

УДК 621.793.71

**МАТЕРИАЛ И ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА
РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ
ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОСТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ ИЛИ
НАПЫЛЕНИЕМ**

В.А. Лойко, кандидат технических наук, доцент

В.С. Ивашко, кандидат технических наук, доцент

Беларусский национальный технический университет, г. Минск

В статье приведены результаты исследований эксплуатации режущего инструмента, необходимости в согласовании свойств материалов покрытия и инструмента, технологических особенностей методов нанесения к покрытиям, наносимым на режущий инструмент.

Ключевые слова: режущий инструмент, восстановление, наплавка, лезвийная обработка, износостойкость.

Для большинства деталей, которые восстановлены наплавкой и напылением, требуется дальнейшая обработка для получения необходимых точности размеров и качества поверхности. Однако обработка наплавленных и напыленных материалов значительно отличается от обработки традиционных материалов. Материалы, используемые при восстановлении, имеют ряд специфических свойств [1, 2], затрудняющих их обработку, такие, как значительные микронеровности поверхности, неоднородный по сечению химический состав наплавленного слоя, повышенная пористость и высокая концентрация трещин, различная твердость наплавленного слоя по площади поверхности и по глубине наплавленного слоя, присутствие в материале наплавленного слоя шлаков и твердых включений, окисление поверхности и внутренних фрагментов структуры.

Поэтому механическая обработка наплавленных и напыленных

материалов сопровождается значительными колебаниями величины сил резания и контактных нагрузок на поверхностях инструмента, нестабильностью процесса резания, более высокой температурой в зоне резания по сравнению с обработкой материалов того же химического состава в другом состоянии.

Высокие механические свойства материалов покрытий, применяемых для восстановления деталей машин, обеспечивают их функциональные свойства и требуемый ресурс в эксплуатации, однако плохо обрабатываются резанием, что создает значительные проблемы получения требуемых размеров и качества поверхностного слоя изделий. Для решения данной проблемы в современном производстве целесообразно применять инструмент, упрочненный нанесением покрытий.

В зависимости от материала и условий эксплуатации режущего инструмента, необходимости в согласовании свойств материалов покрытия и инструмента, технологических особенностей методов нанесения к покрытиям, наносимым на режущий инструмент, предъявляется ряд требований, которые могут быть разделены на четыре категории [1].

1. Требования, учитывающие условия работы инструмента, то есть его служебное назначение. Покрытия должны обладать высокой твердостью, превышающей твердость материала инструмента (и сохранять ее при температуре резания); стойкостью к адгезии с обрабатываемым материалом во всем диапазоне температур резания; устойчивостью к высокотемпературной коррозии; стабильностью механических свойств вплоть до температуры теплостойкости инструментального материала; инертностью к растворению в обрабатываемом материале при высоких температурах; сопротивляемостью к разрушению при значительных колебаниях температур и напряжений.

2. Специфические требования к инструментальному материалу с покрытием включают совместимость свойств материалов покрытия и инструмента. Материалы покрытия и инструмента должны обладать

средством кристаллохимического строения, определяющем высокую адгезионную прочность; оптимальным соотношением основных физико-механических и теплофизических характеристик (модуль упругости, коэффициент Пуассона и коэффициент линейного расширения, теплопроводности); малой склонностью материалов основы и покрытия к твердофазным диффузионным реакциям во всем диапазоне температур и напряжений в условиях процесса резания, и не быть склонными к образованию хрупких вторичных соединений.

3. Требования к технологическим особенностям метода нанесения покрытия такие, как формирование покрытия при температурах, исключая кристаллизационные явления и фазовые переходы в материале инструмента; возможность воспроизводства свойств покрытия заданного состава при требуемом соотношении технологических параметров.

