

Ноговіцин О.В., Баранов І.Р., Школярєнко В.П., Пригунов С.В.
(ФТІМС НАН України, м. Київ)

**ЗАЛЕЖНОСТІ ВПЛИВУ ШВИДКОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА
ТЕМПЕРАТУР ВАЛКОВОГО ЛИТТЯ-ПРОКАТКИ АЛЮМІНІЄВИХ
СПЛАВІВ НА ЇХ СТРУКТУРУ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ**

E-mail: alexey.nogovitsyn@gmail.com

Алюмінієві сплави та металопродукт на їх основі є основними конструкційними матеріалами в авіаційній, аерокосмічній, автомобілебудівній та харчових галузях. В Україні успішно використовується в авіабудуванні високоміцні алюмінієві сплави системи Al-Zn-Mg-Cu, що зміцнюються термічною обробкою і сплави середньої та підвищеної міцності системи Al-Mg-Cu. Вони виконують функцію основного конструкційного матеріалу для обшивки і внутрішніх силових елементів планера літака (фюзеляж, крило, тощо). Основна промислова технологія, яка застосовується для отримання листового прокату зі сплавів на основі алюмінію, полягає в отриманні зливка (заготовки) та його подальшої механічної та термічної обробки. Традиційні технології одержання виробів з алюмінієвих сплавів методами лиття або прокатування заготовок не забезпечують високих функціональних властивостей прокату. Тому, розробка перспективних технологій, зокрема валкового лиття-прокатування, є актуальною задачею.

Для автомобілебудування та авіації найбільший інтерес становлять високоміцні термозміцнювані сплави систем Al-Cu та Al-Zn. Однак, технологія отримання смуг (листів) товщиною 2-4 мм з вказаних матеріалів методом валкової розливки-прокатки до теперішнього часу не розроблена [1-7]. Це пов'язано з високою швидкістю охолодження (≥ 1000 °C/c) і великим (≥ 100 °C) інтервалом кристалізації сплавів цих систем. Тому, метою даного дослідження є вивчення впливу швидкості охолодження і величини інтервалу кристалізації алюмінієвих сплавів на формування структури литих заготовок.

У якості матеріалу (шихти) для експериментальних досліджень використано сплави АД35, АМг5, Д16 та В95. Визначення температурних параметрів фазових

перетворень досліджуваних зразків сплавів проводилось на приладі Derivatograph Q-1500-D. У роботі використано методи оптичної мікроскопії, механічні випробування, статистичні методи оброблення та аналізу отриманих результатів, у тому числі стандартні методи [8-10].

Експерименти проведено на обладнанні ФТІМС НАН України. Фото двовалкової ливарної машини та алюмінієвої стрічки в процесі лиття-прокатки наведено на рис. 1.



Рис. 1. Фото двовалкової ливарної машини (а) та результат лиття (б)

Результати аналізу дозволили визначити температури солідусу ($T_{\text{сол}}$) і ліквідусу ($T_{\text{лік}}$), значення яких наведені в табл. 1. Отримані значення температур добре збігаються з літературними даними [1]. Для забезпечення різної швидкості охолодження при отриманні зразків виливків застосовували ливарні форми з матеріалів з різною тепловідбірною здатністю (графіт, фторфлогопіт, кварцове скло).

Таблиця 1– Температури тверднення досліджуваних сплавів

Сплав (ГОСТ)	Аналог (EN)	Температура, °С		
		ліквідус	солідус	інтервал кристалізації
В95	7075	630	470	160
АМг5	5086	632	567	35
Д16	2024	635	503	132
АД35	6082	641	564	77

Зміни температури зразків під час твердіння вимірювали хромель-алюмелевими термопарами. За допомогою аналого-цифрового перетворювача WAD AIK BUS показники термопар фіксувались у цифровому вигляді з частотою 8 Гц і передавались на комп'ютер для побудови кривих охолодження. Подальша обробка цих даних дозволила розрахувати швидкість охолодження сплаву у проміжок часу між температурою перегріву розплаву та температурою ліквідусу. Значення швидкостей охолодження отриманих у ході описаного експерименту показують, що вдалося охопити діапазон швидкостей від 2,5 до 154 °C/с. Для визначення впливу швидкостей охолодження на структуру алюмінієвих сплавів в більш широкому діапазоні були додатково відібрані зразки отримані валковим розливанням. Швидкість охолодження при валковому розливання досягала ≈ 1000 °C/с. Фотографії мікроструктур алюмінієвих сплавів після кристалізації з різною швидкістю охолодження наведено на рис. 2.

