

при дистанции наплавки $L = 14$ мм (фокус луча над поверхностью основы) в случае, когда имеет место минимальный переплав основы. Наименьшее содержание никеля, хрома и кремния в покрытии имеет место при дистанции наплавки $L = 10$ мм (фокус луча под поверхностью основы), что может свидетельствовать о сильном переплаве поверхности основы, когда часть этих элементов из покрытия переходит в последнюю. С увеличением скорости наплавки наблюдается уменьшение содержания никеля, хрома и кремния в покрытии.

В процессе наплавки имеет место ожелезнение материала получаемого покрытия. При этом содержание железа в покрытии (рисунок 2 б) для всех зон валиков минимально при дистанции $L = 14$ мм (фокус луча над поверхностью основы), что хорошо согласуется с наименьшим переплавом основы в этом случае. Наибольшее же содержание железа в покрытии наблюдается при дистанции $L = 10$ мм (фокус под поверхностью основы), т.е. когда происходит наибольший переплав основы и взаимное перемешивание покрытия с основой. При этом степень переплава достаточно высока, т.к. содержание железа в покрытии может достигать 70%_{вес.}, в то время как содержание никеля падает до 20%_{вес.} (в исходном порошке содержание никеля составляет порядка 70%_{вес.}, а содержание железа – 3-4%_{вес.}). С увеличением скорости наплавки содержание железа в покрытии увеличивается.

Полученные данные о равномерном распределении микротвердости и содержания элементов в поперечном сечении покрытия при лазерной наплавке свидетельствуют о том, что при лазерной наплавке, когда поперечное сечение валика сопоставимо с диаметром лазерного пятна, происходит равномерный прогрев и перемешивание материала покрытия по всему его объему.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lon, John C. Laser processing of Engineering Materials: principles, procedure and industrial application/ John C. Lon. – Burlington: Elsevier Butterworth-Heintmann, MA, 2005.
2. Steen, William M., Laser Material Processing, third Ed./ William M. Steen. – London: Springer, 2003.
3. Toyserkani, E. Laser Cladding/ E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin. - Boca Raton, Florida: CRS Press, 2005.
4. De Hosson, J. Th. M. Functionally graded materials produced with high power lasers/ J. Th. M. De Hosson, V. Ocelic// Proceeding of ASTRA – 2003. - Hyderabad, India, 2003. P. 368-376.

УДК 669.716.621.785

ГОМОГЕНИЗАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СЛИТКОВ, ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В МЕТАЛЛЕ, ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ГОМОГЕНИЗАЦИИ

Капленко В. С.

Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Целью данной работы является оптимизация режимов термической обработки алюминиевых слитков марок АД31, АД33, т.е. определение температуры и минимальной продолжительности времени выдержки при гомогенизационном

отжиге, обеспечивающем благоприятную макро- и микроструктуру для обработки металла давлением.

В условиях жесткой конкуренции между производителями остро стоит вопрос повышения производительности получения прессованных профилей за счёт уменьшения технологического цикла. В процессе производства слитков из сплавов системы Al-Mg-Si важную роль играет операция гомогенизации. Этот вид термической обработки литого материала используется для устранения неоднородностей структуры, связанных с неравновесными условиями затвердевания слитка при непрерывном литье. В литом состоянии границы зерна и дендритных ячеек обогащены магнием и кремнием. Если в средней части дендритной ячейки химический состав примерно постоянен, то вблизи границ концентрация этих элементов резко возрастает [1].

Следует отметить, что при исследовании микроструктуры в этих же местах наблюдаются частицы фазы Mg_2Si темного цвета и светло серые частицы железосодержащей фазы β (Al_5FeSi) пластинчатой формы, выделившиеся в процессе кристаллизации и последующего охлаждения. Часто встречаются светло серые частицы α (Al_8Fe_2Si) шрифтообразной формы и др., появление которых обусловлено ограниченной растворимостью железа в твердом растворе и условиями кристаллизации [1].

