

*Редакционный совет*

**Голенков В.А.** д-р техн. наук, проф., председатель  
**Радченко С.Ю.** д-р техн. наук, проф., зам. председателя  
**Борзенков М.И.** канд. техн. наук, доц., секретарь  
**Астафичев П.А.** д-р юрид. наук, проф.  
**Иванова Т.Н.** д-р техн. наук, проф.  
**Киричек А.В.** д-р техн. наук, проф.  
**Колчунов В.И.** д-р техн. наук, проф.  
**Константинов И.С.** д-р техн. наук, проф.  
**Новиков А.Н.** д-р техн. наук, проф.  
**Попова Л.В.** д-р экон. наук, проф.  
**Степанов Ю.С.** д-р техн. наук, проф.

*Редакция*

*Главный редактор*  
**Степанов Ю.С.** д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки Российской Федерации

*Заместители главного редактора*  
**Гордон В.А.** д-р техн. наук, проф.  
**Киричек А.В.** д-р техн. наук, проф.  
**Подмастерьев К.В.** д-р техн. наук, проф.

*Члены редколлегии*

**Бабичев А.П.** д-р техн. наук, проф.  
**Вдовин С.И.** д-р техн. наук, проф.  
**Дмитриев А.М.** д-р техн. наук, проф., член-кор. РАН  
**Емельянов С.Г.** д-р техн. наук, проф.  
**Зубарев Ю.М.** д-р техн. наук, проф.  
**Зубчанинов В.Г.** д-р физ.-мат. наук, проф.  
**Иванов Б.Р.** д-р техн. наук, проф.  
**Колесников К.С.** д-р техн. наук, проф., академик РАН  
**Копылов Ю.Р.** д-р техн. наук, проф.  
**Малинин В.Г.** д-р физ.-мат. наук, проф.  
**Мулюкин О.П.** д-р техн. наук, проф.  
**Осадчий В.Я.** д-р техн. наук, проф.  
**Панин В.Е.** д-р техн. наук, проф., академик РАН  
**Распопов В.Я.** д-р техн. наук, проф.  
**Смоленцев В.П.** д-р техн. наук, проф.

*Ответственный за выпуск*  
**Григорьева О.Ю.**

*Адрес редакции*

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03, 55-05-81  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: met\_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-47351 от 03 ноября 2011 года

Подписной индекс **29504**  
по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет – УНПК, 2013

## Содержание

### Естественные науки

<i>Корнеев А.Ю., Савин Л.А.</i> Особенности проектировочного расчета конических подшипников жидкостного трения.....	3
<i>Матюхин С.И., Макулевский Г.Р., Деев О.В.</i> Вольтамперная характеристика лазерного диода на основе арсенида галлия.....	9
<i>Цымай Д.В., Фроленков К.Ю.</i> Автоматизация термодинамических расчетов с использованием пакета прикладных математических программ Scilab.....	23
<i>Володин В.П., Надилов Э.Р.</i> Вариационный метод исследования процесса нагружения пологих цилиндрических оболочек.....	33

### Моделирование технологических процессов

<i>Андреев Д.А.</i> Моделирование темпоральных отношений в онтологиях технологических действий.....	40
---	----

### Конструирование, расчеты, материалы

<i>Албагачиев А.Ю., Михеев А.В.</i> Изучение распределения температур при сверлении.....	50
<i>Вдовин С.И., Лунин К.С., Мальцев Д.Н.</i> Утонение стенки трубы при гибке по коширу.....	57

### Машиностроительные технологии и инструменты

<i>Волкова А.Н., Торощева Е.Л., Амбросимов С.К., Большаков А.Н.</i> Взаимосвязь между изменением условий прерывистого резания, структурой и микротвёрдостью срезаемых слоев.....	61
<i>Горленко А.О., Тополянский П.А., Тополянский А.П., Соснин Н.А., Ермаков С.А., Ерохин А.Н.</i> Технология финишного плазменного упрочнения для повышения ресурса металлорежущего инструмента.....	66
<i>Зелинский В.В.</i> Трибомеханика пластического контакта при упрочнении валов накатыванием.....	74
<i>Федоров Т.В., Волобуев К.А.</i> Анализ частотной системы регулирования кривошипного пресса.....	79

### Машины, аппараты, технологии пищевой и легкой промышленности

<i>Жаворонков А.И., Черепенько А.П., Черепенько А.А.</i> Перекок траверсы при несимметричном нагружении пресса.....	88
---	----

