

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Российский государственный университет инновационных технологий
и предпринимательства
ООО «ЛИТТ»

ИННОВАТИКА-2014

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**X Всероссийской школы-конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых с международным участием
23–25 апреля 2014 г.
г. Томск, Россия**

Под ред. проф. А.Н. Солдатова, доц. С.Л. Минькова

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2015

5. Маркетинговое исследование рынка термодревесины. Маркетинговые исследования. URL: www.techart.ru
6. Шамаев В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н. Модифицирование древесины. М. : ФЛИНТА, 2013. 448 с.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

В.С. Бауэр, Т.Ю. Малеткина, А.Н. Табаченко

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
e-mail: tatyana_malkina@inbox.ru*

ANALYSIS OF FORMATION ANTIFRICTIONAL COATINGS ON TITANIUM ALLOYS

V.S. Bauer, T.Yu. Maletkina, A.N. Tabachenko, E.F. Dudarev

National Research Tomsk State University

It is considered the ways of wear resistance increase for a titanic alloy surface. The perspective method of Ti-C-Mo-S antifrictional coating at low temperatures by magnetron dispersion on alloy samples in coarse-grained and nanostructured states is described. The increased durability of a covering-sample coupling in comparison with the traditional technologies is thus observed.

Keywords: ultrafine structure; tribological gradient-layered coatings; physical and mechanical properties of nanostructured coatings; ion-plasma methods.

Многие ответственные узлы и элементы используемых механизмов и конструкций летательных аппаратов в авиа- и судостроении эксплуатируются в условиях повышенных нагрузок. Однако возможности традиционно используемых методов механо-термической обработки металлических материалов для решения этой проблемы практически исчерпаны. С каждым годом предъявляются все более высокие требования к современным конструкционным материалам для аэрокосмической отрасли. Остро стоит проблема создания материалов нового поколения с высокой удельной прочностью, малым удельным весом, приемлемой пластично-

стью, низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью, отвечающих требованиям современного машиностроения. Одним из путей повышения физико-механических свойств металлических сплавов является создание ультрамелкозернистой структуры, неразрывно связанной с высокоэффективным триботехническим покрытием градиентно-композиционной структуры, способной к длительной эксплуатации в широком диапазоне нагрузочно-скоростных режимов. К таким перспективным конструкционным материалам относятся сплавы на основе титана, характеризующиеся необходимым комплексом свойств, обуславливающим их все более широкое применение.

Повышение прочностных свойств титановых сплавов возможно достичь за счет формирования ультрамелкозернистой структуры, в частности методом термосилового воздействия. Использование титановых сплавов в триботехнике сдерживается их высокой адгезионной активностью, обуславливающей высокий коэффициент трения в парах фрикционных сопряжений практически со всеми металлами и сплавами, высокую вероятность схватывания и заеданий и, соответственно, кратковременный ресурс работы.

Для повышения антифрикционных свойств титана и титановых сплавов обычно применяют поверхностное упрочнение с использованием различных способов химико-термической обработки (газового азотирования, термического оксидирования и др.). Одним из наиболее простых в техническом исполнении способов является азотирование поверхности изделий из титановых сплавов, заключающееся в нагреве поверхности изделия в среде азота концентрированным тепловым источником (электронной или плазменной струей). Результатом такой обработки поверхности является повышение износостойкости и коррозионной стойкости деталей из титановых сплавов. Однако недостатком данного способа является его низкая производительность вследствие значительного локального нагрева поверхности, приводящего к изменению структуры и свойств обрабатываемого материала. Кроме того, ограничена область применения обработанных таким образом сплавов по причине высокой твердости и хрупкости азотированной поверхности [1].

Более современным способом упрочнения титановых сплавов путем нанесения азота на поверхность изделия является предварительное наноструктурирование сплава с последующей ионно-лучевой обработкой азотом. По данным [2], такая обработка обеспечивает для титана снижение коэффициента трения примерно на 40% и увеличение износостойкости в 25–35 раз.

Наиболее распространенный способ повышения износостойкости и снижения коэффициента трения – термическое оксидирование, которое также реализуется в условиях нагрева титановых изделий в печах при температурах 700–800°C в течение 1–12 ч. Формирующийся при этом диффузионный слой имеет толщину 20–50 мкм с наружной зоной из рутила TiO₂. Однако нагрев отрицательно сказывается на прочностных свойствах титана и его сплавов, усиливает вероятность коробления и поводки изделий при обработке [3].

