

Г.В. Иванова¹, В.А. Яхимович^{2,3}, Е.О. Куома¹, Г.В. Цветкова¹, Е.А. Тарасенко¹,
Гу Хан¹

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

²НТК «Новые технологии и материалы»,
Санкт-Петербург, Россия, galuga@yandex.ru

³Институт проблем машиноведения российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ И АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация

В данной работе представлены результаты исследования влияния послойного удаления материала на шероховатость и смачиваемость поверхности алюминиевого сплава АД31. Использовался многокомпонентный травитель на основе фосфорной, уксусной и азотной кислот. Установлено, что время травления (2–15 минут) существенно влияет на микрорельеф поверхности: при 5–10 минутах достигается шероховатость $Ra = 0,674–2,201$ мкм, а при 15 минутах $Ra = 2,649$ и формируется супергидрофобная поверхность ($\theta = 120^\circ$). Реологические исследования показали зависимость краевого угла смачивания от степени травления, что важно для применения в адгезионных покрытиях. Результаты подтверждены профилограммами и измерениями угла смачивания.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, химическое травление, шероховатость, смачиваемость, супергидрофобность, профилограмма.

Введение

Контроль шероховатости и смачиваемости поверхности алюминиевых сплавов является критически важным для их применения в авиационной, автомобильной и строительной отраслях. Например, в авиации снижение шероховатости улучшает аэродинамические характеристики, а в строительстве — повышает адгезию лакокрасочных покрытий.

Данное исследование посвящено изучению влияния послойного химического травления на микрорельеф и гидрофобные свойства сплава АД31. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки методов управления смачиваемостью для:

- Анतिकоррозионных покрытий — снижение угла смачивания улучшает адгезию защитных слоев.
- Антиобледенительных систем — супергидрофобные поверхности ($\theta > 120$) препятствуют образованию льда.
- Микрофлюидных устройств — контроль смачиваемости важен для управления жидкостями в микроканалах.

Использование послойного удаления материала позволяет точно регулировать топографию поверхности, что подтверждается профилограммами и измерениями краевого угла.

Методы и материалы

Материалы и состав травителя

В качестве объекта исследования использовался алюминиевый сплав АД31. Для модификации поверхности применялся травитель следующего состава (объемные доли):

	Состав травителя	Химическая формула	Пропорции
1.	Концентрированная фосфорная кислота	H_3PO_4	76%
2.	Уксусная кислота	CH_3COOH	15%
3.	Азотная кислота	HNO_3	3%
4.	Вода	H_2O	6%

Данный состав основан на стандартных методиках травления алюминия, описанных в технической литературе и нормативных документах, таких как ГОСТ 9.021-74 «Единая система защиты от коррозии и старения. Алюминий и алюминиевые сплавы. Методы травления» [1] и ГОСТ 9.305-84 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий» [2].

Процесс травления

Травление проводилось при температуре 50–60 С с постоянным контролем параметров для обеспечения равномерного удаления материала. Механизм процесса включает:

1. Окисление алюминия азотной кислотой с образованием оксидной пленки.
2. Растворение оксидного слоя фосфорной кислотой, что обеспечивает послойное удаление материала.

Режимы обработки

Образцы подвергались травлению в течение:

- 2 минуты
- 5 минут
- 10 минут
- 15 минут

При времени воздействия более 15 минут наблюдалось интенсивное отделение хлопьев алюминия, что свидетельствует о переходе в режим перетравливания.

Реологические исследования и измерение краевого угла смачивания

Для оценки влияния шероховатости на смачиваемость были проведены реологические исследования, включая измерение краевого угла смачивания (θ) дистиллированной водой [3]. Получены следующие значения:

- Образец 1 (2 мин травления): $\theta = 96^\circ$
- Образец 2 (5 мин травления): $\theta = 68^\circ$
- Образец 3 (10 мин травления): $\theta = 72^\circ$
- Образец 4 (15 мин травления): $\theta = 120^\circ$

Результаты и обсуждение

Послойное удаление материала при травлении приводит к формированию иерархической микро- и нанощероховатости (рис.1), что напрямую влияет на смачиваемость.

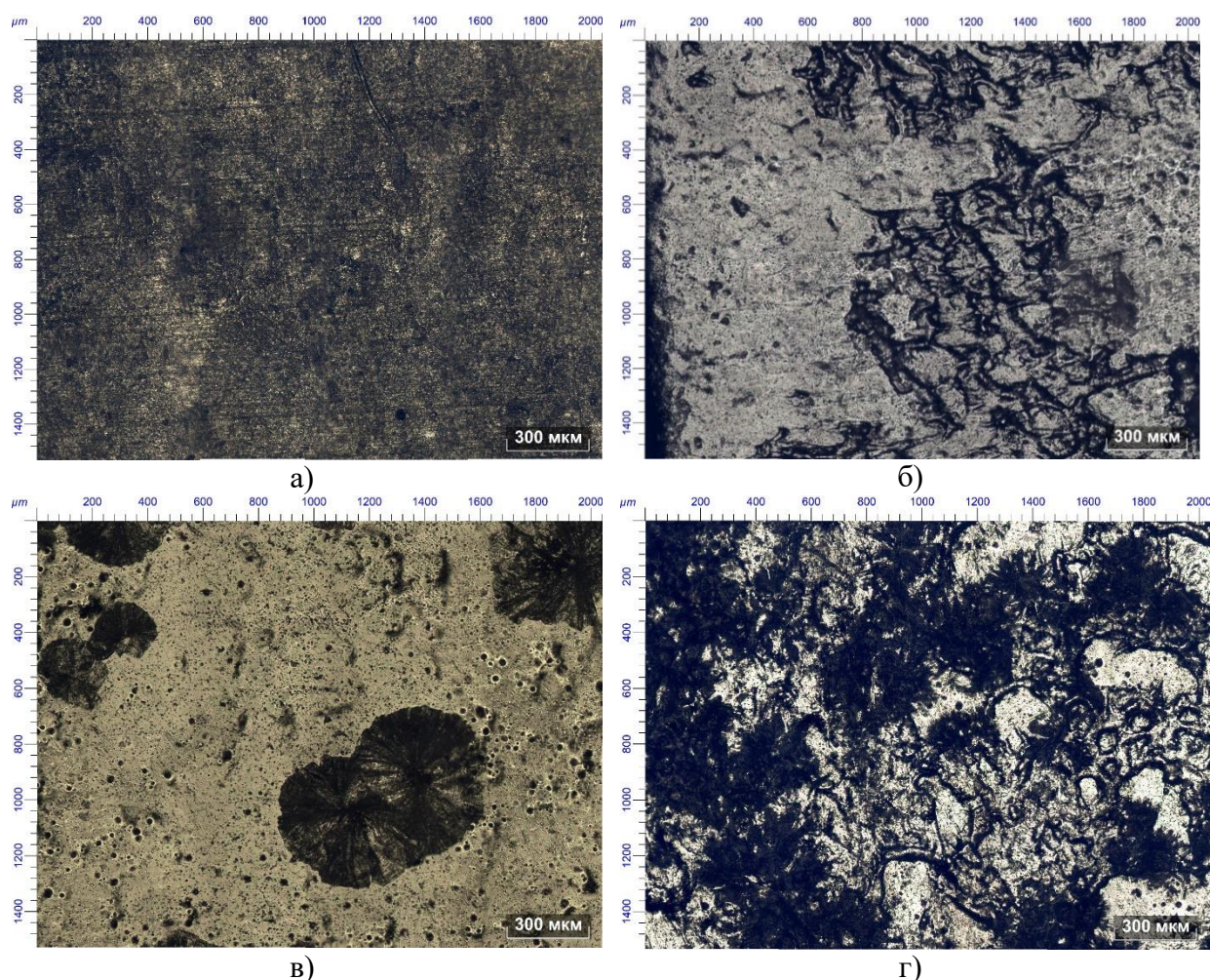


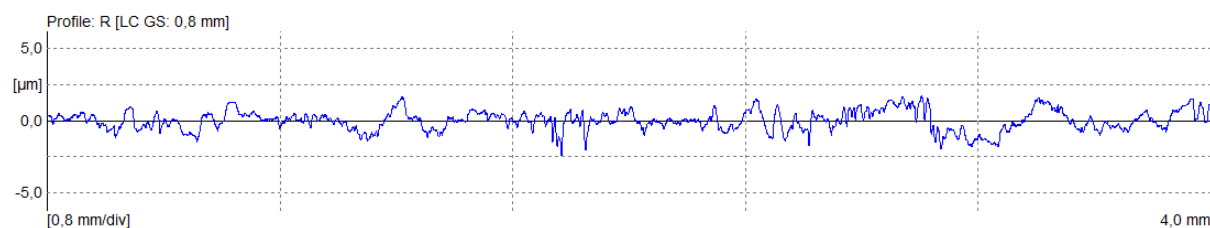
Рисунок 1 - Поверхность образцов после травления: а) 2 минуты, б) 5 минут, в) 10 минут, г) 15 мин.

1. Короткое время травления (2 мин)
 - Поверхность сохраняет относительно гладкую структуру ($R_a = 0,542$ мкм).
 - Умеренная гидрофобность ($\theta = 96^\circ$) обусловлена слабо выраженными неровностями, недостаточными для эффекта Лотоса.
2. Оптимальное время (5–10 мин)
 - Формируются равномерные микропоры ($R_a = 0,674\text{--}2,201$ мкм), что снижает угол смачивания ($\theta = 68\text{--}72^\circ$).
 - Такая поверхность идеальна для адгезионных покрытий, так как обеспечивает хорошую смачиваемость без перетравливания.
3. Длительное травление (15 мин)
 - Агрессивное растворение создает глубокие поры ($R_a = 2,649$ мкм, $R_z = 16,994$ мкм).
 - Воздух в порах формирует супергидрофобную поверхность ($\theta = 120^\circ$) по механизму Касси-Бакстера [4,5].

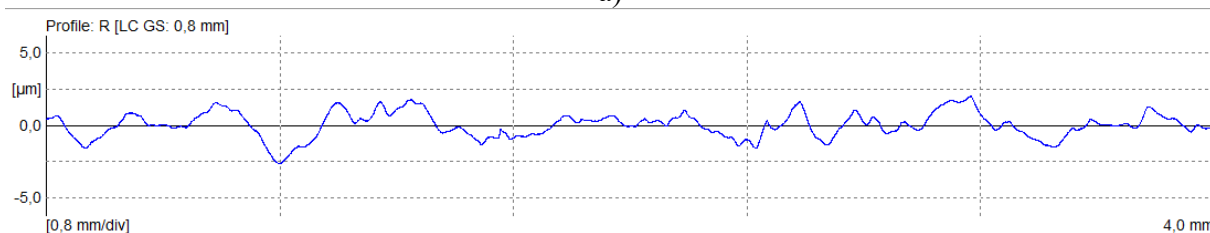
Профилограммы (Рис.2 а-г) наглядно демонстрируют эволюцию рельефа: от почти гладкого (2 мин) до выраженно-шероховатого (15 мин). Корреляция между параметрами R_a/R_z и углом θ подтверждает, что управление временем травления позволяет целенаправленно менять функциональные свойства поверхности.

Таблица 1. Результаты образцов после химического травления

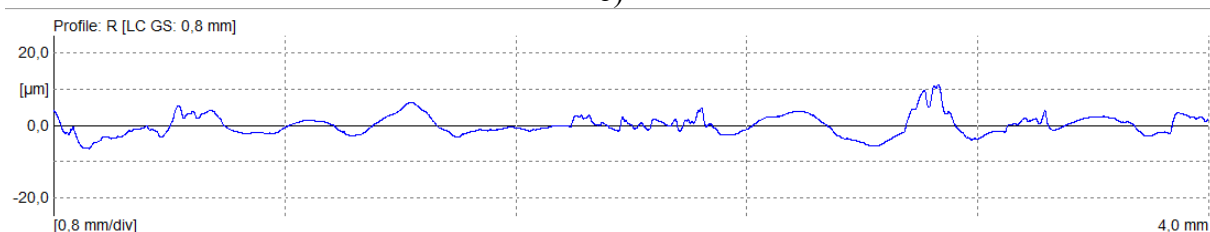
	1 образец (2 минуты)	2 образец (5 минут)	3 образец (10 минут)	4 образец (15 минут)
Ra, мкм	0,542	0,674	2,201	2,649
Rz, мкм	3,281	3,524	10,721	16,994



