

пература резания θ будет принимать наибольшее значение, определяемое из аналитической зависимости [2] с учетом непрерывного перерезания адиабатического стержня со скоростью $V_{рез}$:

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез}^2 \cdot \tau}{\lambda}}, \quad (1)$$

где $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ – максимальная температура резания, град; σ – условное напряжение резания, Н/м²; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·град); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град); τ – время полного перерезания адиабатического стержня, с.

Согласно зависимости (1), с увеличением времени τ температура резания θ увеличивается, асимптотически приближаясь к максимальному значению θ_{max} : чем больше условное напряжение резания σ , тем больше θ_{max} . Как известно, при шлифовании значения σ больше, чем при лезвийной обработке в связи с наличием интен-

сивного трения связки шлифовального круга с обрабатываемым материалом. Поэтому при шлифовании и достигаются наибольшие значения температуры резания.

Таким образом, показано, что уменьшить температуру резания θ при лезвийной обработке можно уменьшением величины n (рис. 1). Это обеспечивается главным образом за счет уменьшения условного напряжения резания σ и увеличения условного угла сдвига обрабатываемого материала $\beta \rightarrow 45^\circ$ путем применения режущих инструментов, обладающих высокой режущей способностью, а также снижением интенсивности трения в зоне резания. При абразивной обработке необходимо в первую очередь стремиться уменьшить интенсивность трения связки шлифовального круга с обрабатываемым материалом, например, за счет применения высокопористых, импрегнированных и прерывистых шлифовальных кругов (в том числе изготовленных из синтетических сверхтвердых материалов), обладающих высокой режущей способностью.

Литература

1. Якимов, А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – Москва : Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий : монография / Ф.В. Новиков [и др.]. – Днепр : ЛИРА, 2018. – 400 с.

ДО ІСТОРІЇ, ТЕХНОЛОГІЙ І СУЧАСНОГО МАРКУВАННЯ АЛЮМІНІЮ І АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

*Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І. Національний транспортний університет,
Київ, Україна*

Мельник Т.В. НТУ «Харківський політехнічний Інститут», Харків, Україна

Алюміній – це легкий метал з кубічною гра-
нецентрованою граткою, не має алотропічних пе-
ретворень. Фізико-механічними властивостями
цього металу є: мала питома вага ($\gamma = 2,7$ г/см³);

висока пластичність ($\delta = 30\text{--}40\%$); низька твер-
дість (~ 25 НВ); міцність – $\sigma_{т} = 80\text{--}100$ МПа; гра-
ниця текучості $\sigma_{т} = 30$ МПа; низька температура
плавлення ($T = 660$ °С). Має високу тепло- та

електропровідність, високу стійкість проти атмосферної корозії і концентрованої азотної кислоти, а також повітря, забрудненого сірчистими газами. Корозійна стійкість алюмінію пояснюється утворенням на поверхні щільної, тонкої і міцної окисної плівки Al_2O_3 . Маркують чистий алюміній літерою А та тризначним або двозначним числом, що вказує на вміст алюмінію. Наприклад, А999 – вміст алюмінію 99,999 %; А95 – відповідно 99,95 %; інше домішки [1].

У 1825 році у перше було отримано алюміній у вільному вигляді. Зробив це датський фізик Ерстед шляхом дії амальгами калію (сплав калію зі ртуттю) на хлорид алюмінію ($AlCl_3$). Німецький хімік Веллер удосконалив цей спосіб у 1827 р., замінивши амальгаму калію на металевий калій. У 1854 р. було вперше застосовано у промисловому виробництві алюмінію спосіб Веллера. Сент-Клер де Віль (Франція), який першим реалізував цю технологію, замість калію застосував більш дешевий натрій, а замість гігроскопічного хлориду алюмінію – більш стійкий подвійний хлорид алюмінію і натрію. Фізико-хімік М.М. Бекетов (Росія) у 1865 р. показав можливість витіснення алюмінію магнієм із розплавленого кріоліту ($AlF_3 \cdot 3NaF$). До речі цей учений був піонером напрямку неорганічної хімії про витіснення одних металів іншими, для чого побудував відповідний стрункий ряд металів. Реакція витіснення у 1888 р. була використана для виробництва алюмінію на першому німецькому заводі у Гмелінгені. Виробництво алюмінію такими «хімічними» способами здійснювалось з 1854 по 1890 рр. За тридцятип'ятилітній період за допомогою цих способів загалом було отримано біля 20 т алюмінію. Отже, бачимо, що тоді алюміній був дуже дорогим металом, часто дорожчим від золота.