Известны способы нанесения на поверхность изделий из титана и его сплавов композиционных покрытий, содержащих карбиды, оксиды, MoS₂ [4,5]. Присутствие карбидов и оксидов хрома, алюминия, кремния позволяет значительно повысить твердость и износостойкость поверхности, а использование сульфида молибдена (MoS₂) в качестве твердой смазки обеспечивает снижение коэффициента трения. Данные способы включают несколько методов модифицирующей обработки поверхности и характеризуются низкой производительностью и сложностью технической реализации, использованием сложного оборудования.

Использование современного высокотехнологического оборудования, такого, например, как газовые плазмогенераторы, позволяет наносить композиционные покрытия различного состава в условиях вакуума или в среде определенного состава при низкой температуре и с высокой производительностью. Как один из наиболее интересных и эффективных способов нанесения антифрикционных покрытий при низких температурах можно отметить способ нанесения композиционного покрытия Ti – C – Mo – S магнетронным распылением [6]. Выбор компонентов покрытия обусловлен химическим средством распыляемых элементов с Ti и обеспечивает повышенную адгезию покрытия к подложке. Нанесение покрытия данным способом осуществляется распылением двух мишеней с помощью магнетронного разряда. Данный способ предполагает предварительную очистку и активацию поверхности изделия из титанового сплава путем бомбардировки ее ионами аргона. Последующее ионно-плазменное осаждение композиционного покрытия осуществляется путем распыления катода, содержащего карбид титана 45–55 мас. % и дисульфид молибдена, с приложением отрицательного потенциала на изделии при совмещении процесса осаждения с бомбардировкой поверхности ионами аргона с использованием газового плазмогенератора. При этом для распыления катода используют магнетронный метод.

Для повышения качества покрытия и постепенного изменения структуры и твердости покрытия его наносят в 2 слоя.

Исследования показали [7], что при использовании данного метода нанесения антифрикционных покрытий на образцы сплавов ВТ14 в крупнозернистом и ВТ6 в наноструктурированном состояниях наблюдаются повышенная прочность сцепления покрытия с подложкой по сравнению с покрытиями, полученными по традиционной технологии и лучшие физико-механические характеристики. Так магнетронно-плазменное нанесение покрытия Ti – C – Mo – S позволило снизить коэффициент трения титановых сплавов ВТ14 и ВТ6 в 9,5 и 7,9 раз соответственно [7]. При этом наноструктура подложки не только повышает механические характеристики, но и уменьшает период приработки поверхностей в паре трения. Исследования износа в паре трения с закаленной до HRC 63 сталью ШХ15 по стандартной методике показало уменьшение интенсивности изнашивания исследованных титановых сплавов с нанесенным покрытием в 600–1 300 раз по сравнению со сплавами в исходном состоянии.

Таким образом, современные способы нанесения антифрикционных покрытий с использованием газовых плазмагенераторов позволяют не только повысить производительность технологического процесса и формировать одновременно сложное композиционное покрытие, но и в зависимости от состава покрытия и подложки повышать значительно физико-механические характеристики и долговечность покрытия на титановых сплавах.

Литература

1. Пат. 2427666. Российская Федерация, МПК⁷ C22F 1/18, C23C 8/36. Способ упрочнения поверхности изделий из титановых сплавов; опубл. 27.08.2011 Бюл. № 24.
2. Шаркеев Ю.П., Кукареко В.А., Легостаева Е.В., Белый А.В. // Известия вузов. Физика. 2010. Т. 53, № 10. С. 63–68.
3. Гордиенко П.С., Гнеденков С.В. Микродуговое оксидирование титана и его сплавов. Владивосток : Дальнаука, 1997. 176 с.
4. Пат. 2068032. Российская Федерация, МПК⁷ C23C28/00. Способ нанесения противозносостойкого покрытия на изделия из титана и его сплавов и изделие, выполненное из титана и его сплавов; опубл. 20.10.1996. Бюл. № 17.
5. Patent CN101654771A, МПК⁷ C23C14/35, Magnetron Sputtering antifriction MoS₂/C/Ti composite film method; Publication data Feb 24, 2010.
6. Пат. 2502828. Российская Федерация, МПК⁷ C23C14/34, C23C14/02. Способ нанесения антифрикционного износостойкого покрытия на титановые сплавы; опубл. 27.12.2013.
7. Савостиков В.М., Потекаев А.И., Табаченко А.Н., Дударев Е.Ф., Шулепов И.А. // Известия вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 9. С. 71–77.