

# Создание композитного поверхностного слоя – новая технология для инструментальной промышленности

В. К. Ковальков, Б. Н. Беляев, Н. В. Шведунов, Д. С. Юров

Предложена новая технология обработки инструмента с тонкопленочными износостойкими покрытиями – создание композитного поверхностного слоя, позволяющая повысить износостойкость инструмента. Приведены характеристики разработанного прототипа промышленной установки для обработки твердосплавных пластин.

#### Ключевые слова:

износостойкость инструмента, тонкопленочные износостойкие покрытия, технология создания композитного поверхностного слоя

УДК 621.9 | ВАК 2.5.5

DOI: 10.22184/2499-9407.2022.29.4.38.40

Одним из основных направлений повышения эффективности металлорежущего инструмента является увеличение его ресурса за счет применения тонкопленочных износостойких покрытий, состоящих, например, из различных твердых тугоплавких соединений: TiN, TiCN, TiAlN, ZrN, ZrCN, ZrHfN, CrN, TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN и т. д.

Данное направление появилось 50 лет назад, когда фирма Sandvik Coromant представила технологию CVD (Chemical vapor deposition) – химического осаждения покрытий, а в Советском Союзе разработали технологию PVD (Physical vapor deposition) – физического осаждения покрытий.

С тех пор эти технологии непрерывно совершенствовались, появились многослойные покрытия, наноструктурированные покрытия, но ведущими производителями инструмента не было создано принципиально новых технологий.

Известно, что механические свойства определяются энергиями связей в кристаллической решетке и дефектами, которые всегда присутствуют в металлах и сплавах. Энергетические воздействия радиации, звуковых волн и потоков электронов высоких энергий вызывают изменения кластерных структур как тонкопленочных износостойких покрытий, так и основы инструмента.

Анализ известных экспериментальных исследований показал, что в результате энергетического воздействия изменяется наноструктура поверхностного слоя [1, 2], уменьшается количество дефектов кристаллической решетки [3], изменяются размеры блоков (кластеров), точечные дефекты преобразуются в дислокационные петли, ориентированные по направлению воздействия [4, 5], в кристаллической решетке появляются дополнительные связи за счет атомов внедрения [6].

По результатам совместных исследований, выполненных в НИИ механики МГУ, НИИЯФ МГУ и ООО «ЛЭУ МГУ» при финансовой поддержке ООО «МИИ» и ООО «Кибердок», появилась инновационная технология – **создание композитного поверхностного слоя** (СКПС, Creation of Composite Surface Layer – CCSL) и был создан прототип промышленной установки для обработки инструмента по данной технологии.

Технология CCSL осуществляет модификацию приповерхностного слоя. Технология обработки материала базируется на использовании воздействия непрерывного потока электронов энергией порядка 1 МэВ от линейного ускорителя электронов. Глубина модификации

Таблица 1. Сравнение установок по созданию износостойких покрытий

1	Производитель	Metaplas (Германия)	НПО «Сатурн» + Курчатовский институт (РФ)	ООО «Кибердок» + ЛЭУ МГУ	Teer Coating LTD (Великобритания)
2	Название установки	MR-323 MR-360	«Кремень»	Проект «Алиса» (УМПС)	UDP 650 / 6 UDP 850 / 6 UDP 1100 / 6
3	Метод нанесения	КИБ (вакуум)	КИБ (вакуум)	ЭП (элект. пучок в атмосферу)	MP (вакуум)
4	Цена, млн евро	0,8–1,2	0,33–0,41	1,2–1,5	0,9–1,3
5	Потребляемая мощность, кВт	30	35	35–50	30–50
6	Кол-во загружаемого инструмента, крупная фреза 20 x 200 мм	40	24	50	108
7	Занимаемая площадь, м <sup>2</sup>	20	25	20	20
8	Мах линейный размер обработ. изделий, мм	400	400	500	800
9	Время цикла обработки, ч	3–4	3–4	<b>0,08</b>	3–4
10	Производительность, шт. / ч	10	6	<b>600</b>	27
11	Производство на единицу стоимости	0,0125	0,0182	<b>0,6</b>	0,03

существенно превышает расчетную и экспериментально подтвержденную длину пробега электронов [5]. При трибомеханическом нагружении (в процессе резания) происходят структурные превращения в приповерхностных слоях модифицированных твердых сплавов [2] на глубину в сотни микрон.

С 2015 года проводились экспериментальные исследования по обработке инструмента и натурные испытания на предприятиях России. В результате выполненных исследований было установлено, что за счет структурных изменений в поверхностном слое можно увеличить износостойкость инструмента, имеющего PVD или CVD покрытие от 1,5 до 3 раз. У инструмента не имеющего износостойкого покрытия стойкость можно повысить до 6 раз. Прототип промышленной установки – УМПС «АЛИСА» (лабораторный образец) – располагается в НИИЯФ МГУ и имеет производительность в десятки раз превышающую этот показатель у лучших зарубежных установок для нанесения покрытий PVD или CVD.

