

## О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ МЕХАНИКИ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ ИНСТРУМЕНТОМ С ПОКРЫТИЕМ

### 1. Актуальность

Несмотря на то, что вакуумно-плазменный способ нанесения износостойких покрытий доказал свою жизнеспособность при упрочнении режущего инструмента, в производственных условиях стабильность результатов наблюдается не всегда. По нашему мнению это является следствием того, что износостойкое покрытие не рассматривалось как фактор, активно участвующий в создании принципиально нового режущего инструмента, и до сих пор до конца не изучено влияние покрытия на изменение механики процессов резания металлов.

### 2. Анализ действующих технологий

Физические особенности процесса резания инструментом с покрытием изучались при точении стали ХВСГ (HRC<sub>Э</sub> 42...38) четырехгранными пластинами из твердого сплава Т15К6 с шероховатостью передней поверхности 0,2...0,28 мкм. После нанесения на них покрытия нитрида титана (TiN) шероховатость поверхности стала 0,35...0,47 мкм. Режимы резания: подача  $S=0,15$  мм/об; глубина резания  $t=0,5$  мм; диапазон скоростей резания  $V=90$  м/мин...150 м/мин (при этих скоростях производится точение легированных сталей твердым сплавом группы ТК). В процессе исследования силовых зависимостей износ пластин Т15К6 как с покрытием TiN, так и без покрытия ограничивался шириной фаски по задней поверхности, равной 0,2 мм.

В табл. 1 представлены контактные характеристики процесса резания и стойкость при точении стали ХВСГ пластинами Т15К6.

**Таблица 1** – Контактные характеристики процесса резания и стойкость при точении стали ХВСГ твердосплавными пластинами Т15К6

Состояние режущих пластин	Скорость резания, м/мин	Параметры поверхности контакта стружки с режущей пластиной			Сила $P_z$ , Н	Контактное давление, Н/мм <sup>2</sup>	Стойкость, мин.
		Ширина, мм	Длина, мм	Площадь, мм <sup>2</sup>			
Т15К6	90	1,04	0,383	0,398	320	804	40
	120	1,02	0,357	0,364	305	838	12,5
	150	0,99	0,325	0,349	298	854	5,5
Т15К6 + TiN	90	1,10	0,193	0,212	282	1330	56
	120	0,99	0,189	0,187	270	1444	18
	150	0,99	0,185	0,182	265	1456	9

Анализ данных табл.1 показывает, что с увеличением скорости резания длина контакта стружки с передней поверхностью пластины уменьшается, а среднее контактное давление растет. Причем, для пластин с покрытием длина контакта значительно меньше, а контактное давление значительно больше, чем у пластин без покрытия. Более того, если увеличение скорости резания, а также нанесение нитрида титана уменьшает силу резания всего на 7...12 %, контактное давление увеличивается на 65...70 %. Значит, стойкость пластин с покрытием должна быть ниже, чем у пластин без покрытия. Однако, как видно из табл. 1, стойкость пластин с покрытием TiN выше, чем у пластин без покрытия, во всем диапазоне исследуемых скоростей резания. Это объясняется процессами трения стружки о переднюю поверхность инструмента.

Как показано в работе [1], поверхность трения на передней поверхности состоит из двух участков: участка пластического контакта и участка упругого контакта. На участке пластического контакта расположен заторможенный слой, в пределах которого сходящая стружка движется не по передней поверхности, а по заторможенному слою. На этом участке внешнее трение скольжения отсутствует и заменяется внутренним трением между отдельными слоями стружки, в результате чего в контактной зоне повышается температура, из-за чего коэффициент внутреннего трения снижается. Так коэффициент трения на участке пластического контакта, определенный по методике [2], для пластин T15K6 с покрытием нитрида титана равен 0,5, а при резании стали ХВСГ (HRC<sub>Э</sub> 42...38) на скорости резания 150 м/мин пластинами T15K6 без покрытия – 0,6.