4. Общие требования, такие, как высокая равная плотность и беспористость покрытия по поверхности и сечению, обеспечивающие защиту материала инструмента от взаимодействия с обрабатываемым материалом и газовой средой; стабильность свойств покрытия во времени; малые отклонения толщины покрытия в пределах рабочих поверхностей, что позволяет сохранить геометрическую точность инструмента; возможность получения покрытий предельно простым и экономичным способом.

Наиболее широко в качестве материалов для покрытий на режущих инструментах используют карбиды, нитриды, карбонитриды, бориды и силициды тугоплавких металлов IV – VI групп Периодической системы элементов (IV – титан, цирконий, гафний; V – ванадий, ниобий, тантал; VI – хром, молибден, вольфрам). Это связано с особенностями их кристаллохимического строения [2, 4].

Например, наличие у этих металлов дефекта на внутренних *s*-, *p*- и *d*-орбиталях делает их весьма восприимчивыми к приобретению электрона из любого источника, которым могут служить междоузельные атомы

углерода, азота и кислорода [2, 4].

Таблица 1

Свойства соединений тугоплавких металлов, перспективных в качестве упрочняющих покрытий [2]

Соединение	ρ , кг/м ³	$T_{пл}$, °C	H_{μ} , ГПа	E , ГПа	α , град ⁻¹	λ , Вт/м·К
<i>TiC</i>	4930	≈ 3250	31,7	460	8,3	6,8
<i>TiN</i>	5440	2950	20,5	256	9,4	12,6
α - <i>Al₂O₃</i>	3980	2050	–	–	8,0	30,2
<i>NbC</i>	7500	3500	21,7	345	7,8	-
<i>NbN</i>	8470	2300	14,61	493	10,1	3,8
<i>ZrC</i>	6900	3330-3530	29,5	355	7,01	11,6
<i>ZrN</i>	7350	2980	15	400	7,24	28,3
<i>HfC</i>	12200	≈ 3890	28,3	359	6,9	6,3
<i>HfN</i>	1339	3310	16	–	6,9	19,1
<i>Mo₂C</i>	9180	2230	17,64	544	7,8	31,9
<i>MoC</i>	8400	2530	15	-	0,6	-
<i>Mo₂N</i>	9440	895	6,3	-	-	-
<i>Cr₂₃C₆</i>	6890	1520—1550	16,63	-	10,1	19,7
<i>Cr₇C₃</i>	6970	1530—1895	18,82	380	9,4	15,3
<i>Cr₃C₂</i>	6683	1827—1895	12,74	380	11,7	19,2
<i>Cr₂N</i>	6510	-	15,41	310	9,41	21,8
<i>CrN</i>	6140	1500	10,93	330	2,3	11,9

Примечание: ρ – плотность, $T_{пл}$ – температура плавления, H_{μ} – микротвердость, E – модуль упругости, α – коэффициент термического расширения, λ – коэффициент теплопроводности.

Большинство переходных металлов имеет широкие области

гомогенности, что позволяет в зависимости от содержания кислорода, азота и углерода достаточно сильно изменять физико-механические свойства их карбидов, нитридов или оксидов. К тому же переходные металлы и некоторые их соединения, особенно с простой кубической структурой (ZrC , HfC , ZrN , TiN , HfN , VC , NbC , TaC), отличаются высокой твердостью и температурой плавления [2, 4, 5].

Выбор покрытия осуществляется в зависимости от типа обрабатываемого материала и области его применения. Любое покрытие должно обладать максимальной инертностью к обрабатываемому материалу. Поэтому необходимо учитывать тип химической связи материала покрытия.

Ранее установлено, что чем заметнее проявляется металлический тип связи покрытия, тем сильнее оно схватывается с обрабатываемым материалом. Карбиды переходных металлов проявляют более высокую адгезионную активность по отношению к различным металлам и сплавам, чем нитриды [2, 4]. На основании этого можно предположить, что покрытия из Al_2O_3 , обладающего ионным типом химической связи, будут проявлять высокую инертность к обрабатываемым материалам.

