

А.Я. Мовшович, д-р техн. наук, М.М. Буденный, канд. техн. наук,  
Г.И. Ищенко, Б.В. Горелик, канд. техн. наук,  
Ю.А. Кочергин, Харьков, Украина

## **СВОЙСТВА ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА**

*Приведені результати експериментального дослідження технологічних параметрів багатослойного покриття на працездатність інструменту при обробці конструкційних матеріалів.*

*Приведены результаты экспериментального исследования технологических параметров многослойного покрытия на работоспособность инструмента при обработке конструкционных материалов.*

*MOVSHOVICH A.JA., BUDENNYJ M.M., IWENKO G.I., GORELIK B.V., KOCHERGIN JU.A.  
PROPERTIES OF VACUUM-PLASMA COVERINGS AND THEIR INFLUENCE ON WORKING  
CAPACITY OF THE TOOL*

*Results of an experimental research of technological parameters of a multilayered covering on working capacity of the tool are resulted at processing of constructional materials.*

### **Введение**

Одним из основных условий повышения износостойкости режущего инструмента является исключение процесса схватывания между сходящей стружки обрабатываемого материала и покрытием инструмента. Оно должно быть химически инертно к обрабатываемому материалу.

Выбор оптимального покрытия представляет собой довольно сложную задачу и зависит главным образом от условий применения, материала заготовки, применяемого металлорежущего оборудования, а также от требуемых результатов (производительность, качество и др.).

На практике одни и те же инструменты могут применяться при обработке различных материалов, поэтому, не исключена возможность того, что в ряде случаев не происходит повышения их стойкости.

В настоящее время все большее применение находят многослойные и композиционные покрытия с переменными свойствами и химсоставом. Например, многослойные покрытия с чередующимися по твердости слоями значительно лучше сопротивляются хрупкому разрушению при деформации инструментального материала.

На базе такой конструкции возможна реализация целого ряда покрытий, включающих твердые растворы нитридов (карбидов) металлов четвертой группы [4] Периодической системы.

Важной характеристикой инструментального материала является его твердость. Причем наибольший интерес представляет твердость приповерх-

ностных объемов лезвия, которые в процессе резания находятся под воздействием максимальных температур и напряжений.

### Результаты исследования

На рис. 1, 2 приведены результаты экспериментального исследования зависимости микротвердости покрытий TiN, ZrN, (Ti-Cr)N, (Zr-Hf)N от давления азота в вакуумной камере и потенциала подложки. Исходя из полученных зависимостей  $H_0$  от  $p_u U_{оп}$  для получения максимальной твердости покрытий давление азота в камере должно быть в диапазоне  $(2 - 8) \cdot 10^{-2}$  Па, а отрицательный потенциал подложки может варьироваться в диапазоне от 50 до 200 В. При этом каждому типу покрытий соответствуют свои оптимальные значения.

Важной характеристикой инструментального материала является также его "горячая твердость", определяющая сопротивление контактных площадок инструмента макро- и микроразрушению при температурах, соответствующих реальным температурам процесса резания.

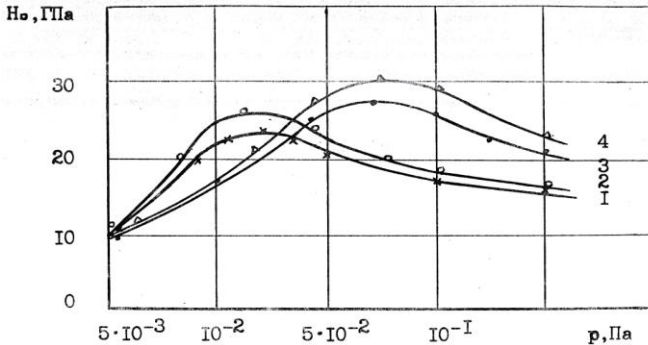


Рисунок 1 – Изменение микротвердости покрытий в зависимости от давления азота в вакуумной камере: 1 – TiN; 2 – ZrN; 3 – (Ti-Cr)N; 4 – (Zr-Hf)N.

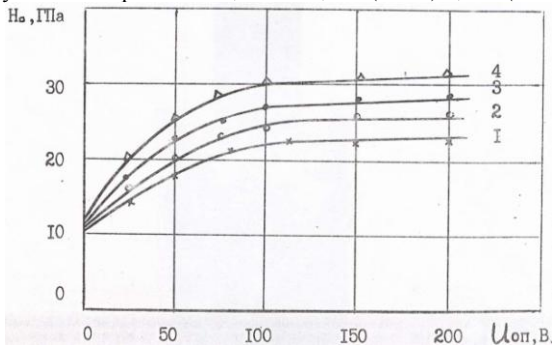


Рисунок 2 – Изменение микротвердости покрытий в зависимости от отрицательного потенциала подложки: 1 – TiN; 2 – ZrN; 3 – (Ti-Cr)N; 4 – (Zr-Hf)N.

Результаты испытаний "горячей твердости" системы покрытие-подложка, проведенные на высокотемпературной установке ИМАШ-9-66 представлены в табл.1. Измерения микротвердости проводили при нагрузке 50 Г алмазной пирамидой с углом при вершине 136° в интервале температур 20 - 600°С. Толщина исследуемых покрытий составляла 8-10 мкм. Время, затрачиваемое на измерение микротвердости, как среднеарифметическое значение 5 измерений, не превышало 6 мин. Покрытия были получены при технологических параметрах, приведенных в табл. 2.

Таблица 1 – Технологические параметры получения покрытий

Покрытие	Потенциал подложки при ИБ	Время очистки (бомбардировка-пауза)	Температура предварительного нагрева	Ток дуги	Потенциал подложки при осаждении	Давление в камере
	кВ	с	°С	А	В	Па
TiN	1,3	54 (3/3)	350	90	130	3·10 <sup>-2</sup>
ZrN	1,3	48 (3/3)	350	140	130	7·10 <sup>-2</sup>
(Ti-Cr)N	1,3	54 (3/3)	350	90 - Ti 70 - Cr	130	3·10 <sup>-2</sup>
(Zr-Hf)N	1,3	42 (3/3)	350	160	130	7·10 <sup>-2</sup>

Таблица 2 – Значение микротвердости композиции инструментальный материал-покрытие

Температура, °С	Микротвердость, МПа				
	P6M5	P6M5+ TiN	P6M5+ ZrN	P6M5+ (Ti-Cr)N	P6M5+ (Zr-Hf)N
20	9200	23000	28000	26000	30000
100	8600	22500	27500	26000	30000
200	7800	21000	25000	24500	28000
300	6900	18000	21000	22500	25000
400	5200	15500	17000	19000	22500
500	4500	12500	14500	16500	18000
600	2100	9500	11000	13000	15000

Полученные результаты свидетельствуют о заметном повышении микротвердости быстрорежущей стали с покрытием по отношению к исходному образцу во всем диапазоне измерений. С ростом температуры отмечается тенденция снижения микротвердости образцов с покрытием по сравнению с контрольными, однако интенсивность этого снижения значительно меньше. Наибольшую теплостойкость имеют композиционные покрытия нитридов титан-хром, цирконий-гафний. Что свидетельствует о целесообразности их применения при обработке труднообрабатываемых материалов, так как основной причиной низкой обрабатываемости таких групп материалов является

возникновение при их обработке больших сил резания, и как следствие, большое количество теплоты, выделяющееся на единицу срезаемого объема металла. Кроме того, большинство труднообрабатываемых материалов имеет низкую теплопроводность, что приводит к возникновению высоких температур в зоне резания. Однако эффективность применения покрытий значительно снижается при температурах нагрева, превышающих теплостойкость быстрорежущей стали в результате резкого снижения микротвердости системы покрытие-подложка.

