

**BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1991-3494

Volume 4, Number 362 (2016), 50 – 54

**COMPLEX SURFACE TREATMENT OF CUTTING TOOLS  
FOR INCREASING THEIR STRENGTH AND WEARING CAPACITY**

**K. M. Islamkulov, Zh. U. Myrkhalykov**

South-Kazakhstan State University named after Mukhtar Auezov, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: kairat058@mail.ru

**Key words:** Metal-cutting tools, multilayer coatings, hardness and strength, ionic azotization, electric-thermal-cycle processing.

**Annotation.** In this paper, in a result of investigation of the structural change interrelation in the studied goods with mechanical properties, a new method for strengthening processing of metal-cutting tools, consisted in combination of electric-thermal-cycle processing (ETCP) with the following ion-plasma processing (IPP) has been offered. Preliminary ETCP provides preparation of the fine-grained structure, increases durability and hardness of the basic metal's surface layers, improves adhesion. The following IPP provides formation of wear-resisting layers from titanium nitrides and aluminum nitrides on the tool's surface, having thermal conductivity, reduces temperature of the tool's working area during its exploitation, and as a consequence, reduces diffusion wearing, that results in increase of the metal-cutting tool's durability in 3-4 times.

УДК 621.9

**ПРОВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ  
ОБРАБОТКИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ИХ ПРОЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ**

**К. М. Исламкулов, Ж. У. Мырхалыков**

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

**Ключевые слова:** режущие инструменты, многослойных покрытий, твердость и прочность, ионное азотирование, электро- термоциклическая обработка.

**Аннотация.** В результате изучения взаимосвязи структурных изменений в исследуемых изделиях с механическими свойствами, предложен новый способ упрочняющей обработки металлорежущих инструментов, заключающийся в сочетании электротермо- циклической обработки (ЭТЦО) с последующей ионно- плазменной обработкой (ИПО). Предварительная ЭТЦО обеспечивает получение мелкозернистой структуры, повышает прочность и твердость поверхностных слоев основного металла, улучшает адгезию. Последующая ИПО обеспечивает формирование износостойких слоев из нитридов титана и нитридов алюминия на поверхности инструмента, которая, обладая теплопроводностью, снижает температуру рабочей поверхности инструмента при его эксплуатации, и как следствие, уменьшает диффузионное изнашивание.

Резервом повышения работоспособности износостойких покрытий является применение многослойных покрытий. Твердость и прочность многослойного покрытия увеличивается с уменьшением толщины индивидуальных слоев до единиц нанометров.

Сегодня помимо традиционно используемых однослойных покрытий TiN, TiC, TiCN в промышленности широко используются и многослойные сложно-композиционные покрытия, в которых каждый слой выполняет строго регламентированные функции. Такие соединения способны сохранять твердость при больших температурах резания, имеют повышенную пассивность по отношению ко многим обрабатываемым материалам.

Экономически целесообразным является сочетание в одном технологическом цикле процессов ионного азотирования и нанесения износостойких покрытий. Это может быть сделано при использовании специального оборудования, позволяющего генерировать газовую (для ионного азотирования) и металло-газовую (для нанесения покрытий) плазму вакуумно-дугового разряда.

В случае нанесения покрытия на неазотированную подложку на границе с инструментальной основой происходит резкое изменение физикомеханических и теплофизических свойств (в первую очередь модуля упругости и коэффициента термического расширения), приводящее к образованию в покрытии высоких остаточных напряжений и, как следствие, к снижению прочности адгезионной связи покрытия с основой, которая является наиболее важным условием успешной эксплуатации режущего инструмента с износостойким покрытием. Практика показывает, что низкая прочность адгезионной связи обязательно приводит к отслоению покрытия в процессе резания и не обеспечивает ожидаемого увеличения стойкости инструмента. Предварительное азотирование поверхности инструмента перед нанесением покрытия обеспечивает более плавное изменение свойств от поверхности к сердцевине инструмента и, как следствие, более высокие эксплуатационные свойства [1].