В результате границы дендритных ячеек и зерен, оказываются окаймленными выделениями фаз, что охрупчивает сплав, повышает сопротивление деформации и снижает температуру начала образования трещин из-за недостаточной пластичности металла. Поэтому прессование такой заготовки затруднено и возникает необходимость в отжиге слитка при определенных условиях, под действием которой усредняется химический состав по всему объему зерна, а также видоизменяются частицы железосодержащих фаз. Все это способствует улучшению технологичности сплава при прессовании, которое выражается в снижении сопротивления деформации, возможности производства тонкостенных профилей сложной формы, повышении уровня механических свойств, улучшении качества поверхности профилей и увеличении выхода годного [1].

Термическая обработка слитка сопровождается протеканием следующих процессов:

- Растворение фазы Mg_2Si и выравнивание концентрации магния и кремния в объеме зерна.
- Трансформация железосодержащих фаз.
- Распад пересыщенного твердого раствора переходных металлов.
- Выделение фазы Mg_2Si при охлаждении гомогенизированных слитков [2].

Режимы осуществления гомогенизационного отжига отличаются у разных производителей и проводятся при температурах 540-580 °C в течение 4-10 часов. Согласно ранее проведенным исследованиям, доказано, что для сплава АД31 имеется принципиальная возможность повышения температуры отжига до 600-620 °C, при этом существенно сокращается время гомогенизации и не наступает пережога металла [1].

Кинетика растворения эвтектической фазы Mg_2Si была изучена в процессе закалки при температурах 560-600 °С - выдержке в течение 3-60 мин, охлаждении в воду и последующего искусственного старения при температуре 160 °С в течение 4 ч. После проведения такой термообработки по уровню повышения твёрдости можно проследить, сколько времени необходимо для растворения Mg_2Si кристаллизационного происхождения. На рисунке 1 приведены результаты измерения твёрдости образцов в зависимости от времени выдержки при закалке [1].

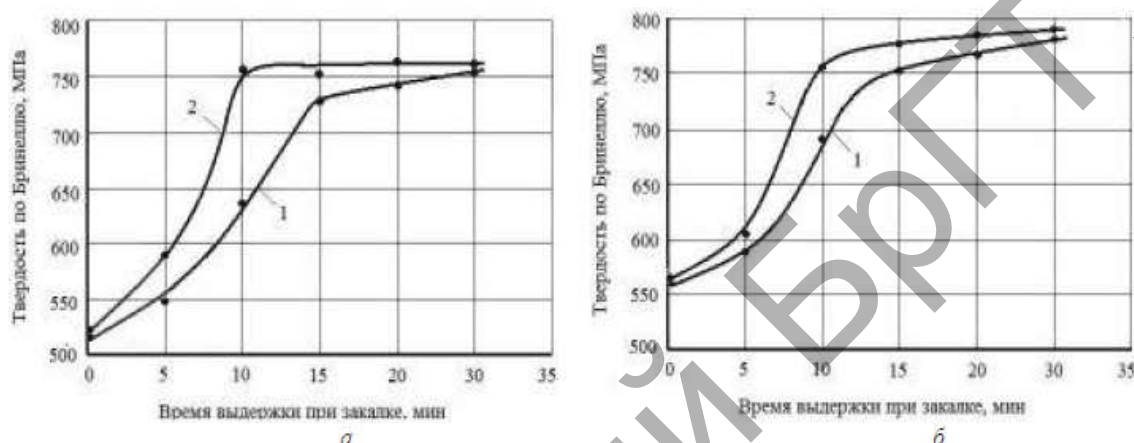


Рисунок 1 – Зависимости состаренных образцов алюминиевых сплавов АД31 (а) и АД33 (б) от времени выдержки при закалке с температуры 560 °С и 600 °С [1]

Кривые изменения твёрдости образцов сплавов АД31 и АД33 носят схожий характер: с увеличением времени выдержки при закалке до 10-15 мин твёрдость сплавов достигает максимума и составляет примерно 730-770 МПа, а дальнейшее увеличение выдержки не приводит к заметному ее увеличению. Данное обстоятельство свидетельствует, что для растворения фазы Mg_2Si в сплавах АД31 и АД33 требуется, соответственно, примерно 10 мин при 600 °С и около 15 мин при 560 °С [1].