### Инновации и кадры в машиностроении

<i>Степанова Е.Ю., Мельников В.И.</i> Инновации и наукоемкие технологии в многофункциональном холдинге по производству текстильных строп и комбинированных канатов (на примере ЗАО «Промсталь», г. Орел).....	93
<i>Киричек А.В., Морозова А.В., Василенко Ю.В.</i> Реализация инициативного проекта по разработке научно-методического обеспечения магистерских программ технического профиля.....	102

### Приборостроение и биотехнические системы

<i>Солдаткин В.В.</i> Алгоритмы формирования и обработки информации системы воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного многофункционального аэрометрического приемника.....	110
<i>Захариков В.С.</i> Система стабилизации и наведения линии визирования с увеличенными углами наведения.....	121
<i>Богданов С.П., Басов О.О.</i> Оптимизация структуры многофункциональных беспроводных датчиков с автономным питанием.....	129

### Испытания, контроль, диагностика и управление качеством

<i>Пахолкин Е.В., Кобзев И.О.</i> Методика и техника эксперимента исследования температуры трения при взаимодействии электрорезистивным методом.....	137
<i>Соловьев А.М.</i> Моделирование структурного контроля усилителя переменного тока.....	145

УДК 621.001.4

А.О. ГОРЛЕНКО, П.А. ТОПОЛЯНСКИЙ, А.П. ТОПОЛЯНСКИЙ,  
Н.А. СОСНИН, С.А. ЕРМАКОВ, А.Н. ЕРОХИН

## ТЕХНОЛОГИЯ ФИНИШНОГО ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*Рассмотрена технология финишного плазменного упрочнения с нанесением многослойного нанопокрывтия системы Si-O-C-N применительно к упрочнению металлорежущего инструмента. Исследованы трибологические характеристики наносимого износостойкого антифрикционного покрытия. Приведены результаты промышленного испытания технологии финишного плазменного упрочнения металлорежущего инструмента.*

**Ключевые слова:** модификация, финишное плазменное упрочнение, износостойкое нанопокрывтие, трибологические испытания.

Для российских промышленных предприятий наиболее рационально для нанесения тонкопленочных износостойких покрытий использовать малогабаритное, безвакуумное, недорогое и простое в обслуживании оборудование. В соответствии с этой концепцией разработана технология бескамерного химического осаждения тонкопленочных покрытий при атмосферном давлении с применением летучих жидких элементоорганических соединений и газовых сред с одновременной активацией поверхности электродуговой плазмой (*PECVD by cold atmospheric plasma*) [1].

Плазменная активация обеспечивает повышенное качество подготовки поверхности подложки, ведет к более быстрому прохождению химических реакций, а также к более высоким скоростям осаждения покрытия.

В соответствии с данной идеологией разработана новая технология финишного плазменного упрочнения (ФПУ), объединяющая положительные эффекты процессов *MO-CVD* и *PE-CVD*. При этом дополнительно ее новизна заключается в отсутствии использования закрытых камер, более низких температур нагрева изделий в процессе осаждения покрытий и применении гибко управляемой электродуговой плазмы.

Процесс образования покрытия при ФПУ протекает в несколько стадий:

- создание устойчивого потока плазмы дугового разряда;
- испарение технологических препаратов в жидкостном питателе и перенос их паров совместно с дополнительным потоком газов в плазму дугового разряда;
- получение в плазмохимическом реакторе пароплазменного потока, содержащего атомы, положительно и отрицательно заряженные ионы и электроны;
- прохождение плазмохимических реакций в плазме дугового разряда с образованием новых соединений и их перенос плазменной струей к подложке;
- конденсация паров и продуктов реакций на подложке при касании факела плазменной струи поверхности изделия;
- взаимодействие между адсорбированными осажденными веществами и граничным слоем поверхности подложки, приводящее к зарождению и росту покрытия.

Вышеперечисленные стадии присутствуют, как известно, и в *PVD* процессах. Но в отличие от них при ФПУ покрытие образуется при атмосферном давлении окружающей среды без применения вакуумных камер. Кроме этого износостойкие покрытия наносимые в вакууме методами *PVD* на подложку с температурой поверхности менее 250 °С обычно имеют пониженную адгезию.

В качестве источника тепловой энергии для нанесения износостойкого покрытия при ФПУ используется плазменная струя, истекающая при атмосферном давлении из малогабаритного дугового плазмотрона, дополненного плазмохимическим реактором.

