

## **ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛА**

*А.С. Игнатьев, аспирант, А.А. Моховиков, к.т.н, доц., В.Е.Овчаренко, д.т.н., профессор  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 6-22-48  
E-mail: assignatev@rambler.ru*

### **Введение**

Проблема стойкости (ресурса работы) инструмента различного назначения (режущего, штампового, дробильного и т.п.) является постоянно актуальной для всех отраслей современной промышленности. Сказанное в полной мере относится к многочисленным видам инструмента с рабочими органами из металлокерамических (твердых) сплавов, получившего широкое применение в различных отраслях промышленности.

Одним из перспективных направлений в решении указанной проблемы является поверхностное упрочнение металлокерамических изделий путем модификации структуры их поверхностных слоев методом обработки их поверхностей высококонцентрированными потоками энергии в виде интенсивных импульсных лазерных, электронных и ионных пучков [1], а также потоками импульсной плазмы [2]. Сверхвысокие скорости нагрева (до  $10^6$  град/с) тонкого поверхностного слоя при лазерном, ионном или электронном облучении в импульсном режиме ( $10^{-1}$  мм для лазерного и  $10^{-4}$  –  $10^{-3}$  мм для ионного и электронного пучков) до критических температур и достижение в поверхностном слое предельных градиентов температуры (до  $10^7$  –  $10^8$  град/м), обеспечивающих охлаждение поверхностного слоя за счет теплоотвода в основной объем материала со скоростью  $10^4$  –  $10^9$  град/с, определяют условия образования в поверхностном слое металлических материалов неравновесных структур, в т.ч. в наноразмерной области структурно-фазовых состояний. Наноструктурирование поверхностного слоя оказывает прямое влияние на механизм его разрушения при внешнем термическом или силовом воздействии, обусловленное снижением масштабного уровня локализации пластической деформации, приводящего к более равномерному распределению упругих напряжений в поверхностном слое. В результате в поверхностном слое в значительной степени повышается энергия зарождения концентраторов напряжения, снижается вероятность образования дефектов внутреннего строения. При этом между наноструктурированным слоем и основным материалом вместо границы раздела формируется переходная зона - наноструктурированный слой плавно переходит в структуру основного материала. Последнее определяет демпфирующие свойства наноструктурированного слоя по отношению к основному материалу при ударных механических и температурных внешних воздействиях, предотвращая преждевременное зарождение и распространение с поверхности в основной объем материала хрупких микротрещин, приводящих к образованию магистральных трещин и разрушению основного материала [3]. Формирование в поверхностном слое металлокерамического сплава многоуровневой структуры определяет неизбежность вовлечения в процесс деформации поверхностного слоя при динамическом или температурном на него воздействии максимально возможного числа структурных уровней, что приводит к смене доминирующего механизма зарождения и роста магистральной хрупкой трещины: зарождение, последовательное развитие и продвижение вершины трещины в «мезоскопически неповрежденном» материале сменяется образованием в окрестности вершин микротрещин мезоповреждений с последующим их объединением в магистральные трещины, что обеспечивает существенное увеличение времени образования трещин разрушения и работы разрушения металлокерамического сплава [4-7]. Изменение механизма разрушения поверхностного слоя металлокерамического сплава оказывает прямое влияние на такие основные для инструментального материала параметры, как износостойкость и стойкость металлокерамического инструмента при резании металла.

Целью настоящей работы являлось исследование зависимости значений параметров износа передней и задней поверхностей пластины из металлокерамического сплава при резании металла от параметров многоуровневой структуры ее поверхностного слоя.

### **Материал и методики экспериментальных исследований.**

Объектом исследования являлись металлокерамические режущие пластины из металлокерамического сплава на основе карбида титана с никельхромовой связкой состава 50 об.%TiC+50 об.% (Ni-Cr). Импульсное электронно-пучковое облучение поверхности режущих пластин из металлоке-

рамического сплава размером 10x10x4 мм проводили на установке импульсного электронно-пучкового облучения с плазменным катодом (Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск). Изменение параметров многоуровневой структуры в поверхностном слое металлокерамического сплава достигали облучением в плазмообразующих газах различного состава – с аргоном, с азотом, с ксеноном и с (ксенон+азотом) и при следующих параметрах облучения: длительность импульсов облучения  $\tau = 150$  мкс, плотность энергии в электронном пучке  $E_s = 40$  Дж/см<sup>2</sup>, количество импульсов облучения – 15, частота следования импульсов облучения с<sup>-1</sup>. При этом электронный пучок фокусировали на углах режущих пластин для последующих исследований стойкости пластин при резании металла.

Стойкостные испытания металлокерамических пластин при резании металла были проведены на стали 45 (ГОСТ 1050-88) при следующих режимах резания: скорость резания  $V=80$  м/мин., глубина резания  $t=1$  мм, подача  $s=0,1$  мм/об.

Микроструктуру поверхности образцов до и после облучения исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (SEM 515 «Philips»).

Профилирование поверхности исследуемых образцов выполняли на специальном приспособлении с помощью многооборотного индикатора с ценой деления 0,001 мм, оснащенного иглой с диаметром рабочей вершины 0,07 мм. Результаты измерений фиксировали через каждые 0,1 мм.

#### Результаты и их обсуждение.

Импульсное электронно-пучковое облучение проплавляет поверхностный слой металлокерамического сплава и формирует микрорельеф его поверхности (рис. 1).

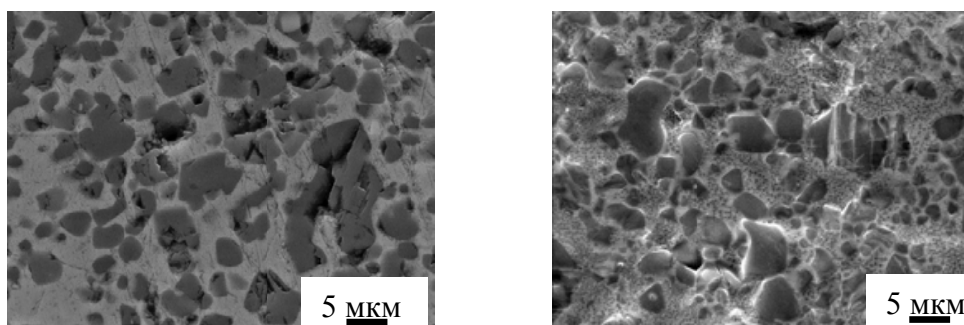


Рис. 1. Микроструктура и микрорельеф поверхности металлокерамического сплава в исходном и после электронно-пучкового облучения в аргонсодержащей плазме газового разряда состояниях

Импульсное электронно-пучковое облучение приводит к измельчению частиц карбидной фазы путем их растрескивания и залечивания микротрещин расплавами связующего, частичным растворением частиц карбида в расплаве металлического связующего и выделением микрочастиц (субмикронной и наномасштабной размерности) вторичного карбида в межчастичных прослойках металлического связующего металлокерамической структуры (рис. 1,б).

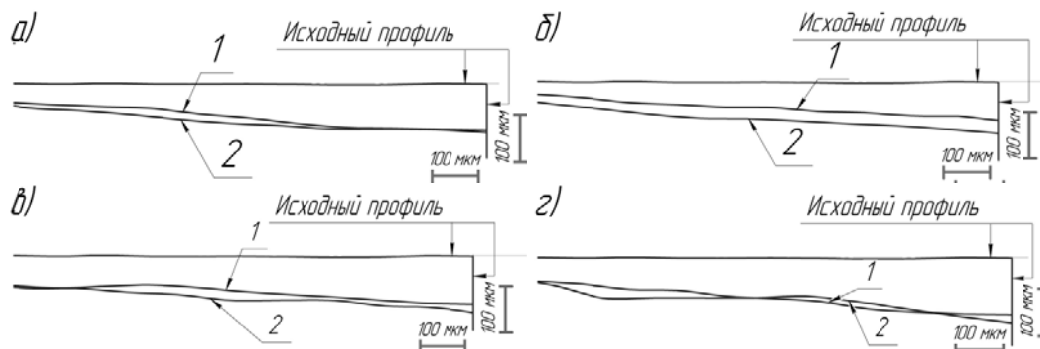


Рис. 2. Профилограммы поверхности образцов металлокерамического сплава в исходном состоянии и после импульсного электронно-пучкового облучения аргонсодержащей (а), азотсодержащей (б) и (ксенон+азот)-содержащей плазме газового разряда (1 – плотность энергии  $E_s=40$  Дж/см<sup>2</sup>, 2 – плотность энергии  $E_s=50$  Дж/см<sup>2</sup>)