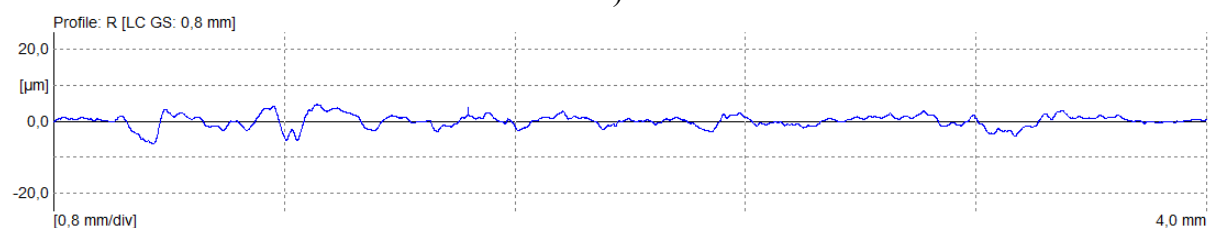
а)



б)



в)



г)

Рисунок-2. Профилограммы образцов после химического травления: а) 2 минуты, б) 5 минут, в) 10 минут, г) 15 мин.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили, что:

1. Время послойного удаления материала существенно влияет на шероховатость и смачиваемость алюминия АД31.
2. Режимы травления продолжительностью 5–10 минут при температуре 50–60 °С способствуют формированию поверхности с улучшенными адгезионными качествами при сохранении высокой коррозионной стойкости.
3. Длительное травление (время 15 мин) приводит к формированию супергидрофобной поверхности, что может быть полезно для антиобледенительных покрытий.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение комбинированных методов обработки (например, травление + анодирование) для расширения функциональных возможностей материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9.021-74 – Методы травления алюминиевых сплавов.
2. ГОСТ 9.305-84. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Операции технологических процессов получения покрытий.
3. ASTM D7334-08 Стандартная практика определения смачиваемости поверхности покрытий, подложек и пигментов путем улучшения измерения угла смачивания.
4. A.B.D. Cassie and S. Baxter. Large contact angles of plant and animal surfaces [8]. *Nature*, 155(3923):21–22, 1945
5. S. Baxter and A.B.D. Cassie. The water repellency of fabrics and a new water repellency test. *J. Text. Inst.*, 36:T67, 1945.

G.V. Ivanova¹, V.A. Yakhimovich^{2,3}, E.O. Kuoma¹, G.V. Tsvetkova¹, E.A. Tarasenko¹,
Gu Hang¹

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

²STC "New Technologies and Materials",

St. Petersburg, Russia, galura@yandex.ru

³Institute for Problems of Mechanical Engineering, Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russia

STUDY OF SURFACE MICROGEOMETRY AND ADHESION PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS

Abstract

This paper presents the results of a study of the effect of layer-by-layer material removal on the surface roughness and wettability of AD31 aluminum alloy. A multicomponent etchant based on phosphoric, acetic and nitric acids was used. It was found that the etching time (2–15 minutes) significantly affects the surface microrelief: at 5–10 minutes, the roughness $R_a = 0.674$ – $2.201 \mu\text{m}$ is achieved, and at 15 minutes, $R_a = 2.649$ and a superhydrophobic surface is formed ($\theta = 120^\circ$). Rheological studies showed the dependence of the contact angle on the degree of etching, which is important for use in adhesive coatings. The results are confirmed by profilograms and measurements of the wetting angle.

Keywords: aluminum alloy, chemical etching, roughness, wettability, superhydrophobicity, profilogram.