

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ,
ИСПОЛЗУЕМЫХ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШТОКОВ**

Яловик А.П.¹, Белоцерковский М.А.², Сосновский А.В.², Чой К.Й.²

¹ОАО «Нефтезаводмонтаж», г. Новополоцк

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск
mbelotser@gmail.com

Введение. Анализ изнашивания элементов гидропривода строительно-дорожных машин показывает, что на его долю приходится около 45% отказов от общего числа агрегатов, на долю гидроцилиндров до 28% от общего числа отказов. Одной из наиболее интенсивно изнашиваемых деталей гидроцилиндра является шток, по его причине происходит около 31% отказов [1].

Для восстановления штоков используются технологии гальванического хромирования, наплавки, плазменного и газопламенного напыления, электроискрового легирования. Авторами данной работы показана целесообразность и эффективность использования для этих целей процесса гиперзвуковой металлизации (ГМ), определены режимы формирования покрытий распылением проволок из высокохромистых сталей [2].

Целью исследований, результаты которых изложены в данной публикации, явилось исследование возможности повышения износостойкости наносимых на штоки стальных покрытий методом ГМ используя приемы инженерии поверхности, такие как формирование псевдосплавов с повышенным количеством аустенитной фазы, а также трибомодифицирование, проходящее за счет приработки покрытий в присутствии пластичного смазочного материала с наноразмерными наполнителями.

Материалы и методики исследования. Было предложено формировать покрытие одновременным распылением проволок из сталей мартенситного класса 40X13 ($d=2,0$ мм) и аустенитного класса 12X18H10T ($d=1,6$ мм) методом ГМ с использованием установки АДМ-10. В качестве горючего газа для формирования распыляющего факела применяли пропан.

Исследование фазового состояния напыленного псевдосплава осуществляли на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом (CoK α) излучении при напряжении 30 кВ и анодном токе 15 мА. Расшифровка рентгенограмм осуществлялась при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match с картотеккой PDF-2. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ.

Измерения твердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор $P=10$ г и 10 кг.

Пористость псевдосплава, напыленного на пластины (50×50×5 мм) из стали 45, составляла $\approx 2-4$ об.%. Химический состав распыляемых проволок и напыленного псевдосплавного покрытия представлен в таблице 1.

Триботехнические испытания образцов напыленного сплава проводились на трибометре АТВП. Испытания осуществлялись по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих тел при средней скорости взаимного перемещения $\approx 0,1$ м/с в режиме трения в различных пластичных смазочных материалах, а именно: литол-24, сульфат-кальциевая, литол-24 + 0,5 масс. % углеродсодержащего наномодификатора ША-А (размер частиц в пределах $d_c = 10-50$ нм). Удельная нагрузка испытаний составляла $p=5$ МПа. При испытаниях использовалось контртело, изготовленное из закаленной стали У8 (800 HV10). Путь трения составлял ≈ 1200 м.

Результаты исследований и их обсуждение. При газотермическом напылении проволочных сталей мартенситного (40X13) и аустенитного (12X18H10T) классов, формируется комбинированное покрытие, который включает в себя частицы с различным химическим составом (отдельные частицы из мартенситной и аустенитной стали, а также сплавленные частицы сталей). В связи с этим, локальные участки напыленного псевдосплава имеют различное содержание легирующих элементов (углерода, хрома, никеля, железа и др.), что в свою очередь, приводит к неоднородности физико-механических свойств микрообластей напыленного покрытия.

Усредненный химический состав комбинированного покрытия из высокохромистых сталей 40X13 и 12X18H10T представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав распыляемых проволок и покрытия

Напыляемый материал	Концентрация элементов, масс. %						
	C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si	Fe
40X13	0,42	13,2	0,60	0,35	0,40	0,42	основа
12X18H10T	0,12	18,3	10,1	0,80	2,00	0,80	основа
Материал покрытия	0,2-0,3	15,7	3,97	-	0,75	0,44	основа