Встановлено, що по мірі зростання швидкості охолодження розмір зерна α -фази в алюмінієвих сплавах зменшується з 120 до 200 мкм при швидкості охолодження 2...8 °C/с до 10...40 мкм при швидкості охолодження 1000 °C/с.

Структура зразків, що досліджувались складається з первинних кристалів α -фази різної дисперсності: кристали, з перетином в полі зору шліфа 180...250 мкм і середнім розміром дендритів 50 мкм; кристали з перетином 25...50 мкм і дендритів не більше 8 мкм.

Також у структурі присутні інтерметаліди. Важливо відмітити те, що зразок з смуги отриманої валковим розливанням рис. 1, б, має однорідну структуру з рівномірним розподілом фазових складових по перетину (рис. 2).

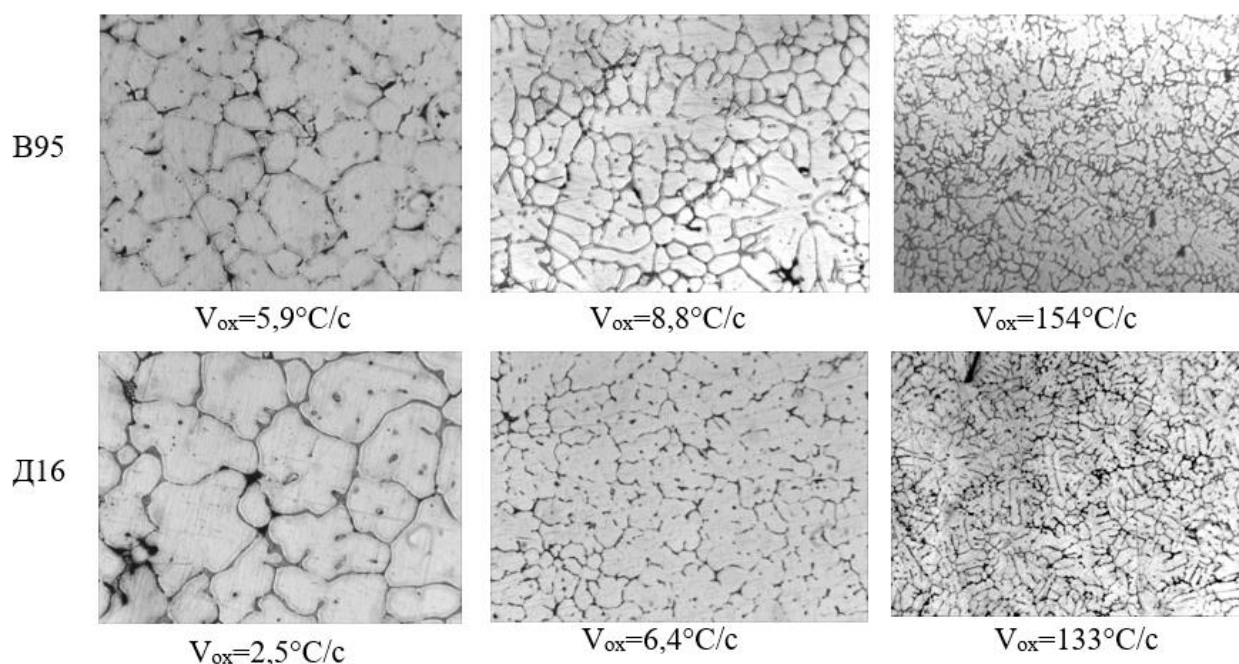


Рис. 2. Мікроструктури зразків алюмінієвих сплавів, отриманих з різною швидкістю охолодження під час кристалізації (x200)

Також в структурі присутні інтерметаліди. Важливо відмітити те, що зразок з смуги отриманої валковим розливанням рис. 1, б, має однорідну структуру з рівномірним розподілом фазових складових по перетину (рис. 3).