На рис. 2 представлены профилограммы поверхности металлокерамического сплава после электронно-пучкового облучения. Установлено, что наибольшее изменение формы поперечного профиля металлокерамической пластины непосредственно у поверхности облучения наблюдается у внешнего края пластины, где величина усадки металлокерамики достигает величины от 5 до 130 мкм в зависимости от режимов облучения и химического состава плазмообразующего газа. Максимальная усадка металлокерамической пластины происходит при облучении ее поверхности в (ксенон+азот)-содержащей плазме и фиксируется на углах металлокерамических пластин. Угол наклона поверхности от центра пластины к углам при этом составляет  $1,5 \dots 3,0^\circ$ .

Вследствие этого передний угол режущей пластины ( $\gamma = -5^\circ$ ) увеличивается в отрицательную сторону на величину  $1,5 \dots 3,0^\circ$ . Последнее не может относиться к оценке износостойкости режущей пластины, т.к. технологическая составляющая силы резания  $P_z$  изменяется незначительно ( $1 \dots 3\%$ ) по сравнению с величиной  $P_z$  для металлокерамической пластины в исходном состоянии [8].

В процессе резания металла на передней и задней поверхностях режущей пластины образуются контактные площадки. Износ металлокерамического сплава на контактных площадках происходит непрерывно на протяжении всего процесса резания. Известно, что при обработке конструкционных сталей основной износ токарных резцов происходит по переходной и главной задней поверхности [9-11]. Динамика роста износа для разных поверхностей резца различна. Наибольший износ наблюдается на переходной задней поверхности. На главной задней поверхности величина износа переменная, она минимальна в конце зоны контакта и увеличивается, достигая максимального значения на переходной задней поверхности. Критерий износа инструмента, при котором дальнейшая работа должна быть прекращена, зависит от характера выполняемой операции, инструментального и обрабатываемого материала. Для металлокерамических резцов при черновой обработке сталей критерием износа задней поверхности принимается  $h_3 = 0,8 - 1$  мм. Поэтому при проведении стойкостных испытаний при резании стали за критерий износа металлокерамических пластин принимали износ по переходной задней поверхности равный 1 мм.

Установлено, что в результате импульсного электронно-пучкового облучения поверхности металлокерамических пластин их стойкость при резании металла повышается.

Визуальным контролем, осуществлявшимся с помощью микроскопа МИР-3, было установлено, что характер износа режущих пластин при переходе от пластин в исходном состоянии к обработанным электронным пучком не изменяется: в процессе резания на передней поверхности происходит лункообразование, на задней поверхности наблюдается адгезионный износ, а на режущей кромке металлокерамических пластин в зоне резания происходит микровыкрашивание (рис. 3).

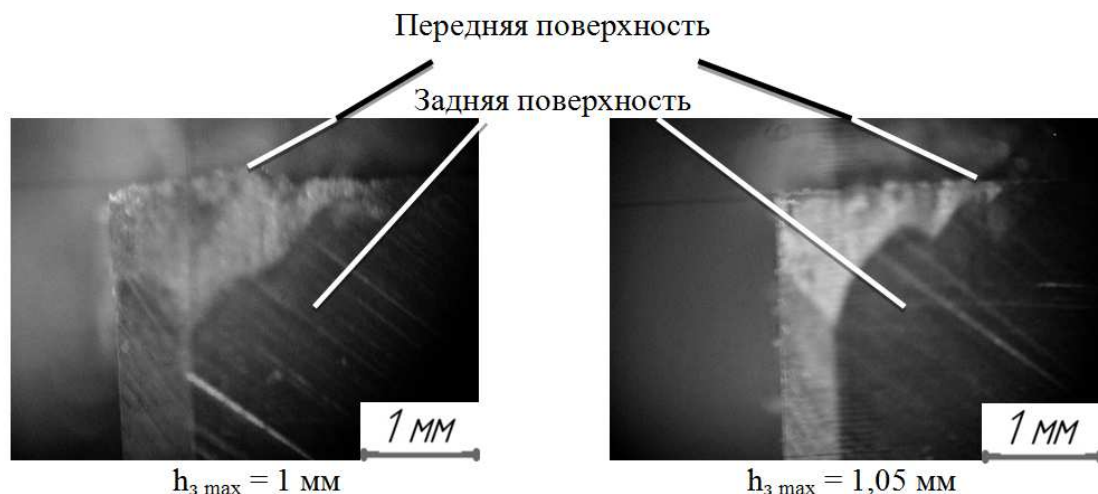


Рис. 3. Общий вид характера износа на задней и переходной задней поверхностях

На рис. 4 представлены профилограммы изнашивания металлокерамических пластин после облучения в аргон-, азот-, ксенон- и (ксенон+азот)-содержащих плазмах газового разряда.

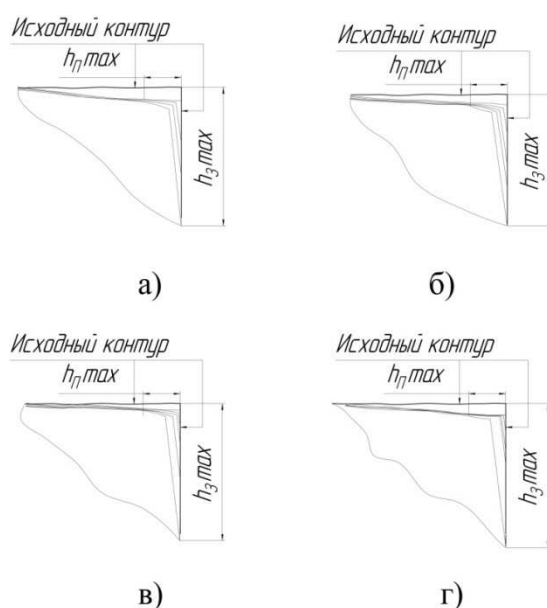


Рис. 4. Профилограммы износа поверхности режущих клиньев металлокерамических пластин при резании металла, облученных в плазмах различных плазмообразующих газов: (а) – аргона, б) – азота, в) – ксенона, г) – ксенона+азота

Из сравнения профилограмм можно констатировать, что при резании стали 45 металлокерамической пластиной после облучения в аргонсодержащей плазме происходит равномерный износ передней и задней поверхностей пластины. При переходе к облучению в азотсодержащей плазме величина износа режущей кромки металлокерамической пластины уменьшается. Это выражается уменьшением в размерах контактной площадки по передней поверхности режущей пластины, а также более длительным изнашиванием задней поверхности. Величина объемного износа передней и задней поверхностей металлокерамических пластин после облучения в ксенонсодержащей плазме уменьшается в еще большей степени. Переход к облучению в (ксенон+азот)-содержащей плазме снижает интенсивность изнашивания режущей кромки металлокерамической пластины, по сравнению с износом после облучения пластин в аргонсодержащей плазме, в 3 раза (рис.4 г). Глубина и площадь контакта стружки с режущей кромкой металлокерамической пластины имеют минимальные значения.

При анализе экспериментальных данных за критерий оценки износа был принят объемный износ режущей кромки металлокерамических пластин по передней и задней поверхностям (рис. 5). Величину объемного износа определяли с помощью программы Компас-3DV13, которая позволяет проводить расчеты массо-центровочных характеристик (МЦХ) созданной модели.

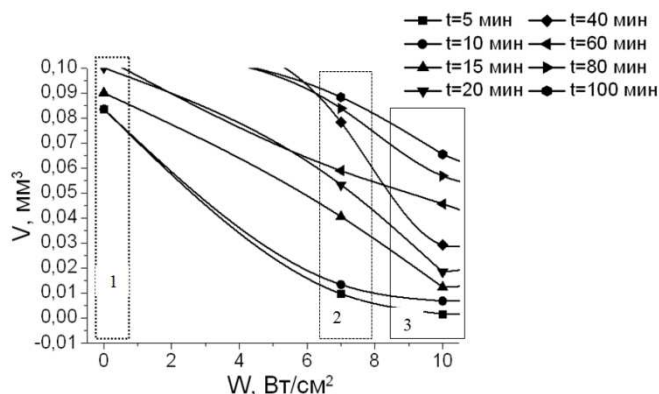


Рис. 5. Зависимости величины объемного износа режущей кромки металлокерамической пластины по передней, задней и переходной задней поверхностям при разных временах резания стали 45 в исходном (до облучения) (1), после облучения в аргонсодержащей плазме (2) и после облучения в (ксенон+азот)-содержащей плазме газового разряда состояниях

Представленные зависимости демонстрируют две основные особенности износа режущей кромки металлокерамической пластины. Во-первых, закономерность износа металлокерамической пластины слабо зависит от времени резания стального контртела до критической степени износа режущей кромки. Это говорит о достаточно глубокой структурно-фазовой модификации металлокерамического сплава при импульсном электронно-пучковом облучении его поверхности. Во-вторых, импульсное электронно-пучковое облучение в аргонсодержащей и в (ксенон+азот)-содержащей плазмах в значительной степени повышает износостойкость режущей кромки металлокерамической пластины при всех временах резания стального контртела.

В соответствии с приведенной в [12] классификацией структурных уровней в поверхностном слое металлокерамического сплава 50 об.%TiC+50 об.% (Ni-Cr) в зависимости от природы плазмообразующего газа при импульсном электронно-пучковом облучении можно выстроить прямую зависимость износостойкости металлокерамической режущей пластины от количества структурных уровней в ее поверхностном слое, формирующихся при облучении в различных по составу плазмах газового разряда. На рис. 6 представлены зависимости величины объемного износа режущей кромки металлокерамической пластины по передней, задней и переходной задней поверхностям от времени резания стали 45 при различном структурно-фазовом состоянии поверхностного слоя металлокерамической пластины. В то время как предельный износ режущей кромки металлокерамической пластины в исходном состоянии (3 структурных уровня в поверхностном слое пластины) достигает своего предельного значения за время резания менее чем за 5 минут, образование 4-го структурного уровня после облучения в аргонсодержащей плазме газового разряда увеличивает время резания металлокерамической пластины до предельного значения износа ее режущей кромки до 12 минут. Увеличение числа структурных уровней в поверхностном слое до 5 при облучении режущей пластины в азотсодержащей плазме увеличивает время резания до 40 минут, а наноструктурирование карбидной компоненты металлокерамической композиции при облучении в ксенонсодержащей плазме увеличивает время резания металлокерамической пластины до предельного износа до 80 минут. Облучение режущей пластины в (ксенон+азот)-содержащей плазме формирует в поверхностном слое пластины 5 структурных уровней и наноструктурирует карбидную компоненту металлокерамической композиции. В результате время резания пластиной стали 45 до критического износа режущей кромки увеличивается до 120 и более минут.

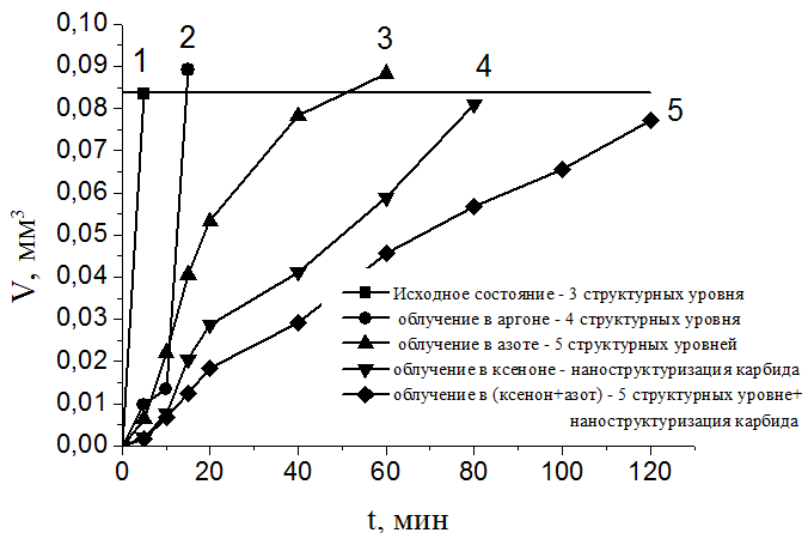


Рис. 6. Зависимости величины объемного износа режущей кромки металлокерамической пластины по передней, задней и переходной задней поверхностям от времени резания стали 45 при различном количестве структурных уровней в поверхностном слое металлокерамической пластины: 1 – исходной состоянии металлокерамического сплава (3 структурных уровня), 2 – после облучения в аргонсодержащей плазме (4 структурных уровня), 3 – после облучения в азотсодержащей плазме (5 структурных уровней), 4 – после облучения в ксенонсодержащей плазме (4 структурных уровня+наноструктурирование карбидной компоненты), 5 – облучение в (ксенон+азот)-содержащей плазме (5 структурных уровней+наноструктурирование карбидной компоненты)

