

УДК 621.793

## Структурно-фазовое состояние газотермических покрытий из псевдосплавов «X20H80+65Г», подвергнутых закалке

Григорчик А.Н., Асташаб Е.В.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

### *Аннотация:*

Проведено исследование структурно-фазового состояния и дюрометрических свойств газотермического покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г», полученного методом высокоскоростного газотермического напыления в исходном состоянии и после закалки с различных температур. Показано, что выдержка газотермических покрытий из псевдосплава «X20H80+65Г» при температурах 650, 820 и 920°C в течение 10 минут с последующим охлаждением в воду приводит к существенному изменению фазового состава покрытий и их твердости/микротвердости. В частности, твердость и микротвердость покрытия снижаются до  $\approx 1,6$  раза по сравнению со значениями в исходном состоянии. Понижение дюрометрических свойств покрытий связано со снижением количества в их фазовом составе интерметаллида  $Ni_3Fe$  и увеличением содержания фазы  $NiFe$ .

### *Текст доклада:*

**Введение.** Покрытия из псевдосплавов, полученные методом высокоскоростного газотермического напыления [1], обладают уникальным сочетанием триботехнических и физико-механических характеристик [2]. Кроме этого, одним из перспективных способов увеличения прочностных и триботехнических свойств покрытий из псевдосплавов является выделение в них при термической обработке твердых интерметаллидных фаз [2]. В частности, напыленные псевдосплавы на основе никель-хромового сплава X20H80 в сочетании с железом должны обеспечивать выделение при напылении и термической обработке целого ряда интерметаллидов на основе Ni-Fe, обладающих уникальными характеристиками прочности, коррозионной стойкости, магнитными свойствами, а также такие покрытия должны иметь пониженный коэффициент линейного расширения. Невысокий коэффициент расширения материала газотермического покрытия из псевдосплава на основе Ni-Fe может позволить проводить их термическую обработку при повышенных температурах без снижения прочности сцепления покрытия с подложкой, что может существенно расширить область применения напыления газотермических покрытий. Вместе с тем, до настоящего времени остаются не исследованными структура и свойства напыленных псевдосплавов на основе никель-хромовых сплавов с железом, как в исходном состоянии (после напыления), так и после их термиче-

ской обработки. В связи с этим, целью данной работы являлось исследование влияния термической обработки (закалки) газотермических покрытий из псевдосплава «X20H80+65Г» на их структурно-фазовое состояние и дюрометрические свойства.

**Получение образцов и методики экспериментов.** В качестве объектов исследований были выбраны газотермические покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г». Напыление газотермических покрытий выполнялось методом высокоскоростной металлизации с использованием установки АДМ-10 [1], на пластины (60×60×5 мм) из стали 35.

Термическая обработка напыленных покрытий из псевдосплавов проводилась путем их нагрева до температур 650, 820 и 920°C, выдержкой в течение 10 минут и последующим охлаждением в воде.

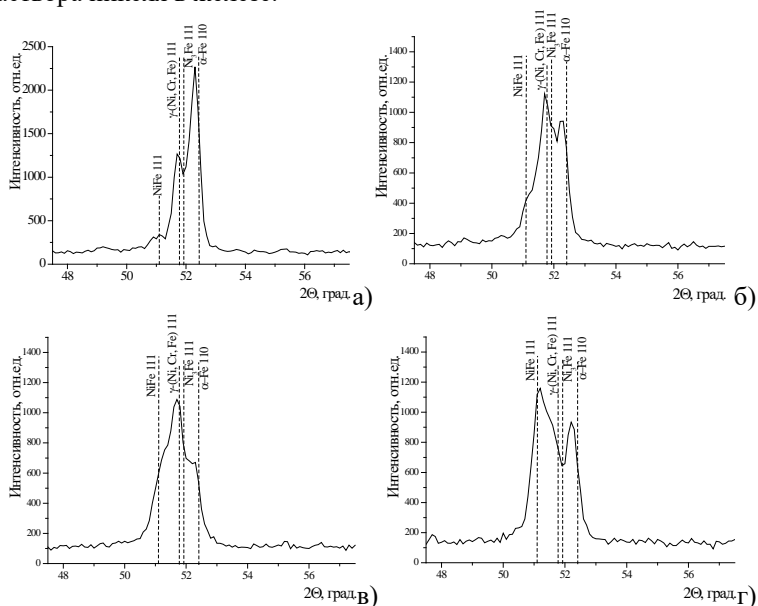
Исследование фазового состава покрытий осуществлялось на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом ( $CoK_{\alpha}$ ) излучении при напряжении 28 кВ и анодном токе 14 мА. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ с использованием программного обеспечения AltamiStudio 3.3. Измерения твердости и микротвердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор  $P = 10$  кг и 25 г, соответственно.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате напыления псевдосплава «X20H80+65Г» формируется покрытие, имеющее слоистую структуру и невысокую пористость. В частности, пористость покрытия не превышала  $\approx 3-5$  об. %. В фазовом составе псевдосплава после напыления регистрируются фазы  $\alpha$ -Fe,  $\gamma$ -(Ni, Cr, Fe), а также интерметаллидные соединения  $Ni_3Fe$ , NiFe (рисунок 1, а). Твердость покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г» после напыления составляет 360 HV10, а его микротвердость 585 HV0,025 (таблица 1).