Таблица 2. Результаты сравнительных испытаний

	Наименование	Производитель	Увеличение износостойкости, раз
1	TIGER 1453-152 IC808	ISCAR	1,7
2	GDMY IC808	ISCAR	2,0
3	T5K10 H30 SNUM 190612	<b>КЗТС</b>	<b>2,3</b>
4	LNMX 301940 RT1 PC36XT	<b>КЗТС</b>	<b>2,0</b>
5	VCMT110304-SM IC6025	ISCAR	1,8
6	MMEC120B09R000-4T08 IC908	ISCAR	1,8
7	MMEC200B09R000-4T12 IC908	ISCAR	2,0
8	CNMG 12408-NR IC907	ISCAR	2,1
9	CNMG 120408-YBM253	<b>ZCC</b>	<b>1,5</b>
10	CNMG 120408-MM 4225	Sandvik	1,7
11	BDMT 11T304RT1 PP730	<b>MPT</b>	<b>3,0</b>
12	CNMG 120412 HP CP125L	<b>MPT</b>	<b>2,0</b>
13	ZPCW2004APTRM30	Sandvik	3,0
	CCMT09T304PM 4225	Sandvik	1,8
	DNMG 110404-MF 2015	Sandvik	1,6
	DCMT 070204-PM	Sandvik	2,0
	WPMT020104-MF 2015	Sandvik	1,7
	WNVG080408-DR YBC252	<b>ZCC</b>	<b>2,0</b>

Было обработано и испытано более 2000 твердосплавных пластин компаний КЗТС, MPT, Sandvik, ISCAR, ZCC и т. д. Пластины были как без покрытия, так и с покрытием (TiAlN, TiAlCrYN, TiCN, TiN, DLC, MoS<sub>2</sub>). Повышение износостойкости (работоспособности) составило от 1,5 до 3 раз в зависимости от обрабатываемого материала и режимов резания.

Интересные результаты были получены в деревообработке: цепи фирмы STIHL после обработки стали служить до переточки в 6 раз дольше.

Инструмент по технологии CSSL подвергается воздействию электронов высокой энергии, но инструмент после обработки не имеет остаточной радиации и полностью безопасен для персонала. Разработанная конструкция установки для промышленного применения (модуль М1) полностью защищает персонал от воздействия электронов высоких энергий и соответствует требованиям безопасности (рис. 1). Эксплуатация модуля М1 требует получения лицензии на работу с источниками ионизирующего излучения, однако разработанная радиационная защита ограничивает мощность дозы от работающей установки на уровне менее 1 мкЗв в час в любой доступной персоналу точке на расстоянии 0,1 м от поверхности устройства и позволяет устанавливать модуль в любом производственном помещении.

Для установки УМПС «АЛИСА», расположенной в НИИЯФ МГУ, технологический цикл обработки партии пластин до 20 тыс. шт. типа CNMG120408 составляет семь календарных дней и включает:

- приемку инструмента – 1 день;
- обработку на УМПС – 1 день;
- стабилизацию параметров – 3 дня;
- термообработку – 1 день;
- отгрузку инструмента – 1 день.

Новый технологический цикл может начинаться на следующий день. Таким образом, производительность данной установки составляет более 1 млн шт./год пластин типа CNMG120408.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кабалдин Ю. Г. и др. Исследование свойств износостойких покрытий на основе фрактального подхода // Известия ТПУ. 2002. Т. 305, вып. 1 С. 100–102.
2. Полещенко К. Н., Орлов П. В., Геринг Г. И., Вершинин Г. А., Иванов Ю. Ф. Структурные превращения в приповерхностных слоях модифицированных твердых спла-



Рис. 1. Модуль М1

вов при трибомеханическом нагружении // Вестник Омского университета. 1997. Вып. 3. С. 35–37.

3. **Мамонтов А. П., Чернов И. П.** Эффект малых доз ионизирующего излучения / 2-е изд., перераб. и доп. Томск: Дельтаплан, 2009. 288 с.
4. **Суздаев И. П., Суздаев П. И.** Нанокластеры и нанокластерные системы. Организация, взаимодействие, свойства // Успехи химии. 2001. Т. 70. Вып. 3. С. 203–240
5. **Левшунова П. Л., Питиримова Е. А., Похил Г. П., Тетельбаум Д. И.** Новые особенности эффекта дальнего действия при наблюдении его на электронографе // Труды 10-й международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом» 24–27 сентября 2013 г. Минск, Беларусь. С. 52–55.
6. **Гречихин Л. И.** Физический механизм упрочнения и разрушения конструкционных материалов водородом // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 3. С. 7–13.

## АВТОРЫ

**Ковальков Валерий Константинович** – кандидат технических наук, ст. науч. сотр. НИИ механики МГУ имени М. В. Ломоносова

**Беляев Борис Николаевич** – генеральный директор ООО «Кибердок»

**Шведун Николай Васильевич** – ведущий специалист НИИ ядерной физики МГУ

**Юров Дмитрий Сергеевич** – кандидат физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. НИИ ядерной физики МГУ

# ЧЕЛЯБИНСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФОРУМ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ВЫСТАВКА

**ТЕХНОЭКСПО.  
МЕТАЛЛУРГИЯ.  
МАШИНОСТРОЕНИЕ.  
ВПК**

**17-18 НОЯБРЯ, ЧЕЛЯБИНСК**

[www.expochel.ru](http://www.expochel.ru)  
8 951 232 30 44



ЭКСПОЧЕЛ  
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ  
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР