

УДК 621.793.164

ПИРОЛИТИЧЕСКОЕ ХРОМИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНИЯ

© 2014 И.И. Гафуров, А.В. Панарин

Ульяновский научно-технологический центр ВИАМ

Поступила в редакцию 16.10.2014

В статье описан способ получения карбидохромового покрытия химическим осаждением из паровой фазы. Приведены результаты металлографических исследований, оценки шероховатости и химической стойкости покрытия.

Ключевые слова: *металлоорганическое соединение, карбидохромовое покрытие, алюминиевый сплав*

Широкое применение алюминия в промышленности, прежде всего, связано с его большими природными запасами, а также совокупностью химических, физических и механических характеристик [1-3]. К достоинствам алюминия и его сплавов следует отнести его малую плотность ($2,7 \text{ г/см}^3$), сравнительно высокие прочностные характеристики, хорошую тепло- и электропроводность, технологичность, высокую коррозионную стойкость. Совокупность этих свойств позволяет отнести алюминий к числу важнейших технических материалов. Алюминий совместно с легирующими элементами образует различные системы, содержащие от двух до пяти компонентов. Системы обладают различными механическими, коррозионными, технологическими свойствами, различными структурами и каждая система состоит из нескольких сплавов.

В последнее время одним из активно развивающихся направлений двигателестроения является создание и производство форсированных двигателей, условия работы деталей в которых значительно отличаются от условий работы в обычном двигателе. Такие двигатели могут применяться не только в автомобилестроении, но и при производстве мото- и снегоходной техники, а также в лёгкой авиации [4]. Поршень – одна из важнейших деталей двигателя внутреннего сгорания, предназначенная для циклического восприятия давления расширяющихся газов и преобразования его в поступательное механическое движение, воспринимаемое далее кривошипно-шатунным механизмом [5]. Он передает энергию сгорания топлива через палец и шатун коленчатому валу.

К материалам, применяемым для изготовления поршней двигателей, предъявляются следующие требования: высокая механическая прочность, малая плотность, хорошая теплопроводность, малый коэффициент линейного расширения, высокая коррозионная стойкость, хорошие антифрикционные свойства. Для изготовления поршней применяются серые чугуны и алюминиевые сплавы [6, 7]. Поршни из чугуна прочны и износостойки. Благодаря небольшому коэффициенту линейного расширения, они могут работать с относительно малыми зазорами, обеспечивая хорошее уплотнение цилиндра. Однако чугун имеет довольно большой удельный вес. Чаще исходным материалом служат алюминиевые сплавы с большим содержанием кремния АК12Д, АК18Д и др. Достоинства алюминиевых поршней: малая масса (как минимум на 30% меньше по сравнению с чугунными); высокая теплопроводность (в 3-4 раза выше теплопроводности чугуна), обеспечивающая нагрев днища поршня не более 250°C , что способствует лучшему наполнению цилиндров и позволяет повысить степень сжатия в бензиновых двигателях; хорошие антифрикционные свойства.

Кремний вводят в алюминиевые сплавы в виде специальной добавки или он присутствует как примесь, которому присущи хорошие литейные свойства: высокая жидкотекучесть и герметичность при повышенной коррозионной стойкости [8]. Присадка кремния в алюминий позволила создать группу литейных сплавов типа силумин. Для защиты алюминиевых сплавов от износа в узлах трения осуществляют процессы поверхностного оксидирования. Однако получение качественных оксидных плёнок на алюминиевых сплавах с высоким

Гафуров Ильдар Иршатович, инженер-технолог. E-mail: untcviam@viam.ru
Панарин Александр Витальевич, начальник сектора

содержанием кремния является проблематичным, т.к. кремний, взаимодействуя с кислородом, образует диоксид кремния (песок), тем самым ухудшая электроизоляционные свойства и увеличивая пористость. Для решения этой проблемы предлагается наносить многослойное покрытие, состоящее из подслоя, служащего для увеличения прочности сцепления, и пиролитического карбидохромового покрытия (ПКХП) [9, 10].

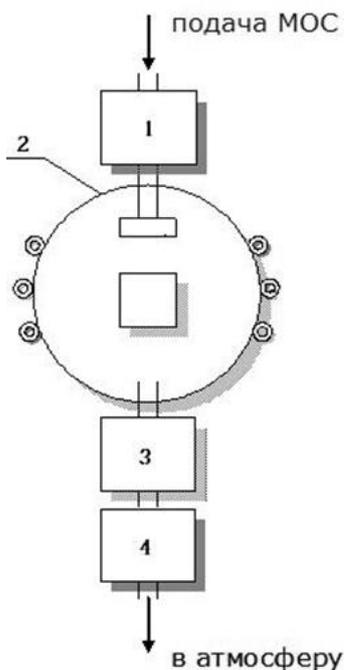


Рис. 1. Схема установки для осаждения ПКХП: 1 – испаритель, 2 – реакционная камера, 3 – азотная ловушка, 4 – насос