### **Заключение**

Полученные в работе результаты позволяют констатировать, что параметры износа передней и задней поверхностей пластины из металлокерамического сплава при резании металла в значительной степени зависят от структурно-фазового состояния поверхностного слоя металлокерамической пластины. Увеличение числа структурных уровней в наноразмерной области структурно-фазового состояния позволяет многократно увеличить время резания металла до предельного износа режущей кромки пластины. Эффективным методом формирования многоуровневого в наноразмерной области структурно-фазового состояния поверхностного слоя пластин из металлокерамического сплава является импульсное электронно-пучковое облучение в ксенон и (ксенон+азот)-содержащих плазмах газового разряда.

### **Литература.**

1. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками/Под ред. Дж. Поута, Г. Фоти и Д. Джекобсона. –М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.
2. Yoshida T. The future of thermal plasma processing//Materials Trans. JIM.-1990.-Vol. 31, No.1.-P. 1-11.
3. Овчаренко В.Е., Иванов Ю.Ф., Лапшин О.В. Импульсная электронно-пучковая модификация инструментальной металлокерамики на основе карбида титана. В кн.: Наноинженерия поверхности. Формирование неравновесных состояний в поверхностных слоях материалов методами электронно-ионно-плазменных технологий. Отв. ред. Н.З.Ляхов, С.Г. Псахье; Рос.акад. наук, Сиб. отд-е, Ин-т физики прочности и материаловедения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН.
4. Псахье С.Г., Овчаренко В.Е., Князева А.Г. и др. // Физическая мезомеханика. 2011. Т.14. №6. С.23-34.
5. Овчаренко В.Е., Псахье С.Г., Иванов Ю.Ф., Моховиков А.А. Закономерности формирования и влияние многомасштабных наноразмерных структур на физические свойства поверхностного слоя твердого сплава // Известия ВУЗов. Физика. – 2013. – Т.56. - № 7/2. – С.283-291.
6. Ovcharenko V.E., Ivanov Yu.F., Yu BaoHai. Effect of nanostructural surface modification of tribological properties of metal-ceramic alloy// Rare Metals.-2009.-Vol. 28, Spec. Issue.- P.678-682.
7. Овчаренко В.Е., Иванов Ю.Ф., Моховиков А.А., Коваль Н.Н., Тересов А.Д. Способ электронно-пучкового упрочнения твердосплавного инструмента или изделия// Патент РФ №2457261 (2012).
8. Моховиков А.А., Игнатьев А.С. Влияние формирования многомасштабной структуры в поверхностном слое режущих пластин при электронно-пучковом облучении на силу резания// Инновации в машиностроении: труды 4-ой Международной научно-практической конференции г. Новосибирск, 2-4 октября 2013 / под ред. Х.М. Рахимянова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 388 с.
9. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1985.-304 с.
10. Развитие науки о резании металлов/ под ред. В. Ф. Боброва М.: Машиностроение, 1967. – 416с.
11. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
12. Овчаренко В.Е., Псахье С.Г., Иванов Ю.Ф., Моховиков А.А. Закономерности формирования и влияние многомасштабных наноразмерных структур на физические свойства поверхностного слоя твердого сплава // Известия ВУЗов. Физика. – 2013. – Т.56. - № 7/2. – С.283-291.

### **ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГРАДИЕНТ ДЕФЕКТНОЙ СУБСТРУКТУРЫ МЕДИ, РАЗРУШЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ**

*Д.В. Загуляев, к.т.н., доц., С.В. Коновалов, д.т.н., проф., В.В. Данчук, студент  
Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел. (3843)-78-43-85  
E-mail: konovalov@physics.sibsiu.ru*

### **Введение**

Интенсивное развитие техники и современных технологий приводят к созданию мощных энергетических установок, формирующих вокруг себя магнитные и электрические поля, непрерывно воздействующие на окружающие их материалы. С другой стороны, большинство ответственных изделий, узлов машин и конструкции эксплуатируются в режимах постоянных нагрузок (ползучесть) и к ним предъявляются жесткие требования со стороны эксплуатационных характеристик. Однако, такие факторы, как внешние энергетические воздействия и механические нагрузки, воздействуя од-