

УДК 621.78; 621. 785.5

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ**

Д-р техн. наук Л.А. Тимофеева, канд. техн. наук А.Л. Комарова

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ**

Д-р техн. наук Л.А. Тимофеева, канд. техн. наук Г.Л. Комарова

**INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF CUTTING TOOLS FOR PROCESSING IRON-CARBON ALLOYS**

Doct. of techn. sciences L. Timofeeva, cand. of techn. science A. Komarova

*В статье рассмотрена проблема разработки экологически чистой технологии нанесения упрочняющих покрытий на режущий инструмент для обработки железоуглеродистых сплавов.*

*В исследованиях использованы методы определения триботехнических свойств инструментальных материалов в зависимости от скорости скольжения покрытий. В работе изучен механизм процесса изнашивания инструмента из кубического нитрида бора и металлокерамики. Предложен способ нанесения на них защитных покрытий.*

**Ключевые слова:** сверхтвердые материалы, режущий инструмент, металлокерамика, диффузия, элемент, свойства, оксиды, покрытие.

*В статті розглянута проблема розроблення екологічно чистої технології нанесення зміцнювальних покриттів на різальний інструмент для обробки залізовуглецевих сплавів.*

*У дослідженнях використані методи визначення триботехнічних властивостей інструментальних матеріалів залежно від швидкості ковзання покриттів. У роботі вивчений механізм процесу зношування інструменту з кубічного нітриду бору і металокераміки. Запропонований спосіб нанесення на них захисних покриттів.*

**Ключові слова:** надтверді матеріали, різальний інструмент, металокераміка, дифузія, елемент, властивості, оксиди, покриття.

*The article considers the problem of the development of environmental-friendly technology of drawing of strengthening coatings on cutting tools for processing iron-carbon alloys.*

*The studies have used methods for determining the tribological properties of the tool materials depending on the speed of sliding surfaces.*

*In the work of the mechanism of wear process tool cubic boron nitride and metal ceramics. Proposed the method of application of protective coatings.*

*Given the nature and chemical composition of superhard materials and composite materials proposed and partially tested a method of chemical-thermal spraying of oxide coatings, the essence of which is the impact (30...60 min) superheated (600 °C) vapour aqueous solution (3 %) of the various salts on the working surface of the tool.*

*The technological process of causing of oxide coverages is tested in a laboratory stove, simple, inexpensive, high-performance, ecologically clean.*

*In the future it is necessary to conduct a study of the diffusion and physico-chemical processes occurring in the surface layers of cutting plates during chemical-thermal processing and as a result of mechanical treatment. In addition, should continue studies towards a greater variation of the parameters of the process of chemical-thermal processing tool - temperature, chemical composition and concentration of the saturating environment. This will enable them optimization, as well as specify the chemical composition of the coating.*

**Keywords:** *Superhard materials, cutting tools, ceramic metal, diffusion, element properties, oxides, coating*

**Введение.** Для изготовления различных видов режущего инструмента используется большая гамма инструментальных материалов, а также дополнительно производится поверхностное упрочнение с учетом конкретных условий его работы.

В целом известно, что в процессе обработки металлов и сплавов на режущий инструмент действуют различные по величине и направлению силы [1,2]. Они зависят от режимов резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала и материала инструмента, его конструкции. Однако во всех случаях прослеживается общая закономерность, заключающаяся в том, что работа сил резания вызывает ряд явлений, которые отрицательно сказываются на стойкости режущего инструмента, качестве процесса резания.

В частности, при высокой удельной работе резания может иметь место пластическая деформация обрабатываемого материала и режущего инструмента. В случае высокой степени деформации обрабатываемого материала и адгезионной способности к материалу инструмента возникает большая вероятность образования нароста. Нарост нарушает геометрию инструмента, увеличивает его износ и отрицательно влияет на качество обрабатываемой поверхности. Нанесение на инструмент специальных покрытий с низкой адгезионной способностью к обрабатываемому материалу может частично или полностью предотвратить процесс наростообразования [3].

Следует заметить, что износ инструмента зависит от многих факторов – скорости резания, контактных давлений, физико-механических свойств обрабатываемого материала и инструмента [3, 4].

Но решающее значение на износ оказывает скорость резания [6]. Это обусловлено тем, что при определенных скоростях резания резко увеличивается температура в зоне контакта, интенсивно развиваются диффузионные процессы, в том числе на границе «режущий инструмент – деталь», и заметно ослабевают защитные действия оксидных пленок.

