

УДК 621.793.620.172

**В.С. Ивашко, проф., д-р техн. наук, В.К. Ярошевич, проф., д-р техн. наук**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,*

**С. А. Довжук, инж., Ф.Й. Златопольский, проф., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет,*

**В. Н. Яропуд, аспирант**

*Винницкий государственный аграрный университет*

## Триботехнические исследования борсодержащих материалов нанесенных газотермическим методом для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной и автомобильной техники

Проведены триботехнические исследования покрытий из сплавов переходных металлов (Fe, Co, Mn, Cr, Ni и др.), в которые для образования аморфной структуры добавляют аморфообразующие элементы типа: B, C, Si, P, S. Покрытия получали газопламенным напылением. Наиболее мелкая структура покрытия обнаружена на дистанции напыления 80 мм. Именно на этой дистанции создаются благоприятные условия для формирования аморфной фазы.

**газотермическое напыления, порошковые материалы, аморфизаторы, покрытие, износостойкость, триботехнические свойства, борсодержащие материалы**

**Введение.** Выход из строя сельскохозяйственной и автомобильной техники в основном связан с износом базовых деталей, которые испытывают в процессе работы комбинированное влияние агрессивных сред, высоких удельных нагрузок, трения, вибраций и других факторов. В подавляющем большинстве случаев разрушается только рабочая поверхность детали, которую можно восстановить нанесением слоя материала со специальными свойствами. В результате нанесения покрытий не только восстанавливаются размеры деталей, но и упрочняется их поверхность. В особенности целесообразно использование защитных покрытий в ремонтном производстве.

Газотермическое напыления (ГТН) порошковыми материалами - один из широко распространенных в машиностроении способов нанесения покрытий. Методы ГТН позволяют формировать на поверхности деталей машин и конструкций покрытия с различным уровнем механических и физико-химических свойств, большинство из которых подлежат дальнейшей механической обработке для получения необходимых размеров и качества поверхности. Однако, высокие механические свойства покрытий, обеспечивая работоспособность деталей в эксплуатации, значительно снижают их обрабатываемость резанием, которая всегда более низкая, чем аналогичных по составу сплошных материалов. Преимущественно, это связано с тем, что покрытия характеризуются определенным разбросом физико-механических свойств, неоднородной структурой, что является причиной нестабильности процесса резания и приводит к ускоренному износу режущих инструментов. Структура материала покрытия, которая формируется при его нанесении на основу, ограничивает возможности по технологическому управлению шероховатостью обрабатываемой поверхности.

Материалы на основе железа Fe (Fe–В, Fe–Cr–В, и т.д.) являются предпочтительными для получения порошков, характеризующихся аморфно-кристаллической структурой.

Для нанесения покрытий из сплавов системы Fe–Cr–В–Si применялось газопламенное напыление с использованием в качестве исходного материала порошка.

При газопламенном напылении покрытий с аморфной структурой применялись дополнительные технологические приемы, направленные на исключение перегрева основы и покрытия в процессе напыления, а также окисления напыляемого сплава, особенно при наличии в его составе элементов с повышенным сродством к кислороду.

Одной из причин, сдерживающих использование защитных износостойких покрытий с аморфно-кристаллической структурой, в промышленности, является недостаток научно обоснованных рекомендаций по их нанесению и механической обработке. Для борсодержащих материалов характерными являются следующие особенности:

- наличие большого количества структурных составляющих;
- сочетание аморфной и кристаллической фаз, имеющих различные физико-механические свойства.

Поэтому с целью технологического управления качеством поверхности изделий для формирования надлежащего состояния поверхностного слоя изделий с аморфизированными покрытиями требуется проведения комплекса экспериментальных и теоретических исследований. Требование обязательного сохранения исходного содержания аморфной фазы, которая обуславливает их эксплуатационные свойства, накладывает определенные ограничения на процессы нанесения и механической обработки таких покрытий.

