

Исследование влияния ультразвука на процесс химического травления алюминия

А.Н. Ливанский,* Р.И. Нигметзянов, А.С. Чендаров

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
кафедра «Технология конструкционных материалов»,
лаборатория электрофизических методов обработки,
Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64
(Статья поступила 06.11.2014; Подписана в печать)*

Основной из задач стоящих перед машиностроительной отраслью является снижение массы и удельной материалоемкости изделий. Основным способом достижения данной цели является производство деталей и узлов из алюминия. Однако промышленное применение алюминия ограничено вследствие его низких прочностных характеристик и низкой износостойкости. Анализ существующих проблем в данной области, а также результаты исследования ультразвукового воздействия на различные процессы обработки металлов показали, что в настоящее время основным способом повышения свойств деталей из алюминия является изменение свойств поверхностного слоя деталей путем травления. Работа описываемая в этой статье направлена на изучение перспектив применения ультразвука для повышения эффективности химической обработки алюминия.

PACS: 62.30.+d

УДК: 534-8

Ключевые слова: травление, ультразвуковая обработка.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянное развитие техники повышает требования к качеству изготавливаемых и восстанавливаемых деталей из-за увеличения нагрузки, работы техники условиях более агрессивной окружающей среды и работ в знакопеременных температурных интервалах. Так как в совокупности эти факторы оказывают разрушающее воздействие на поверхности оборудования дорожно-строительной и транспортной техники и приводят к коррозии и образованию концентраторов напряжений (как следствие — это истончение металла, трещины на микро- и макроуровнях, нарушение геометрии детали и её геометрической неизменяемости), возникает необходимость в улучшении качества узлов в целом и отдельных деталей в частности. Одним из способов такого улучшения является увеличение прочностных и геометрических (шероховатость) характеристик поверхностного слоя деталей. Обеспечение таких характеристик может быть достигнуто только использованием окончательных и финишных методов обработки. Состояние поверхностного слоя материала в дальнейшем определяет долговечность и надежность элементов узла и механизма в целом.

В качестве одного из исследуемых материалов выбран алюминий, а также его сплавы. Выбор в качестве объекта исследований алюминия обусловлен тем, что ценность любого металла определяется тремя характеристиками: его прочностью, его объемным весом и его стойкостью к атмосферным условиям (антикоррозийной устойчивостью). Алюминий обладает такими характеристиками, какими до него не обладал ни один из известных момент его открытия металлов. При очень

малом для металлов объемном весе алюминий показал довольно высокие эксплуатационные характеристики в тоже время обладая хорошей пластичностью, что позволяло довольно легко придавать ему любые формы. И, кроме всего прочего, он оказался не только устойчивым к коррозии, но и показал высокую устойчивость вообще к агрессивным средам.

В настоящее время алюминий и его сплавы получили широкое распространение практически во всех сферах промышленности и их область их применения постоянно расширяется. Основная доля этого металла идет на строительство: сегодня ни один небоскреб, ни одно здание не обходится без алюминиевых конструкций, которые выполняют самые разные функции, даже несущие, легкие металлические конструкции используются при возведении многих промышленных цехов, ангаров, складских помещений и большепролетных сооружений, основная область применения алюминия в строительстве это различные виды профиля в первую очередь витринного или оконного профиля, так как технология выдавливания, позволяет получить любую форму прутка. Широкое применение алюминий находит в машиностроении. В первую очередь при производстве деталей двигателя, например поршней (рис. 1).

На рис. 1 представлен поршень из алюминия обладающий повышенной износостойкостью. Сплав РС9 содержит высокий процент вольфрама, что сокращает трение и изнашивание поршней, а также является проводником и рассеивает высокую температуру вокруг поршня. Это определяет его использование в технике, отличающейся высоким износом механизмов.

Большое значение замена черных металлов более легкими цветными, в частности алюминием и его сплавами имеет для снижения удельной материалоемкости изделий. Хотя алюминий и дороже стали, однако экономия по массе при его использовании достигает 60 %.