Рис. 3. Мікроструктура зразка алюмінієвого сплаву Д16, отриманого методом валкового лиття-прокатування (x100)

Вплив швидкості охолодження сплавів АД35, АМГ5, Д16 та В95 на час їх тверднення добре описується ступеневою функцією. Характер залежностей ідентичний для усіх чотирьох досліджених сплавів. Тверднення сплавів у

графітовій формі триває 2,6...6,8 с, у фторфлогопітовій 22...42 с, у кварцовій трубці 170...360 с. Екстраполяція результатів у бік більш високих швидкостей охолодження характерних для валкового розливання показує (рис. 4), що при швидкості охолодження, характерної для валкової розливки, час тверднення усіх досліджених сплавів становить доли секунди, що є прийнятним для забезпечення стабільного технологічного процесу.

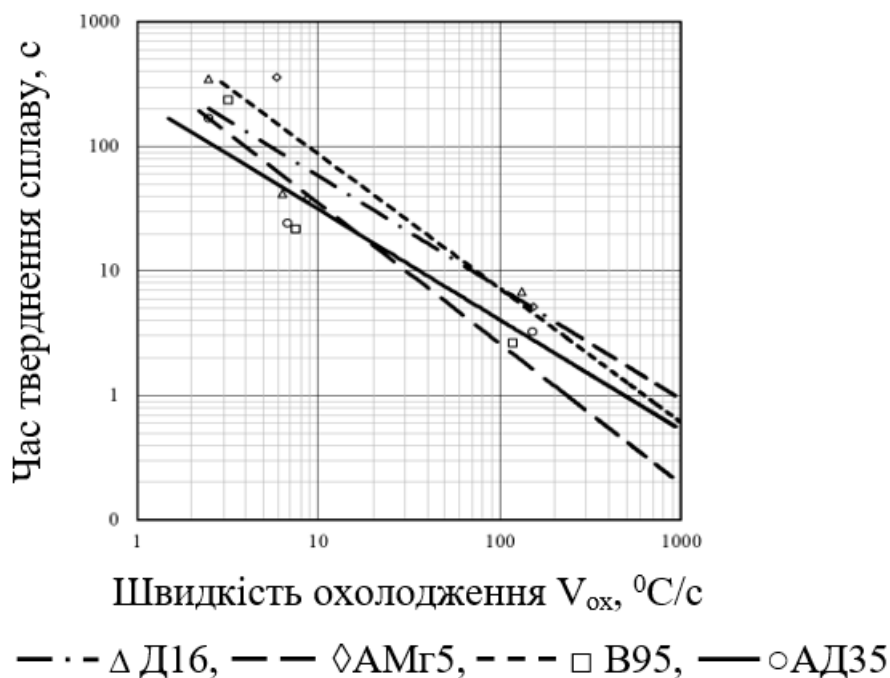


Рис. 4. Графіки залежності часу тверднення алюмінієвих сплавів від швидкості охолодження в діапазоні швидкостей охолодження ≥ 6000 C/c

Таким чином, у роботі визначено вплив швидкості охолодження при кристалізації алюмінієвих сплавів В95, АМГ5, Д16, АД35 на структуру, розмір зерна первинної α -фази, твердість зразків сплавів.

Висновки:

1. Обґрунтовано, що основними параметрами стабільного технологічного процесу отримання якісного прокату з високоміцних алюмінієвих сплавів у ливарно-прокатних машинах є: температура перегріву сплаву, швидкість розливання та рівень розплаву в міжвалковому просторі.