Рентгеноструктурный анализ комбинированного покрытия из высокохромистых сталей показал, что в нем содержится 60 об.% γ -Fe, 15 об.% α -Fe и 25 об.% оксидов Fe_3O_4 и FeO. Повышенное количество аустенитной фазы в псевдосплаве связано с высоким содержанием γ -фазы в частицах из стали 12X18H10T, а также с особыми условиями формирования газотермических покрытий при напылении, приводящими к их изотермической выдержке в температурном интервале бейнитного превращения, что стабилизирует аустенит в частицах из стали 40X13 [3]. Твердость напыленного псевдосплава составляет $\approx 370-380$ HV 10, что близко к твердости газотермического покрытия из аустенитной стали 06X19H9T. Результаты триботехнических испытаний представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Зависимость линейного износа от пути трения для покрытия из сталей 40X13+12X18H10T, испытанного в различных смазочных материалах при удельном давлении 5 МПа

Смазка	Линейный износ, мкм за путь трения, м						
	100	200	300	500	700	900	1100
Литол-24	0,16	0,33	0,46	0,61	0,70	0,76	0,88
Литол-24 + 0,5 масс. % ША-А	0,14	0,22	0,30	0,45	0,53	0,62	0,69
Сульфат-кальциевая	0,07	0,15	0,17	0,31	0,45	0,60	0,68

Из данных представленных в таблице 3 можно видеть, что псевдосплав из высокохромистых сталей 40X13+12X18H10T характеризуется относительно высокой износостойкостью. В базовом смазочном материале (Литол-24) интенсивность линейного изнашивания псевдосплава из высокохромистых сталей составляет $0,73 \cdot 10^{-9}$, а коэффициент трения – 0,12-0,13. Максимальная износостойкость псевдосплава регистрируются при испытаниях в сульфат-кальциевой смазке и смазочном материале литол-24 модифицированном углеродными наночастицами (табл. 3). При этом интенсивность линейного изнашивания в сульфат-кальциевой смазке и модифицированной углеродными наночастицами составляет $0,55 \cdot 10^{-9}$ и $0,56 \cdot 10^{-9}$, соответственно, а коэффициент трения приблизительно одинаков и равен 0,11-0,12.

Таблица 3 – Интенсивность линейного изнашивания покрытий из сталей 40X13+12X18H10T, испытанных в различных смазочных материалах при удельном давлении 5 МПа

Смазочный материал	Интенсивность линейного изнашивания $I_q \cdot 10^{-9}$	Коэффициент трения, f
Литол-24	0,73	0,12-0,13
Литол-24 + 0,5 масс. % ША-А	0,56	0,11-0,12
Сульфат-кальциевая смазка	0,55	0,11-0,12

На основании полученных данных можно сделать вывод, что добавление углеродных наночастиц в Литол-24 снижает интенсивность изнашивания псевдосплава из высокохромистых сталей 40X13 и 12X18H10T до значений интенсивности изнашивания в сульфат-кальциевой смазке.

Заключение

Установлено, что при восстановлении штоков гидроцилиндров подъемно-транспортного оборудования замена стального напыляемого покрытия на псевдосплав из сталей 40X13 и 12X18H10T позволяет повысить износостойкость поверхностного слоя. Показано, что покрытие содержит повышенное количество аустенитной фазы ≈ 60 об. %, что связано с его термической стабилизацией в процессе напыления, а также повышенным содержанием никеля в стали 12X18H10T. Твердость напыленного покрытия составляет 370-380 HV 10. Установлено, что модифицирование пластичного смазочного материала Литол-24 углеродных наночастицами (0,5 масс. %) приводит к снижению интенсивности изнашивания покрытия с $0,73 \cdot 10^{-9}$ до $0,56 \cdot 10^{-9}$, а также уменьшению коэффициента трения с 0,12-0,13 до 0,11-0,12.

Литература

1. Шестопалов, К.К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование / К.К. Шестопалов. — 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 320 с.
2. Белоцерковский, М.А. Использование гиперзвуковой металлизации при ремонте штоков гидроцилиндров / М.А. Белоцерковский, А.П. Ялович // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки ./ редкол. : С.А. Астапчик (гл. ред) [и др.]. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. — С. 29 – 33.
3. Григорчик, А.Н. Влияние технологических параметров напыления и ионного азотирования на структуру и износостойкость газотермического покрытия из высокохромистой стали 95X18 / А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, Белый А.В., М.А. Белоцерковский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. — 2016. — № 3. — С. 94–99.