К основным достоинствам ФПУ относятся: осуществление процесса без вакуума и камер; минимальный нагрев изделий, не превышающий 150 °С; возможность нанесения покрытия локально, в труднодоступных зонах и на изделиях любых габаритов; использование малогабаритного, мобильного и экономичного оборудования.

Применительно к повышению долговечности металлорежущего инструмента в соответствии с рассмотренными механизмами их износа, а также анализа свойств бинарных однофазных твердых соединений, которые хорошо изучены, при ФПУ используются кремний-содержащие покрытия.

Исследованиями покрытий  $Si-C$ ,  $Si-N$ ,  $Si-C-N$ , наносимых  $CVD$  процессами [2], выявлено, что их физико-химические свойства (механическая прочность, химическая стойкость, твердость, теплопроводность, коэффициент термического расширения, электрическое сопротивление, коэффициент трения), обусловленные наличием химических связей между всеми атомами, имеют уникальные характеристики. Варьируя их фазовый и химический состав, можно в широком диапазоне изменять их физико-механические и химические свойства, что открывает широкие возможности для создания материалов с заданными характеристиками. При этом разработанная технология ФПУ позволяет получать покрытия на основе соединений кремния с различным содержанием элементного состава.

Основным принципом нанесения тонкопленочного износостойкого покрытия на основе системы  $Si-O-C-N$ , взятым за основу технологии ФПУ, является разложение паров жидких элементоорганических препаратов, пары которых вводятся в плазмохимический реактор дугового плазмотрона, с последующим прохождением плазмохимических реакций и образованием покрытия на изделии. Нанесение покрытия осуществляется локально на упрочняемую поверхность изделия при циклическом сканировании плазменной струи, которая касается обрабатываемой зоны. Важной отличительной особенностью процесса ФПУ является также то, что нанесение покрытия осуществляется многослойно при толщине каждого слоя порядка 2...10 нм полосами шириной 8...10 мм (с учетом линейного перемещения плазменной струи). С целью минимального термического воздействия на материал основы при ФПУ плазменная струя перемещается со скоростью 3...150 мм/с.

Микрорельеф переходной зоны «участок с покрытием – участок без покрытия» исследовался с использованием прибора *MarSurf WS1* (фирма *Mahr GmbH*, Германия). Анализ полученной трехмерной профилограммы (рис. 1) показал, что на зоне без покрытия (слева) имеются достаточно глубокие впадины, имеющие размер в соответствии с масштабной линейкой порядка 1,0...1,2 мкм, оставшиеся от абразивной обработки исходной поверхности. На зоне с покрытием (справа) впадины имеют глубину порядка 0,1 мкм. Таким образом, на основании анализа трехмерной профилограммы видно, что после ФПУ обеспечивается «залечивание» микродефектов и практически всех впадин исходной шероховатости. Это может быть обосновано тем, что покрытие по своей физической сущности осаждается в большей степени во впадинах микрорельефа поверхности, а также образованием в подпленочной зоне сжимающих остаточных напряжений, обеспечивающих «залечивание» дефектных зон.

