

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-Al₂O₃-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 ²	20	25	20	20
8	Мах линейный размер обработ. изделий, мм	400	400	500	800
9	Время цикла обработки, ч	3–4	3–4	0,08	3–4
10	Производительность, шт. / ч	10	6	600	27
11	Производство на единицу стоимости	0,0125	0,0182	0,6	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	КЗТС	2,3
4	LNMX 301940 RT1 PC36XT	КЗТС	2,0
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	ZCC	1,5
10	CNMG 120408-MM 4225	Sandvik	1,7
11	BDMT 11T304RT1 PP730	MPT	3,0
12	CNMG 120412 HP CP125L	MPT	2,0
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	ZCC	2,0

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, MoS₂). 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
8 951 232 30 44



ЭКСПОЧЕЛ
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР