

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

## Методи захисту та оздоблення алюмінієвих профілів

---

Проведено огляд науково-технічної інформації щодо способів нанесення спеціального захисного покриття на алюмінієві профілі для підвищення їх властивостей та покращення товарного вигляду виробів, що використовуються в якості декору. Найбільш поширеними серед них є: анодування (анодне оксидування), фарбування, забарвлення, лазерне оброблення, хімічне травлення, електрополірування тощо. Показано, що майже всі методи обробки починаються з проведення спеціальної підготовки поверхні профілів: знежирення, промивання, травлення та освітлення (деоксидація). Анодування — електрохімічний процес, при якому на поверхні алюмінію формується міцна пориста оксидна плівка, що забезпечує більш надійний захист поверхні порівняно з природною оксидною плівкою. Цей процес дозволяє покращити зовнішній вигляд алюмінієвого профілю, підвищує корозійну стійкість профілів, надає поверхневному шару зносостійкості, а також тепло- та електроізоляційні властивості, збільшує міцність зчеплення з поверхнею виробу лакофарбового покриття. Анодований алюміній легко піддається очищенню та витримує короткочасний вплив таких температур, за яких чистий алюміній плавиться. Описано технології анодування, що використовуються для досягнення необхідного кольору покриття. Фарбування є процесом нанесення рідкого або порошкового органічного покриття на поверхню профілю, яке повинно чинити опір впливу сонячного світла, вологи, агресивних середовищ, змін температури та фізичних ушкоджень. Порошкові покриття мають практично такі ж експлуатаційні характеристики, що і рідкі з того ж матеріалу, проте вартість їх нижча. Вони наносяться електростатичним способом. Інгредієнтами порошку є сполучні речовини (смоли та полімер), органічні та неорганічні пігменти для забезпечення кольору покриття, присадки, що покращують технологічні властивості порошку. Найчастіше для алюмінієвих профілів, що піддаються порошковому фарбуванню, застосовується процес хроматації — нанесення конверсійного покриття. Хроматний шар покращує адгезію між поверхнею профілю та покриттям, підвищує корозійну стійкість пофарбованого профілю. Товсте хроматне покриття має хороший опір корозії, але меншу адгезію порівняно з тоншим шаром. Використовують «жовте» та «зелене» хроматування, які, перш за все, відрізняються складом, кількістю компонентів і часом оброблення. Розглянуто технологічні особливості нанесення порошкового покриття. Абразивне очищення використовується як самостійний спосіб надання особливого вигляду поверхні профілю, а також для підготовки поверхні перед анодуванням або фарбуванням. Абразивне очищення проводиться шляхом обдування поверхні профілю високошвидкісним потоком сухих металевих або неметалевих частинок, в якості яких, як правило, використовується промитий кварцовий пісок або оксид алюмінію. Цей вид оброблення може застосовуватися перед фарбуванням не тільки для очищення, але й для одержання матової текстури. Обробка лазером дозволяє виготовляти вироби без шорсткості та зазубрин, підвищити корозійну стійкість, зносостійкість і міцність алюмінієвих профілів за рахунок поверхневого легування хромом, нікелем, дисіліцидом ніобію тощо. Насичення поверхневих шарів сплаву легувальними елементами відбувається в результаті дифузії і масопереносу в рідкій фазі при можливому конвективному або чисто механічному перемішуванні розплаву в зоні дії лазерного випромінювання. Хімічне полірування здійснюється в розчинах кислот. Малі концентрації важких металів у розчині посилюють поліруючий ефект, особливо при обробці сплавів з незначним вмістом міді. Зазвичай у ваннах використовується повітряне перемішування, хоча кращим є механічний спосіб. Занадто інтенсивне перемішування може призвести до смугастості та пітингу металу профілю. Технологічний процес електрополірування включає попередню обробку (очищення, промивання) і, власне, електрополірування. Профіль поміщають у ванну, через яку проходить постійний струм, де він виконує роль аноду. Цей вид оброблення застосовується як самостійна операція, так і в технологічних процесах поверхневої обробки, що включають анодування. Типові режими електрополірування суттєво залежать від хімічного складу алюмінію та його сплавів. Патентні дослідження, проведені авторами даної роботи, показали, що незважаючи на різноманітність способів поверхневої обробки, досягнення блискучої поверхні профілів є складною технічною задачею, вирішення якої значною мірою залежить від хімічного складу алюмінієвого сплаву.

**Ключові слова:** алюмінієві профілі, захисне покриття, знежирення, промивання, травлення, освітлення, анодування, фарбування, абразивне очищення, лазерна обробка, хімічне та електричне полірування.

**Вступ.** Пресовані алюмінієві профілі найчастіше застосовуються без спеціального захисного покриття. При контакті з повітрям алюміній утворює тонку прозору оксидну плівку, яка природно захищає поверхню. Однак цей оксид не є стабільним у середовищах з низьким рН. При необхідності додаткового захисту поверхні профілів від корозії або за умови підвищених естетичних вимогах до виробу, надання їм товарного вигляду, використовується декілька методів її остаточної обробки. Серед них: анодування (анодне оксидування), фарбування, забарвлення, травлення, електрополірування та інші [1], які, разом зі способами підготовки поверхні профілів, детально розглянуто в даній статті.

**Підготовка поверхні профілів.** Практично всі методи обробки починаються з попередньої підготовки профілів: розміщення їх на стелажах та спеціальної підготовки поверхні — знежирення, промивання, травлення та освітлення (деоксидація).

**Знежирення** — видалення з поверхні профілів олії, мастила та інших забруднень. Для цього найчастіше використовується лужний знежирювач із добавками інгібіторів. Кислотність розчину рН — від 9 до 11. Температура, за якої проводиться знежирення, — 60–80 °С.

**Промивання** (один або кілька етапів) зазвичай проводиться після кожної робочої ванни для того, щоб видалити хімікати з поверхні профілю та запобігти забрудненню розчину. Промивання проводиться у ваннах або оббризуванням.

**Травлення** застосовують з метою видалення оксидної плівки, зниження шорсткості поверхні, вирівнювання кольору, виявлення та подальшого видалення поверхневих дефектів, які на непротруєних виробках більш важко помітні (полони, запресування металу, задіри та ін.). Його проводять не лише як операцію, що передує анодуванню, а й як окремий процес. Технологія травлення включає операції знежирення, травлення, освітлення, промивання в теплій та холодній воді, сушіння. При травленні в розчині гідроксиду натрію його вміст становить 170—200 г/л, температура розчину 50—70 °С, час травлення 3—5 хв [2]. Профілі сушать у сушильних камерах при 60—80 °С або шляхом обдування стисненим повітрям.

**Освітлення** (деоксидація) — видалення з поверхні профілів шару, що утворюється при травленні з оксидів (таких як оксид магнію), інтерметалідів, кремнію та інших компонентів, не розчинних у лужному розчині. Ці домішки забруднюють розчин для анодування і можуть проявитися на готових виробках у вигляді темної плівки. Освітлення проводиться шляхом занурення в кислотний розчин, як правило, азотної кислоти (20—50 % концентрації) або сірчаної кислоти. Час занурення — від 30 с до 5 хв залежно від товщини шару, що видаляється, складу розчину і типу сплаву. Освітлення зазвичай проводять за кімнатної температури.

**Анодування** — електрохімічний процес, при якому на поверхні алюмінію формується міцна пориста

оксидна плівка, що забезпечує більш надійний захист поверхні порівняно з природною оксидною плівкою.

Анодування дозволяє значно змінити та покращити зовнішній вигляд алюмінієвого профілю, підвищує корозійну стійкість профілів, надає поверхневому шару зносостійкості, а також тепло- та електроізоляційні властивості, збільшує міцність зчеплення з поверхнею виробу лакофарбового покриття. Анодуваний алюміній легко піддається очищенню та витримує короточасний вплив таких температур, за яких чистий алюміній плавиться.

Технологічний процес анодування виробів включає такі операції: знежирення, травлення, промивання, освітлення, безпосередньо анодування, сушіння та наповнення анодної плівки. Найбільш поширений процес анодування у розчині сірчаної кислоти. Покриття товщиною 2,5—25 мкм утворюються за наступних параметрів процесу: концентрація кислоти 15—20 %, температура 13—25 °С, анодна щільність струму 0,8—1,6 А/дм<sup>2</sup>, тривалість обробки 10—60 хв, напруга 13—24 В [3]. Якщо при анодуванні в електроліті міститься щавлевокислий калій-титан з добавками органічних кислот, покриття має молочно-емалеподібну поверхню. Плівка, що утворюється, тверда, але через малу товщину її ефективність є незначною [4].

Якість анодного покриття залежить від чистоти алюмінію по домішках, виду сплаву, термообробки, розміру профілів. Таблиця 1 демонструє відмінності кольору плівки товщиною 25 мкм на поверхні різних алюмінієвих сплавів після анодування.

Таблиця 1

Вплив хімічного складу алюмінієвого сплаву на зовнішній вигляд анодної плівки [5]

Сплав	Вид плівки
Чистий Al	Світлий прозорий
1100	Сріблясто-сірий
2014	Блакитно-жовтий
3003	Блідо-коричневий
4043	Сірий
5052	Сріблясто-світло-жовтий
5086	Сріблясто-сірий
6061	Жовтий
6083	Сріблястий непрозорий

Для досягнення необхідного кольору покриття можуть використовуватися три основні способи [5]:

а) Фарбування за допомогою органічного фарбника.

Алюмінієвий сплав спочатку піддається анодуванню у звичайній сірчано-кислотній ванні, потім забарвлюється в окремій ванні, що містить органічний барвник. Широкий діапазон кольорів може бути отриманий за рахунок поглинання частинок органічного барвника порами анодного покриття. Однак, оскільки органічний барвник розташовується в гирлі пір (рис. 1, а), проблеми вицвітання є головним недоліком цього способу.

б) Фарбування у процесі анодування.

Для отримання забарвленого анодного покриття прямо в процесі анодування (рис. 1, б) використовується органічна кислота в поєднанні з анодуючими електролітами. Глибина проникнення барвника залежить від товщини анодного покриття. Основним недоліком цього процесу є дуже висока витрата енергії для отримання бажаного забарвлення.

в) Двостадійне електролітичне фарбування.

Двостадійний процес передбачає звичайне анодування в розчині сірчаної кислоти та подальше фарбування. Він відрізняється від обробки органічними барвниками або мінеральними пігментами тим, що фарбування здійснюється електрохімічним способом: в електроліті неорганічної солі під дією змінного струму відбувається осадження частинок металу (олова та ін.) в пори анодного покриття, що сформувався раніше (рис. 1, в). Це викликає прояв забарвлення внаслідок оптичного ефекту — розсіювання світла на порах.

Анодування алюмінієвих профілів — один із найбільш екологічно чистих процесів обробки металу. Важкі метали, галогени чи органічні сполуки використовуються у незначній кількості. Процес фарбування не призводить до утворення важких металів. З точки зору впливу на довкілля можливість вторинної переробки анодованого та забарвленого алюмінію еквівалентна стандартному алюмінію [6].

**Фарбування** є процесом нанесення органічного покриття на поверхню профілю. Покриття повинно чинити опір впливу сонячного світла, вологи, агресивних середовищ, змін температури та фізичних ушкоджень. Ультрафіолетове опромінення викликає руйнування хімічних зв'язків у сполучній речовині та органічних пігментах, що призводить до вицвітання забарвлення та розкладання лакофарбового покриття. Залежно від стану матеріалу в процесі нанесення органічні покриття поділяють на рідкі та порошкові.

**Порошкові покриття** мають практично такі ж експлуатаційні характеристики, що і рідкі з того ж матеріалу, проте вартість їх нанесення нижча. До того ж суттєвим недоліком рідких покриттів є виділення в атмосферу летких органічних речовин. Покриття на алюмінієві профілі наносяться на двох типах ліній: вертикальних та горизонтальних.

Рідкі покриття складаються з трьох основних інгредієнтів:

1. Смола, яка є полімерним матеріалом, грає

роль сполучної речовини, що утворює плівку на поверхні профілю.

2. Пігменти — надають покриттю кольору та блиску, а також забезпечують деякий захист від корозії.

3. Розчинники — роблять суміш компонентів, що утворює покриття, рідкою та дозволяють впливати на параметри процесу нанесення.

Порошкові покриття наносяться електростатичним способом за допомогою спеціальних пістолетів або лійок, що утворюють повітряну суспензію [7]. Інгредієнтами порошку, який використовується для утворення покриття, є:

- сполучні речовини — смоли та полімер, що забезпечують плівкоутворюючі властивості;
- пігменти — органічні та неорганічні — забезпечують колір покриття;
- присадки — полегшують утворення суспензії та покращують технологічні властивості порошку.

Товщина порошкового покриття становить близько 50 мкм, маса — 80 г/м<sup>2</sup>. Застосування порошкових фарб дозволяє отримати різноманітні види поверхні покриття: глясовий, матовий, «шагрень», «апельсинова кірка», «антик» та ін.

Процес порошкового фарбування включає попередню підготовку, нанесення порошку на профілі та термічне затвердіння. Попередня підготовка необхідна для підвищення корозійної стійкості і опору іншим несприятливим чинникам. З цією метою може використовуватися анодування чи нанесення конверсійного покриття.

Попередня підготовка профілів до фарбування включає, як правило, такі етапи: знежирення; промивання; травлення; промивання; освітлення; промивання (подвійне промивання); хроматацію; промивання (подвійне промивання); сушіння. Операції знежирення, травлення, освітлення та промивання здійснюються так само, як і при підготовці до анодування.

**Хроматація** — процес нанесення конверсійного покриття, найчастіше застосовується для алюмінієвих профілів, що піддаються порошковому фарбуванню. Хроматний шар покращує адгезію між поверхнею профілю та покриттям, підвищує корозійну стійкість пофарбованого профілю. Товсте хроматне покриття має хороший опір корозії, але меншу адгезію порівняно з тоншим шаром. Існують два типи хроматування: «жовте» та «зелене».

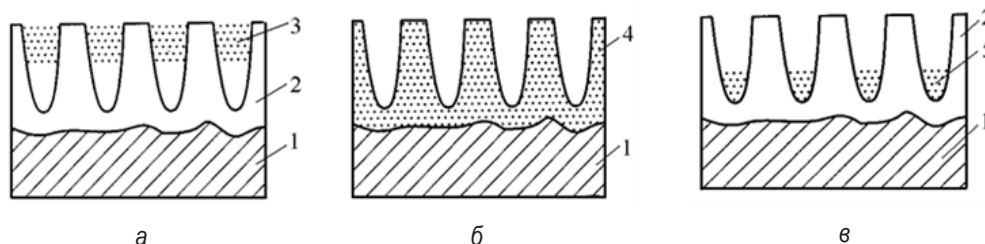


Рис. 1.

Схема фарбування анодного покриття: а — за допомогою органічного фарбника; б — у процесі анодування; в — двостадійне електролітичне фарбування (1 — металева основа; 2 — оксидна плівка; 3 — органічний барвник; 4 — кольорова оксидна плівка; 5 — осаджений метал)

«Жовте» хроматування проводиться в хроматних ваннах, що не прискорюються або прискорюються. Хроматні ванни, що не прискорюються, складаються, головним чином, із триоксиду хрому (або іншого джерела іонів хрому) та фтористого водню (або складних водневофтористих кислот та їх солей). Азотна кислота додається, щоб отримати потрібну величину рН, яка зазвичай становить 1,8—2,1. Для підвищення ефективності технологічного процесу також використовуються різноманітні добавки. Технологічні характеристики процесу «жовтого» хроматування наведено у табл. 2 [1].

«Зелене» хроматування називається також фосфатохроматуванням. Основні компоненти фосфатохроматних ванн — фосфориста та/або фосфорна кислота, водневофториста та хромова кислоти або інше джерело шестивалентного хрому. Величина рН у ванні зазвичай становить 1,7—1,9, але іноді нижче. Величина рН встановлюється додаванням фосфористої кислоти та буферного компонента. Температура ванни — 25-30 °С. Один із варіантів складу для фосфатохроматування:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  — 61,7 %,  $\text{NH}_4\text{HF}_2$  — 22,9 %,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  — 15,4 %; температура обробки — 45-50 °С, час — 1-5 хв.

Таблиця 2

Деякі варіанти хімічного складу розчинів для хроматування

№ п/п	Компоненти	Концентрація, г/л	Температура, °С	Час обробки
1.	$\text{CrO}_3$	6	16—55	5 с—8 хв
	$\text{NH}_4\text{FH}_2$	3		
	$\text{SnCl}_4$	4		
2.	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7	16—55	5 с—8 хв
	$\text{NaF}$	1		
	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	5		
3.	$\text{H}_3\text{PO}_4$	64	40—80	1 с—10 хв
	$\text{NaF}$	5		
	$\text{CrO}_3$	10		

Фосфатохроматне покриття складається з гідратованої форми фосфату хрому з невеликою кількістю оксиду хрому. Оксид хрому концентрується поблизу поверхні алюмінію, як і при жовтому хроматуванні (рис. 2, б). Фосфатохроматне покриття має зелений колір. Інтенсивність кольору — від яскраво-зеленого до темно-зеленого. Вага покриття — від 0,4 до 1,2 г/м<sup>2</sup>.

**Сушіння порошкового покриття.** Перед нанесенням порошкового покриття профілі мають бути повністю сухими. Волога на поверхні перешкоджає нанесенню покриття. Максимальна температура сушіння для жовтого хроматування — близько 65 °С та 80 °С для зеленого хроматування.

**Нанесення порошкового покриття.** Першою стадією процесу електростатичного нанесення порошкового покриття [8] є флюїдизація (псевдозрідження) — процес, при якому порошок поєднується зі стисненим повітрям, що дає можливість подавати його з бункера 1 (рис. 3) в розпилювальний пістолет 2. Витрата порошку регулюється шляхом зміни витрати (тиску) повітря, що надходить від джерела 3. Порошок, що подається в розпилювальний пістолет, може заряджатися за допомогою коронного або триботехнічного пристрою. Заряджений порошок рухається до заземленого виробу — профілю 4. Коли частинки порошку наближаються до виробу, виникає електростатичне тяжіння між частинками та виробом, унаслідок чого порошок осідає на поверхні профілю. Профіль з нанесеним порошковим шаром далі рухається через піч полімеризації, де відбувається затвердіння (полімеризація) матеріалу порошку. Ненапильний порошок втягується в фільтри потоком 5 повітря, ство-

рюваного вентилятором 6. Повітря, вільне від порошку, виходить в атмосферу через фільтри остаточного очищення. Первинні фільтри 5 періодично здійснюють пульсуючий рух для видалення уловленого ними порошку, який використовується повторно.

Окрім хроматування, для зміни зовнішнього вигляду поверхні профілів також використовується процес *сублімації*. Ця технологія дозволяє отримати на поверхні профілю малюнок дерев'яної поверхні або інших матеріалів, таких як бетон або мідь. Процес виробництва такий самий, як і для порошкових покриттів, з одним додатковим етапом — нанесенням малюнка за допомогою термоперенесення з плівки. У процесі вакуумування та нагрівання в камері полімеризації барвник проникає вглиб базового шару порошкового покриття і стає з ним єдиним цілим [9].

**Абразивне очищення** може використовуватися як самостійний спосіб надання особливого вигляду поверхні профілю, а також як спосіб підготовки поверхні перед анодуванням або фарбуванням. Абразивне очищення проводиться шляхом обдування поверхні профілю високошвидкісним потоком сухих металевих або неметалевих частинок. Цей вид обробки може застосовуватися перед фарбуванням не тільки для очищення, але й для одержання матової текстури [10]. Якщо оброблений абразивом профіль піддається анодуванню, поверхня набуває сірого кольору. У якості абразиву, як правило, використовується промитий кварцовий пісок або оксид алюмінію. Характеристики абразивної обробки піском наведено у табл. 3. При абразивній обробці сопло розташовується під кутом 90°.