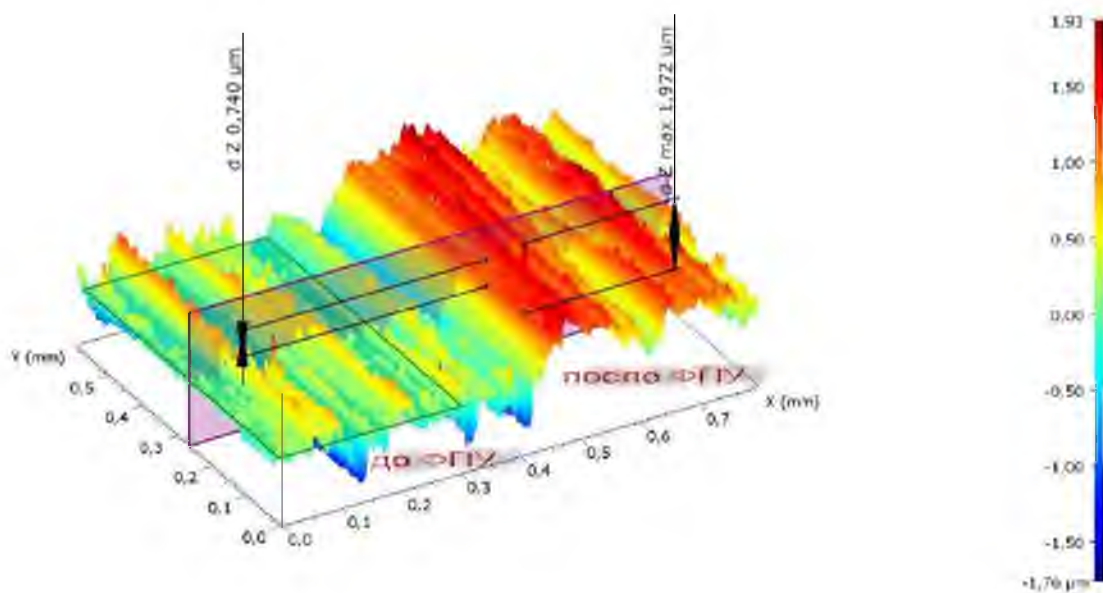


Рисунок 1 – Трехмерная профилограмма переходной зоны слева – участок без покрытия, справа – участок с покрытием

Субмикрорельеф поверхностей образцов (рис. 2), исследовавшийся на просвечивающем электронном микроскопе ЭММА-2 методом углеродно-серебряных реплик, показал высокооднородную характерную топографию, присущую поверхности после ФПУ с нанесением покрытия системы *Si-O-C-N* (в то время как субмикрорельеф поверхности до нанесения покрытия имеет явно выраженные следы – риски и дефекты от предшествующей абразивной обработки). Изменение топографии поверхности после ФПУ является также подтверждением «залечивания» дефектных зон, образованных на предшествующей технологической операции шлифования.

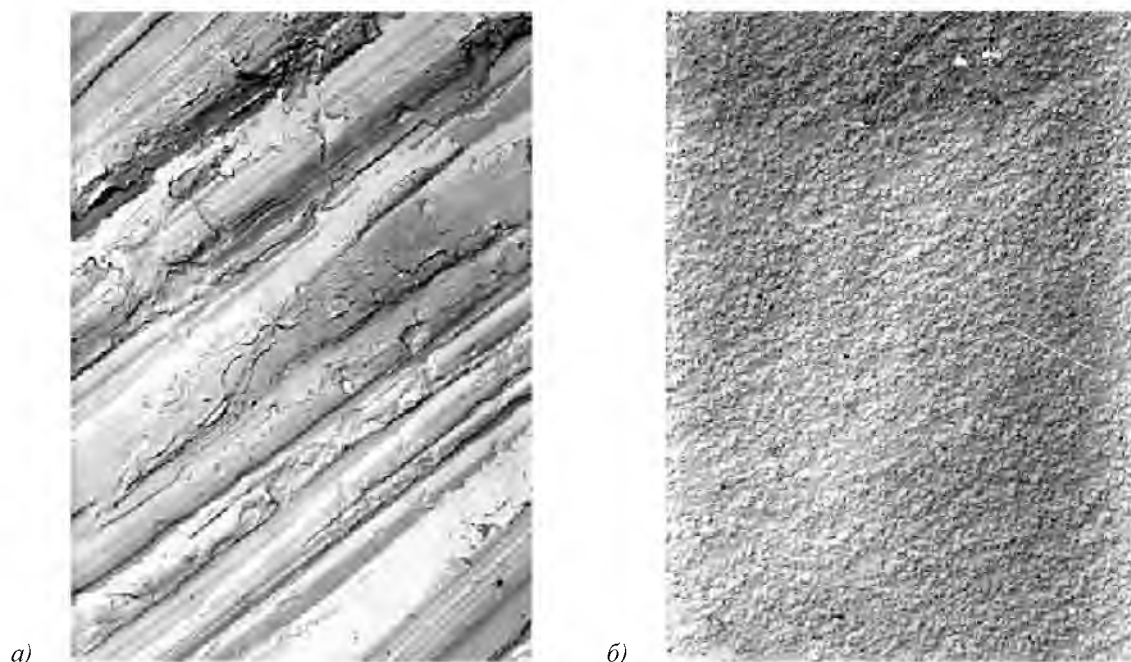


Рисунок 2 – Микрорельеф поверхности до (а) и после (б) ФПУ с нанесением покрытия системы *Si-O-C-N* (x5000)

Исследования трибологических характеристик покрытия системы *Si-O-C-N* проводились на автоматизированной установке, созданной на базе машины трения МИ-1М. Данное оборудование предназначено для определения трибологических свойств цилиндрических образцов из металлических материалов и сплавов нормализованным методом в соответствии с ГОСТ 30480-97 при трении скольжения и граничной смазке [3].