### **3. Основной материал**

Интенсивность изнашивания режущего инструмента зависит от площади действительного контакта. У инструмента с покрытием она меньше. Однако покрытие нитрида титана, обладая более низкой теплопроводностью, препятствует стоку в твердосплавную пластину тепла, образовавшегося в процессе деформирования обрабатываемого материала. Это приводит, с одной стороны, к уменьшению температуры в режущем клине, с другой стороны, - к повышению температуры в приграничных объемах обрабатываемого материала. А благодаря наличию заторможенного слоя образуется низкотемпературный градиент на передней поверхности инструмента и, следовательно, область интенсивного тепловыделения находится над зоной пластического трения.

Таким образом, при работе режущим инструментом с покрытием увеличивается теплонапряженность процесса резания, являющегося следствием высоких контактных нагрузок. Однако, при этом, силы резания и температура режущей кромки имеют более низкие значения, чем у инструмента без покрытия, если термостойкость покрытия стабильна высокотемпературном режиме.

В табл. 2 приведены измерения «горячей» твердости покрытия TiN.

Снижение сил резания на 10...25 % при точении инструментом с покрытием наблюдалось многими исследователями [3–5]. При этом, как показано в работе [3] некоторые исследователи добавляют, что снижается и температура резания.

**Таблица 2** – «Горячая» твердость композиции инструментальный материал – покрытие

Температура, °С		20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Микро- твер- дость, ГПа	ВК6	14,0	13,5	11,0	10,0	9,6	8,0	7,2	6,0	4,8	3,5
	ВК6 + TiN	23,0	22,5	22,0	18,0	15,0	12,6	10,2	8,0	6,6	6,0

Силы резания и температура резания не могут одновременно увеличиваться или уменьшаться при обработке стали одним и тем же инструментом. Если, например, увеличивать температуру поверхностного слоя заготовки путем предварительного нагрева, то силы резания значительно снизятся [6]. Как видно из табл. 2, покрытие нитрида титана в интервале температур до 900 °С более термостойкое, чем твердый сплав. Поэтому уменьшение сил резания, а следовательно, и увеличение контактного давления могут быть объяснены только увеличением температуры срезаемого слоя металла. Термостойкое покрытие, обладающее низкой теплопроводностью, в контактной зоне действует как экранирующий теплозащитный слой, благодаря чему режущий клин инструмента предохраняется от воздействия высоких контактных температур.

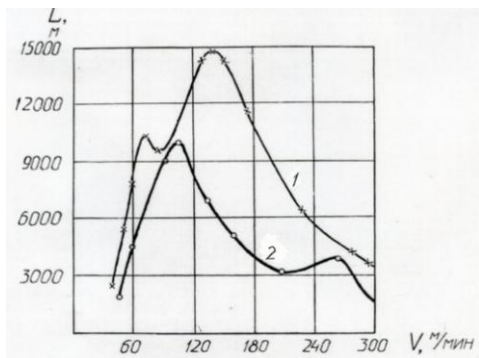
Подтверждением этому является исследования по точению легированной стали 25Х2ГНТА (HRC<sub>3</sub> 45...41). На рис. 1 представлены зависимости влияния скорости резания на длину пути резания резцами из твердого сплава Т15К6 и Т15К6 с покрытием TiN. Геометрические параметры:  $\gamma=0^\circ$ ;  $\psi=45^\circ$ ;  $\psi_1=45^\circ$ ;  $\alpha=12^\circ$ ;  $\alpha_1=12^\circ$ . В качестве СОЖ применялась 5 % эмульсия на основе эмульсола Э2.

Режимы резания:  $V=30\text{...}300$  м/мин;  $S=0,075$  мм/об;  $t=0,25$  мм. Износ резцов по главной задней поверхности принимался равным 0,5 мм.

Как видно из графиков кривая 2 зависимости  $L=f(v)$  расположена внутри кривой 1. Причем при точении стали 25Х2ГНТА со скоростью резания оптимальной для резцов Т15К6 стойкость последних незначительно ниже (около 10 %), чем у резцов Т15К6 с покрытием нитрида титана.