*E-mail: alex-lefmo@yandex.ru



Рис. 1: Алюминиевый поршень, покрытый сплавом РС 9

Поэтому алюминиевые конструкции могут быть дешевле стальных. Кроме снижения материалоемкости большое значение имеет уменьшение трудоемкости изготовления деталей из алюминиевых сплавов, так как обрабатывать и монтировать их намного легче стальных.

Разработка методов улучшения свойств поверхностного слоя деталей изготовленных из алюминия невозможна без анализа требований предъявляемых ним и условий их работы. Также важным фактором является оценка свойств самой поверхности алюминия перед ее дополнительной обработкой. Требования предъявляемые у деталям во многом определяются характером работы и как следствие их износа.

1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЯ

Естественный износ включает различные явления (трещинообразование, разгар, истирание, смятие) и различают три его стадии: приработки; установившегося износа; прогрессирующего износа, которая сопровождается появлением борозд, выкрашиванием более крупных, чем обычно, частиц металла, углублением и расширением отдельных трещин.

Износ определяют следующие факторы:

1. Образование трещин. Многократно повторяющиеся напряжения ниже предела текучести приводят к сетке разгара. Опасные растягивающие напряжения появляются при охлаждении детали, поэтому высокий нагрев её недопустим. Для повышения разгаростойкости необходимо снижать максимальные тепловые напряжения, которые возникают в первый момент охлаждения;
2. Истирание. Истирание прогрессирует при появлении сетки разгарных трещин;
3. Деформация (смятие). Под влиянием местного разогрева и больших давлений материал детали в отдельных местах подвергается оплыванию,

смятию и другим деформациям, ведущим к искажению формы полости.

Однако расширению сферы практического использования алюминиевых сплавов для изготовления корпусных деталей и разнообразных пар трения препятствует несоответствие высоким технологическим требованиям таких его эксплуатационных характеристик, как недостаточная твердость и низкая износостойкость. Устранение этих недостатков связано с улучшением состава и качества поверхностных слоев изделий, а также с возможностью применения современных методов поверхностной обработки алюминия (рис. 2).



Рис. 2: Образцы алюминиевых прутков подвергнутых различной обработке

В настоящее время существует три способа повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик используемых в промышленности материалов:

1. разработка новых высокопрочных сплавов;
2. поверхностное легирование используемых в промышленности сплавов.

Этот способ позволяет использовать более дешевые малолегированные сплавы, а на поверхности получать за счет легирования требуемый комплекс физико-механических свойств. Поверхностное легирование можно проводить как через жидкую фазу, используя для этого, например, лазерный нагрев до оплавления, что вполне приемлемо для алюминиевого сплава, а также через твердую фазу — диффузионной хромирования, силицирование, борирование, цементация и другие методы химико-термической обработки. Однако, эти методы для алюминиевого сплава неприемлемы, так как они проводятся при температурах значительно выше температуры плавления алюминия; 3) нанесение на сплавы специальных износостойких, коррозионно-стойких и декоративных металлических покрытий, таких как гальванические, детонационные, газофазные из металлоорганических соединений и др.

Лазерная поверхностная обработка материалов [1] характеризуется рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами обработки, а именно: высокой производительностью труда, минимальными затратами энергии, возможностью локального упрочнения деталей. Бесконтактность обработки обеспечивает простоту автоматизации процесса упрочнения деталей сложной формы в труднодоступных местах поверхности.

Еще одним способом физико-химической обработки поверхностей алюминиевых деталей является химическая гравировка [2]. Химическая гравировка может быть применена для размерной обработки: уменьшения толщины металлических стенок деталей, увеличения диаметра отверстий или уменьшения диаметра стержней, болтов и штифтов.

Поверхность алюминия требует предварительной подготовки перед травлением. В качестве основных способов подготовки выступают: полировка, промывка водой с последующей сушкой.

Классификация способов травления алюминия представлена на рис. 3.

