

Исследование влияния параметров охлаждения на структуру и свойства слитка из алюминиевого сплава и разработка рекомендаций по оптимизации режима охлаждения

Студент гр. 10404129 Кучмин Я.С.
Научный руководитель - Садоха М.А.
Белорусский национальный технический университет

Алюминиевые сплавы сегодня применяют для изготовления широкого спектра продукции. Материалы являются экономичным сырьём для производства труб, инженерных конструкций, кухонной посуды, деталей систем микроклимата и других изделий [1].

Различные алюминиевые сплавы нашли применения в различных отраслях повседневной жизни и начали подразделяться по запланированной области применения на [2]:

- *Деформируемые*. Они предназначены для получения полуфабрикатов способами горячего и холодного деформирования – прокаткой, прессованием, протяжкой. Это листы, профили, прутки, трубы.
- *Литейные*, используемые для получения фасонного литья. Характеристики литейных сплавов повышают различными способами термической обработки.
- Получаемые по технологии *порошковой металлургии* – САС и САП.

Структура сплавов для каждого нужд отличается, в данной статье пойдет речь о структуре деформируемых сплавах.

Для прессовой заготовки, вырезаемой из слитка, химический состав является одним из важнейших факторов, определяющих постоянство ее качества, от которого во многом зависят температурно-скоростные условия прессования и стабильность свойств прессованных изделий. Это следует иметь в виду при массовом производстве, когда при прессовании данного профиля переход на использование заготовок этого же сплава, но другой партии или поставки, не должен приводить к заметным изменениям его механических свойств и параметров процесса прессования или требовать опробования металла на предварительных прессовках, приводящих к нерациональным затратам времени работы пресса и увеличению количества отходов. Вместе с тем, диапазон концентраций легирующих элементов в сплавах достаточно широк и может явиться причиной таких изменений. В качестве примера можно привести исследование Лангервегера [1], разделившего сплав 6063 (0,45-0,9%Mg и 0,20-0,6% Si) на три состава, химический состав каждого варианта приведен в таблице 5, каждый из которых был предназначен для достижения различных уровней технологичности при прессовании (максимальной скорости прессования без образования дефектов) и механических свойств.

Отсюда становится понятной важность ограничения содержания легирующих элементов внутри существующих марок сплавов более жесткими пределами ($\pm 0,025\%$), что позволяет в максимальной степени учесть вклад химического состава в поведение заготовки в процессе прессования и однородность свойств прессованных изделий [3].

Также немаловажным фактором является термическая обработка слитков.

Высокотемпературная гомогенизация с регламентированным охлаждением приводит к переводу фазы Mg_2Si в мелкодисперсные частицы, равномерно распределенные по твердому раствору, и заметному очищению границ зерен и дендритных ячеек от частиц фаз за счет превращения железосодержащей β - фазы пластинчатой формы в α - фазу округлой формы. Обеднение твердого раствора, уменьшающее сопротивление металла деформации, и перевод железосодержащих частиц в модификацию α оказывают благоприятное воздействие на скорость прессования и производительность пресса. Отчетливо прослеживается тенденция увеличения съема с прессовой линии с повышением доли α -фазы в структуре слитков [4].

Таким образом мы можем сказать, что на структуру алюминия влияют многие факторы, какие как: первоначальное сырьё, химический состав шихты, легирующие и модифицирующие добавки, улучшающие свойства расплава, температура розлива сплава, гомогенизационный режим, а также, важную роль играет, скорость охлаждения после гомогенизации.

Влияние охлаждения на осаждение частиц Mg_2Si было исследовано с использованием двух различных типов циклов охлаждения после 6-часовой выдержки при $580\text{ }^\circ\text{C}$. Первый из них включал непрерывное охлаждение со скоростью до $12\text{ }^\circ\text{C/ч}$ (воздушное охлаждение). Для размеров образцов, использованных в настоящем исследовании, воздушное охлаждение соответствовало скорости охлаждения $2000\text{ }^\circ\text{C/ч}$. Температуры регистрировались непосредственно на образцах в зависимости от времени, и были приняты меры для установления постоянной скорости охлаждения до $200\text{ }^\circ\text{C}$, после чего все образцы подвергались воздушной закалке. Вторая серия экспериментов по охлаждению включала 2-часовую изотермическую стадию при различных температурах от 450 до $200\text{ }^\circ\text{C}$. Образцы, выдержанные при $580\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 6 ч, подвергались воздушной закалке до и после 2-часовой изотермической стадии. Эти образцы были исследованы на предмет степени осаждения Mg_2Si и размера частиц Mg_2Si . Их исследовали после травления 0,5%-ным раствором HF с помощью оптического микроскопа модели Olympus BX51M. Образцы были слегка перетравлены, чтобы облегчить прямое наблюдение мелких частиц Mg_2Si с помощью светового микроскопа. Изображение в темном поле также использовалось для улучшения разрешения. Электропроводность образцов измерялась с помощью тестовой установки Sigma для оценки степени активности осаждения.

Вывод

Выдержка при $540\text{ }^\circ\text{C}$ не оправдывает ожиданий, поскольку не устраняет микросегрегацию и не обеспечивает превращения $\beta\text{-AlFeSi}$ в $\alpha\text{-AlFeSi}$, что желательно для улучшения качества поверхности и экструдирруемости материала. Междендритная сеть плит $\beta\text{-AlFeSi}$ заменяется дисперсией равноосных дискретных частиц $\alpha\text{-AlFeSi}$ и получается гомогенный твердый раствор Al (Mg, Si), начиная с $560\text{ }^\circ\text{C}$. Требуется выдержка в течение 6 часов при $580\text{ }^\circ\text{C}$, чтобы полностью преобразовать фазу $\beta\text{-AlFeSi}$ в фазу $\alpha\text{-AlFeSi}$ в настоящем сплаве с очень низким содержанием Mn [7].

Степень осаждения увеличивалась с уменьшением скорости охлаждения после гомогенизации. Однако при скорости охлаждения ниже $100\text{ }^\circ\text{C/ч}$ образуются крупные частицы $\beta\text{-Mg}_2\text{Si}$, которые, как было показано с помощью DSC, трудно растворяются при повторном нагревании. С другой стороны, желательна скорость охлаждения ниже $200\text{ }^\circ\text{C/ч}$ для достижения эффективного истощения матрицы твердого раствора при низком напряжении текучести и низком сопротивлении деформации экструзии. Таким образом, делается вывод, что скорость охлаждения от 200 до $100\text{ }^\circ\text{C/ч}$ является оптимальной для данного сплава для обеспечения высокой экструдирруемости и качества поверхности, если после замачивания использовать непрерывное охлаждение [8].

Было обнаружено, что ступенчатое охлаждение при $250\text{-}300\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 ч приводит к интенсивному осаждению мелкодисперсного метастабильного $\beta\text{r-Mg}_2\text{Si}$ частицы, которые легко растворялись при повторном нагревании. Поэтапное охлаждение в условиях, описанных выше, по-видимому, является лучшей практикой, чем непрерывное охлаждение со скоростью от 100 до $200\text{ }^\circ\text{C/ч}$ для достижения оптимальных физико-химических свойств заготовки. Первый обеспечивает более полное истощение твердого раствора алюминия, т. е. меньшие напряжения при текучести, избегая образования крупных и стабильных частиц Mg_2Si , которые очень трудно растворить во время повторного нагрева и, таким образом, пережить процесс экструзии, ухудшающий как качество поверхности, так и механические свойства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. E. C. Beatty, in: Proceedings of the First International Aluminum Extrusion Technology Seminar, Paper no. 10, Aluminum Association, Washington, DC, 1969.
2. A. J. Bryant, G. E. Macey, R. A. P. Fielding, *Light Met. Age* (2002) 6.
3. E. C. Beatty, in: Proceedings of the Second International Aluminum Extrusion Technology Seminar, vol. 1, pp. 225–228.
4. J. Langerweger, in: Proceedings of the Conference on Aluminium Technology, London, March 1986, p. 216.
5. Фридрих Остерман. Технология применения алюминия/ Пер. С нем. Под руководством и общей редакцией д. т. н. В. Г. Борисова, к. т. н. М. З. Локшина. – М. : НП «АПРАЛ», 2019, с. 114.
6. Г. С. Макаров. Основы производства слитков из алюминиевых сплавов, легированных магнием и кремнием. –, 2010. 4 – 250 с.
7. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые
8. EN 573-3 Алюминий и алюминиевые сплавы. Химический состав и форма деформируемых изделий.