Процесс нанесения пиролитического карбидохромового покрытия осуществляется следующим образом: хроморганическая жидкость [11, 12] из ампулы подаётся капельницей через питатель в испаритель, располагаемый в реакционной камере над нагретым изделием. Попадая в испаритель, хроморганическая жидкость переходит в парообразное состояние. Проходя вблизи разогретой до температуры разложения Бархоса поверхности изделия, расположенного на держателе, пары металлоорганического соединения разлагаются на твёрдую фазу карбида хрома и газообразные продукты распада. Карбид хрома осаждается на поверхности изделия, а продукты распада (смесь бензола и этилбензола) удаляются насосом через постоянно включенную азотную ловушку. В ней конденсируются жидкие продукты распада (ароматические углеводороды), которые в дальнейшем попадают в сливную ёмкость; газообразные – уходят в атмосферу. Процесс осаждения пиролитического карбидохромового

покрытия проводят при постоянной работе вакуумных насосов.

Металлографические исследования.

Толщину покрытия оценивали на поперечном шлифе с помощью компьютерного анализа изображения. Микротвёрдость полученного покрытия измеряли вдавливанием алмазной пирамидки под нагрузкой 1,96 Н с последующей оценкой диагонали отпечатка. Результаты измерения микротвёрдости покрытия приведены в табл. 1. По результатам исследования установлено, что среднее значение микротвёрдости пиролитического карбидохромового покрытия составляет 15,7 ГПа на алюминиевом сплаве АЛ25; 16,6 ГПа на алюминиевом сплаве АЛ26.

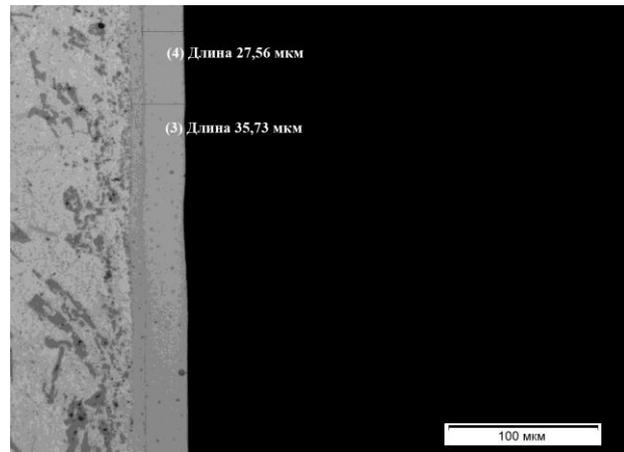


Рис. 2. Микрошлиф ПКХП на образце из алюминиевого сплава АЛ25

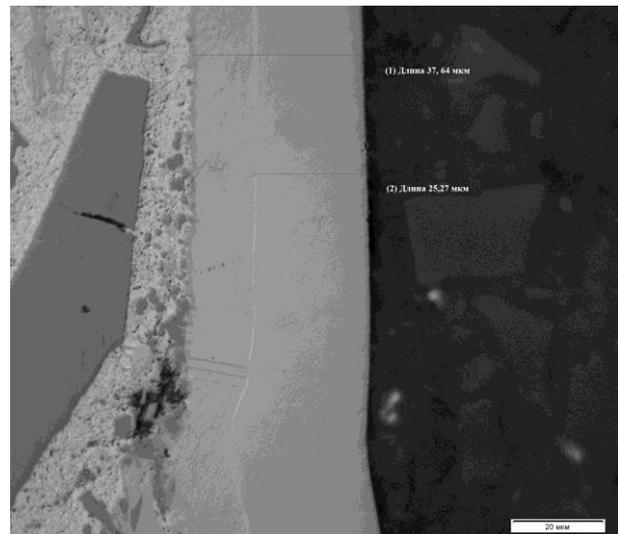


Рис. 3. Микрошлиф ПКХП на образце из алюминиевого сплава АЛ26

Измерение шероховатости. Шероховатость измеряли до и после нанесения покрытия профилометром Surfest SJ-210. Результаты замеров приведены в табл. 2. Как видно из таблицы, марка алюминиевого сплава не

оказывает влияния на шероховатость образца с покрытием. Установлено, что процесс осаждения пиролитического карбидохромового покрытия не изменяет шероховатость на образцах из алюминиевых сплавов АЛ25 и АЛ26, полностью повторяя исходный профиль покрываемой детали, что свидетельствует об отсутствии необходимости проведения операций шлифования и полировки после осаждения покрытия.

Таблица 1. Микротвёрдость ПКХП на образцах из алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния

№ п.п.	Марка материала подложки	Микротвёрдость, ГПа
1	АЛ25	15,5
2		16,1
3		14,4
4		16,7
5	АЛ26	13,8
6		16,9
7		17,5
8		18,2

Таблица 2. Шероховатость поверхности до и после осаждения ПКХП

№ п.п.	Марка материала подложки	Среднее значение шероховатости поверхности Ra, мкм	
		до покрытия	после покрытия
1	АЛ25	1,83	1,67
2		1,76	1,69
3		0,51	0,67
4		0,94	0,72
5		1,7	1,7
6		0,82	0,98
7		2,15	2,16
8	АЛ26	0,85	1,12
9		0,65	0,53
10		0,62	0,94
11		0,8	0,93
12		0,57	0,53
13		0,6	0,9
14		0,71	0,73

Оценка химической стойкости. Оценку химической стойкости образцов с ПКХП проводили весовым методом. Образцы с покрытиями взвешивали до и после травления в различных кислотах и щелочах. Выдержка составляла 24 ч. Результаты испытаний приведены в табл. 3. Из табл. 3 видно, что ПКХП не

реагирует с растворами щелочей, а также концентрированными и разбавленными кислотами. Согласно ГОСТ 13819, ПКХП принадлежит по отношению к щелочам и неорганическим кислотам к категории 4 (стойкие). Аналог (стандартное гальваническое хромовое покрытие) – относится к категории 4 (стойкие) для NaOH и HNO₃; к категории 3 (медленно растворяется) для H₂SO₄ и к категории 1 (разрушается) для HCl. Таким образом, по химической стойкости в растворе гидроксида натрия и азотной кислоте ПКХП соответствует аналогу, а в серной и соляной кислотах превосходит стандартное гальваническое хромовое покрытие.

Таблица 3. Изменение массы ПКХП после 24-часовой выдержки в растворах кислот и щелочей, мг

Травитель		ПКХП
соляная кислота	концентрированная	0,1-0,8
	разбавленная	0,2-1,9
серная кислота	концентрированная	0,2-0,6
	разбавленная	0,3-0,5
азотная кислота	концентрированная	0,1-0,6
	разбавленная	0,3-0,4
царская водка		0,4-0,6
едкий натр		0,2-0,3
едкий калий		0,1-0,3

Выводы: на базе Ульяновского научно-технологического центра ВИАМ планируется проведение работ по исследованию трибологических характеристик алюминиевых сплавов с пиролитическим карбидохромовым покрытием, потенциостатические исследования коррозионного взаимодействия «деталь-покрытие», а также изучение влияния процесса осаждения ПКХП на прочностные свойства покрываемого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стали / В кн. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди; Под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2012. С. 133-141.
2. Сетюков, О.А. Алюминиевый сплав 1201 в конструкции космического корабля «Буран» // Авиационные материалы и технологии. 2013. №S1. С. 15-18.
3. Каблов, Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10-15.
4. Каблов, Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3-4.
5. Смирнов, Д.П. Диффузионное сваривание разнородных сплавов на примере разработки новой конструкции детали типа «поршень» // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2011. С. 91-96.

6. Каблов, Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №5. С. 7-17.
7. Корнышева, И.С. Перспективы применения магниевых и литейных алюминиевых сплавов / И.С. Корнышева, Е.Ф. Волкова, Е.С. Гончаренко, И.Ю. Мухина // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №5. С. 212-222.
8. Каблов, Е.Н. Новый класс слоистых алюмополиэфиридных композитов на основе алюминий-литиевого сплава 1441 с пониженной плотностью / Е.Н. Каблов, В.В. Антипов, О.Г. Сенаторова, Н.Ф. Лукина // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Сер. «Машиностроение». 2011. № SP2. С. 174-183.
9. Панарин, А.В. Пиролитические карбидохромовые покрытия. Технология получения и свойства // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. №4. С. 14-18.
10. Панарин, А.В. Пиролитические карбидохромовые покрытия: получение, свойства и аппаратное обеспечение процесса // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. №2. С. 14-19.
11. Панарин, А.В. Алюминирование конструкционных сталей методом термического разложения металлоорганической жидкости / А.В. Панарин, В.А. Ильин // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №1. С. 20-24.
12. Композиционное покрытие для защиты поверхности стальных изделий от износа: пат. на полезную модель 97731 Рос. Федерация; опубл. 20.09.2010.

PYROLYTIC CHROMIUMCARBIDE COATING AS METHOD FOR HARDENING THE CAST ALUMINUM ALLOY WITH HIGH SILICON CONTENT

© 2015 I.I. Gafurov, A.V. Panarin

Ulyanovsk Science-Technology Center VIAM

In article it describes the method of producing chromiumcarbide coating by chemical vapor deposition. Results of metallographic researches, evaluating roughness and chemical resistance of the coating are presented.

Key words: *organometallic compound, chromiumcarbide coating, aluminum alloy*