Кроме того, при таких температурах отмечается появление сетки микротрещин непосредственно на поверхности покрытия, что, по-видимому, связано с разницей коэффициентов термического расширения (КТР) материалов.

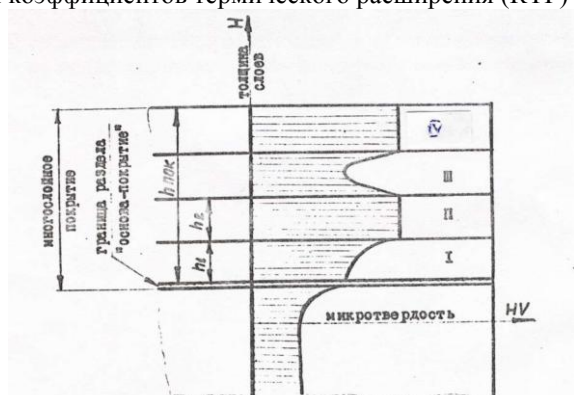


Рисунок 3 – Схема многослойного покрытия 1,3 – слой переменной твердости; 2,4 – твердые слои.

Учитывая склонность монослойного покрытия к хрупкому разрушению по мере роста толщины (при толщине 10-14 мкм сжимающие остаточные напряжения могут достигать 1800-2000 МПа) [1], была проведена серия экспериментов по влиянию многослойных и композиционных покрытий с чередующимися по твердости слоями, полученные с использованием предварительного нагрева подложки, на относительную стойкость режущего инструмента. Покрытия были нанесены по схеме, показанной на рис.3 по режимам, приведенным в табл.1. (за исключением давления реакционных газов). Основным достоинством такой схемы является ее относительная простота и возможность реализации в производственных условиях. Микротвердость покрытия варьировалась изменением давления подаваемого в вакуумную камеру реакционного газа (азота) от 0,013 до 0,069 Па. Общая толщина покрытия составила 5 мкм.

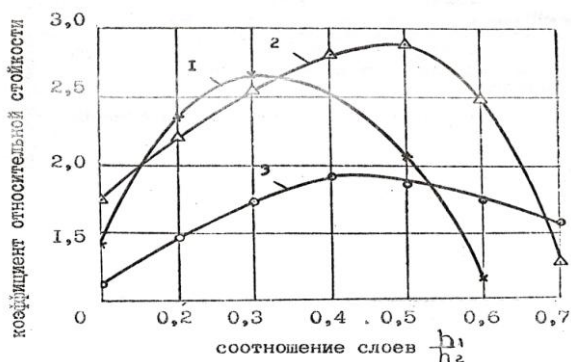


Рисунок 4 – Влияние соотношения слоев многослойного покрытия на коэффициент относительной стойкости: 1 – ( $T_1-C_1$ )N; 2 – ( $Zr-Hf$ )N; 3 –  $Ti$ N.

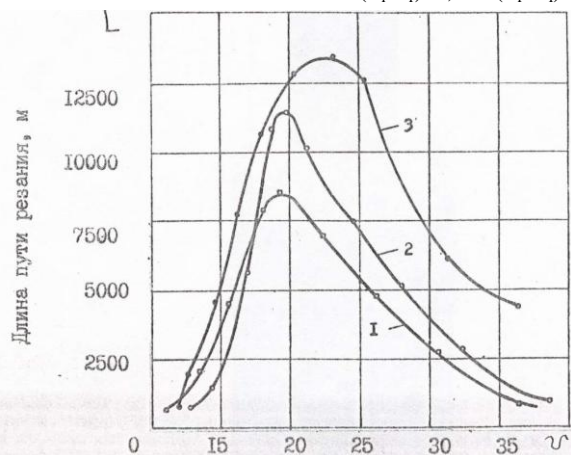


Рисунок 5 – Зависимость длины пути резания от скорости резания: 1 – без покрытия; 2 –  $ZrN$ ; 3 – ( $T_1-C_1$ )N.

Результаты экспериментов представлены на рис.4.