При комплексной поверхностной обработке, сочетающей ионное азотирование и нанесение покрытий, работоспособность инструмента будет сильно зависеть от структуры и свойств переходного азотированного слоя, а также от соотношения между толщинами и твердостью азотированного слоя и покрытия. Необходимые свойства азотированного слоя и покрытия формируются путем выбора соответствующих режимов вакуумно-плазменной обработки.

В результате проведения комплексного исследования разработан новый способ обработки металлорежущих инструментов, подтвержденные авторским свидетельством и инновационным патентом [2, 3].

С целью измельчения зерен поверхностного слоя металлорежущего инструмента, и, как следствие, повышения конструкционной прочности, а также увеличения адгезии была проведена предварительная электро-термоциклическая обработка (ЭТЦО) металлорежущих инструментов.

Этот способ заключается в электронагреве со скоростью  $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до температуры полной austенизации ( $850^{\circ}\text{C}$ ), охлаждении на воздухе до температуры  $420\text{--}450^{\circ}\text{C}$ , что составляет один цикл обработки. Этот процесс повторяли троекратно и после последнего цикла нагрева, т.е. с  $820\text{--}850^{\circ}\text{C}$  проведена закалка в масле. Отпуск инструмента после закалки не производился, так как операция отпуска совмещалась с ионно-плазменной обработкой (ИПО).

После ЭТЦО металлорежущие инструменты (сверла из стали Р6М5) подвергались ионно-плазменной обработке (ИПО) на установке ИЭТ-8И-2 типа «Булат».

Нагрев изделий производился при достижении вакуума  $7\cdot10^{-3}$  Па в рабочей камере установки и при подаче высокого напряжения (1200–1300 В) на электродуговые испарители (пушки). Температура изделия контролировалась с помощью оптического пирометра.

С целью уменьшения диффузионного изнашивания металлорежущего инструмента при эксплуатации и учитывая, что изделие может работать в ударно-прерывистом режиме, производили на него многослойное покрытие. Для формирования прочного износостойкого покрытия в вакуумную камеру «Булат» подается плазмообразующий газ (азот). Он, реагируя с распыленным материалом катода (Ti, Al), образует упрочняющее покрытие в виде нитридов алюминия и нитридов титана. В начале, на поверхность инструмента осаждают покрытие из нитридов алюминия при давлении плазмообразующего газа  $4\cdot10^{-1}$  Па. Температура нагрева изделия  $250\text{--}300^{\circ}\text{C}$ , время напыления 15 мин, толщина покрытия 5–6 мкм. На сформировавшийся слой из нитрида алюминия, осаждают нитрид титана при температуре нагрева инструмента  $400\text{--}450^{\circ}\text{C}$ . Давление плазмообразующего газа при этом составляет  $5\cdot10^{-3}$  Па, время осаждения 15–20 мин, толщина покрытия 10–12 мкм. Напыленный слой из нитридов алюминия, обладая меньшей твердостью, препятствует выкрашиванию твердого нитридтитанового слоя в условиях вибрации и ударных нагрузок на металлорежущий инструмент, так как более мягкие слои деформируются и допускают тем самым некоторый прогиб твердого слоя из нитридов титана [4].

Время осаждения покрытия колебалось от 30–45 мин, температура нагрева изделий; от 200 до  $600^{\circ}\text{C}$  при этом толщина покрытия составила от 4 до 18 мкм при твердости слоя от 1800 до 3200 HV.

При времени осаждения покрытия менее 30 мин, показатели твердости довольно низки, а при увеличении времени напыления более 45 мин твердость существенно не изменяется, хотя толщина покрытия увеличиваются и достигают 25 мкм. Отсюда следует, что оптимальное время осаждения покрытия не более 30 мин при температуре 400–450°C. Полученные результаты ИПО изделия приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические параметры ИПО сверла из Стали Р6М5 (время обработки 30 мин)