Таким образом, анализируя условия работы режущего инструмента, следует указать на следующие основные требования, предъявляемые к его материалу: высокая твердость, существенно превосходящая твердость обрабатываемого материала при комнатной температуре и нагреве; надежная прочность при изгибе; высокие теплопроводность, теплостойкость, уровень износостойкости и низкий коэффициент трения; слабая адгезионная способность.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.** Современный уровень развития техники требует увеличения объема производства при одновременном повышении качества режущего инструмента. Проблема повышения качества инструмента касается прежде всего повышения его стойкости, которая достигается либо изысканием новых инструментальных

материалов, либо путем поверхностного его упрочнения. Второй путь имеет ряд преимуществ и поэтому уже длительное время усилие многих специалистов по резанию и материаловедению направлено на разработку новых методов и материалов поверхностного упрочнения, что на сегодня является актуальным.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Предложены и нашли уже практическое применение десятки способов упрочнения деталей и инструмента, среди которых такие, как химико-термические, тепловые и механические воздействия лишь на поверхностные слои материала инструмента [6]. Известны методы поверхностного упрочнения, к которым можно отнести: электроискровой метод, плазменное напыление, химическое осаждение из газовой среды, электролитическое осаждение.

Что касается первого пути повышения качества инструмента, то крупным скачком в развитии инструментальной промышленности явилось производство инструмента из специальных сверхтвердых материалов (СТМ) и керамических материалов (КМ) [7].

**Целью** данного исследования является разработка экологически чистой технологии нанесения упрочняющих покрытий на режущий инструмент.

**Основная часть исследований.** При разработке новой технологии особое внимание заслуживает низкотемпературный метод нанесения покрытий из газообразной фазы, содержащей такие элементы, как Mo, W, Ni, Ti, N и др.

В частности, уже частично опробован способ поверхностного упрочнения режущего инструмента из высокоуглеродистых (У8, У10) и легированных сталей (Р6М5). Суть этого метода заключается в использовании

парогазовой насыщающей среды, содержащей Mo, S, N, Cu и другие элементы, которые формируют оксидное защитное покрытие на инструментальных материалах с антифрикционными свойствами [8].

В последние годы в металлообрабатывающей промышленности находят широкое применение новые инструментальные материалы, изготовленные на основе сверхтвердых материалов. Особенностью для этих материалов является то, что в зоне резанья возникают высокие значения коэффициента трения.

Наибольший интерес с научной и практической точек зрения представляет исследование влияния оксидных покрытий на износ инструмента, изготовленного из кубического нитрида бора (КНБ).

**Результаты испытаний и исследований.** Для разработки экологически чистой технологии нанесения упрочняющих покрытий на режущий инструмент в качестве насыщающей среды были использованы: 1) перегретый пар чистой воды; 2) перегретый пар водного раствора NaCl; 3) перегретый пар водного раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{P}_3$ ; 4) перегретый пар водного раствора  $\text{CuSO}_4$ .

Испытания проводились с целью выявления влияния сформированного покрытия на свойства режущего инструмента, а именно на величину износа и значение коэффициента трения в зоне резания чугуна и КНБ при разных скоростях резания. Для этого были изготовлены специальные цилиндрической формы образцы из металлокерамики, которые использовались в качестве металлорежущих пластин токарных резцов.

Химический состав и содержание компонентов испытуемых материалов металлокерамических пластин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание компонентов и химический состав испытуемого композиционного керамического материала

Композит	Содержание компонентов, мас. дол. %						
	BN	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{AlB}_{12}$	AlN	$\text{BrO}_3$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$
1	-	-	-	12,0	-	48,0	20,0
2	70,0	2,0	3,0	1,5	3,5	-	-

В качестве материалов, обрабатываемых токарными резцами с испытуемыми пластинками из КНБ, применяли маслотно-чугун, используемый для нарезки поршневых колец. Твердость чугуна 240 НВ.

Химический состав маслотно-чугуна приведен в табл. 2. Износ пластин из

металлокерамики определяли при точении закаленной стали 40Х.

Первая опытная партия инструмента, предназначенного для нарезки поршневых колец из маслотно-чугуна, была обработана по четырем вариантам, отличающимся химическим составом насыщающей среды.

Таблица 2

Химический состав испытуемого чугуна

Материал	Содержание элементов, мас. дол. % (ост.-Fe)							
	C	Si	Mn	Ti	P	S	Cu	Cr
Маслотно-чугун	3,7	2,6	0,80	0,11	0,48	0,09	0,45	0,18

По всем вариантам химико-термического способа нанесения покрытия температура составляла 600°C, продолжительность насыщения – 60 мин.

Были проведены сравнительные лабораторные испытания образцов с покрытием и без покрытия, изготовленных из КНБ.