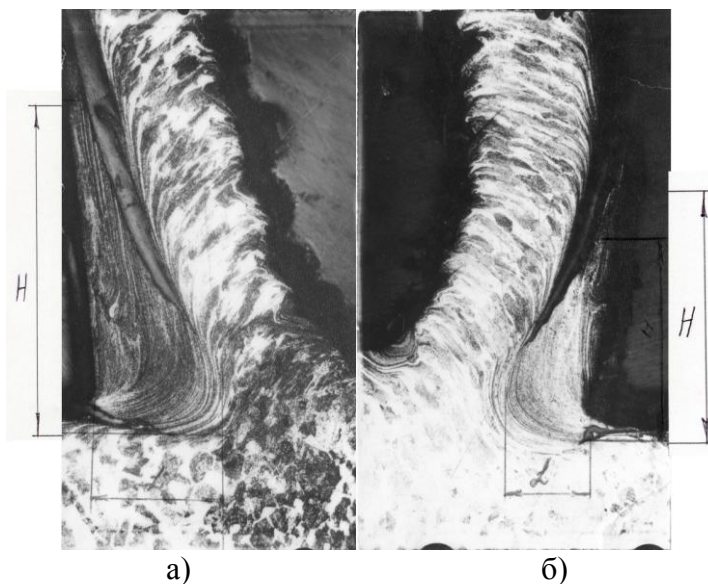
Смещение восходящей ветви кривой 1 влево по отношению к кривой 2 подтверждает, что при точении стали в интервале активного наростообразования резцами с покрытием TiN температура резания выше, чем при точении резцами без покрытия. В результате этого образование стабильного нароста (зон полного и относительного застоя) происходит при меньших скоростях резания.

На рис. 2 (а, б) представлены микрофотографии «корня стружки», полученные при резании стали 25Х2ГНТА со скоростью  $V=100$  м/мин. Известно, что зону относительного застоя нельзя рассматривать, как область непрерывных пластических деформаций [7]. При температурах до 600 °С пластичность обрабатываемого материала является недостаточной для того, чтобы без разрушения выдержать те деформации, которые происходят в этой зоне. Поэтому в ней происходят периодически разрывы зерен металла там, где пластические деформации должны достигать наибольшей величины. Зоны полного и относительного застоя (нарост) по этой причине имеют трещины и пустоты, что хорошо видно на рис. 2, а.



**Рис. 1** – Влияние скорости резания на длину пути резания при точении стали 25Х2ГНТА: 1 – точение Т15К6 с покрытием TiN; 2 – точение Т15К6 в исходном состоянии

Таким образом, теплонапряженность процесса резания (образование нароста в зависимости от режимов резания) влияет неоднозначно на работоспособность режущего инструмента: стойкость резцов с покрытием выше там, где в исходном состоянии наблюдается их интенсивный износ. И наоборот, если в исходном состоянии инструмент имеет большую стойкость при нетеплонапряженном процессе резания, у инструмента с покрытием стойкость меньше. Это и демонстрируют графики рис. 1. Наибольшая стойкость инструмента с покрытием нитрида титана получена при скорости резания  $V=140$  м/мин. В этом случае стойкость Т15К6+TiN в 2,5 раза выше, чем у Т15К6. В свою очередь наибольшая стойкость инструмента без покрытия наблюдается при скорости резания  $V=100$  м/мин. Однако стойкость инструмента с покрытием при  $V=140$  м/мин в 1,5 раза выше по сравнению со стойкостью инструмента без покрытия при скорости резания  $V=100$  м/мин.



