PolotskSU

УДК 621.793

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОТЖИГА ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПСЕВДОСПЛАВА «Х20Н80+АД-1» НА ЕГО СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ТВЕРДОСТЬ

М.А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ, В.А. КУКАРЕКО, А.Н. ГРИГОРЧИК, Е.В. АСТРАШАБ
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Проведено исследование структурно-фазового состояния и дюрометрических свойств газотермических покрытий из псевдосплава «Х20Н80+АД-1» в исходном состоянии, а также после отжига в течение 20, 40, 60 минут при температуре 600°С. Установлено, что отжиг покрытий из «Х20Н80+АД-1» приводит к увеличению их твердости и микротвердости по сравнению с исходным состоянием за счет выделения в них при отжиге интерметаллидных фаз Ni_2Al_3; NiAl; Al_3Ni; Ni_3Al.

Введение. Псевдосплавы, получаемые различными методами, находят широкое применение в различных областях промышленности. Применение псевдосплавов (композиционных материалов) позволяет получать изделия с уникальными свойствами, а именно: высокой твердостью, износостойкостью и теплостойкостью, а также повышенным или пониженным значениями коэффициента трения и т.д. Вместе с тем, производство композитов является весьма сложным и трудоемким процессом. Так, например, получение псевдосплавов традиционными методами порошковой металлургии и литья, включает в себя ряд сложных энергозатратных процессов, существенно повышающих стоимость получаемого материала. Таким образом, разработка эффективных и более дешевых методов получения композитов является актуальной задачей. Применение технологии высокоскоростного напыления при изготовлении псевдосплавов позволяет существенно удешевить их производство. Вместе с тем, свойства получаемых методом газотермического напыления псевдосплавов зачастую уступают физико-механическим характеристикам монолитных материалов. Благодаря сочетанию в псевдосплавах различных металлических материалов, появляется возможность дополнительного упрочнения композитов за счет выделения в них интерметаллидных соединений при термической обра-

PolotskSU

ботке. В связи с этим, целью работы являлось исследование влияния времени отжига при температуре 600°С напыленных методом высокоскоростной металлизации покрытий из Ni-Cr-Al псевдосплава «Х20Н80+АД-1» на их структурно-фазовое состояние и дюрометрические свойства.

Получение образцов и методики исследований. Напыление газотермического покрытия из псевдосплава «Х20Н80+АД-1» выполнялось методом высокоскоростной металлизации с использованием установки АДМ-10 на подложку (70×70×5 мм) из стали 20. Диаметр нихромовой и алюминиевой проволок составлял 1,8 мм. Толщина напыленного покрытия составляла 1,2-1,5 мм. Термическая обработка образцов напыленных покрытий проводилась в муфельной печи SNOL 7.2/1100, температура нагрева составляла 600°С, а время выдержки – 20, 40 и 60 минут. Исследование фазового состава напыленных газотермических покрытий осуществляли на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом (CoK_{α}) излучении при напряжении 28 кВ и анодном токе 14 мА. Расшифровка рентгенограмм осуществлялось при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match с картотекой PDF-2. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ. Измерения твердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор P = 25 г и 10 кг.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате напыления псевдосплава «Х20Н80+АД-1», методом высокоскоростной металлизации, формируются покрытия, содержащие пониженное количество оксидов. Пористость покрытий не превышает ≈ 3-5 об.% (рисунок 1, а). Твердость и микротвердость псевдосплава «Х20Н80+АД-1» составляют 160 HV 10 и 250 HV 0,025, соответственно (таблица 1).

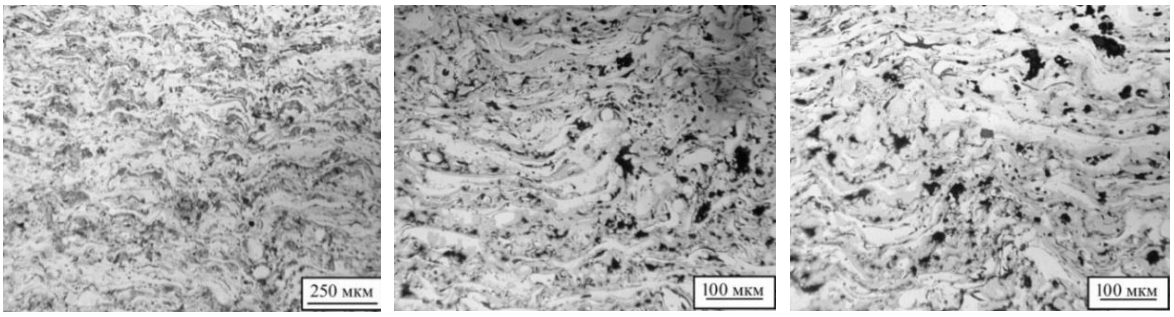

Рисунок 1. – Характерные микроструктуры, напыленного покрытия из псевдосплава «Х20Н80+АД-1»: а – исходное состояние; б – после отжига при 600°С в течение 20 минут; в – после отжига при 600°С в течение 60 минут