Исходя, из полученных зависимостей можно сказать, что на коэффициент относительной стойкости влияет не только тип применяемого покрытия, но и соотношение слоев различной твердости. При этом для каждого типа покрытия имеется свое оптимальное соотношение. Что свидетельствует о необходимости при разработке технологических процессов нанесения многослойных покрытий четко регламентировать давление реакционных газов для получения слоев с различной твердостью и их толщину, зависящую в свою очередь от времени нанесения покрытия.

Изучение стойкости инструмента с покрытиями в широком интервале режимов обработки обнаруживает немонотонную зависимость длины пути резания  $L$  от скорости  $V$  (рис.5). Полученные результаты свидетельствуют о

том, что поверхностное упрочнение наряду с положительным эффектом покрытий может оказать даже отрицательное влияние на стойкость. Немонотонность кривых  $L=L(V)$  объясняет разницей в оценке эффективности покрытий. Нельзя говорить о преимуществе инструмента с покрытием без относительно конкретных условий обработки и, в первую очередь, скорости резания. Например, как видно из рис.5 в интервале скоростей 10-12 м/мин стойкость инструмента с покрытием ZrN ниже. Из этого однако, не следует, что на инструмент нанесено покрытие плохого качества. Полученный результат свидетельствует лишь о необходимости эксплуатировать упрочненный инструмент в оптимальном скоростном интервале.

Полученные результаты исследований, а также данные работ [2, 3] говорят о целесообразности применения определенных типов покрытий в зависимости от обрабатываемых материалов и условий эксплуатации. Широко распространенное покрытие TiN следует применять при обработке конструкционных легированных сталей, при обработке нержавеющей сталей и сплавов – покрытия ZrN, (Ti-Cr)N, высокопрочных сталей - (Ti-Cr)N, (Zr-Hf)N.

Выводы.

1. Определен комплекс основных свойств покрытий для упрочнения инструмента из быстрорежущей стали, которые следует контролировать для получения максимальной работоспособности.

2. Показано, что многослойные композиционные покрытия целесообразно применять при резании труднообрабатываемых металлов.

3. Установлены значения технологических параметров конденсации покрытий TiN, ZrN, (Ti-Cr)N, (Zr-Hf)N максимально повышающих стойкость инструмента.

4. Соотношение твердого износостойкого слоя к слою с пониженной твердостью находится в пределах 0,4-0,5.

**Список использованных источников:** 1. *Верещака А.С., Трет'яков И.П.* Режущий инструмент с износостойким покрытием. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с. 2. Покрытия износостойкие. Технология нанесения вакуумно-плазменным способом./Стандарт предприятия. СТП МДВ 04.87. – Харьков, 1987. – 40 с. 3. Износостойкие и защитные покрытия./Сборник научных трудов – Киев, институт сверхтвердых материалов АН УССР, 1989. – 123 с. 4. *Мовшович А.Я., Ищенко Г.И., Резниченко Н.К.* применение упрочняющих покрытий для повышения износостойкости направляющих элементов технологической оснастки. – Х.: УИПА, 2010. – с.34-42.

*Поступила в редколлегию 17.04.2011*

**Bibliography (transliterated):** 1. Verewaka A.S., Tret'jakov I.P. Rezhujij instrument s iznosostojkim pokrytiem. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 192 s. 2. Pokrytija iznosostojkie. Tehnologija nanesenija vakuumno-plazmennym sposobom./Standart predprijatija. STP MDV 04.87. – Har'kov, 1987. – 40 s. 3. Iznosostojkie i zavitnye pokrytija./Sbornik nauchnyh trudov – Kiev, institut sverhtverdyh materialov AN USSR, 1989. – 123 s. 4. Movshovich A.Ja., Iwenko G.I., Reznichenko N.K. primenenie uprochnjajuwih pokrytij dlja povyshenija iznosostoj-kosti napravljajuwih jelementov tehnologicheskoi osnastki. – H.: UIPA, 2010. – s.34-42.