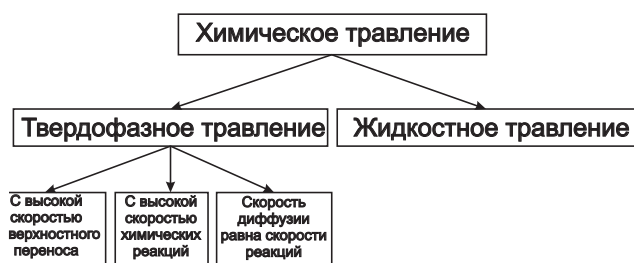


Рис. 3: Классификация основных способов травления алюминия

При твердофазном травлении в качестве используют кремний и его оксиды, нитриды и другие металлы. Алюминий в данном случае используется для межсоединений внутри кристалла, вместо чистого алюминия могут быть использованы его сплавы с кремнием и медью. Однако в качестве основного материала на первом уровне металлизации выступает алюминий. Слои оксидов кремния можно выращивать термически, наносить химическим способом или распылением, можно также легировать их фосфором или бором. Металлы используются в виде чистых или пассивированных пленок, сплавов, многослойных структур и интерметаллидов.

Другим типом травления является жидкостное травление металлов. Для него характерно возникновение значительного количества электрохимических процессов. Следует отметить, что на поверхности алюминиевых деталей присутствует естественный слой окисла.

Жидкостное травление алюминия отличается тем, что изделия подвергнутые такому типу травления имеют характерных уход краев на 1–2 мкм. Аналогичная величина погрешности характеризует расхождение в размерах партии изделий.

Значительное влияние на процесс жидкостного трав-

ления оказывает электрохимический потенциал на поверхности металла. Так для алюминия характерно, что при травлении его в щелочной среде при отсутствии других металлов и в их присутствии (что приводит к изменению потенциала на поверхности) время травления отличается в 7 раз, также при этом травлению подвергается и нижележащий слоя металла.

2. ТРАВЛЕНИЕ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

В ряде работ [3] на примере сталей показано, что при травлении сталей в ультразвуковом поле возникает ряд специфических процессов. В первую очередь это относится к изменению поверхностного потенциала. Так при классическом травлении стали в агрессивной среде, поверхностный потенциал стали отрицательный и он обеспечивает наводороживание поверхностных слоев стали. При этом при травлении с ультразвуком наводороживание не происходит. Это связано с тем, что в агрессивной среде под воздействием ультразвука на поверхности возникает положительные потенциал. В ряде работ [9] это связывают с электрическими процессами, имеющими место при ультразвуковой кавитации.

Электрические процессы возникают в кавитационной полости на первоначальной стадии ее образования и развития, для которой характерным является возникновение больших электрических напряжений. Наличие больших электрических напряжений вызывает электрический пробой кавитационной полости. Таким образом в первоначальной стадии образования полости в происходит постоянное движение электрических зарядов.

Если при разрыве сплошности среды в местах разрыва образуется не сферическая, а «чечевице» или линзообразная, то ионы, находившиеся в полости жидкости, где образовалась линза, должны быть распределены по стенкам линзы. При этом наиболее вероятное распределение в линзе. Когда ионы одного знака располагаются на одной стороне полости, а другого на противоположной. Такое расположение ионов обеспечивает возникновение в образовавшейся полости электрического поля, таким образом данную полость можно рассматривать как плоско параллельный конденсатор.

Согласно ряду работ одним из результатов возникновения электрического поля является эффект сонолюминисценции — свечения озвучиваемой жидкости в результате электрического пробоя в кавитационной полости.

В условиях электрического разряда в кавитационной полости должны возникнуть частицы большой энергии: ионизированные и возбужденные молекулы и ионы, свободные радикалы и т. д. В дальнейшем в полости возникают эффекты относящиеся к области радиационной химии, которая рассматривает механизмы прямого действия ионизирующих излучений.

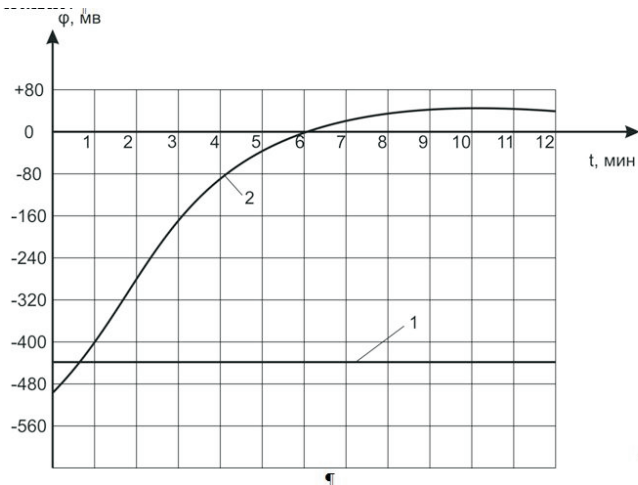


Рис. 4: Зависимость потенциала стального образца от времени выдержки в травильном растворе: 1 — химическое травление в растворе 10% HCl, 5% NaCl; 2 — ультразвуковое травление в рабочем растворе