№ п/п	Температура изделий в процессе напыления, °C	Высокое напряжение, В	Опорное напряжение, В	Толщина напыленного слоя, мкм	Твердость, HV	Износостойкость
1	200	400	60	4,0	1800	2,12
2	250	500	70	4,5	1950	2,25
3	300	600	90	5,5	2150	2,83
4	350	700	120	8,0	2450	3,07
5	400	800	150	10,0	3100	3,74
6	450	860	180	11,4	3250	3,83
7	500	900	200	12,0	2600	2,72
8	550	950	220	14,2	2250	2,61
9	600	1000	250	16,5	2150	2,43
10	650	1040	260	18,3	1900	2,25
11	700	1100	270	19,5	1800	2,08

Металлографические исследования образцов из Стали Р6М5, прошедшие обработку по базовой технологии (закалка током высокой частоты ТВЧ, плюс отпуск при 150–200°C), а также подвергнутые предварительной ЭТЦО, позволили выявить следующие существенные отличия: структура поверхностного слоя стали при электрозвакалке состоит из крупноигольчатого мартенсита и карбидов, соответствующих элементов; одноразовый нагрев при высокой скорости и незначительная выдержка приводят к не завершению диффузионных процессов, и как следствие, образующийся аустенит не однороден по содержанию углерода и в процессе закалки образуются кристаллы мартенсита в микрообъемах с пониженной концентрацией углерода раньше и более грубой форме. Такая структура приводит к неравномерной твердости поверхности изделия и снижению износостойкости.

Структура поверхности стали после предварительной ЭТЦО более дисперсна, чем при электрозвакалке и достигается в результате:

- образования более однородного твердого раствора (аустенита) по углероду;
- фазовой рекристаллизации при неоднородном нагреве и охлаждении;
- перераспределения в аустените растворенных различных примесей.

При ЭТЦО происходит термоклеп, т.е. при неоднократном нагреве и охлаждении разные структурные составляющие стали, обладая различными теплопроводностью, теплоемкостью и прочностными свойствами, подвергаются микропластическому деформированию. Термоклеп ускоряет процесс формирования мелкозернистой структуры.

Сформировавшаяся дисперсная структура при ЭТЦО дополнительно обеспечивает более равномерную твердость и конструкционную прочность изделия, а также способствует повышению адгезии напыленного слоя с поверхностью металлорежущего инструмента при последующей после ЭТЦО ионно-плазменной обработки (ИПО) в следствии искусственного увеличения границ зерен на поверхности основного изделия.

Для получения сравнительных данных одна партия сверл из стали Р6М5 подвергалась электрозвакалке ТВЧ плюс низкотемпературный отпуск, другая партия сверл подвергалась однослойному покрытию из нитридов титана методом ионно-плазменного напыления, третья партия сверл подвергалась обработке по новой (предлагаемой) технологии ЭТЦО +ИПО.

Результаты испытания влияния известных способов и нового метода повышения износостойкости металлорежущего инструмента на физико-механические свойства приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства изделий, подвергнутые различным режимам обработки

Инструмент, материал	Режим упрочняющей обработки	Глубина упрочненного слоя	Физико-механические свойства				
			Твердость HRC (HV)	Красн.-ть °C при HRC 58	Адгезион. способность, Н	Износостойкость, мин	Долговеч. коэф. повышения стойкости
Сверло Р6М5	1. Закалка + низкотемпературн. отпуск (известный способ)	1–2 мм	58	500	–	23	1,0
	2. Ионноплазменное напыление (известный способ)	10–15 мкм	(1850)	550	1100	36	1,3
	3. ТЭЦО +ИПО (предлагаемый способ)	15–18 мкм	(3200)	750	2000	120	4,5

Результаты сравнительных испытаний пластин из быстрорежущей стали Р6М5 после различных видов поверхностной обработки при точении и торцевом фрезеровании конструкционных сталей показывают, что стойкость инструмента с комплексной поверхностной обработкой до 5 раз превышает соответствующий показатель для неупрочненного инструмента и в 2–4 раза – для инструмента с однослойным покрытием.