**Основная часть.** Аморфные металлические сплавы (АМС) получают быстрой закалкой расплавов и при условии, что сплав содержит достаточное количество элементов–аморфизаторов. Практический интерес представляют сплавы, для охлаждения которых требуются скорости охлаждения в пределах 100-200К/с, а температура стеклования в несколько раз меньше температуры плавления основного компонента.

Для практического применения обычно используют сплавы переходных металлов (Fe, Co, Mn, Cr, Ni и др.), в которые для образования аморфной структуры добавляют аморфообразующие элементы типа: В, С, Si, Р, S. Такие аморфные сплавы обычно содержат около 80 ат. % одного или нескольких переходных металлов и 20% металлоидов, добавляемых для образования и стабилизации аморфной структуры. Состав аморфных сплавов, используемых для восстановления деталей автомобилей близок по формуле  $M_{80}X_{20}$ , где М - один или несколько переходных металлов, а X - один или несколько аморфизаторов (например,  $Fe_{80}B_{20}$ ).

Аморфизаторы понижают температуру плавления и обеспечивают достаточно быстрое охлаждение расплава ниже его температуры стеклования так, чтобы в результате образовалась аморфная фаза. На термическую стабильность аморфных сплавов оказывает наибольшее влияние кремний и бор, наибольшей прочностью обладают сплавы с бором и углеродом, а коррозионная стойкость зависит от концентрации хрома и фосфора.

В условиях газопламенного напыления достигается принципиальная возможность получения аморфных покрытий из металлических сплавов. Критическая скорость перехода этих сплавов в аморфное состояние  $V_{\text{охл}}^{\text{кр}}=10^5-10^6\text{К/с}$ .

Важным условием сохранения аморфной структуры в процессе наращивания покрытия является достижение рациональных температурных режимов в системе «покрытие-основа», обеспечивающих объемное содержание аморфной фазы ( $Z_{\text{АФ}}$ ) в

напыленном покрытии.

Повышение температуры основы приводит к уменьшению  $Z_{АФ}$ . Предварительный подогрев основы перед напылением приводит к снижению количества аморфной фазы: соответственно, при температуре подогрева  $T=350K$  -  $Z_{АФ}=70\%$ ;  $T=460K$  -  $Z_{АФ}=35\%$ .

Изучалось влияние на температуру режимов и толщины покрытия. В зависимости от вида обрабатываемого материала и условий напыления температура имеет разные значения.

При газопламенном напылении покрытий с аморфной структурой применялись дополнительные технологические приемы направленные на исключение перегрева основы и покрытия в процессе напыления, а также окисления напыляемого сплава, особенно при наличии в его составе элементов с повышенным сродством к кислороду.

Аморфная фаза в покрытии изменялась от 65 до 80%. Для приближения условий лабораторных исследований к реальным условиям эксплуатации применили способ испытаний триботехнических свойств покрытий при граничной смазке. Образец с испытуемым покрытием вводили в контакт с контробразцом, нагружали их и задавали скорость вращения. В зону контакта подавали капельным способом жидкую смазку - индустриальное масло И-20А. Образцы с покрытиями сравнивали с эталоном - литым образцом из стали 20Х. Результаты испытаний покрытий на задир приведены в табл. 1. В таблице 2 приведены результаты испытаний на износостойкость напыленных материалов

Таблица 1 - Результаты испытаний напыленных материалов на задир

Давление на образцы $p$ , МПа	Коэффициент трения $\mu$						
	Сталь 20Х	Покрытие					
		дистанция напыления, мм					
		40	80	120	40	80	120
0,16	0,032	0,022	0,018	0,018	0,018	0,017	0,018
0,50	0,025	0,015	0,014	0,014	0,013	0,013	0,015
0,92	0,010	0,010	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009
1,33	0,015	0,007	0,009	0,009	0,008	0,007	0,009
1,75	0,065	0,006	0,008	0,008	0,007	0,007	0,008
2,16		0,011	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
2,58		0,015	0,006	0,007	0,007	0,007	0,006
3,00		0,035	0,007	0,008	0,008	0,006	0,007
3,42			0,008	0,012	0,015	0,005	0,007
3,83			0,011	0,027	0,026	0,006	0,013
4,25			0,020			0,006	0,020
4,66						0,015	
5,08						0,025	