Следовательно, намечается сходство между ультразвуком и излучениями большой энергии. В случае облучения водных растворов ионизирующей радиацией действие последней направленно преимущественно на молекулы воды, находящиеся в жидкой фазе. При воздействии же ультразвуковыми волнами на водные растворы ионизация молекул воды осуществляется в газовой фазе, то есть в кавитационных полостях. Продукты расщепления ионизированных частиц воды непосредственно в кавитационной полости взаимодействуют между собой, или с газообразными веществами,

диффундирующими в нее. При этом в поле ультразвука протекают разнообразные химические процессы. К ним относятся явления окисления, восстановления распада и синтеза неорганических и органических веществ, полимеризация и деполимеризация и внутримолекулярные перегруппировки.

Описанные химические процессы в случае с травлением стали приводят к изменению её потенциала. Как известно сталь в кислой среде имеют равновесный отрицательный потенциал. При воздействии ультразвука и ультразвуковой кавитации на стальной образец, находящийся в сильно агрессивной среде, отрицательный поверхностный потенциал его изменялся во времени в положительную сторону (рис. 4). Поверхность образца по достижении определенного времени становилась заряженной положительно.

При этом опыт ряда исследователей показал, что деполяризующий эффект ультразвука не зависит от материала обрабатываемой детали. Кроме того при неименной интенсивности ультразвука максимальный деполяризующий эффект наблюдается при непрерывном режиме озвучивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный механизм изменения поверхностного потенциала стали в агрессивной среде под воздействием ультразвука, может быть реализован для деталей из алюминия и его сплавов. Таким образом, ультразвук может быть использован для интенсификации процессов электрофизикохимической обработки алюминия.

[1] Александров В.Д. Поверхностное упрочнение алюминиевых сплавов. Автореферат дис. док. техн. наук. (М.: МАДИ, 2002). 31 с.

[2] http://text.tr200.biz/referat_nauka_i_tehnika/

[3] Шибашов А.В. Интенсификация процессов пероксидно-

го беления целлюлозосодержащих тканей ультразвуковыми полями. Автореферат дис. канд. техн. наук. (Иваново: ИГХТУ, 2010). 20 с.

Investigation of the effect of ultrasound on chemical etching of aluminum

A. N. Livanskiy^a, R. I. Nigmatzyanov, A. S. Chendarov

The Moscow state automobile & road technical university

E-mail: ^aalex-lefmo@yandex.ru

The main tasks of facing the engineering industry is to reduce the weight and material-specific products. The main way to achieve this goal is the production of parts and components made of aluminum. However, the industrial application of the aluminum is limited due to its low strength characteristics and low durability. The analysis of the existing problems in this area, as well as the results of research on the effects of various ultrasonic processes of metal showed that currently the main way to improve the properties of aluminum parts is to change the properties of the surface layer by etching parts. Work described in this paper aims to explore the prospects for the application of ultrasound to enhance the effectiveness of chemical treatment of aluminum.

PACS: 62.30.+d

Keywords: etching, ultrasonic treatment.

Received 06.11.2014.

Сведения об авторах

1. Ливанский Алексей Николаевич — ассистент кафедры «Технология конструкционных материалов»; тел. 8-499-155-08-68.
2. Нигметзянов Равиль Исламович — канд. тех. наук, доцент кафедры «Технология конструкционных материалов»; тел. 8-499-155-08-68, e-mail: lefmo@yandex.ru.
3. Чендаров Александр Сергеевич — лаборант кафедры «Технология конструкционных материалов»; тел. 8-499-155-08-68.