Таким образом, в результате изучения взаимосвязи структурных изменений в исследуемых изделиях с механическими свойствами, предложен новый способ упрочняющей обработки металлорежущих инструментов, заключающийся в сочетании электротермо- циклической обработки (ЭТЦО) с последующей ионно-плазменной обработкой (ИПО). Предварительная ЭТЦО обеспечивает получение мелкозернистой структуры, повышает прочность и твердость поверхностных слоев основного металла, улучшает адгезию. Последующая ИПО обеспечивает формирование износостойких слоев из нитридов титана и нитридов алюминия на поверхности инструмента, которая, обладая теплопроводностью, снижает температуру рабочей поверхности инструмента при его эксплуатации, и как следствие, уменьшает диффузионное изнашивание.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сейткулов А.Р., Исламкулов К.М., Колмыкпаев Б.К. Обработка материалов режущими инструментами с комплексной поверхностной обработкой // Вестник Тульского государственного университета. – 2008. – С. 200-201.
- [2] Исламкулов К.М., Колмыкпаев Б.К. Способ обработки металлорежущих инструментов / Авторское свидетельство Республики Казахстан № 74446. – 2011.
- [3] Исламкулов К.М., Колмыкпаев Б.К. Способ обработки металлорежущих инструментов / Инновационный патент Республики Казахстан № 25865. – Бюл. № 7. – 2012.
- [4] Исламкулов К.М., Колмыкпаев Б.К. Повышение долговечности металлообрабатывающих инструментов // Сб. науч. тр. Днепродзержинского государственного технического университета. – 2008. – Вып. 1(9). – С. 83-86.

## REFERENCES

- [1] Seytkulov A.R., Islamkulov K.M., Kolmykpayev B.K. Obrabotka materialov rezhushchimi instrumentami s kompleksnoy poverkhnostnoy obrabotkoj // Vestnik Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2008. P. 200-201.
- [2] Islamkulov K.M., Kolmykpayev B.K. Sposob obrabotki metallorezhushchikh instrumentov. Avtorskoye svidetel'stvo Respubliki Kazakhstan № 74446. 2011.
- [3] Islamkulov K.M., Kolmykpayev B.K. Sposob obrabotki metallorezhushchikh instrumentov. Innovatsionnyy patent Respubliki Kazakhstan № 25865. Byul. № 7. 2012.
- [4] Islamkulov K.M., Kolmykpayev B.K. Povysheniye dolgovechnosti metalloobrabatyvayushchikh instrumentov // Sb. nauch. tr. Dneprodzherzhinskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. Vyp. 1 (9). P. 83-86.

## **КЕСКІШ ҚҰРАЛДАРДЫҢ БЕРІКТІГІН ЖӘНЕ ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШИН КЕШЕНДІ БЕТТІК ӨНДЕУЛЕР ЖҮРГІЗУ**

**К. М. Исламқұлов, Ж. Ү. Мырхалыков**

М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан

**Тірек сөздер:** кескіш құралдар, көп қабатты төсемдер, қаттылық және беріктік, ионды азоттау, электрлітермиялық-кезендік өндеу.

**Аннотация.** Жұмыста механикалық қасиеттегі зерттеліп жатқан бұйымдарда құрылымдық өзгерістердің өзара байланыстарын зерттеу нәтижесінде, электрлітермо-кезендік өндеудің (ЭТКӨ) ары қарай ионды-плазмалық өндеумен (ИПӨ) үйлесетін, металл кескіш құралдардың беріктігін жоғарылату бойынша өндеудің жаңа тәсілі ұсынылады. Алдын ала ЭТКӨ майда дәнді құрылым алуды қамтамасыз етеді, негізгі металлдың беткі қабаттарының беріктігін және қаттылығын жоғарылатады, адгезияны жақсартады. Ары қарай ИПӨ құралдың беткі қабатындағы титан нитридтерінен және аллюминий нитридтерінен тозуға төзімді қабаттардың түзілуін қамтамасыз етеді, ол жылу өткізгіштікке ие бола отырып, оны іске қосу кезінде құралдың жұмысшы бетінің температурасын төмендетеді, соның нәтижесінде, диффузиялық тозуды азайтады.

*Поступила 21.06.2016 г.*