Линейный износ режущих пластин устанавливался методом обмера их по задней

поверхности после обработки чугуновых заготовок (маслотно-чугуна) длиной 210 мм.

Зависимость величины износа пластин из КНБ от химического состава насыщающей парогазовой среды, содержащей ионы и катионы различных химических элементов и используемой для создания покрытий, приведена на рис. 1.

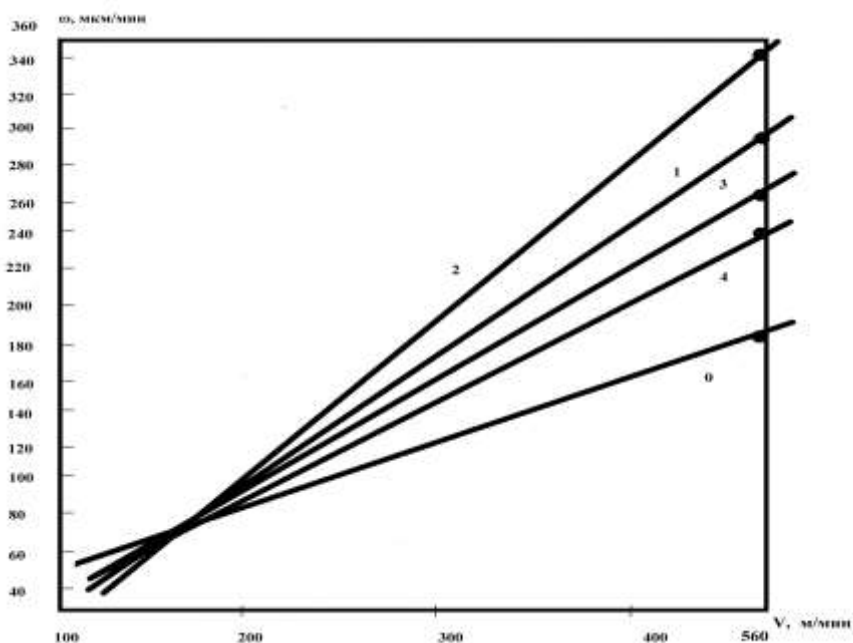


Рис. 1. Изменение величины износа пластин из КНБ в зависимости от скорости резания и состава насыщающей среды при ХТО:

0 – исходный образец (без ХТО); 1 – перегретый водяной пар; 2 – раствор NaCl (3%);  
3 – раствор Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3%); 4 – раствор CuSO<sub>4</sub>(3%)

Анализируя полученные экспериментальные данные при скоростях скольжения 145 и 500 м/мин, следует отметить наличие характерного предельного значения скорости резания, при котором качественно изменяется роль покрытия в процессе обработки маслотногo чугуна. А именно при скорости резания более 145 м/мин и вплоть до 550 м/мин все исследованные покрытия усиливают скорость изнашивания режущих пластин. В наибольшей мере проявляется увеличение в случае покрытия, полученного из водного раствора хлористого натрия, а в наименьшей – тиосульфата натрия.

В то же время обработка пластин из КБН по всем вариантам состава насыщающей среды уменьшает интенсивность их изнашивания, если скорость резания маслотногo чугуна ниже 145 м/мин. В частности, покрытие из водного раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{CuSO}_4$  на 30 % уменьшает износ пластин по сравнению с исходным вариантом (0). Существенное повышение величины износа пластин, обработанных по варианту 2, может быть связано с тем, что, как было установлено ранее, такого рода покрытие резко повышает коэффициент трения.

Исследования проводились на образцах сопряженной пары «серый чугун + покрытие - маслотногo чугун» на машине трения СМЦ - 2 при скорости скольжения 1,04 м/с и давлении 4,5 МПа. На поверхность трения химико-термическим методом наносили покрытие из перегретого пара водного раствора солей  $\text{NaCl}$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

Оказалось, что, несмотря на одинаковую структуру и химический состав исходных чугунов (материала подложки) испытываемой пары трения, указанные покрытия коренным образом изменяют условие трения: наличие соли натрия в покрытии создало предпосылки для создания условий фрикционности работы пары трения, в отличие от соли  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , которая способствовала повышению антифрикционных свойств исходной пары трения «серый чугун - маслотногo чугун». На протяжении 100 часов испытаний пары трения с покрытием из  $\text{NaCl}$  стабильно сохранялось значение коэффициента трения в пределах 0,45...0,50 (рис. 2). Температура смазки в объеме 250 мл поддерживалась практически постоянной на всех промежутках испытания (6 часов непрерывного испытания) и равнялась 160...175°C.

