

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **24765**

(13) **С1**

(45) **2026.01.05**

(51) МПК

**С 23С 4/12** (2016.01)

(54) **СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ  
НА СТАЛЬНУЮ ДЕТАЛЬ**

(21) Номер заявки: а 20240116

(22) 2024.05.21

(71) Заявитель: Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси" (ВУ)

(72) Авторы: Белоцерковский Марат Артёмович; Сосновский Алексей Валерьевич; Кукареко Владимир Аркадьевич; Григорчик Александр Николаевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Государственное научное учреждение "Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси" (ВУ)

(56) КОВТУНОВ А.И. и др. Исследование процессов восстановления валов из высоколегированных сталей газопламенным напылением в условиях ОАО "Сибур-Тольятти". Упрочняющие технологии и покрытия, 2018, т. 14, № 12, с. 566-571.

КРЕЧМАР Э. и др. Напыление металлов, керамики и пластмасс. Москва: Машиностроение, 1966, с. 151-154.

RU 2521780 С1, 2014.

RU 2700519 С1, 2019.

АНИСОВИЧ А.Г. и др. Антикоррозионные защитные покрытия по стали Ст. 3. Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, 2005, № 2, с. 41-48.

(57)

Способ нанесения металлического покрытия на стальную деталь, включающий механическую подготовку поверхности детали, газотермическое нанесение промежуточного слоя из нихрома и нанесение основного материала покрытия, отличающийся тем, что после нанесения промежуточного слоя из нихрома осуществляют термообработку в интервале температур 200-400 °С, при этом минимальную продолжительность термообработки  $\tau$  в часах определяют из выражения:

$$\tau = k \cdot T - n \cdot T^2,$$

где  $T$  - численное значение температуры термообработки, измеренное в градусах Цельсия;

$k$  - коэффициент, равный 0,0169;

$n$  - коэффициент, равный  $3,6 \cdot 10^{-5}$ .

Предлагаемое изобретение относится к области нанесения покрытий, а именно к газотермическому нанесению износостойких металлических покрытий с повышенной прочно-

стью сцепления на детали машин. Может быть использовано в различных отраслях машиностроения, в аэрокосмической технике, химической, пищевой промышленности.

Поскольку адгезионная прочность покрытия, полученного газотермическим напылением, обеспечивается механической связью материала покрытия с материалом основы, то перед напылением поверхность подложки подвергается специальной подготовке.

Известен способ подготовки поверхности изделия под напыление, включающий нарезание "рваной" резьбы на детали, после чего дополнительно проводят совместную операцию деформирования вершин "рваной" резьбы смещением ее верхней части в боковые стороны [1]. Данный способ подготовки обеспечивает высокую прочность сцепления покрытия с основой при напылении газотермическим способом.

Недостатком данного способа является то, что он может использоваться только для цилиндрических поверхностей.

Наиболее распространенным способом подготовки поверхности под напыление является струйно-абразивная обработка керамической или металлической колотой дробью [2]. Данный вид обработки позволяет очистить поверхность напыляемой подложки от влаги, грязи, ржавчины, а также обеспечить активацию металла для поверхности любой формы. Это все обеспечивает высокую механическую связь между подложкой и материалом напыленного покрытия.

Недостатком данного способа является то, что струйно-абразивная обработка не обеспечивает высокой шероховатости, и при этом отсутствует высокая прочность сцепления при напылении материалов с коэффициентом термического расширения, значительно отличающимся от материала подложки.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков к заявляемому является способ нанесения покрытия на стальную деталь, включающий операции механической подготовки поверхности детали, ее предварительный подогрев, газотермическое напыление подслоя из нихрома и последующее нанесение основного слоя [3]. Предварительный подогрев детали ведет к уменьшению термического напряжения в покрытии, вызванного разностью коэффициентов термического расширения покрытия и подложки. Недостатком данного способа является увеличение окисной пленки на поверхности детали, особенно если она изготовлена из низколегированной стали. При этом снижается прочность сцепления покрытия с основой.