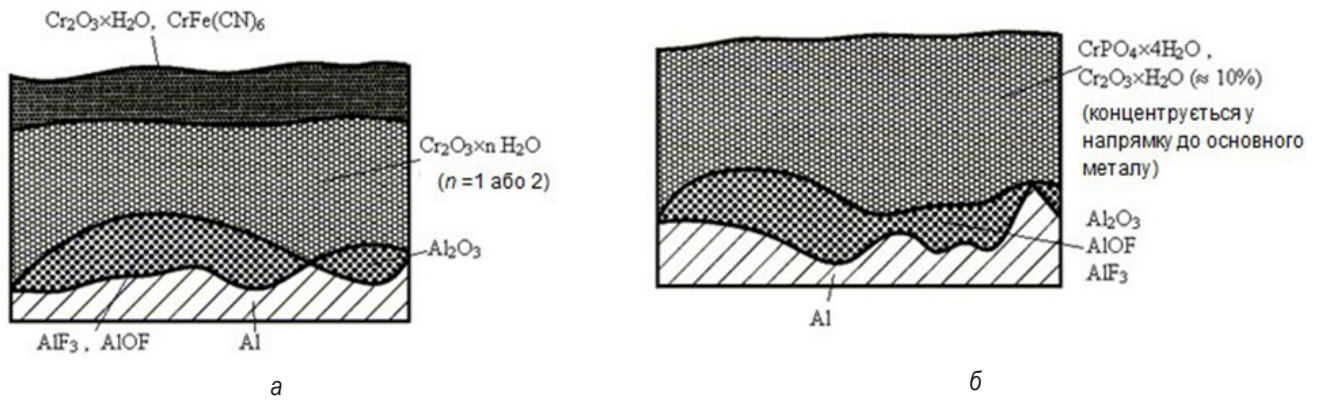


Рис. 2. Схема конверсійного покриття: а — хроматне (жовте); б — фосфатохроматне (зелене)

Таблиця 3

Характеристики абразивної обробки піском

Розмір частинок, мкм	Діаметр сопла, мм	Відстань до поверхні, мм	Тиск повітря, кПа
20—60	10—13	300—500	205—620
40—80	10—13	200—350	205—620
100—200	6—13	200—350	205—515
Більше 200	13	200—300	310

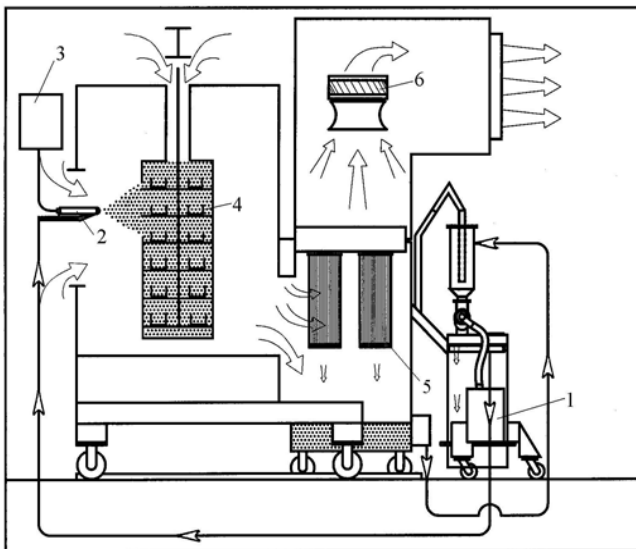


Рис. 3. Загальна схема нанесення порошкового покриття: 1 — бункер; 2 — розпилювальний пістолет; 3 — джерело стисненого повітря (компресор); 4 — профіль; 5 — фільтр; 6 — вентилятор

**Лазерне оброблення** — швидкий, точний та економічний спосіб, який дозволяє виготовляти вироби без шорсткості та зазубрин, підвищити корозійну стійкість, зносостійкість за рахунок поверхневого легування та зміцнення алюмінієвих профілів [11, 12, 13, 14].

Насичення поверхневих шарів сплаву легувальними елементами [13, 14] відбувається в результаті дифузії і масопереносу в рідкій фазі при можливому

конвективному або чисто механічному перемішуванні розплаву в зоні дії лазерного випромінювання. Найбільш ефективно процес лазерного поверхневого легування реалізується в рідкій фазі внаслідок її рівномірного перемішування. Кращі результати одержано при насиченні алюмінієвого розплаву хромом, нікелем і дисілідом ніобію. Лазерне поверхневе легування порошками ряду твердих матеріалів (нікель, хром, дисілід ніобію) дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики виробів.

**Хімічне полірування** зазвичай здійснюється в розчинах сірчаної, азотної, фосфорної та ін. кислот. Також може застосовуватися гідродифторид амонію, фтороборна та фторокремнієва кислота як альтернатива плавиковій кислоті. Деякі типи розчинів, що рекомендуються для хімічного полірування [10], наведено в табл. 4. Малі концентрації важких металів у розчині посилюють поліруючий ефект, особливо при обробці сплавів з незначним вмістом міді.

Фосфорно-азотне травлення не рекомендується для кремнієвмісних сплавів. У цьому випадку доцільним є додавання у ванну 1—2 % плавикової кислоти.