**Рис. 2** – Микрофотографии «корня» стружки: а – точение Т15К6 без покрытия; б – точение Т15К6 с покрытием TiN

материала инструмента в зоне пластического контакта сопротивления сдвигу возрастает, что приводит к росту деформации и, естественно, к износу инструмента. Причем процесс

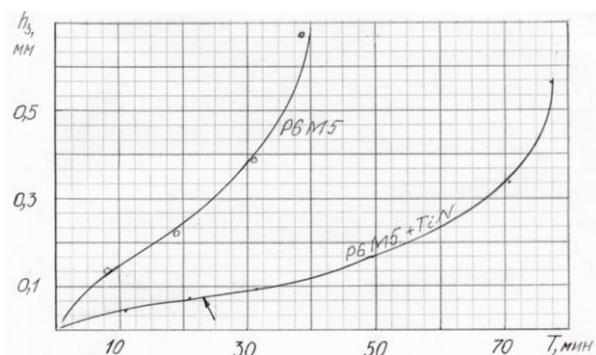
На инструменте с покрытием нарост более плотный, имеет меньшую как высоту, так и длину подошвы (рис. 2, б). Это значит, что температура резания превышала  $600^{\circ}\text{C}$ , когда пластичность металла становится столь высокой, что он в состоянии выдержать без разрушения пластические деформации, необходимые для вытекания через зону относительного застоя. Процесс резания приобретает устойчивый характер, а обрабатываемая поверхность имеет меньшую шероховатость, что подтверждают многочисленные производственные испытания.

Режущий инструмент и стружка прочно схватываются друг с другом. Так как в месте схватывания относительная скорость их перемещения близка к нулю, на участке пластического контакта между материалами инструмента и стружки активно реализуются диффузионные процессы, которые влияют на сопротивление срезаемого слоя обрабатываемого материала пластическому сдвигу.

При насыщении локальных объемов обрабатываемого материала легирующими элементами из

происходит значительно быстрее с увеличением температуры контактных поверхностей. При отсутствии нароста это наблюдается на режущей кромке или вблизи неё. В условиях нароста зона пластического контакта перемещается за режущую кромку, а износ проявляется в виде лунки.

На рис. 3 приведен график зависимости износ-время ( $h_3 - T$ ) при точении стали 45 резцами P6M5 и P6M5+TiN. Режимы обработки: скорость резания  $V=100$  м/мин; подача  $S=0,15$  мм/об.; глубина резания  $t=1$  мм.



**Рис. 3** – Зависимость износ – время ( $h_3 - T$ ) при точении стали 45:  
→ момент нарушения сплошности покрытия

Если на резце P6M5 после приработки на передней поверхности развивается лунка, а на задней образуются «усы» износа, то при точении резцами с покрытием «усы» износа полностью отсутствуют в течение всего времени работы инструмента. Для резцов P6M5 развитие лунки происходит не только в «глубину», но и как в направлении к режущей кромке, так и от неё. При точении резцами с покрытием TiN через 20...22 минуты работы нарушается сплошность покрытия. Однако рост лунки отмечается в

основном в «глубину», а увеличение ее в сторону режущей кромки практически отсутствует.

Износ всегда является следствием трения. Процесс трения зависит от физико-механических свойств материалов, находящихся в контакте. Химически инертное к обрабатываемому материалу покрытие нитрида (карбида) титана менее склонно к схватыванию контактных поверхностей, поэтому перенос материала инструмента в стружку протекает медленнее даже после прорыва покрытия и образования лунки. Обладая высокой теплостойкостью, покрытие предохраняет режущий клин от воздействия высоких контактных температур и, в то же время, способствует увеличению температуры срезаемого слоя. Как показано в работе [9], в которой изучалось тепловое состояние инструмента из быстрорежущей стали с покрытием по передней поверхности при прерывистом резании, покрытие нитрида титана увеличивает тепловую напряженность инструмента, так как практически не изменяет количество теплоты, поступающего в инструмент во время рабочего хода, и уменьшает отдачу теплоты в окружающую среду во время вспомогательного хода.

## Выводы

1. При точении инструментом с покрытием длина контакта значительно меньше, чем при точении инструментом без покрытия, при этом на 7...12 % уменьшаются силы резания и на 65...70 % увеличивается контактное давление, что является следствием увеличения температуры срезаемого слоя.
2. Стабильный нарост при точении инструментом с покрытием образуется при меньших скоростях резания, что свидетельствует об увеличении температуры в зоне резания.