Таблица 2 - Результаты испытаний покрытий на износостойкость

Покриття	Линейний износ матеріала покриття за 10 часів испытаний при $p=3,42$ МПа $\Delta h$ , мкм			Інтенсивність изнашивания $J_h$ , мкм/км (или $10^{-9}$ )		
	дистанція напылення, мм					
	40	80	120	40	80	120
Fe-B	2,5	1,5	1,8	0,025	0,015	0,018

**Заключення.** Найбільш мелка структура покриття обнаружена на дистанції напылення 80 мм. Іменно на цій дистанції створюються сприятливі умови для формування аморфної фази.

## Список літератури

1. Івашко В.С. Обоснование размеров структурных составляющих при упрочнении ножей измельчающих аппаратов кормоуборочной техники / Івашко В.С., Декевич П.А. // Матеріали 8-го Междунар. науч.-техн. семинара. Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте, Киев, 26-28 февраля 2008 г. / Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2008.
2. Астапчик С.А. Технология поперечно-клиновой прокатки в сельхозмашиностроении республики Беларусь. / Астапчик С.А., Івашко В.С. // Современные методы и технологии создания и обработки материалов. -Мн., 2006.- С.376–381.
3. Бетень Г.Ф. Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной техники / Бетень Г.Ф., Буйкус К.В., Івашко В.С. и др.- Мн.: БГАТУ, 2006.
4. Абрамович Т.М. Влияние технологических факторов на свойства покрытий при их электроконтактном припекании. Вопросы теории. / Абрамович Т.М., Донских С.А., Ярошевич В.К. // Матеріали Междунар. науч.-техн. конф. Модели и алгоритмы для имитации физико-химических процессов.- Таганрог, 2008.
5. Микроплазменное оплавление самофлюсующихся материалов при упрочнении ножей измельчающих аппаратов. / Івашко В. С., Декевич П.А. // «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка».- Минск, 2008.
6. Громыко Г.Ф. Моделирование процесса микроплазменной обработки деталей с нанесением порошковых материалов. / Громыко Г.Ф., Мацука, Н.П., Івашко, В.С., Декевич, П.А. // Сборник научных трудов VI международной научно-технической конференции «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин» – Новополоцк, 2007.
7. Івашко В. С. Применение системы визуализации при лазерной и микроплазменной обработке деталей рабочих органов кормоуборочных машин / Івашко В. С., Декевич П.А., Інютин А.В. // Матеріали 8-го Междунар. науч.-технического семинара. Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте, Киев, 26-28 февраля 2008г. / Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2008.

*В. Івашко, В. Ярошевич, С. Довжук, Ф. Златопольський, В.Яропуд*

**Триботехнічні дослідження матеріалів, які вміщують бор і нанесені газо термічним методом для зміцнення і відновлення деталей сільськогосподарської і автомобільної техніки**

Приведені результати триботехнічних досліджень покриттів із сплавів перехідних металів (Fe, Co, Mn, Cr, Ni і др.), в які для утворення аморфної структури додають аморфообразуючі елементи типу В, С, Si, Р, S. Покриття отримували газополуменевим напыленням. Найбільш дрібна структура покриття виникає на дистанції напылення 80 мм. На цій дистанції створюються найбільш сприятливі умови для отримання аморфної фази.

*V. Ivashko, V. Yaroshevich, S. Dovzhuk, F. Zlatopolskiy, V. Yaropud*

**Tribological investigations of boron-containing material, coated by gas-thermal method for strengthening parts machines of agricultural and motor-car technique**

Tribological investigations of boron-containing material, coated by gas-thermal method are conducted. The goal of investigations is to control surface quality by means application of amorphous-crystalline coatings. The finest structure of coating with amorphous phase is achieved under the application distance equal to 80 mm.

Получено 17.11.09