Зазвичай у ваннах використовується повітряне перемішування, хоча кращим є механічний спосіб. Повітряне перемішування має добре контролюватись, оскільки малий розмір бульбашок призводить до збільшення втрат кислоти за рахунок випаровування та зайвого утворення азотнокислих плівок.

Технологічні параметри процесу хімічного полірування

Компоненти та їх концентрація	Температура ванни, °С	Час занурення
нітрат натрію (25 об. %), нітрит натрію (18 об. %), гідроксид натрію (30 об. %), вода (інше)	90—140	1—5 хв
85 %-а фосфорна кислота (45—98 %мас.), 60%-а азотна кислота (0,5—50 %мас.), вода (інше)	85—100	30 с—5 хв
85%-а фосфорна кислота (80 %мас.), 99,5%-а оцтова кислота (15 %мас.), 60%-а азотна кислота (5 %мас.)	85—100	30 с—5 хв

Таблиця 5

Технологічні параметри обробки поверхні з використанням електрополірування

Параметри процесу	Режим		
	1	2	3
<b>Електрополірування</b>			
Склад розчину, за масою	борфтористоводнева кислота (2,5 %)	карбонат натрію (15 %), тринатрій-фосфат (5 %)	сірчана кислота (4—45 %), фосфорна кислота (40—80 %), хромово кислота (0,2—9 %), тривалентний метал (до 6 %)
Температура ванни, °С	30	80—82	70—95
Щільність струму, А/дм <sup>2</sup>	1—2	2—3	2,5—95
Напруга, В	15—30	9—12	7—15
Час занурення, хв	5—10	0,3 (початкове без ел. струму), 5 (з ел. струмом)	—
Перемішування	немає	робочий стрижень	механічне
<b>Освітлення</b>			
Склад розчину, за масою	фосфорна кислота (1,0 %), хромово кислота (0,5 %)	сірчана кислота (10 %)	фосфорна кислота (3,5 %), хромово кислота (2,0 %)
Температура ванни, °С	90—95	20—25	90—95
Час занурення, с	30	15—30	—
<b>Анодування</b>			
Склад розчину, за масою	сірчана кислота (7—15 %)	гідросульфат натрію (20 %),	сірчана кислота (7—15 %)
Температура ванни, °С	20	35	20
Щільність струму, А/дм <sup>2</sup>	1,3	0,5	1,2
Час занурення, хв	10	15	10—20
<b>Наповнення анодної плівки (ущільнення)</b>			
Склад розчину	дистильована вода	дистильована вода	дистильована вода
Температура ванни, °С	95—100	85	95—100
Час занурення, хв	10	20	10

Занадто сильне перемішування може призвести до смугастості та пітингу металу профілю.

**Електрополірування** — технологічний процес, що включає попередню обробку (очищення, промивання) і, власне, електрополірування. Профілі поміщають у ванну, через яку проходить постійний струм, де вони виконують роль аноду. Електрополірування застосовується як кінцева операція поверхневої обробки, так і початкова в технологічних процесах, що включають анодування. Типові режими таких процесів наведено у табл. 5.

Перший режим використовують для обробки високо- та надчистого алюмінію (99,7—99,99 %); другий — також для надчистого алюмінію та сплавів 1100,

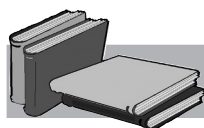
5005, 5357, 5052, 5457, 6061, 6063, 6463, третій — для різних промислових сплавів з метою заміщення механічного полірування [10].

Дослідження рівня техніки (патентний пошук) по розглянутих вище способах обробки поверхні алюмінієвих сплавів, що деформуються, показали, що у більшості випадків у патентній документації описано деталі застосування загальновідомих методів обробки або наведено склади компонентів речовин для різних типів обробки та фарбування. Їх основним технічним результатом є підвищення механічних, корозійних, експлуатаційних властивостей виробів із алюмінієвих сплавів, а не надання їх поверхні в процесі обробки відповідного зовнішнього вигляду,

приміром блиску. Разом з тим, потреба у таких виробках досить велика, особливо в країнах з розвиненим автомобілебудуванням, де профілі з блискучою поверхнею використовуються як елементи декору. У більшості патентів не зазначено, для алюмінієвих сплавів якого хімічного складу (або серії) запропонований спосіб призначений. Зазвичай відзначається, що спосіб або склад хімічного реагенту підходить для алюмінієвих сплавів всіх типів. Проте експериментальна перевірка не підтвердила можливість їх універсального використання, зокрема для досягнення блиску поверхні алюмінієвих сплавів серій 2xxx та 7xxx, які широко використовуються в різних галузях техніки та в побуті. Один з варіантів вирішення цієї проблеми описано в патентах CN107974705(A) [15], CN107988627(A) [16], в яких блиску на поверхні профілів з алюмінієвих сплавів серій 2xxx та 7xxx досягнуто з використанням методу електрохімічного полірування.

## Висновки

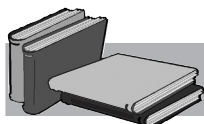
Для підвищення корозійних, механічних і експлуатаційних властивостей виробів з алюмінієвих профілів, надання їм товарного вигляду використовують різні способи оброблення поверхні, зокрема: анодування (анодне оксидування), фарбування, забарвлення, лазерне оброблення, хімічне травлення, електрополірування тощо. Кожний з цих способів використовується окремо або для підсилення ефекту в комплексі. Найбільш складною технологічною задачею є досягнення блискучої (дзеркальної) поверхні профілів, зовнішній вигляд якої значною мірою залежить від хімічного складу алюмінієвого сплаву, що потребує подальших досліджень у цьому напрямі.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Данченко В.Н., Миленин А.А., Головки А.Н. Производство профилей из алюминиевых сплавов. Теория и технология. Днепропетровск: ДНВП «Системные технологии», 2001. 448 с.
2. Зиновьев А.В., Колпашников А.И., Полухин П.И. и др. Технология обработки давлением цветных металлов. Москва: Металлургия, 1992. 512 с.
3. Hecker J.G. Anodizing Aluminum. URL: <https://www.pfonline.com/articles/aluminum-anodizing> (дата звернення: 20.08.2023).
4. Журнал «Наука и жизнь». URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/2237/> (дата звернення: 20.08.2023).
5. Basaly M. Two Step Electrolytic Coloring. Proc. of Fifth International Extrusion Technology Seminar. Vol. 1. Chicago: Editors Express, 1992. P. 603—606.
6. Анодирование алюминия: создание прочного оксидного слоя, стойкого к коррозии и механическому воздействию. URL: <https://metallcleaner.com/aluminiy-anodirovanie.html#part3> (дата звернення: 20.08.2023).
7. Coatings for Aluminum Extrusion. Aluminum Extruders Council, 1996. 6 p.
8. Kreeger K. Application variables for powder coating systems. Nordson Corporation. URL: <https://www.pfonline.com/cdn/cms/uploadedFiles/About-powder-coating.pdf> (дата звернення: 20.08.2023).
9. Анодирование. URL: <https://alumil-msk.ru/o-kompanii/dekorirovanie/> (дата звернення: 20.08.2023).
10. Aluminum and Aluminum Alloys. Third Printing. USA: ASM Speciality Handbook, 1996. 731 p.
11. Laser 79 Opto-Electron. Conf. proc. Munich 1979. Guildford 1979. P. 271—276.
12. Коваленко В.С., Энамин К., Арата Е. и др. К вопросу механизма упрочнения материала при воздействии непрерывного лазерного излучения. *Электронная обработка металлов*. 1980. № 1. С. 35—39.
13. Пригунова А.Г., Недужий А.М. Конструкційні алюмінієві сплави систем Al-Cu-Mg і Al-Zn-Mg-Cu в літакобудуванні. *Огляд. Процеси лиття*. 2023. № 1(151). С. 54—72. <https://doi.org/10.15407/plit2023.01.054>
14. Александров В.Д. Исследование поверхности алюминиевых сплавов, упрочненной легированием при лазерном нагреве. *Технология металлов*. 2003. № 7. С. 9—13.
15. Патент на изобретение «Процесс электрохимической полировки алюминиевого профиля 7-й серии». URL: [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20180501&CC=CN&NR=107974705A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20180501&CC=CN&NR=107974705A&KC=A) (дата звернення: 20.08.2023).
16. Патент на изобретение «Процесс электрохимической полировки алюминиевого профиля 2-й серии». URL: [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20180504&CC=CN&NR=107988627A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20180504&CC=CN&NR=107988627A&KC=A) (дата звернення: 20.08.2023).

Надійшла 29.08.2023



## REFERENCES

1. Danchenko, V.N., Milenin, A.A., Golovko, A.N. (2001). Production of profiles from aluminum alloys. Theory and technology. Dnepropetrovsk: DNVP "System Technologies" [in Russian].
2. Zinoviev, A.V., Kolpashnikov, A.I., Polukhin, P.I. et al. (1992). Technology of pressure treatment of non-ferrous metals. Moscow: Metallurgiya [in Russian].
3. Hecker, J.G. Anodizing Aluminum. URL: <https://www.pfonline.com/articles/aluminum-anodizing> (last accessed: 20.08.2023).
4. Journal "Science and life". URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/2237/> (last accessed: 20.08.2023) [in Russian].
5. Basaly, M. (1992). Two Step Electrolytic Coloring. Proc. of Fifth International Extrusion Technology Seminar, vol. 1. Chicago: Editors Express, 603-606.
6. Anodizing aluminum: creation of a durable oxide layer resistant to corrosion and mechanical impact. URL: <https://metallcleaner.com/aluminiy-anodirovanie.html#part3> (last accessed: 20.08.2023) [in Russian].
7. (1996). Coatings for Aluminum Extrusion. Aluminum Extruders Council, 6 p.
8. Kreeger, K. Application Variables for Powder Coating Systems. Nordson Corporation. URL: <https://www.pfonline.com/cdn/cms/uploadedFiles/About-powder-coating.pdf> (last accessed: 20.08.2023).
9. Anodizing. URL: <https://alumil-msk.ru/o-kompanii/dekorirovanie/> (last accessed: 20.08.2023) [in Russian].
10. (1996). Aluminum and Aluminum Alloys. Third Printing. USA: ASM Speciality Handbook, 731 p.
11. (1979). Laser 79 Opto-Electron. Conf. proc. Munich 1979. Guildford, 271-276.
12. Kovalenko, V.S., Enamin, K., Arata, E. et al. (1980). On the question of the mechanism of material hardening under the influence of continuous laser radiation. *Electronic processing of metals*, 1, 35-39 [in Russian].
13. Prigunova, A.G., Neduzhyi, A.M. (2023). Structural aluminum alloys of Al-Cu-Mg and Al-Zn-Mg-Cu systems in aircraft construction. Review. *Casting processes*, 1(151), 54-72. <https://doi.org/10.15407/plit2023.01.054> [in Ukrainian].
14. Aleksandrov, V.D. (2003). Investigation of the surface of aluminum alloys hardened by alloying during laser heating. *Technology of metals*, 7, 9-13 [in Russian].
15. Patent for the invention "The process of electrochemical polishing of aluminum profiles of the 7th series". URL: [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20180501&CC=CN&NR=107974705A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20180501&CC=CN&NR=107974705A&KC=A) (last accessed: 20.08.2023) [in Russian].
16. Patent for the invention "The process of electrochemical polishing of aluminum profiles of the 2nd series". URL: [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20180504&CC=CN&NR=107988627A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20180504&CC=CN&NR=107988627A&KC=A) (last accessed: 20.08.2023) [in Russian].

Received 29.08.2023



## Summary

**A.V. Nogovitsyn**, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Head of the Department, e-mail: alexey.nogovitsyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2929-5300>

**S.V. Prygunov**, PhD (Engin.), Research Scientist, e-mail: s.prygunov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6891-7818>

*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)*

## Methods of protection and decoration of aluminum profiles

The article provides a review of scientific and technical information on methods of applying a special protective coating to aluminum profiles to increase their properties and improve the marketability of products used as decoration. The most common among them are: anodizing (anodic oxidation), painting, coloring, laser processing, chemical etching, electropolishing, etc. It is shown that almost all processing methods begin with special preparation of the profile surface: degreasing, washing, etching and lightening (deoxidation). Anodizing is an electrochemical process in which a strong porous oxide film is formed on the surface of aluminum, which provides more reliable protection of the surface compared to a natural oxide film. This process allows you to improve the appearance of the aluminum profile, increases the corrosion resistance of the profiles, gives the surface layer wear resistance, as well as thermal and electrical insulating properties, increases the adhesion strength to the surface of the paint coating product. Anodized aluminum is easy to clean and can withstand short-term exposure to temperatures at which pure aluminum melts. Anodizing technologies used to achieve the required coating color are described. Painting is the process of applying a liquid or powder organic coating to the surface of the profile, which must resist the effects of sunlight, moisture, aggressive environments, temperature changes, and physical damage. Powder coatings have practically the same performance characteristics as liquid coatings of the same material, but the cost of their application is lower. They are applied electrostatically. The ingredients of the powder are binders (resin and polymer), organic and inorganic pigments to ensure the color of the coating, additives that improve the technological properties of the powder. Most often, the process of chromating and applying a conversion coating is used for aluminum profiles that can be powder coated. The chromate layer improves the adhesion between the surface of the profile and the coating, increases the corrosion resistance of the painted profile. A thick chromate coating has good corrosion resistance, but less adhesion compared to a thinner layer. They use "yellow" and "green" chromating, which, above all, differ in composition, number of components and processing time. Technological features of applying powder coating are considered. Abrasive cleaning is used as an independent way to give a special appearance to the surface of the profile, as well as to prepare the surface before anodizing or painting. Abrasive cleaning is carried out by blowing the surface of the profile with a high-speed stream of dry metal or non-metal particles, as a rule, washed quartz sand or aluminum oxide is used. This type of treatment can be used before painting not only for cleaning, but also for obtaining a matte texture. Laser processing makes it possible to manufacture products without roughness and notches, to increase corrosion resistance, wear resistance and strengthening of aluminum profiles due to surface alloying with chromium, nickel, niobium disilicide, etc. The saturation of the surface layers of the alloy with alloying elements occurs as a result of diffusion and mass transfer in the liquid phase with possible convective or purely mechanical mixing of the melt in the zone of action of laser radiation. Chemical polishing is carried out in acid solutions. Small concentrations of heavy metals in the solution enhance the polishing effect, especially when processing alloys with a small copper content. Air mixing is used, although a mechanical method is preferred. Agitation that is too intense can lead to streaking and pitting of the profile metal. The technological process of electropolishing includes preliminary treatment (cleaning, washing) and, in fact, electropolishing. The profiles are placed in a bath through which a direct current pass, where it acts as an anode. This type of treatment is used both as an independent operation and in technological processes of surface treatment, which include anodization. Typical modes of electropolishing depend significantly on the chemical composition of aluminum and its alloys. Patent studies conducted by the authors of this work showed that despite the variety of surface treatment methods, achieving a shiny profile surface is a complex technical task, the solution of which largely depends on the chemical composition of the aluminum alloy.

## Keywords

Aluminum profiles, protective coating, degreasing, washing, etching, lighting, anodizing, painting, abrasive cleaning, laser processing, chemical and electrical polishing.