает 3 детали по 120 мм с 5-ю ручьями в каждой.

з)



Точение штока подвески самосвала
Samatzu ND1200 с наплавленным
покрытием ПП-Нп-18Х1Г1М (42-44 HRC)

Материал инструмента	Марка	Твердость (HRC) наплавляемых материалов			
		30-40	40-50	50-60	60-65
Твердый сплав	ВК	0,25-0,28	0,18-0,25	1,16-0,18	0,83-1,16
	ТК	0,30-0,35	0,23-0,30	0,18-0,23	0,13-0,18
	ТТК	0,35-0,40	0,28-0,35	0,23-0,28	0,20-0,23
Безвольфрамовый твердый сплав	ТН20	0,27-0,3	0,22-0,27	0,18-0,22	0,16-0,18
Керамика	ВСК 60	0,50-0,55	0,45-0,50	0,45	0,35-0,40
	01	1,20-1,25	1,10-1,20	1,00-1,10	0,90-1,00
ПСТМ, композит	05	1,30-1,40	1,20-1,30	1,10-1,20	1,00-1,10
	09	1,80-2,00	1,60-1,80	1,60	1,50
	10	1,80-2,00	1,60-1,80	1,50-1,60	1,35-1,50
	Кюборит	1,80-2,00	1,60-1,80	1,50-1,60	1,35-1,50
	Томал	1,60-1,80	1,50-1,60	1,45-1,50	1,30-1,35
	-10	1,60-1,80	1,50-1,60	1,45-1,50	1,30-1,35

Ориентировочные скорости резания (м/с) при
точении наплавленных покрытий

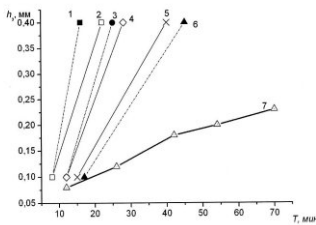
Сравнительная работоспособность инструментов с ПСТМ киборит и из твердого сплава Т15К6:

- наплавленное покрытие ЛС5Х4ВЗМФС **36,0**
- наплавленное покрытие ПП-Нп-35В9ХЗСФ **24,2**
- напыленное покрытие Х80СЗРЗ **17,3**

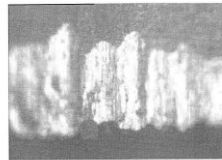
д)

Рис. 8. Обработка инструментом, оснащенным ПСТМ на основе КНБ, деталей из закаленных сталей (а), литых высокомарганцовистых сталей (б), чугуна (в), твердого сплава группы ВК (г), с наплавляемыми и напыленными покрытиями (д)

СИСТЕМА Ti-Al-Mo-V-Fe-Cr
(сильнолегированный высокопрочный $\alpha+\beta$ ВТ22: $H_u = 4400$ МПа; 37 HRC; ударная вязкость – 3 Дж/м²)



Зависимость износа по задней поверхности концевой фрезы от времени фрезерования: 1 – БПА без CoTiC; 2 – БПА с CoTiC; 3 – АТП без CoTiC; 4 – АТП с CoTiC; 5 – ВК8 без CoTiC; 6 – cBN без CoTiC; 7 – cBN с CoTiC

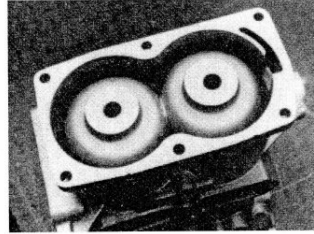
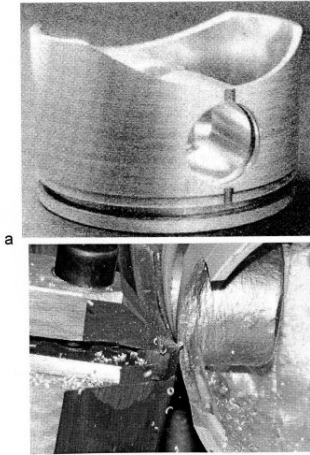


Изношенная поверхность инструмента из АТП после точения титана ОТ-4 (Т = 3 мин)

СИСТЕМА Ti-Al-Mo-Cr-Fe-Si
(высокопрочный $\alpha+\beta$ ВТ3-1: 270-300 МПа, $S_g = 1000-1250$ МПа)



а)



Детали автомобиля, обработанные резцом (а – поршень) и фрезой (б - головка блока цилиндров), оснащенные ПСТМ на основе СА

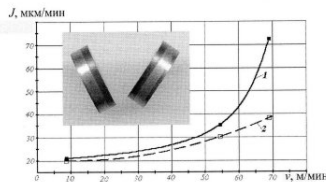
б)

Инструмент, оснащенный АКП, позволяет высокоэффективно обрабатывать детали:

- из **углеграфита** со скоростью резания 3,16–5,00 м/с. Износ инструмента по задней поверхности после 15 минут работы ($S = 0,17$ мм/об; $t = 1,5$ мм) не превышает $h_z = 0,1$ мм;
- из **силицированного графита** с режимами резания $v = 0,8–1,0$ м/с; $S = 0,14–0,17$ мм/об; $t = 0,10–0,25$ мм;

- с **детонационным керамическим покрытием** на основе Al_2O_3 (Al_2O_3 (100 %) и Al_2O_3 (85 %) + Ti_2 (15 %)) (80–84 HRA) со скоростью резания до 1,2 м/с;
- из **полимерных композиционных материалов** с абразивными наполнителями. Подача – до 1,2 мм/об. Стойкость инструменте – 300 мин;
- из **древесностружечных композитов** средней плотности с высоким содержанием клея, с покрытиями на основе меламиновой смолы, декоративных бумажно-слоистых пластиков, а также других материалов, структурные составляющие которых обладают абразивным действием. Скорость разрезки 0,50–1,16 м/с, стойкость инструмента в 200–300 раз превышающую стойкость твердосплавных инструментов.

в)



Зависимости скорости изнашивания инструмента, оснащенного АТП (1) и АКП (2), от скорости резания при точении напыленного покрытия Al_2O_3 (АСМ 28/20; $S = 0,05$ мм/об; $t = 0,1$ мм)

Рис. 9. Обработка инструментом, оснащенный ПСТМ на основе СА, деталей из титановых сплавов (а), цветных металлов и сплавов (б), неметаллических материалов (в)

Производственный опыт разработки режущих инструментов, в частности с ПСТМ, практической реализации их в промышленности

показывает, что в ближайшей перспективе актуальными будут исследования, направленные на: создание компьютеризированной системы выбора материала для оснащения режущего инструмента, обеспечивающего оптимальные условия контактного взаимодействия в зоне резания; создание гаммы материалов для оснащения режущего инструмента, способных адаптироваться к условиям эксплуатационного нагружения в зоне обработки; разработку композитов с функционально-ориентированными свойствами участков, отвечающих различному эксплуатационному нагружению в режущем инструменте; разработку «интеллектуальных» материалов инструментального назначения, способных к самодиагностике.

Выводы. Современная механическая обработка вписывается в понятие «высокие технологии». Такие технологии подразумевают выполнение комплекса исследований в области процесса резания, материаловедения явлений в зоне резания, диагностирования и компьютерного моделирования состояния режущего инструмента. Они сочетаются с исследованиями в области станкостроения, являющихся базой для создания нового поколения оборудования, для которого требуется специальный инструмент, обладающий особым комплексом физико-механических и химических свойств.

Обобщая сказанное выше, нужно отметить следующее: технологии механической обработки – неотъемлемая часть промышленного производства, использование потенциальных возможностей которой непрерывно расширяется. Их реализация с учетом основных закономерностей процессов, происходящих в зоне обработки, с использованием принципов технологического обеспечения качества и технологической наследственности, позволяет повысить потенциальные свойства современных конструкционных материалов за счет формирования в поверхностном слое деталей состояния, отвечающего условиям эксплуатационного нагружения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Макаров А.Д.* Оптимизация процессов резания / *А.Д. Макаров.* – М. : Машиностроение, 1976. – 278 с.
2. *Лоладзе Т.Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента / *Т.Н. Лоладзе.* – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.
3. *Запорожец В.В.* Динамические характеристики прочности поверхностных слоев и их оценка / *В.В. Запорожец // Трение и износ.* – 1980. – 1, № 4. – С. 602–609.
4. *Сверхтвердые материалы. Получение и применение :* в 6 т. / Под общей ред. *Н.В. Новикова.* – Т. 5. Обработка

- материалов лезвийным инструментом / Под ред. *С.А. Клименко*. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН України, 2006. – 316 с.
5. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : в 6 т. / Под общей ред. *Н.В. Новикова*. – Т. 1. Синтез алмаза и подобных материалов / Под ред. *А.А. Шульженко*. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН України, 2003. – 320 с.
 6. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. *Н.В. Новикова*.— М. : Машиностроение, 2005.— 555 с.
 7. Application Areas for PCBN Materials / *J.Barry, G.Akdogan, P.Smyth et al.* // JDR. – 2006. – 66, № 3. – P. 46–53.
 8. Elements_{ХТМ} Advancing Diamond. Введение в материалы для режущих инструментов.

НОВИКОВ Николай Васильевич – академик НАН Украины, доктор технических наук, профессор, директор Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов;
- технологии применения сверхтвердых материалов в металлообработке.

КЛИМЕНКО Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты.

Подано 14.06.2001