2. Встановлено, що із зростанням швидкості охолодження розплаву розмір зерна α -фази зменшується з 120 до 200 мкм (при швидкості 2...8 °C/c) до 10...40 мкм (при швидкості 1000 °C/c); час тверднення у різних ливарних формах триває: 2,6...6,8 с (графітова); 22...42 (фторфлогопітова); 170...360 с (кварцова); підвищується твердість сплавів від 45 до 56 НВ (сплав АД35), від 80 до 103 НВ (сплав В95), від 60 до 68 НВ (сплав АМГ5), від 69 до 88 НВ (сплав Д16).

3. Виявлено спільні закономірності впливу швидкості охолодження розплаву різних марок алюмінієвих сплавів на структуру і механічні властивості.

4. Отримані результати дозволяють розраховувати швидкісні режими роботи валкових ливарних машин для отримання бездефектного прокату алюмінієвих сплавів з широким інтервалом кристалізації (≥ 100 °C), а також прогнозувати структуру прокату та механічні властивості при різних режимах охолодження литої заготовки.

Література:

1. Aluminum and Aluminum Alloys, AMS International, 1993. Handbook of Aluminum: Vol. 1, ed. G. E. Totten, D. S. MacKenzie.

2. Ноговицын А.В. Технология получения листового проката из сплава Д16 на валковой разливочной установке / А.В. Ноговицын, А.В. Наривский, И.Р. Баранов, В.П. Школяренко, В.Н. Шаповал // Процессы литья. 2017. №3(23). С.37-42.

3. Кондратюк С.Е. Влияние параметров кристаллизации и горячей деформации на характеристики структуры сталей при валковом прокатывании / С.Е. Кондратюк, О.В. Ноговицын, О.М. Стоянова, И.Р. Баранов, Ж.В. Пархомчук // Металлознание та обробка металів. 2016. №3. С. 10-17.

4. Ноговицын А.В. Расчет температуры полосы при валковой разливки стали / А.В. Ноговицын, И.Р. Баранов // Процессы литья. 2014. №4(106). С.30-38.

5. Прыгунова А.Г. Влияние гомогенизации на структуру сплава Д16 после литья-прокатки / Прыгунова А.Г. Ноговицын А.В., Баранов И.Р. // Материалы XI

международной научно-практической конференции «Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2019», Киев. 2019. С.154-155.

6. Ноговицын А.В. Особенности затвердевания алюминия в процессе двухвалковой разливки-прокатки / А.В. Ноговицын, И.Р. Баранов // Материалы международной научно-практической конференции «Горизонты науки: материаловедение и металлургия». Грозный, Чеченская респ., 2018. С.27-33.

7. Ноговицын А.В. Прогнозирование скорости разливки на валковых ЛПА / А.В. Ноговицын, И.Р. Баранов // Материалы II Международной научно-технической конференции «Литейное производство: технология, материалы, оборудование, экология». Киев ФТИМС. 2012. С.225-226.

8. Белов А.Ф., Бочвар А.А. Металловедение и обработка цветных сплавов, Москва: Наука, 1992. – 229 с.

9. ДСТУ EN ISO 6506-1:2019 (EN ISO 6506-1:2014, IDT; ISO 6506-1:2014, IDT) Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 1. Метод випробування. – 16 с.

10. Натапов Б. С. Металловедение. – Москва: Металлургиздат, 1956. – 344 с.

Пригунов С.В., Баранов І.Р., Гончаров О.Л., Сіренко К.А.

(ФТИМС НАН України, м. Київ)

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПРЕСОВАНИХ ПРОФІЛІВ З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Al-Mg-Si НА ЇХ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

E-mail: s.prigunov@gmail.com

Пресовані профілі з алюмінієвих сплавів широко використовується в різних галузях промисловості, житловому та промисловому будівництві, аерокосмічній техніці, що зумовлено поєднанням їх високих фізико-механічних властивостей, корозійної стійкості з невеликою питомою вагою. Значна частка (до 80%) пресованих профілів виготовляється зі сплавів системи Al-Mg-Si (серія бxxx). На властивості цих профілів впливає весь цикл термічних операцій, включаючи