PolotskSU

Отжиг покрытий из «Х20Н80+АД-1» при 600°С в течение 20-60 минут приводит к существенному увеличению пористости (рисунок 1, б, в). В частности, пористость покрытий после отжига при 600°С в течение 60 минут составляет 17-19 об.%. Увеличение пористости при отжиге покрытий из «Х20Н80+АД-1» обусловлено реализацией эффектов Френкеля и Киркендалла, заключающихся в том, что при отжиге двух разнородных сваренных материалов происходит диффузия атомов более активного материала (в нашем случае – алюминия) по вакансионному механизму в прослойки сплава Х20Н80. При этом, вакансии перемещаются в направлении обратном потоку диффундирующих атомов алюминия. В результате диффузионных процессов, происходит смещение границы раздела двух материалов, а также образование диффузионной пористости.

Результаты исследований фазового состава и дюрометрических свойств газотермических покрытий из «Х20Н80+АД-1» в исходном состоянии и после отжига при 600°С представлены в таблице 1. В исходном состоянии (после напыления) покрытие включает в себя γ-(Ni, Cr, Fe) и Al, а также небольшое количество оксида алюминия Al_2O_3. Отжиг покрытий при 600°С в течение 20-60 минут обеспечивает выделение в них интерметаллидных фаз Ni_2Al_3, NiAl, Al_3Ni (таблица 1). Необходимо отметить, что выдержка при 600°С в течение 20 минут не приводит к полному растворению алюминиевых прослоек в частицах Х20Н80.

Таблица 1. – Фазовый состав и твердость/микротвердость газотермических покрытий из псевдосплава «Х20Н80+АД-1» в исходном состоянии и после отжига

Наименование образца	Фазовый состав	HV 0,025	HV 10
Х20Н80+Al	γ-(Ni, Cr, Fe); Al; Al_2O_3 (в следах)	250	160
Х20Н80+Al, отжиг при 600°С, 20 минут	γ-(Ni, Cr, Fe); Ni_2Al_3; NiAl; Al_3Ni; Ni_3Al; Al; Al_2O_3 (в следах)	480	280
Х20Н80+Al, отжиг при 600°С, 40 минут	γ-(Ni, Cr, Fe); Ni_2Al_3; NiAl; Al_3Ni; Ni_3Al; Al_2O_3 (в следах)	490	280
Х20Н80+Al, отжиг при 600°С, 60 минут	γ-(Ni, Cr, Fe); Ni_2Al_3; NiAl; Al_3Ni; Ni_3Al; Al_2O_3 (в следах)	505	270

В результате отжига покрытий из псевдосплава «Х20Н80+АД-1» при 600°С регистрируется существенное повышение их твердости и микротвердости по сравнению с исходным состоянием (таблица 1). В частности, твердость и микротвердость покрытий возрастают до ≈ 1,7 и ≈ 2,0 раз, соответственно. Существенное повышение дюрометрических свойств по-

PolotskSU

крытий из псевдосплава «Х20Н80+АД-1», подвергнутых отжигу, связано с выделением в них высокопрочных интерметаллидных фаз Ni_2Al_3, NiAl, Al_3Ni (таблица 1). Некоторое снижение значений твердости при увеличении продолжительности отжига до 60 минут (таблица 1) связано со значительным повышением пористости псевдосплавов.

Заключение. Проведено исследование структурно-фазового состояния газотермических покрытий из псевдосплава «Х20Н80+АД-1» в исходном состоянии и после отжига при 600°С в течение 20, 40 и 60 минут. Показано, что в исходном состоянии покрытие содержит γ-(Ni, Cr, Fe), Al и Al_2O_3, а его твердость и микротвердость составляют 160 HV 10 и 250 HV 0,025, соответственно. Установлено, что отжиг покрытий в течение 20-60 минут приводит к увеличению их пористости до ≈ 19 об.%, выделению интерметаллидных фаз Ni_2Al_3, NiAl, Al_3Ni, а также повышению твердости и микротвердости покрытий до ≈ 1,7 и ≈ 2,0 раз по сравнению с исходным состоянием, соответственно.