По результатам анализа регистрируемых параметров определялись следующие показатели триботехнических свойств:

- время приработки  $t_0$ , ч, определяемое как время от начала испытания до момента времени выхода кривой изнашивания на участок нормального изнашивания;
- приработочный износ  $h_0$ , мкм, как величина сближения, определяемая в момент времени окончания приработки  $t_0$ ;
- значение коэффициента трения в конце испытаний  $f$ ;
- $f_0/f$  – отношение максимального значения коэффициента трения в период приработки  $f_0$  к его значению в конце испытаний  $f$ ;
- среднее значение интенсивности изнашивания в период нормального изнашивания

$$I_h = \frac{h - h_0}{L - L_0},$$

где  $h$ , мкм, – суммарная величина износа образца за время испытаний;

$L$ , мкм, – путь трения, пройденный поверхностью образца за время испытаний;

$L_0 = 3,6 \cdot 10^9 \cdot t_0 \cdot v$ , мкм, – путь трения, пройденный поверхностью образца за время приработки;

- значение интенсивности изнашивания за общее время испытаний  $I_{h\Sigma} = h/L$ .

Испытания образцов с покрытием и без покрытия проводились при следующих условиях: скорость скольжения  $v = 1$  м/с; нормальное усилие нагружения  $N = 100 \pm 0,5$  %, Н (со-

ответствует давлению, рассчитанному по Герцу, порядка 150 МПа); вид первоначального контакта – пластический насыщенный; вид смазки – граничная; вид смазывания – окупанием; ведущий вид изнашивания – усталостное; смазочный материал – масло промышленное И – 20А ГОСТ 20799 – 88; материал индентора – твердый сплав ВК8; общее время испытаний каждого образца – 8 ч.

Результаты испытаний покрытия системы *Si-O-C-N* и материала основы (стали Р18) без покрытия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты трибологических испытаний на модернизированной установке МИ-1М

Трибологическое свойство	Показатель	Значение показателя для образца	
		с покрытием <i>Si-O-C-N</i>	сталь Р18
Прирабатываемость	$t_0$ , ч	0,33	5,33
	$h_0$ , мкм	0,90	9,00
	$f_0/f$	4,75	1,36
Антифрикционность	$f$	0,04	0,28
Износостойкость	$h_z$ , мкм	6,90	12,10
	$I_h \cdot 10^{-10}$	2,16	3,17
	$I_{h\Sigma} \cdot 10^{-10}$	2,38	4,18

На рисунке 3 приведены протоколы испытаний покрытия *Si-O-C-N* и материала основы (стали Р18) без покрытия с графиками изменения износа и коэффициента трения во времени.

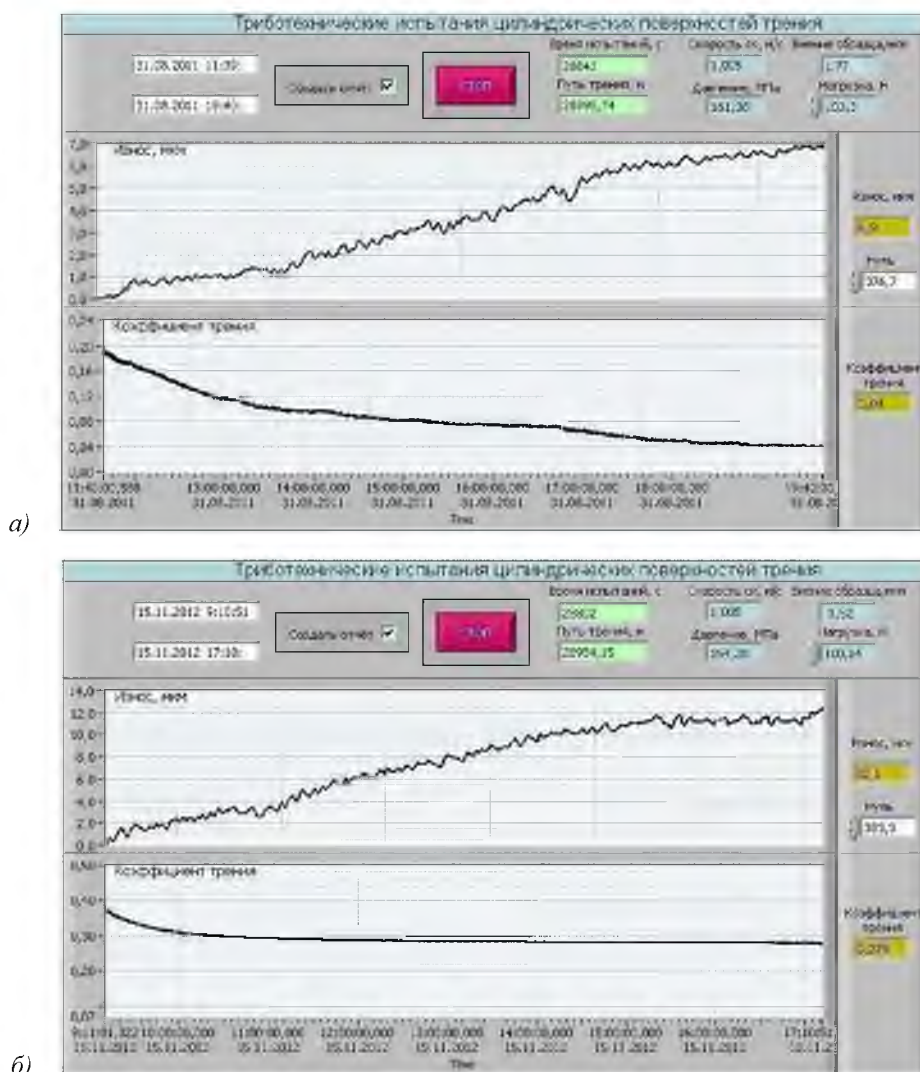


Рисунок 3 – Протоколы испытаний  
а) покрытия *Si-O-C-N*, б) материала основы (стали Р18) без покрытия

Сравнение результатов трибологических испытаний покрытия *Si-O-C-N* и материала основы нормализованным методом показало, что покрытие обладает практически в 7 раз меньшим значением коэффициента трения. При этом в 16 раз сократилось время приработки и в 1,5...1,75 раза уменьшилась интенсивность изнашивания. При оценке кривой износа покрытия *Si-O-C-N* видно, что длительность приработки составляет 0,33 часа, далее 1,67 часа стабильного износа, а затем плавный (не скачкообразный) выход на износ основного материала. В пределах толщины покрытия *Si-O-C-N* (1 мкм) кривая износа практически постоянна во времени. Кривая изменения коэффициента трения во времени имеет падающую характеристику. Плавное снижение в течение 3 часов, а затем некоторая стабилизация с незначительным уменьшением, что свидетельствует о возможном «залечивании» дорожки трения микроскопическими продуктами износа.

Микрофотографии дорожки износа при испытаниях на трибометре *Tribometer (CSM, Швейцария)* в условиях сухого трения покрытия системы *Si-O-C-N* подтвердили образование продуктов, которые не выносятся, а остаются на дне дорожки, обеспечивая «залечивание» участков износа (рис. 4).



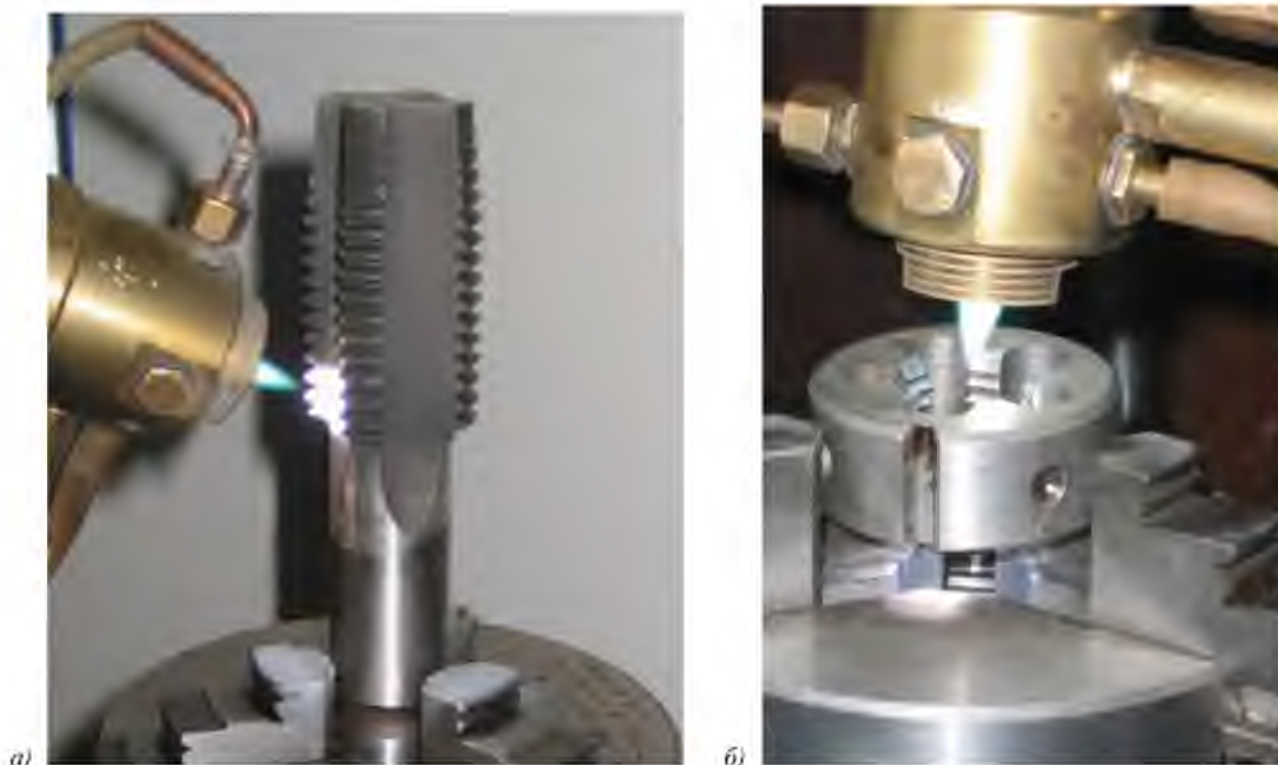
*Рисунок 4 – Микрофотография дорожки износа, полученная на оптическом микроскопе AXIOVERT CA25 (Karl Zeiss, Германия), x 100*

На основании проведенных трибологических испытаний выявлено, что более эффективным по параметрам трения и изнашивания является поверхность с покрытием системы *Si-O-C-N*.

В таблице 2 приведены результаты промышленных испытаний стойкости резбонарезного инструмента после финишного плазменного упрочнения с нанесением покрытия системы *Si-O-C-N*, проведенного в различных организациях. Многократное повышение стойкости резбонарезного инструмента подтвердили результаты исследований физико-механических и трибологических свойств данного покрытия. Вид процесса финишного плазменного упрочнения показан на рисунке 5.

Таблица 2 – Результаты промышленного испытания резьбонарезного инструмента

Тип инструмента	Материал обрабатываемой заготовки	Стойкость до упрочнения	Стойкость после упрочнения	Относительное повышение стойкости	Организация, проводившая испытания
Метчик М3	ВТ1-0	5 отв.	12 отв.	2,4	НПЦ «ПО «Старт», г. Заречный
Метчик М8	40Х	2 час	6 час	3,0	«Морской завод», г. Кронштадт
Метчик М10	12Х18Н10Т	1 час	2,25 час	2,25	«Электрокомплекс», г. Минусинск
Метчик М16	35Л	8 отв.	80 отв.	10,0	«Вагоностроительный завод», г. Усть-Катав
Метчик М24	40Х	80 отв.	240 отв.	3,0	«Калужский турбинный завод», г. Калуга



**Рисунок 5 – Процесс финишного плазменного упрочнения резьбонарезного инструмента**  
а) метчика, б) плашки

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соснин, Н.А. Плазменные технологии / Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский. – Руководство для инженеров. СПб: Изд-во Политехнического унив-та, 2008. – 406 с.
2. Chena C.W., Huang C.C., Lina Y.Y., Chenb L.C., Chenc K.H.. The affinity of Si–N and Si–C bonding in amorphous silicon carbon nitride (a-SiCN) thin film. *Diamond & Related Materials* 14, 2005. – P. 1126 - 1130.
3. Горленко, А.О. Модификация рабочих поверхностей деталей нанесением упрочняющего покрытия / А.О. Горленко, И.Л. Шупиков, П.А. Тополянский, А.П. Тополянский // *Металлообработка*, № 2 (68), 2012. – С. 31 - 36.