Нитридные и карбидные покрытия широко применяются в различных отраслях промышленности, что связано с их предельными физико-механическими свойствами и устойчивостью во многих агрессивных средах.

Одним из перспективных направлений повышения эксплуатационных свойств изделий является их обработка в вакууме. К преимуществам вакуумных ионно-плазменных технологий относят возможность нанесения плотных покрытий с твердостью более 2 ГПа с высокой адгезией к поверхности различных материалов, в том числе и неметаллических. Процесс позволяет создавать многокомпонентные покрытия с различными стехиометрическими композициями: нитридные, карбонитридные, оксикарбонитридные, интерметаллидные, на основе

различных металлов. Кроме этого, вакуумная ионно-плазменная технология, Состав композиционного покрытия выбирается в зависимости от условий эксплуатации, материала основы и характера предварительной термической и механической обработки оснастки или упрочняемого инструмента. Для упрочнения режущего инструмента предлагается трехслойное покрытие (рис. 1). Первый слой толщиной 0,5 – 1,5 мкм предназначен для снижения трения по обработанной поверхности и стружке в процессе лезвийной обработки, представляет собой тонкий и высокоплотный слой химически индифферентного к металлам группы железа нитрид металла с достаточно высокими физико-механическими характеристиками (табл. 1). Ближайший к поверхности основы инструмента слой 3-й слой, толщиной 2-5 мкм представляет собой твердый карбид того же металла обеспечивает защиту рабочих поверхностей инструмента. Промежуточный многофункциональный слой 2 (рис. 1) толщиной 1-3 мкм из карбид-нитрида переменного состава [3] обеспечивает надежную связь 1-го и 3-го слоев и выполняет барьерную, теплоотражающую функцию. Такие покрытия можно наносить в одном технологическом цикле на установке «Булат-6».

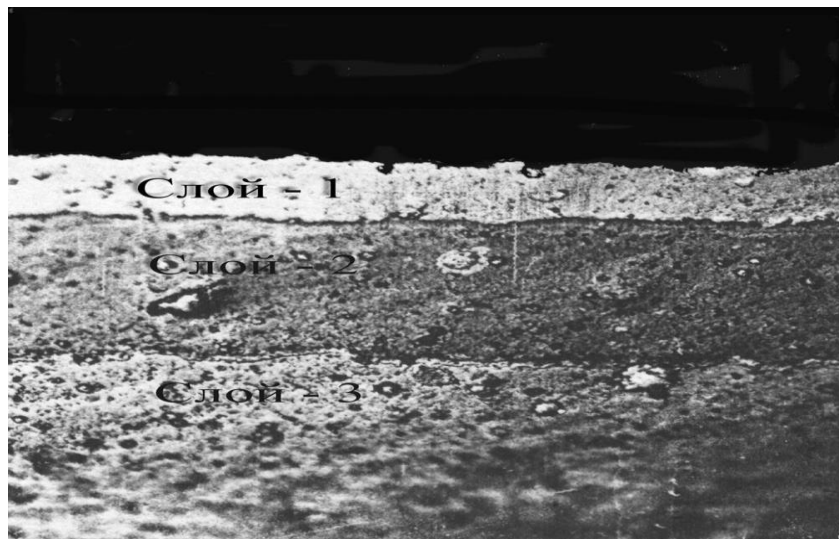


Рис. 1. Предлагаемое расположение слоев многослойного покрытия лезвийного режущего инструмента для наплавленных или восстановленных газотермическим напылением поверхностей

Вакуумные ионно-плазменные технологии позволяют проводить химико-термическую обработку поверхности (например, ионное азотирование) [1, 4, 6]. Этот процесс заключается в низкоэнергетическом насыщении обрабатываемой поверхности легируемым веществом.

Высокие механические характеристики плазменно-вакуумных покрытий, такие как микротвердость, износостойкость, прочность сцепления с материалом детали или инструмента, а также низкий коэффициент трения и слабая склонность к свариванию с обрабатываемой деталью, обусловленные их слабым сродством с металлами заготовки, их высокая термическая стабильность защищают материал инструмента, а незначительная толщина обеспечивает высокую упругость при ударах и экстремальных нагрузках.

Наиболее характерная особенность покрытий, наносимых вакуумно-плазменным методом – отсутствие переходной зоны между покрытием и инструментальным материалом. Это обстоятельство является весьма важным, так как создается возможность придать рабочим поверхностям инструмента комплекс дополнительных свойств без ухудшения его объемных свойств – прочности и вязкости разрушения. Возможность широкого варьирования температуры (200–800 °С) в зонах осаждения позволяет использовать вакуумно-плазменные технологии для нанесения покрытий на инструмент из углеродистых инструментальных быстрорежущих сталей, твердых сплавов, керамики с высокой адгезии покрытия к основе.

Метод вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой универсален благодаря возможности нанесения многокомпонентных однослойных (типа карбид-нитридов, композиций карбидов (нитридов) 2-х или даже 3-х металлов, а также, многослойных и композиционных покрытий в одном технологическом цикле. Следует также отметить относительно высокую скорость формирования покрытий и безопасность

для окружающей среды, так как процесс осуществляется в вакуумной камере, а исходные вещества и продукты плазмо-химических реакций не представляют опасности для человека и окружающей среды.

Метод конденсации с ионной бомбардировкой может быть успешно применен для нанесения покрытий из переходных металлов *IV–VIa* групп Периодической системы (*Ti, Cr, Mo* и др.) и их тугоплавких соединений (карбидов, нитридов, оксидов и комплексных соединений типа карбид-нитридов) на металлические детали машин и режущий инструмент для обработки восстановленных поверхностей.

В качестве подложки могут быть использованы быстрорежущие и низколегированные углеродистые инструментальные стали, твердые сплавы, керметы, спеченный Al_2O_3 или Si_3N_4 .

Технологически возможно совмещение ионно-плазменных технологии, которые реализуются в последовательном (либо совмещенном) воздействии на обрабатываемую поверхность в одном вакуумном объеме за один технологический цикл. Например, проведение ионного азотирования либо ионной нитроцементации с последующим вакуумно-плазменным осаждением упрочняющего слоя либо многослойной композиции.

Особенностями метода является низкая температура детали или инструмента в процессе (200–500 °С) нанесения слоя, незначительное изменение параметров микрорельефа поверхностей инструмента и малая толщина слоя покрытия (3-10 мкм), что позволяет исключить последующие механическую и термическую обработки.

По традиционной технологии на стадии ионной очистки, к обрабатываемому инструменту прикладывается высокий отрицательный потенциал 1-1,5 кВ, что приводит к ускорению ионов металла вблизи подложки в так называемом двойном слое до энергии 1...2,0 кэВ и способствует интенсивной бомбардировке тяжелыми ионами металла с высокой энергией, распылению загрязнения и дефектов, травлению и

активации поверхности детали нагреву его до температуры конденсации 650–800 °С, что вполне приемлемо для инструмента из металлокерамических твердых сплавов, но приведет к отпуску на низкую твердость легированных углеродистых инструментальных и даже быстрорежущих сталей. Эта проблема усугубляется особенностями экранизации плазменного потока выступающими элементами инструмента (лезвийными частями) и плохими условиями теплоотвода от острых кромок, что приводит к преимущественному их разогреву и возможному отпуску, в то время, как температура «тела» инструмента значительно (на 100-200⁰С) ниже температуры отпуска на низкую твердость для данного инструментального материала.

Поэтому развитием метода вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой является метод низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой. По сравнению с известным ранее методом, способ метод низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой позволяет [1, 4, 6] наносить качественные покрытия при температуре не более 150-200⁰С без отпуска на низкую твердость, следовательно, без последующей термической обработки инструмента (в том числе из термообработанных углеродистых и низколегированных инструментальных сталей), возможность наносить покрытия на детали с повышенными требованиями к размерной точности; возможность одновременного нанесения покрытий на детали, различные по материалам и массе; снижение оптимальной толщины покрытий до 3-10 мкм, достижение адгезии покрытий, соизмеримой с прочностью соединяемых материалов, исключение брака.

Предлагаемый низкотемпературный процесс включает предварительную обработку поверхности детали, режущего инструмента или оснастки потоком ионов нейтрального газа аргона, ускоренных в скрещенных магнитном и электрическом полях ионного источника типа «Аида-2» или «Радикал», «Риф» и последующую конденсацию с ионной

бомбардировкой потоков плазмы переходного металла в строго контролируемом «химически активном вакууме» - среде реакционного газа. Для реализации метода низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой могут использоваться модернизированные установки серии «Булат», которые оснащают газовыми ионными источниками различных конструкций, обеспечивают «мягкую» и эффективную предварительную очистку поверхности инструмента ионами нейтрального газа без сколько-нибудь существенного нагрева, а на этапе осаждения покрытия - «ионное ассистирование» путем подачи ионизированного реакционного газа в зону формирования упрочняющего слоя [1, 4].

Перед нанесением покрытия инструмент устанавливается на технологической оснастке в вакуумной камере установки «Булат». Откачивающая система установки обеспечивает рабочий вакуум в камере 0,1 Па. После откачки в нее с помощью вентиля тонкого натекания напускался аргон до давления 0,5 – 1 Па, и проводится очистка поверхности потоком ионов аргона, ускоренных до энергии 0,1 - 4 КэВ, для чего между электродами и устанавливалась разность потенциалов 0,1 - 4 кВ. Далее камера снова откачивалась до давления 10^{-3} Па, и подается реакционный газ или смесь газов до давления $(8 \times 10^{-2}) - (3 \times 10^{-1})$ Па. При этом ионизированные атомы металла основы покрытия и заряженные конгломераты частиц с высокой скоростью устремляются к поверхности инструмента, где в результате плазмо-химических реакций происходит прямой синтез упрочняющего слоя. Одной из ключевых проблем плазменно-вакуумной технологии упрочнения режущего инструмента является присутствие в плазменном потоке расплавленных частиц, которые при осаждении на поверхность образуют мягкие и химически активные включения чистого металла, снижающие триботехнические характеристики и интегральную твердость упрочняющего слоя. Разработанные учеными Харьковского ФТИ устройства плазмосепарации

[5] нашли применение для нанесения углеродсодержащих покрытий, но при нанесении покрытий из тяжелых элементов, каковыми являются металлы $IYa - VIIa$ групп Периодической системы требуют создания значительных стационарных магнитных полей, поэтому потребляют много электроэнергии, не отличаются надежностью и снижают выход образующего покрытие металла до 20-50% за счет потерь наиболее ценной ионной компоненты плазменного потока. электростатических экранов (подготовлена заявка на патент, имеем «Ноу хау») [6], что обеспечивает увеличение выхода ионной компоненты образующих покрытие материалов не ниже 70%. Использование таких устройств позволяет не только свести к минимуму количество включений металла в слое и на поверхности упрочняющего покрытия, но и снизить до минимума выделение энергии кристаллизации расплавленных частиц, следовательно способствуют снижения температуры инструмента в процессе нанесения покрытия и термических напряжений.