PolotskSU

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ОАО «НПО «ЦЕНТР
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК
ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Инновационные технологии в машиностроении

Электронный сборник материалов международной
научно-технической конференции,
посвященной 50-летию машиностроительных специальностей
и 15-летию научно-технологического парка
Полоцкого государственного университета
(Новополоцк, 21-22 апреля 2020 г.)

ИнноТехМаш

Под редакцией
чл.-корр. НАН Беларуси, д-ра техн. наук, проф. В. К. Шелега;
д-ра техн. наук, проф. Н. Н. Попок

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

Об издании – 1, 2

PolotskSU

УДК 621(082)

Редакционная коллегия:
Н. Н. Попок (председатель), В. П. Иванов (зам. председателя),
Р. С. Хмельницкий (отв. Секретарь), А.В. Дудан, В. А. Данилов, Е.В. Бритик

Инновационные технологии в машиностроении [Электронный ресурс] : электронный сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 21-22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; под. ред. В. К. Шелега; Н. Н. Попок. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-691-7.

Отражены современное состояние и направления развития технологии и оборудования механической и физико-технической обработки; рассмотрены вопросы создания современных материалов, изготовления, восстановления и упрочнения деталей машин, автоматизации производства, эксплуатации и модернизации автомобилей и других машин.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей учреждений образования.

Прилагаются титульные листы презентаций докладов участников конференции.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3141815008 от 28.03.2018.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 59-95-53, e-mail: n.popok@psu.by

№ госрегистрации 3141815008
ISBN 978-985-531-691-7 © Полоцкий государственный университет, 2020

PolotskSU

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Инновационный технологии в машиностроении» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Компьютерный дизайн *Е. А. Балабуевой*
Техническое редактирование и верстка *И. Н. Чапкевич*

Подписано к использованию 23.04.2020.
Объем издания: 10,9 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 264.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
http://www.psu.by

PolotskSU

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОТЖИГА ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПСЕВДОСПЛАВА «Х20Н80+АД-1» НА ЕГО СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ТВЕРДОСТЬ

Белоцерковский М.А., д-р техн. наук;
Кукареко В.А., д-р физ-мат. наук;
Григорчик А.Н., канд. техн. наук;
Астрашаб Е.В.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
220072, г. Минск, ул. Академическая, 12

PolotskSU

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ОАО «НПО «ЦЕНТР
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК
ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Инновационные технологии в машиностроении

Электронный сборник материалов международной
научно-технической конференции,
посвященной 50-летию машиностроительных специальностей
и 15-летию научно-технологического парка
Полоцкого государственного университета
(Новополоцк, 21-22 апреля 2020 г.)

ИнноТехМаш

Под редакцией
чл.-корр. НАН Беларуси, д-ра техн. наук, проф. В. К. Шелега;
д-ра техн. наук, проф. Н. Н. Попок

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

Об издании – 1, 2

PolotskSU

УДК 621(082)

Редакционная коллегия:
Н. Н. Попок (председатель), В. П. Иванов (зам. председателя),
Р. С. Хмельницкий (отв. Секретарь), А.В. Дудан, В. А. Данилов, Е.В. Бритик

Инновационные технологии в машиностроении [Электронный ресурс] : электронный сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 21-22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; под. ред. В. К. Шелега; Н. Н. Попок. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-691-7.

Отражены современное состояние и направления развития технологии и оборудования механической и физико-технической обработки; рассмотрены вопросы создания современных материалов, изготовления, восстановления и упрочнения деталей машин, автоматизации производства, эксплуатации и модернизации автомобилей и других машин.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей учреждений образования.

Прилагаются титульные листы презентаций докладов участников конференции.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3141815008 от 28.03.2018.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 59-95-53, e-mail: n.popok@psu.by

№ госрегистрации 3141815008
ISBN 978-985-531-691-7 © Полоцкий государственный университет, 2020

PolotskSU

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Инновационный технологии в машиностроении» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Компьютерный дизайн *Е. А. Балабуевой*
Техническое редактирование и верстка *И. Н. Чапкевич*

Подписано к использованию 23.04.2020.
Объем издания: 10,9 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 264.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
http://www.psu.by