Таблица 1 – Дюрометрические свойства газотермических покрытий после различных режимов термической обработки

Материал покрытия и обработка	Твердость, HV10	Твердость, HV0,025
X20H80+65Г	360	585
X20H80+65Г выдержка 10 мин при 650°C и охлаждение в воде	270	450
X20H80+65Г выдержка 10 мин при 820°C и охлаждение в воде	260	425
X20H80+65Г выдержка 10 мин при 920°C и охлаждение в воде	220	360

В результате нагрева газотермических покрытий из «X20H80+65Г» до температур 650, 820 и 920°C и последующим быстрым охлаждением в воде отслоений покрытий от подложки не регистрируется (рисунок 2). Отсутствие участков отслоения газотермического покрытия от подложки после ускоренного охлаждения с высокой температуры может свидетельствовать о высокой прочности сцепления покрытия с подложкой. Повышение прочности сцепления покрытия с подложкой в результате термической обработки при высоких температурах может происходить за счет диффузии атомов никеля из покрытия в подложку с образованием твердого раствора никеля в железе.



а – исходное состояние; б – нагрев до 650°C (выдержка 10 мин) с последующим охлаждением в воде; в – то же с 820°C; г – то же с 920°C

Рисунок 1 – Фрагменты рентгеновских дифрактограмм от поверхностных слоев газотермического покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г» после термической обработки по различным режимам

Из представленных результатов в таблице 1 можно видеть, что с увеличением температуры термической обработки твердость и микротвердость газотермических покрытий из псевдосплавов снижается. В частности, закалка покрытий с температур 820°C и 920°C приводит к снижению их твердости/микротвердости в  $\approx 1,4$  и  $\approx 1,6$  раз, соответственно (таблица 1).

Понижение значений твердости и микротвердости покрытий после термической обработки связано с уменьшением количества прочного интерметаллида  $Ni_3Fe$  и образованием большого количества менее прочной фазы  $NiFe$  (рисунок 1, б, в, г). Также необходимо отметить, что при охлаждении покрытия из «X20H80+65Г» в воду с температур 820°C и 920°C стальные частицы не калятся, что связано, по нашему мнению, со снижением точки начала мартенситного превращения  $M_n$  частиц из стали 65Г за счет их диффузионного насыщения никелем из частиц X20H80 при выдержке.

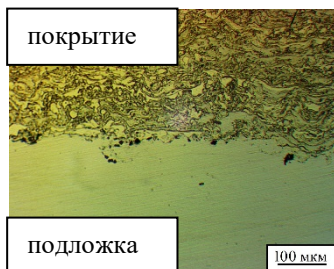


Рисунок 2 – Характерная микроструктура газотермического покрытия из псевдосплава «X20H80+65Г», прошедшего термическую обработку при 920°C (выдержка 10 минут) с последующим охлаждением в воде

Таким образом, можно сделать вывод, что возможно проведение закалки газотермических покрытий на основе  $Ni-Fe$  без снижения прочности сцепления покрытия с подложкой. Вместе с тем, выдержка покрытий, содержащих никелевые сплавы и сталь, при высоких температурах приводит к понижению их дюрометрических свойств.

**Заключение.** Проведено исследование структурно-фазового состояния и дюрометрических свойств газотермических покрытий из псевдосплава «X20H80+65Г» в исходном состоянии и после закалки с различных температур. Показано, что ускоренное охлаждение газотермического покрытия из «X20H80+65Г» с повышенных температур не приводит к его растрескиванию и отслаиванию. Установлено, что выдержка покрытий на базе  $Ni-Fe$  при повышенных температурах приводит к снижению его твердости и микротвердости до  $\approx 1,6$  раза по сравнению со значениями в исходном состоянии. Понижение дюрометрических свойств покрытий связано с уменьшением в нем содержания прочного интерметаллида  $Ni_3Fe$  и образовании большого количества менее прочной фазы  $NiFe$ .

## Литература

1. Белоцерковский М.А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 200 с.
2. Кукареко В.А., Белоцерковский М.А. Влияние отжига на структурно-фазовое состояние и износостойкость газотермических покрытий из железо-алюминиевых псевдосплавов / В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский и др. // Актуальные вопросы машиноведения. –2019. – Вып.8. – 49-53.