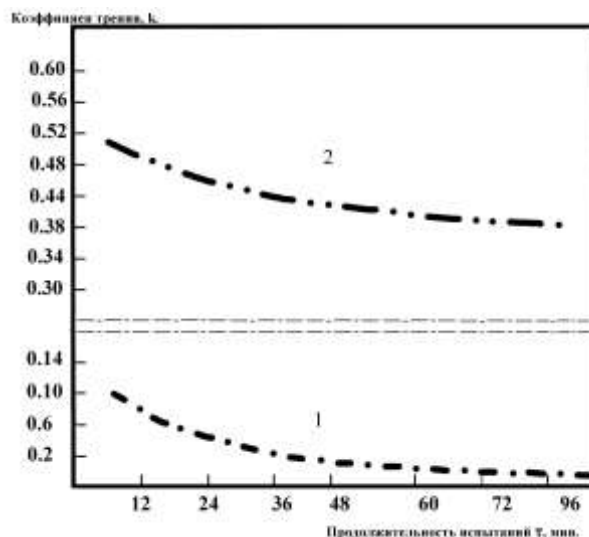


Рис. 2. Изменение коэффициента трения сопряжения «колодка - диск» (СЧ + покрытие - маслотногo чугун) в зависимости от состава насыщающей среды:  
1 – ХТО в среде  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ;  
2 – ХТО в среде  $\text{NaCl}$

В случае пары трения с покрытием, полученным в среде водного раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , значение коэффициента трения составляло 0,015...0,08. Температура масла за 6 часов испытаний не превышала 60°C.

Как подчеркивалось ранее, кроме коэффициента трения на износ резца оказывают существенное влияние другие факторы, учет которых должен быть комплексным. Однако по результатам предварительных экспериментов можно сделать вывод, что микролегированные оксидные покрытия оказывают двойственное влияние на износ пластин из КБН: при скорости резания чугуна, не превышающей 150 м/мин, ослабляют интенсивность процесса изнашивания, при более высокой (вплоть до 550 м/мин) – усиливают, причем в различной степени в зависимости от состава покрытия. Для объяснения этих закономерностей необходимо провести дополнительные испытания и исследования, охватывающие более широкий диапазон концентраций элементов в насыщающей среде, которые оказывают минимальное отрицательное влияние на износ пластинки. Кроме того, возможно, что снижение температуры ХТО может быть также положительным фактором,

поскольку при температуре  $\sim 600^{\circ}\text{C}$  имеет место частичное окисление КНБ, а значит снижение твердости рабочего микрослоя.

Исследовали также влияние аналогичных оксидных покрытий на режущую способность керамических пластин. Испытания керамических неперегретых пластин проводили в процессе чистовой обработки закаленной стали 40X с твердостью 50...53 HRC, без применения смазочно-охлаждающей жидкости. Это связано с тем, что керамика в таких условиях резания лучше сохраняет твердость, достаточно хорошо переносит резкие температурные перепады.

На рис. 3 приведены результаты определения зависимости величины износа пластин из композита от скорости резания и состава оксидных покрытий.

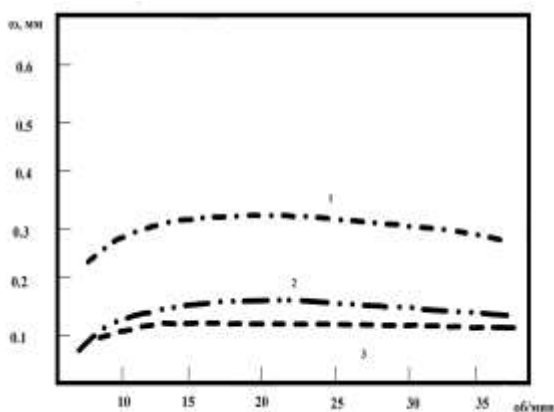


Рис. 3. Зависимость величины износа пластин по заданной поверхности в зависимости от скорости резания стали 40X:  
1 – чистый композит без покрытия; 2 – перегретый водный пар; 3 – перегретый водный раствор  $\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_3$  (3%)

Установлено, что парокислирование и в особенности окисление поверхностного слоя керамической пластинки повышают ее износостойкость при скорости резания в пределах 100...350 об/мин. Причем с повышением скорости резания во всех случаях наблюдается тенденция повышения износа режущей пластинки. Но износостойкость пластин с оксидными покрытиями фактически в 4 раза выше, чем у необработанных. Это достигается, очевидно, в первую очередь за счет снижения коэффициента трения, а также благодаря падению химической активности поверхностного рабочего слоя.