3. Термостойкое покрытие, обладающее малой теплопроводностью, в контактной зоне действует как экранирующий теплозащитный слой, предохраняющий режущий клин от воздействия высоких контактных температур.

**Список использованных источников:**

1. Бобров В. Ф. Основы теории резания материалов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. Палетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М. Ф. Палетика. – М. : Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Джеламанова Л. М. Прогрессивные методы нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент : обзор / Л. М. Джеламанова. – М. : НИИмаш, 1979. – 48 с.
4. Усачев П. А. Повышение износостойкости и прочности режущих инструментов / П. А. Усачев, В. П. Пархоменко. – К. : Техника, 1980. – 160 с.
5. Экемар С. Поворотные пластинки из твердых сплавов с покрытием для обработки металлов резанием / С. Экемар // Симпозиум по техническому и экономическому развитию в области металлов. – М., 1976. – С. 35–37.
6. Обработка труднообрабатываемых материалов с нагревом / Л. Н. Строшков, Ш. Л. Теслер, С. П. Шабашов, Д. С. Элинсон. – М. : Машиностроение, 1977. – 140 с.
7. Зорев Н. Н. Вопросы механики процессов резания металлов / Н. Н. Зорев. – М. : Машгиз, 1956. – С. 167–178.
8. Талантов Н. В. Исследование влияния тугоплавких покрытий на износостойкость твердосплавного инструмента / Н. В. Талантов, Ю. М. Быков // Теплофизика технологических процессов. – Волгоград : Изд-во ВПИ, 1980. – 59 с.
9. Синопальников В. А. Тепловые условия работы быстрорежущего инструмента с покрытием нитрида титана / В. А. Синопальников, В. Д. Гурин // Станки и инструмент. – 1983. – № 1. – С. 14–16.

*Мовшович А.Я., Этингант А.А., Этингант А.И., Черная Ю.А.* «О некоторых вопросах механики процессов резания металлов инструментом с покрытием».

В статье рассмотрены контактные характеристики процесса резания при точении стали режущим инструментом с покрытием нитрида титана и в исходном состоянии. Показано, что химически инертное к обрабатываемому материалу покрытие нитрида титана менее склонно к схватыванию контактных поверхностей, поэтому перенос материала инструмента в стружку происходит медленнее даже после прорыва покрытия и образования лунки. Режущий инструмент с покрытием работает более эффективно в условиях теплонапряженности процесса резания.

**Ключевые слова:** резание металлов, контактные характеристики, нитрид титана, покрытие.

*Мовшович О.Я., Етінгант О.О., Етінгант О.І., Чорна Ю.А.* «Про деякі питання механіки процесів різання металів інструментом з покриттям».

В статті розглянуті контактні характеристики процесу різання при точінні сталі різальним інструментом з покриттям нітриду титану та у вихідному стані. Показано, що хімічно інертне до матеріалу, що обробляється, покриття нітриду титану менш схильне до захоплення контактних поверхонь, тому перенос матеріалу інструменту в стружку відбувається повільніше навіть після прориву покриття та утворення лунки. Різальний інструмент з покриттям працює ефективніше в умовах теплонапруженості процесу різання.

**Ключові слова:** різання металів, контактні характеристики, нітрид титану, покриття.

*Movshovich A.Y., Etingant A.A., Etingant A.I., Chorna Yu.A.* “About some questions of mechanics of cutting operations of metals by tool with covering”.

In the article the contact features of cutting operation by steel turning with cutting tool with titanium nitride coverage and in an initial condition is considered. It is shown that chemically inert coverage of titanium nitride to worked material is lesser inclined to seizure of contact surfaces, so transfer of material to shaving issues slowly even after breaking of coverage and formation of pit. Cutting tool with coverage works more effective by high-heat conditions of cutting operation.

**Key words:** metalcutting, contact features, titanium nitride, coverage.

Стаття надійшла до редакції 12 грудня 2012 р.