**Горленко Александр Олегович**

Брянский государственный технический университет (БГТУ), г. Брянск  
 Академик академии проблем качества, д-р техн.наук, профессор, профессор каф. «Автомобильный транспорт»  
 Служебный адрес: 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7 (БГТУ)  
 Тел. +7(906)5014632  
 E-mail: bugi12@bk.ru

**Тополянский Павел Абрамович**

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ), г. Санкт-Петербург  
Канд.техн.наук, доцент, доцент каф. "Сварка и лазерные технологии"  
Служебный адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29 (СПбГПУ).  
Тел. +7(901)3200802  
E-mail: topoljansky@mail.ru

**Тополянский Андрей Павлович**

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ), г. Санкт-Петербург  
Аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета  
Генеральный директор ООО «НПФ «Плазмацентр»  
Служебный адрес: 195112, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 68, оф. 103.  
Тел. +7(953)3540979  
E-mail: andrey@plasmacentre.ru

**Соснин Николай Алексеевич**

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ), г. Санкт-Петербург  
Д-р техн.наук, профессор, профессор каф. "Сварка и лазерные технологии"  
Служебный адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29 (СПбГПУ)  
Тел. +7(812) 5527373  
E-mail: info@plasmacentre.ru

**Ермаков С.А.**

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ), г. Санкт-Петербург  
Канд.техн.наук, доцент, доцент каф. "Сварка и лазерные технологии"  
Служебный адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29 (СПбГПУ)  
Тел. +7(812) 5527373  
E-mail: info@plasmacentre.ru

**Ерохин Александр Николаевич**

Брянский государственный технический университет (БГТУ), г. Брянск  
Ведущий инженер каф. «Автомобильный транспорт»  
Служебный адрес: 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7 (БГТУ)  
Тел. +7(920)8452183  
E-mail: aleksanerokhin69@yandex.ru.

---

A.O. GORLENKO, P.A. TOPOLYANSKY, A.P. TOPOLYANSKY,  
N.A. SOSNIN, S.A. ERMAKOV, A.N. EROKHIN

**THE TECHNOLOGY OF FINISHING PLASMA HARDENING FOR  
INCREASE IN SERVICE LIFE OF CUTTING TOOLS**

*Considered the technology of finishing plasma hardening with the application of multilayer nano coating systems Si-O-C-N in relation to the hardening of metal-cutting tool. Investigated tribological characteristics caused by wear-resistant anti-friction coating. Given the results of industrial tests of technology of finishing plasma hardening of metal-cutting tool.*

**Key words:** *modification, finish plasma strengthening, wear-resistant nanocoating, tribological tests.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Sosnin, N.A. Plazmennye tehnologii / N.A. Sosnin, S.A. Ermakov, P.A. Topoljanskij. – Rukovodstvo dlja inzhenerov. SPb: Izd-vo Politehnicheskogo univ-ta, 2008. – 406 s.
2. Chena C.W., Huanga C.C., Lina Y.Y., Chenb L.C., Chenc K.H.. The affinity of Si-N and Si-C bonding in amorphous silicon carbon nitride (a-SiCN) thin film. *Diamond & Related Materials* 14, 2005. – P. 1126 - 1130.
3. Gorlenko, A.O. Modifikacija rabochih poverhnostej detalej naneseniem uprochnjajushhego pokrytija / A.O. Gorlenko, I.L. Shupikov, P.A. Topoljanskij, A.P. Topoljanskij // *Metalloobrabotka*, № 2 (68), 2012. – S. 31 - 36.



**Gorlenko Alexandr Olegovich**

Bryansk state technical university, Bryansk

The academician of academy of problems of quality, д.т.н., the professor, the professor faculties "Motor transport"

Tel.: +7(906)5014632

E-mail: bugi12@bk.ru

**Topolyanskiy Pavel Abramovich**

The St.-Petersburg state polytechnical university, Saint Petersburg

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer, the senior lecturer faculties " Welding and laser technologies "

Tel.: +7(901)3200802

E-mail: topoljansky@mail.ru

**Topolyanskiy Andrey Pavlovich**

St.-Petersburg state polytechnical university, Saint Petersburg

Post-graduate student of St.-Petersburg state polytechnical university,

General director of Open Company

NPF " Plazmatsentr»

Tel.: +7(953)3540979

E-mail: andrey@plasmacentre.ru

**Sosnin Nikolay Alexeevich**

St.-Petersburg state polytechnical university, Saint Petersburg

Dr.Sci.Tech., the professor, the professor faculties " Welding and laser technologies "

Tel.: +7(812) 5527373

E-mail: info@plasmacentre.ru

**Ermakov S.A.**

St.-Petersburg state polytechnical university, Saint Petersburg

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer, the senior lecturer faculties. " Welding and laser technologies »

Tel.: +7(812) 5527373

E-mail: info@plasmacentre.ru

**Erohin Alexandr Nikolaevich**

Bryansk state technical university, Bryansk

Conducting engineer faculties "Motor transport"

Tel.: +7(920)8452183

E-mail: aleksanerokhin69@yandex.ru.