Объект заявляемого изобретения направлен на обеспечение более высокого качества наносимых покрытий, а именно повышение значений прочности сцепления (адгезионной прочности) покрытий, напыляемых газотермическим методом.

Для решения этой задачи в способе нанесения металлического покрытия на стальную деталь, включающем механическую подготовку поверхности детали, газотермическое нанесение промежуточного слоя из нихрома и нанесение основного материала покрытия, согласно изобретению после нанесения промежуточного слоя нихрома осуществляют термообработку в интервале температур 200-400 °С, при этом минимальную продолжительность термообработки  $\tau$  в часах определяют из выражения:

$$\tau = k \cdot T - n \cdot T^2, \quad (1)$$

где  $T$  - численное значение температуры термообработки, измеренное в градусах Цельсия;  $k$  - коэффициент, равный 0,0169;  $n$  - коэффициент, равный  $3,6 \cdot 10^{-5}$ .

В результате проведенных исследований было установлено, что при напылении покрытия из сплава X20H80 (нихрома) на стальную подложку и его последующем нагреве происходит интенсивная диффузия никеля и хрома в сталь. При этом минимальная температура начала заметных диффузионных процессов составляет 200 °С. При напылении сплава X20H80 на подложку из стали 20 было установлено, что последующая термическая обработка при температуре 200 °С в течение 1 ч приводит к диффузии никеля и хрома в поверхность стальной подложки на глубину 3-5 мкм. При увеличении температуры и времени выдержки увеличивается как глубина диффузии, так и ее интенсивность.

# ВУ 24765 С1 2026.01.05

Полученные результаты находятся в полном соответствии с данными работы [4], которые объясняют высокие значения коэффициента диффузии при относительно низких температурах отжига наличием большой концентрации дефектов кристаллической решетки (дислокаций, вакансий, дислокационных субструктур). Поскольку в процессе подготовки поверхности детали к напылению осуществляется струйно-абразивная обработка поверхности, то в поверхностном слое (толщиной  $\approx 200$  мкм) наблюдается высокая концентрации дефектов кристаллической решетки, что обеспечивает существенное снижение энергии активации диффузии в подложке и увеличение коэффициента самодиффузии и гетеродиффузии атомов в 40-100 раз. При этом относительный вклад диффузии вдоль дислокаций и по дислокационным скоплениям с понижением температуры возрастает [4]. В результате диффузионного переноса атомов никеля и хрома по дислокациям при низкотемпературном отжиге подслоев из нихрома обеспечивается формирование диффузионных слоев между нихромом и стальной деталью, что обеспечивает существенное возрастание величины прочности сцепления покрытия к подложке.

Экспериментальные исследования влияния температуры и продолжительности термообработки на адгезию покрытий из нихрома были проведены на оборудовании для гиперзвуковой металлизации (установка АДМ-10). После струйно-абразивной обработки наносились покрытия распылением проволоки из нихрома марки Х20Н80 (ГОСТ 12766.1-90) толщиной 1,8 мм. Прочность сцепления оценивалась методом отрыва покрытия от штифта нормально приложенной нагрузкой. Результаты измерений заносили в таблицу.

**Влияние температуры и продолжительности термообработки на адгезию покрытий из нихрома**

Температура термообработки, °С	Продолжительность термообработки, ч	Прочность сцепления, МПа
180	1,50	48-50
	1,75	48-50
	2,0	50-52
	2,5	50-53
200	1,50	52-54
	1,75	53-55
	2,0	63-64 (*)
	2,25	63-65
	2,50	63-66
240	1,5	52-54
	1,75	54-56
	2,0	62-64 (*)
	2,25	62-65
280	1,75	63-66 (*)
	2,0	63-66
	2,25	64-67
	2,50	64-67
300	1,50	54-56
	1,70	63-66 (*)
	2,0	63-66
340	1,30	54-56
	1,65	63-66 (*)
	1,75	64-67