Известно, что процесс резания может сопровождаться пластическим течением поверхностных контактных слоев инструментального материала и их дальнейшим срезом. Это связано с размягчением материала инструмента при больших скоростях и подачах обработки. Однако керамические материалы обладают достаточной твердостью даже при высоких температурах и поэтому срез материала происходит в месте соединения покрытия и режущей пластинки.

Можно представить, что в процессе резания имеет место рост оксидной пленки на поверхности подложки (композита) за счет диффузии к ней кислорода. Это в конечном итоге приводит к образованию твердых растворов шпинельного типа, которые увеличивают вязкость разрушения керамических пластин и снижают вероятность абразивного износа.

Чем выше скорость резания, а следовательно, температура, тем больше толщина оксидной пленки, а значит сильнее проявляются ее защитные свойства. Химическая активность материала резца, таким образом, снижается.

Устойчивость и эффективность оксидного покрытия объясняется, очевидно, не только прочной адгезионной связью между покрытием и подложкой, но и возможностью образования твердых растворов внедрения или замещения между материалом покрытия и подложкой, а также наличием эффективного диффузионного барьера на границе «инструмент – обрабатываемый материал». При наличии оксидного слоя снижается также вероятность хрупкого разрушения керамики.

**Выводы.** С учетом природы и химического состава исследуемых СТМ и КМ материалов предложен и частично опробован способ химико-термического нанесения оксидных покрытий, суть которого заключается в воздействии (30...60 мин) перегретого ( $600^{\circ}\text{C}$ ) пара водного раствора (3 %) различных солей на рабочую поверхность инструмента.

Технологический процесс нанесения оксидных покрытий опробован в лабораторной печи, прост, недорогой, высокопроизводителен, экологически чист.

Предварительные сравнительные испытания режущих пластин из КНБ и композитов на основе оксидов, нитридов и

других мелкодисперсных абразивных частиц показали, что оксидные покрытия оказывают положительное влияние на их износостойкость. Наиболее значительный эффект (износ уменьшается в 2...4 раза) достигается при обработке чугуна и стали 40Х (закаленной до 50-52 НЛС), если скорость резания не превышает 140...150 м/мин.

С увеличением скорости резания вплоть до 500 м/мин наблюдается пропорциональное увеличение износа, характерное для пластин из КНБ.

В дальнейшем необходимо провести исследования диффузионных и физико-химических процессов, происходящих в поверхностных слоях режущих пластин во время ХТО и в результате механической обработки. Кроме того, следует продолжить исследования в направлении более широкого варьирования параметрами процесса ХТО инструмента – температурой, химическим составом и концентрацией насыщающей среды. Это позволит добиться их оптимизации, а также уточнить химический состав покрытия.

### Список использованных источников

1. Даниелян, А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания [Текст] / А.М. Даниелян. – М.: Машгиз, 1984. – 275 с.
2. Конструкционные материалы [Текст] / под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 383 с.
3. Макаров, А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов [Текст] / А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1966. – 264 с.
4. Табаков, В.П. Износостойкие покрытия на основе нитрида титана, легированного железом и алюминием, для режущих пластин резания [Текст] / В.П. Табаков // Станки и инструмент. – 1991. – №3. – С. 29-30.
5. Шагнев, С.А. Экономическая эффективность использования режущего инструмента с покрытиями, полученными методом химического и физического осаждения: CVD и PVD [Текст] / С.А. Шагнев, С.В. Бойко // Новые материалы и ресурсосберегающие технологии термической и химико-термической обработки деталей машин и инструмента: тез. докл. к зонал. конф., 12-13 апр. 1990. – Пенза, 1990. – С. 42-43.
6. Мацевитый, В.М. Покрытия для режущих инструментов [Текст] / В.М. Мацевитый. – Харьков: Вища шк., 1987. – 128 с.
7. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение резанием [Текст] / В.П. Жедь, Г.В. Боровской, Я.А. Музыкант, Г.М. Ипполитов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 319 с.
8. Гуров, К.П. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах [Текст] / К.П. Гуров, Б.А. Карташкнн, Ю.Э. Угасте. – М.: Наука, 1981. – 349 с.

---

Тимофеева Лариса Андріївна, д-р техн. наук, професор, завідувача кафедрою матеріалів і технології виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-49.

Комарова Ганна Леонідівна, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалів і технології виготовлення виробів транспортного призначення Української державної академії залізничного транспорту.. Тел.: (057) 730-10-49.

Timofeeva Larisa Andreevna, dr. sciences, professor, head. department of materials and technology of the manufacture of products for transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel: (057) 730-10-49.

Komarova Anna Leonidovna, k-t technology. sciences, associate professor, department of materials and technology of the manufacture of products for transport purposes Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-49.