

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 661.74:669.14.046.554

А.А. Кулініч

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ВАЛ11 ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСОВОЇ ОБРОБКИ

Вступ

Сплав ВАЛ11 належить до ливарних сплавів системи Al–Mg–Zn [1–3]. Він характеризується високою корозійною стійкістю, добрим поєднанням характеристик як міцності, так і пластичності [2]. Сплави даної системи мікролегуються комплексом добавок, що може змінювати оптимальні технологічні параметри їх обробки. Зокрема, структура і рівень механічних властивостей ливарних сплавів системи Al–Mg–Zn істотно залежить від температурно-часових параметрів обробки в рідкому стані, попередньої обробки шихтових матеріалів та швидкості охолодження при кристалізації [2, 3].

Постановка задачі

Мета статті – дослідження впливу температурно-часових параметрів обробки в рідкому стані, впливу кількості переплавів і швидкості охолодження при кристалізації на структуру (розмір зерна) та механічних властивостей ливарного сплаву ВАЛ11.

Методика досліджень

Об'єкт дослідження – ливарний сплав ВАЛ11, який має такий хімічний склад, %: Mg = 6–7, Zn = 2–2,5, Zr = 0,1–0,35, Ti = 0,1–0,3, Mn = 0,1–0,2, Cr = 0,005–0,15, Be = 0,07–0,15. Середній хімічний склад сплаву ВАЛ11 брався як Mg = 6,2%, Zn = 2,3%, Zr = 0,15%, Ti = 0,15%, Mn = 0,15%, Cr = 0,1%, Be = 0,1%.

Відомо, що добавки цирконію, титану, марганцю і хрому істотно підвищують рівень механічних і технологічних властивостей досліджуваного сплаву [1–3]. Добавки берилію вводились з метою протидії окисненню сплаву ВАЛ11 при його виробництві та для модифікування небажаних залізомістких фаз [2, 4, 5]. Сплави для досліджень виготовлялись сплавленням таких шихтових матеріалів, як алюміній марки А99, магній марки Mg90, цинк марки ЦО, лігатур Al–Be, Al–Ti, Al–Zr, Al–Cr, Al–Mn. Проводились плавки в лабораторній печі опору в графітошамотному тиглі.

Після різної температурно-часової обробки в рідкому стані розплав охолоджувався з швидкістю охолодження від 30 до 270 °C/хв. Отримані стандартні зразки діаметром 10 мм піддавались термічній обробці (відпалу, гартуванню і штучному старінню) за стандартним режимом, після чого визначались їх механічні властивості (міцність на розрив, межа текучості та відносне подовження). Вимірювався також розмір зерна досліджуваного сплаву в литому стані при різних технологічних режимах обробки. Випробування механічних властивостей проводились на розривній машині TIRA-TEST за стандартними методиками. Середньоквадратичні відхилення значень механічних властивостей становили σ_b – $\pm 20,0$ МПа; $\sigma_{0,2}$ – $\pm 10,0$ МПа; δ – $\pm 15,0$ %. Хімічний аналіз зразків досліджуваних сплавів проводився при використанні методу оптичної спектроскопії випарним розрядом.

Якісний і кількісний металографічний аналіз виконано на мікроскопі NEOFOT-31.

Експериментальна частина

Вплив температури витримки розплаву (при постійному часі витримки 0,5 год) на рівень механічних властивостей сплаву ВАЛ11 показано в табл. 1, з якої видно, що максимальний рівень механічних властивостей досліджуваного сплаву відповідає температурному інтервалу (700–720) °C, а мінімальний рівень – температурним інтервалам недогріву розплаву (680–700) °C або його перегріву (740–760) °C. Було встановлено оптимальні температурно-часові параметри обробки розплаву сплаву ВАЛ11: температурний інтервал – (700–720) °C та часовий – (0,3–0,7) год.

Таблиця 1. Вплив температури витримки розплаву на механічні властивості сплаву ВАЛ11

$T_{\text{витр}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\delta, \%$
680	326	226	4
700	345	270	6
720	360	285	7
740	337	248	5
760	304	214	3

Примітка. Час витримки розплаву $\tau_{\text{витр}} = 0,5$ год, швидкість охолодження розплаву – 150 °C/хв. Температура витримки розплаву збігається з температурою його розливи.

Пояснити отримані експериментальні дані можна таким чином.

1. При невеликому перегріві розплаву вище температури плавлення зберігаються активовані підкладинки, які можуть бути центрами кристалізації при охолодженні розплаву. Якщо температура перегріву збільшується, то кількість активованих підкладинок зменшується.

2. Значне підвищення температури і часу витримки розплаву викликає зростання швидкості окиснення сплавів системи Al–Mg–Zn, за значного перегріву розплаву вище температури плавлення спостерігається значний угар магнію та цинку і відповідно — істотне зниження рівня механічних властивостей.

Було досліджено вплив кількості переплавів на структуру і механічні властивості сплаву ВАЛ11. На рис. 1 і 2 показано залежність механічних властивостей досліджуваного сплаву від кількості переплавів. З наведених експериментальних даних можна зробити висновок, що при першому переплаві зростає як міцність, так і відносне подовження сплаву ВАЛ11. Під час другого і третього переплаву механічні властивості досліджуваного сплаву зменшуються.

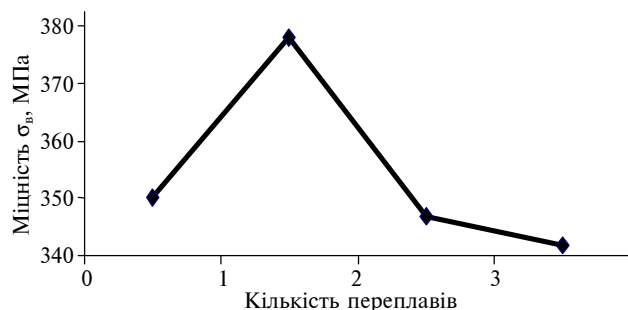


Рис. 1. Вплив кількості переплавів на міцність сплаву ВАЛ11

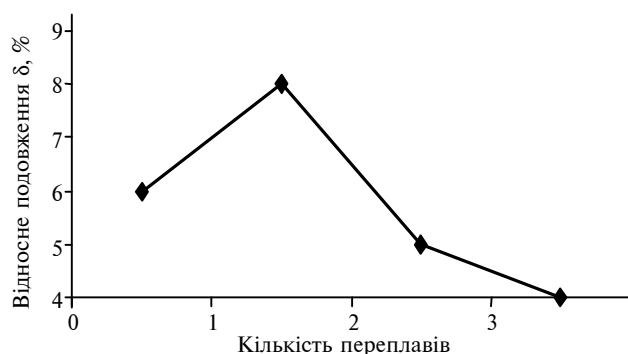


Рис. 2. Вплив кількості переплавів на відносне подовження сплаву ВАЛ11

Було встановлено, що при другому і третьому переплаві сильно вигоряють магній і цинк, що підтверджується результатами хімічного спектрального та мікрозондового аналізів зразків (табл. 2). Це, в свою чергу, призводить до зменшення кількості зміцнювальної інтерметалічної T -фази ($\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$), яка відповідає за підвищення характеристик міцності сплаву під час штучного старіння. Підвищення кількості переплавів сприяє також додатковому окисненню сплавів.

Таблиця 2. Вплив кількості переплавів на вміст магнію і цинку у сплаві ВАЛ11

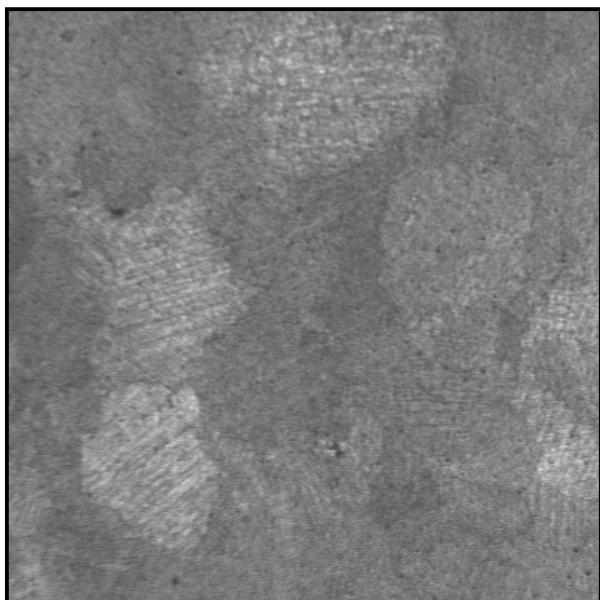
Кількість переплавів	Масовий вміст магнію, %	Масовий вміст цинку, %
0	6,43	2,32
1	6,39	2,31
2	6,12	2,11
3	5,96	1,94

Примітка. Температура лиття — 710 °С, час витримки розплаву при даній температурі — 0,4 год.

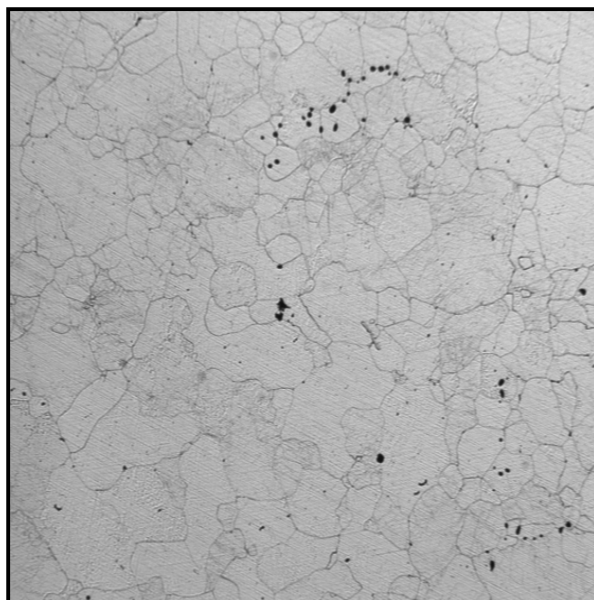
Підвищення рівня механічних властивостей сплаву ВАЛ11 після першого переплаву можна пояснити таким чином.

1. Відбувається більш рівномірний перерозподіл головних легуючих компонентів (магнію і цинку) в алюмінієвому розчині. Це підтверджується даними металографічного аналізу. Наявні до першого переплаву в структурі сплаву ВАЛ11 світлі зерна (рис. 3, а) свідчать про низький вміст у них магнію та цинку. Цей факт підтверджується і даними рентгеноспектрального аналізу. На рентгенівському мікроаналізаторі JXA-8900 RL було встановлено хімічний склад алюмінієвого твердого розчину досліджуваних сплавів. Вимірювання проводилось на поверхні зразків у 250 точках. Відстань між двома точками рентгенівського променя становила 40 мкм. Встановлено, що в окремих світлих зернах алюмінієвого твердого розчину вміст магнію знижувався до 4,37%, а вміст цинку — до 1,95% (див. рис. 3, а).

2. За рахунок першого переплаву усувається спадковий зв'язок між структурою вихідної шихти і структурою сплаву ВАЛ11 після кристалізації. На рис. 3, б наведено структуру досліджуваного сплаву після першого переплаву. З даного рисунка видно, що структура сплаву ВАЛ11 після першого переплаву характеризується більш дрібним зерном алюмінієвого твердого розчину порівняно з вихідною структурою. Це зумовлює зростання рівня механічних властивостей сплаву після першого переплаву.



а



б

Рис. 3. Вплив переплаву на структуру сплаву ВАЛ11: а – сплав до переплаву; б – сплав після першого переплаву; а, б – $\times 100$

Вплив швидкості охолодження при кристалізації на структуру і механічні властивості досліджуваного сплаву показано в табл. 3. З цих даних видно, що при збільшенні швидкості охолодження зменшується розмір зерна сплаву ВАЛ11 та істотно підвищується рівень його механічних властивостей.

Таблиця 3. Вплив швидкості охолодження при кристалізації на розмір зерна і механічні властивості сплаву ВАЛ11

$V_{\text{ох}}, ^\circ\text{C/хв}$	d , мкм	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
30	50	305	253	3
90	45	332	262	5,5
150	40	360	285	7
210	38	369	292	7,5
270	35	378	298	9

Примітка. $T_{\text{вир}} = 720 ^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{вир}} = 0,5$ год.

Висновки

1. З проведених досліджень випливає, що додатковим резервом для керування структурою і рівнем механічних властивостей сплаву ВАЛ11 є застосування оптимальних температурно-часових параметрів обробки в рідкому стані, переплаву шихтових матеріалів та швидкості охолодження при кристалізації.

2. При одночасному застосуванні оптимальних параметрів обробки в рідкому стані і збільшенні швидкості охолодження при кристалізації можна підвищити рівень характеристик міцності сплаву ВАЛ11 до 20 %, а пластичність – у три рази.

3. Перспективність подальших досліджень у даному напрямку полягає в можливості встановлення оптимальних технологічних параметрів обробки ливарних сплавів системи Al–Mg–Zn з різним хімічним складом, що є додатковим резервом підвищення рівня їх механічних властивостей.

А.А. Кулинич

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВАЛ11 ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Исследовано влияние температурно-временных параметров обработки расплава и скорости охлаж-

A.A. Kylinich

THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALLOY VAL-11 AT VARIOUS TREATMENT MODES

The paper reports on the influence of temperature-time treatment parameters of fusion and cooling rate at crystallization on a structure and level of the

дения при кристаллизации на структуру и уровень механических свойств сплава ВАЛ11. Установлены оптимальные технологические параметры обработки исследуемого сплава, которые позволяют повысить уровень его характеристик прочности на 20%, а пластичность – в три раза.

mechanical properties of the alloy VAL-11. The experimental results obtained demonstrate the optimum technological treatment parameters of the alloy under study, which allow increasing the level of its durability characteristics by 20% and plasticity by three times.

1. *Мондольфо Л.Ф.* Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
2. *Постников Н.С.* Упрочнение алюминиевых сплавов и отливок. – М.: Металлургия, 1963. – 120 с.
3. *Альтман М.Б., Амбарцумян С.М.* Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1972. – 552 с.
4. *Гаврилюк В.П., Рябініна О.О., Кулініч А.А., Доній О.М.* Вплив берилію на фазово-структурний склад і меха-

- нічні властивості сплаву Al–6%Mg–2%Zn з підвищеним вмістом заліза // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2006. – № 3. – С. 45–48.
5. *Кулініч А.А., Гаврилюк В.П., Рябініна О.О., Доній О.М.* Фазово-структурний склад і механічні властивості сплаву Al–6%Mg–2%Zn–0,5%Fe–0,5%Si з добавками берилію після різних режимів відпалу // Там же. – 2007. – № 3. – С. 101–104.

Рекомендована Радою інженерно-фізичного факультету НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
1 липня 2008 року