Продолжение таблицы

Температура термообработки, °С	Продолжительность термообработки, ч	Прочность сцепления, МПа
380	1,25	63-66 (*)
	1,50	63-66
	1,75	64-67
400	0,75	57-59
	1,0	63-65 (*)
	1,25	63-66
420	0,75	55-57
	1,0	55-57
	1,25	54-57

Значком (\*) отмечены результаты, полученные при минимальных энергозатратах. Анализ этих результатов позволил получить эмпирическую зависимость между минимальной продолжительностью термообработки и температурой термообработки (выражение 1). Снижение величины прочности сцепления с повышением температуры более 400 °С объясняется окислительными процессами, происходящими на поверхности детали.

**Пример** реализации способа.

Реализацию способа осуществляли при восстановлении гидромолота к экскаваторному оборудованию (ЭП-Ф-П/ БЛ-21). Основание гидромолота представляет собой цилиндр, изготовленный из стали 45, с покрытием из твердого хрома, нанесенным традиционным гальваническим хромированием. В процессе работы поверхность с покрытием была повреждена на глубину до 0,5 мм, что ограничивало эксплуатационные возможности гидромолота. В связи с глубокими повреждениями традиционным гальваническим хромированием рабочий слой восстановить нет возможности. Было принято решение восстанавливать изношенную поверхность гиперзвуковой металлизацией. При этом нанесение покрытия осуществляли как известным способом, так и согласно предложенному изобретению.

При восстановлении рабочей поверхности гидромолота известным способом напыляемую поверхность подготавливали с помощью струйно-абразивной обработки пистолетом эжекционного типа при рабочем давлении сжатого воздуха 0,6 МПа и расходе дробы 0,05-1,2 кг/с. Использовано несколько фракций стальной колотой дробы марки ДСК 0,3-2,0, ГОСТ 11964-81. Затем наносили подслои из нихрома Х20Н80 и рабочий слой из стали 40Х13 методом гиперзвуковой металлизации на установке АДМ-10. После напыления рабочую поверхность шлифовали в необходимый размер. В процессе работы гидромолот осуществляет возвратно-поступательное движение с ударным воздействием частотой 450-900 уд/мин. При этом рабочее давление составляет 90-130 атм, энергия удара 850 Дж. В таких условиях деталь с восстановленной рабочей поверхностью отработала 23 ч, после чего началось локальное отслоение покрытия, что привело к остановке рабочего процесса.

Вторую деталь восстанавливали в соответствии с предлагаемым изобретением. Восстанавливаемую поверхность подготавливали под напыление дробеструйной обработкой колотой дробью. Затем наносили подслои из нихрома Х20Н80, после чего, согласно изобретению, деталь с покрытием нагревали до температуры 300 °С, определив с помощью выражения (1) минимальное время выдержки при этой температуре:

$$\tau = 0,0169 \cdot 300 - 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot 9000 = 1,83 \text{ ч.}$$

После этого наносили рабочий слой из стали 40Х13 и шлифовали в необходимый размер. Эксплуатационные испытания показали, что в течение 6 месяцев работы, являющихся гарантийным сроком, на восстановленной поверхности не было обнаружено следов износа, трещин, сколов, отслоений и других дефектов.

# BY 24765 C1 2026.01.05

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный способ позволяет обеспечить повышенную прочность сцепления покрытия с основой и тем самым увеличить срок эксплуатации упрочненного или восстановленного изделия.

Источники информации:

1. RU 2237525 C1, 2004.
2. ХАСУИ А. и др. Наплавка и напыление. Москва: Машиностроение, 1985, с. 184.
3. КОВТУНОВ А.И. и др. Исследование процессов восстановления валов из высоколегированных сталей газопламенным напылением в условиях ОАО "Сибур-Тольятти". Упрочняющие технологии и покрытия, 2018, т. 14, № 12, с. 566-571.
4. БОКШТЕЙН Б.С. Диффузия в металлах: Изд. 2. Москва: URSS, 2019, 248 с.