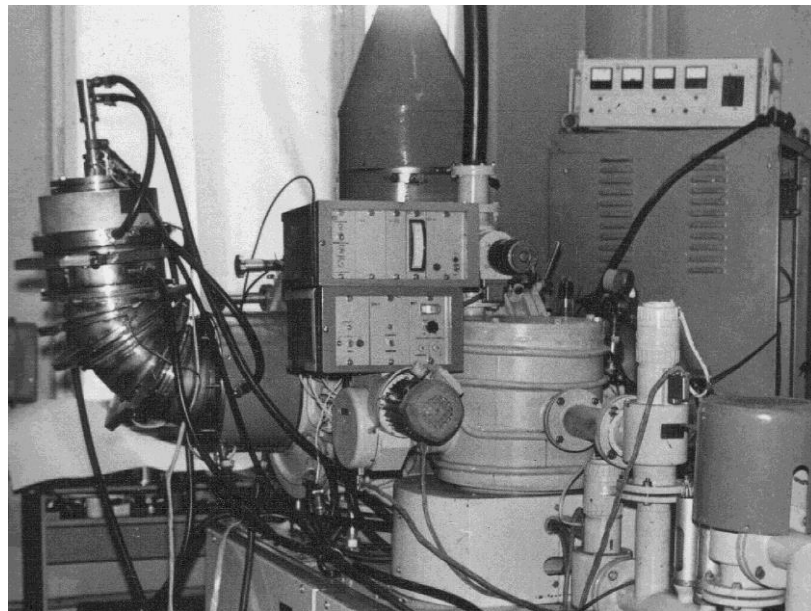


Рис. 2. Установки «Булат-6», оснащенная системой плазмосепарации с электростатическими экранами

Заключение. Плазменно – вакуумная технология нанесение тонких износостойких слоев высокопрочных химических соединений металлов

IVa – VIa групп Периодической системы элементов (карбидов, нитридов, оксидов и их композиций) на поверхности инструмента из известных инструментальных материалов (твердые сплавы, быстрорежущих и низколегированных углеродистых сталей) является перспективным направлением упрочнения инструмента для обработки резания восстановленных поверхностей. Однако для более широкого промышленного применения требуются углубленная проработка как новых материалов покрытий, совершенствование технологии, так и создание более современных устройств для их нанесения.

Литература

1. Лойко, В.А. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве /В.А. Лойко и [др.]. - Минск: Издательство УО «БГАТУ», 2007. 192 с.
2. Косолапова, Т.Я. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справочное издание / Т.Я. Косолапова [и др.]; под общ. ред. Т.Я. Косолаповой. - Москва: Металлургия, 1986. - 928 с.
3. Лойко, В.А. Способ нанесения карбонитридных покрытий. /В.А. Лойко и [др.] - Патент РБ №2433 от 01.06.1998 г.
4. Кадыржанов, К.К. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов / К.К. Кадыржанов [и др.] – Москва: МГУ, 2005. – 640 с.
5. Аксенов, И.И. Покрытия, полученные конденсацией плазменных потоков в вакууме (способ конденсации с ионной бомбардировкой) / И.И. Аксенов [и др.] // Украинский физический журнал - 1979. - Т.24, № 4. - С. 515-525.
6. Ивашко В.С., Лойко В.А. Улучшение характеристик плунжерных пар топливных насосов нанесением вакуумно-плазменных покрытий В сборнике материалов международной научно – технической конференции «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машиностроєнні», Вып. 46, 47, г. Харьков, 2006.

Метеріал і технологія нанесення покриттів на ріжучий інструмент для лезової обробки поверхонь, востоновлених наплавленням або напиленням.

В.А. Лойко, В.С. Івашко

У статі наведені результати досліджень експлуатації ріжучого інструменту, необхідності в узгодженні властивостей матеріалів покриття та інструменту, технологічних особливостей методів нанесення до покриттів, що наносяться на ріжучий інструмент.

Material i tehnologiya Damage pokrittiv on rizhuchy instrument for lezovoї obrobki poverhon, Data Recovery Tools weld abo napilennyam. V.A. Loikaw,

V.S. Ivashko

The results of research stae operation of the cutting tool, the need to harmonize the properties of the coating materials and tools, technological features methods of application to the coating applied to the cutting tool.