С целью изучения трансформации железистых фаз была исследована микроструктура образцов из сплава АД31 в литом состоянии, а также после отжигов при температурах 560 и 600 °С в течение 30-240 мин. Согласно ранее проведенным исследованиям, идентификация фаз $\alpha-Al_8Fe_2Si$ и $\beta-Al_5FeSi$ по окраске при травлении в различных реактивах невозможна, поэтому их идентифицируют только по морфологии: фаза α близкая к равновесной, а фаза β - иглообразной формы, вытянутая [1].

Выявлено, что после отжига при 560 °С в течение 30-60 мин в отдельных полях зрения присутствуют единичные включения Mg_2Si , отмечается лишь некоторая фрагментация частиц фазы α , а количество иглообразных частиц фазы β уменьшается незначительно по сравнению с литым состоянием. Однако после выдержки в течение 240 мин в структуре образцов существенно снижается количество вытянутых игольчатых частиц, прошла сфероидизация железистых

фаз. Отжиг при повышенной температуре 600 °С приводит к ускорению диффузионных процессов, более полной трансформации железистых фаз, и даже при выдержке 90 мин в структуре почти полностью отсутствует вытянутая игольчатая фаза (рисунок 2) [1].

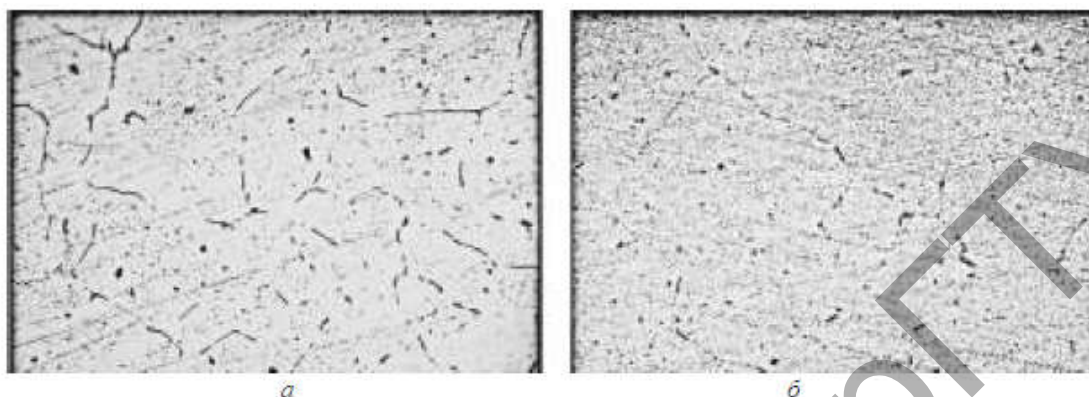


Рисунок 2 – Микроструктура слитка сплава АД31 в литом состоянии (а) и после отжига при 600 °С в течение 90 мин (б) (x500) [1]

В ходе проделанной работы, ссылаясь на теоретические данные, можно сделать вывод о том, какой режим гомогенизации алюминиевых слитков является оптимальным. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Итоговые данные по выбору оптимального режима гомогенизации алюминиевых слитков для сплавов АД31, АД33.

Режимы гомогенизации	Время нагрева, ч.	Время выдержки, ч.	Время охлаждения, ч.	Температура нагрева, °С
Действующий режим на СООО «АлюминТехно» (РБ)	5	5	5	570-585
Оптимальный режим	5	1,5	4 (охлаждение в воде)	600

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности повышения температуры гомогенизационного отжига исследованных слитков до температуры 600 °С, при этом длительность выдержки термообработки можно сократить до 90 мин, что позволит обеспечить благоприятную макро- и микроструктуру для обработки металлов давлением.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Макаров Г.С. Основы производства слитков из алюминиевых сплавов, легированных магнием и кремнием, Москва 2010г.
2. Седов Э.В; Бондарева О.П; Палаткина Л.В; Тарасов И.С. Оптимизация режимов гомогенизации слитков из алюминиевых деформируемых сплавов [Электронный ресурс]. Тип: статья в журнале – научная статья; том: 9; номер: 9; год: 2014; страницы 145-148. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21947682>.