У кінці 80-х років позаминулого століття «хімічні» способи були витіснені електролітичним способом. Цей спосіб дозволив різко знизити вартість алюмінію і створити передумови для швидкого розвитку алюмінієвої промисловості. Основоположниками електролітичного способу виробництва алюмінію є Еру (Франція) і Холл (США), які незалежно один від одного одночасно у 1886 р. подали заявки на патент отримання алюмінію електролізом глинозему, який розчинено у розплавленому кріоліті. З моменту видачі патентів Еру і Холлу починається сучасна алюмінієва промисловість, яка майже за 135 років виросла у крупну галузь металургії.

Розвитку алюмінієвої промисловості у більш

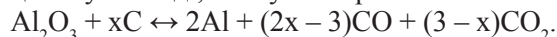
ніж 50 державах світу у значній мірі спонукало споживання легких алюмінію і алюмінієвих сплавів авіаційною та космічною галузями, а також близькість дешевих джерел електроенергії, зокрема, гідроелектростанцій. Так, Дніпровський алюмінієвий завод, що розпочав роботу у 1933 р., споживав енергію тільки що збудованою ДніпроГЕС. До речі, швидка втрата цього заводу у перші місяці війни поставила у скрутне становище авіаційну промисловість Радянського Союзу. Тому вкрай важливою для цієї промисловості була допомога союзницьких держав алюмінієвим листом і заготовками для лиття.

Для виробництва алюмінію технічної чистоти основних марок А0; А5; А6; А7; А8; А85, що містять домішки заліза, кремнію, міді, цинку, титану тощо у загальній кількості відповідно від 1 % до 0,15 % застосовують електролітичний спосіб. Спосіб складається з: виробництва глинозему (окису алюмінію) з алюмінієвих руд; отримання фтористих солей (кріоліту, фтористого алюмінію і фтористого натрію); виготовлення футировочних матеріалів і власне, виробництво алюмінію, що є завершальним етапом сучасної металургії цього металу.

Характерними для виробництва глинозему фтористих солей і вуглецевих (футеровочних) виробів і стержнів є вимоги максимальної чистоти цих матеріалів, оскільки у кріолітно-глиноземних розплавах для електролізу не повинні міститися домішки більш електропозитивних, ніж алюміній, елементів. Такі домішки, виділяючись на катоді, забруднювали б метал.

Важливою алюмінієвою рудою, з якої видобувають глинозем, є боксит. В останньому алюміній перебуває у вигляді гідроксиду алюмінію. Сировиною для виготовлення анодної маси і обпалених анодних блоків служать вуглецеві чисті матеріали – нафтовий або пековий кокс і кам'яновуглецевий пек для зв'язки, а для виробництва кріоліту та інших фтористих солей – фтористий кальцій (плавиковий шпат).

При електролітичному отриманні алюмінію глинозем Al_2O_3 , що розчинено у розплавленому кріоліті Na_3AlF_6 , розкладається електрохімічно з розрядом катіонів алюмінію на катоді (рідкому алюмінії), а кисневміщуючих іонів (іонів кисню) – на вуглецевому аноді. Реакція у електролізері, у кінцевому вигляді, описується рівнянням:



У склад електроліту сучасних електролізерів входять основні компоненти: кріоліт, глинозем і фтористий алюміній, а також інші солі, що по-

ліпшують роботу електролізера. Для нормальної роботи останнього повинна витримуватись умова $\text{NaF}:\text{AlF}_3 = 2,7-2,8$.

Основні технічні параметри і показники роботи сучасного електролізера з обпаленими анодами наступні: сила струму 160–225 кА; добова продуктивність 1,1–1,74 т; анодна густина струму 0,7–0,89 А/см²; напруга на електролізері 4,3–4,5 В. Витратні коефіцієнти на одну тону алюмінію: 14500–15500 кВт·год; глинозему 1,92–1,94 т; обпалених анодів – 0,54–0,6 т.

Розплавлений алюміній з електролізера надходить для рафінування від неметалевих та газових домішок і подальшої переробки у товарну продукцію (чушки, циліндричні та плоскі виливки, катанку тощо).

Для отримання алюмінію високої чистоти (марок А995–А95) алюміній технічної чистоти електролітично рафінують. Це дозволяє підвищити електропровідність, пластичність, відбиваючу здібність і корозійну стійкість.

Суть трьохшарового способу рафінування полягає у наступному. Нижній шар розплавленого алюмінію є найважчим і лежить внизу на аноді. Для того, щоб цей шар (анодний) був найважчим, його сплавляють з міддю. Середній сплав – електроліт, а верхній, найлегший, чисто рафінованого алюмінію (катодного), розміщується над електролітом. Таким чином, усі більш електропозитивні, ніж алюміній, домішки (Fe, Si, Ti, Cu та інші) залишаються у анодному сплаві. Алюміній же у формі іонів переходить спочатку у середній шар, а потім – у катодний, де розряджається.

Анодний сплав складається з первинного алюмінію і чистої міді (30–40 %). Густина такого рідкого сплаву складає 3–3,5 г/см³, а густина чисто розплавленого катодного алюмінію – 2,3 г/см³. Отже, виникають умови, що необхідні для якісного розподілу трьох розплавлених шарів.

Для електролітичного рафінування служать електролізери з обпаленими анодами, які подібні до пристроїв для отримання первинного алюмінію, лише з тою різницею, що мають інше підключення полюсів: под – анод, а верхній ряд електродів – катод.

Чистота алюмінію, рафінованого цим методом, – 99,995 %. Кількість металу такої марки складає 45–48 % від загального випуску.

При отриманні алюмінію особливої чистоти, як правило, застосовують спосіб зонного плавлення, що полягає у кількратному проходженні розплавленої зони уздовж зливка алюмінію. При зонному плавленні більшість домішок концен-

трується у розплавленій зоні і переноситься цією зоною до кінцевої частини зливка.

Для створення розплавленої зони на зливку алюмінію при зонному плавленні оптимальним способом є індукційне нагрівання струмами високої чистоти. Перевагою способу є можливість здійснювати плавлення злиwkів великого перерізу та безперервне перемішування розплавленого металу у зоні.

Для отримання алюмінію чистотою 99,9999 % застосовується метод каскадного зонного плавлення. Суть способу полягає у тому, що очистку вихідного алюмінію А999 здійснюють послідовно повторюючи цикли (каскади зонного плавлення). При цьому початковим матеріалом кожного наступного каскаду служить найбільш чиста середня зона зливку. Для отримання металу чистотою 99,9999% достатньо двох каскадів зонного плавлення [2].

У машинобудуванні, як конструкційний матеріал, застосовують сплави на основі алюмінію, що мають вищі механічні характеристики, ніж сам алюміній. За технологічною ознакою ці сплави бувають деформівні, ливарні і порошкові. Останні – спечений алюмінієвий порошок (САП) і спечені алюмінієві сплави (САС) широко застосовуються для захисних покриттів при відновленні деталей у машинобудуванні [3].

Деформівні сплави класифікуються за двома паралельними системами: старою літерно-цифровою (ГОСТ 4784-97) та новою цифровою (ДСТУ 11069-01). За першою – окремим групам сплавів присвоюється літера (групи літер) і номер сплаву. Наприклад, сплави системи Al – Cu – Mg (ду-ралюміні) позначаються літерою Д (Д1, Д16, Д18), сплави системи Al – Mg (магналії) – АМг (АМг1, АМг5). За цифровою системою цифра 1 у всіх марках означає алюмінієвий сплав, друга цифра систему сплаву (0 – технічний алюміній; 1 – система Al – Cu – Mg; 2 – Al – Cu – Mn; 3 – Al – Mg – Si – Cu; 4 – Al – Mn; 5 – Al – Mg). Останні дві цифри – це порядковий номер сплаву. Наприклад, сплав 1520 – це алюмінієвий сплав системи Al – Mg, порядковий номер 20. У літерно-цифровому варіанті – це сплав АМг2.

Як приклад ефективного використання деформівних алюмінієвих сплавів у машинобудівних конструкціях служать високоміцні сплави системи Al – Zn – Mg – Cu після гартування та штучного старіння. Такі сплави добре поєднують високу міцність ($\sigma_{\text{в}} = 550-650$ МПа) з пластичністю, в'язкістю руйнування і корозійною стійкістю. Сплави цієї системи В93, В95, В96

застосовують для важконавантажених конструкцій, що працюють переважно в умовах стискань. Силкові каркаси будівельних споруд, шпангоути, фюзеляжі важких транспортних літаків. Так, зі сплаву В93пч виготовляють силкові каркаси літаків «Антей», «Руслан» та «Мрія» (пч – сплав підвищеної чистоти по вмісту заліза і кремнію). Зі сплаву В95 виготовляють камери твердопаливних некерованих ракет класу «повітря-земля» та «повітря-повітря».

Ливарні сплави маркуються за ДСТУ 1583-93 літерою А та літерами, що позначають легувальні елементи (К – кремній; М – мідь; Мг – магній; Н – нікель тощо) та цифри, що показують середній вміст легувального елемента у відсотках. Відсутність цифри означає, що вміст елемента близько 1 %. Наприклад, АК9 (8–11 % Si), АК12М2 (11–13 % Si; 1,8–2,5 % Cu).

Важливою технологічною ознакою ливарних

сплавів є добрі ливарні властивості: висока рідкотекучість, мала усадка, незначна схильність до утворення гарячих тріщин, герметичність.

Сплави системи Al–Si називають силумінами. Класичним силуміном є сплав АК12 (АЛ2 ГОСТ2685-89) евтектичного складу (10–13 % Si). Силуміни доволі крихкі через те, що у структурі є пластинчасті кристали кремнію.

Висновки. Уперше поєднано історію та розвиток у часі технологій легкого і, у той же час, міцного металу алюмінію і сплавів на його основі. Наведено традиційне (дещо громіздке) і сучасне спрощене для розуміння, маркування цих матеріалів. Показано теперішній стан використання алюмінію у машинобудуванні. Перспективи застосування алюмінієвих матеріалів полягають, у першу чергу, в зниженні енергоємності отримання чистого алюмінію з майже невичерпних природних алюмінійвмісних сполук.

Література

1. Дяченко, С.С. Матеріалознавство: Підручник / С.С. Дяченко, І.В. Дошечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков; за ред. С.С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. – 440 с.
2. Беляев, А.И. Металловедение алюминия и его сплавов: Справочник / А.И. Беляев, О.С. Бочвар, Н.Н. Буйнов и др. – М. : Металлургия, 1983. – 280 с.
3. Сушко, О.В. Прикладне матеріалознавство: Підручник / О.В. Сушко, Е.К. Посвятенко, С.В. Кюрчев, С.І. Лодяков. – Мелітополь : ТОВ «Forward press», 2019. – 352 с.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЩАДЛИВОГО ВИРОБНИЦТВА НА МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Радько О.В., Мельник В.Б. Національний авіаційний університет, Київ, Україна

Для вирішення актуальних завдань енерго- та ресурсозбереження з одночасним забезпеченням заданого рівня якості продукції та послуг передові компанії світу поруч із відомими методами менеджменту якості все ширше застосовують технології ощадливого виробництва (Lean Production) (ОВ) [1–4]. Концепція ОВ спрямована на максимальну економію ресурсів в процесі

виробництва, в першу чергу, тимчасових, а її базовим принципом є виявлення й усунення процесів, які не приносять доданої цінності або зменшують її (наприклад, процеси, що призводять до надлишку запасів, процеси очікування, зайвого транспортування, зайвої обробки, процеси, що створюють дефекти). «Серцем» ОВ є процес усунення муда (muda), що японською означає втрати,