

Влияние ультразвуковой обработки расплава на структуру и свойства слитков из алюминиевых сплавов

Магистрант группы 50424022 Дикун А.О.

Научный руководитель - Ровин С.Л.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Наряду с традиционными способами воздействия на структуру и, соответственно, механические свойства металлических сплавов введением в расплав специальных модифицирующих добавок, известным, хотя и не так широко используемым методом, является физическое воздействие на расплав в процессе кристаллизации: вибрация, ультразвук, электрогидравлический удар и др. В тоже время в тех случаях, когда необходимо строгое соблюдение заданного элементного состава или при обработке чистых металлов, зачастую применение физических методов является предпочтительным. Среди них, одним из наиболее перспективных является применение механических ультразвуковых волн, особенно при обработке легких металлов.

Обработка расплава ультразвуком, помимо основного модифицирующего эффекта – измельчения зерна формирующегося слитка, повышает скорость растворения легирующих элементов, улучшает дегазацию и обеспечивает гомогенизацию металла по всему его объёму.

Для достижения требуемого эффекта важнейшее значение имеет правильный выбор параметров ультразвуковой обработки сплава: частоты, мощности и амплитуды ультразвуковых колебаний, времени воздействия и условий введения ультразвука в расплав. Кроме того, важным фактором является подбор материала волновода (волновод должен обладать необходимой жаропрочностью, инертностью к обрабатываемому расплаву, устойчивостью к ультразвуковому воздействию) и строгое соблюдение заданного химического состава сплава.

Типовая схема установки ультразвуковой обработки расплава показана на рисунке 1.

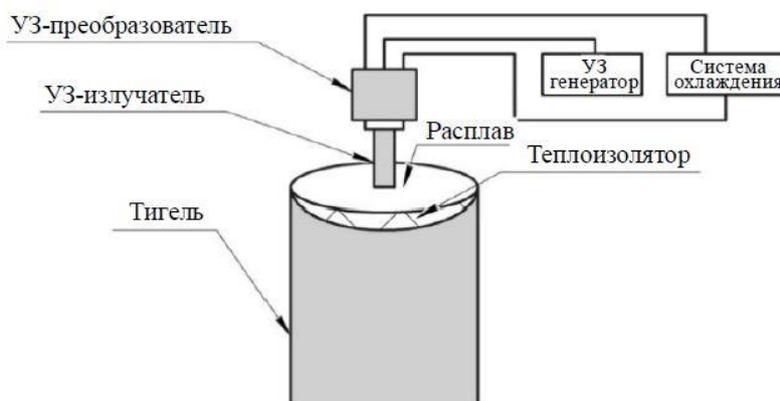


Рисунок 1 - Типовая схема ультразвуковой обработки расплава

Результаты исследований воздействия ультразвуковой обработки на алюминиевые сплавы, представленные различными авторами, подтверждают высокую эффективность этого метода при дегазации расплава, в первую очередь как средства борьбы с водородной пористостью, а также для измельчения структуры получаемых слитков или отливок. Эксперименты, проведенные авторами [1-3], показали, что воздействие ультразвуком с частотой 15-20 кГц на силумины, дюралюмины и тройные сплавы типа $AlSi9Cu3$ в процессе кристаллизации позволяет в 3-4 раза уменьшить средние размеры зерна получаемых слитков до 60-80 мкм. Результаты эксперимента по воздействию ультразвуком на алюминиевый сплав Al-4% Cu показаны на рисунках 2, 3.

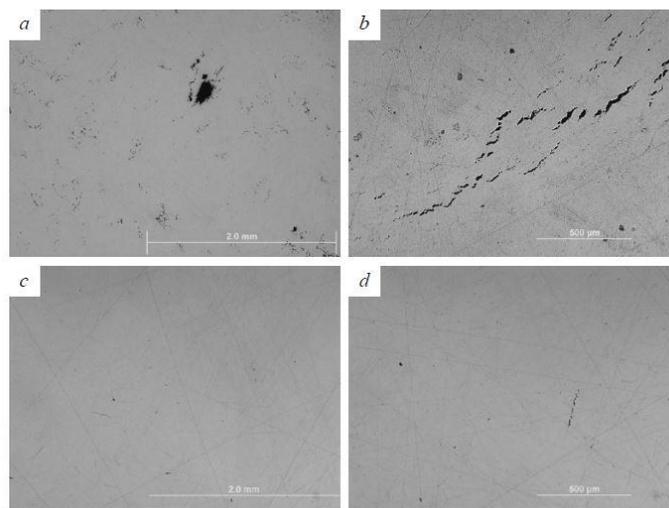


Рисунок 2 - Структура образцов сплава Al-4%Cu: a, b – без ультразвуковой обработки расплава; c, d – с применением ультразвуковой обработки расплава

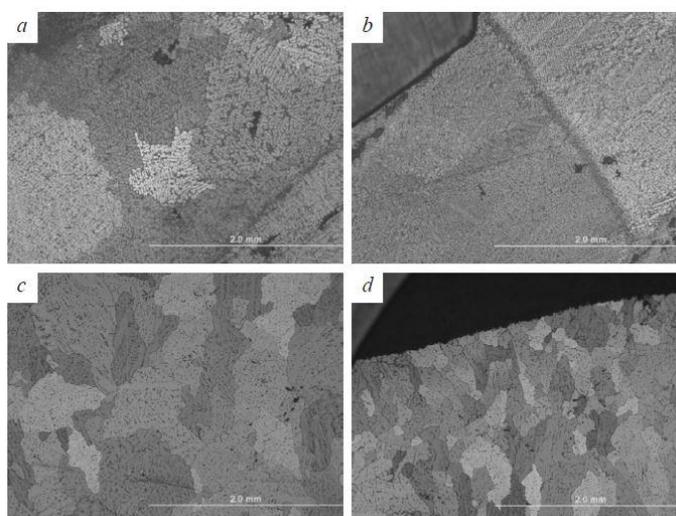


Рисунок 3 - Структуры образцов сплава Al-4%Cu в поляризованном свете: a, b – без обработки расплава; c, d – с применением ультразвуковой обработки расплава

В работах [4, 5] описано воздействие ультразвуковых колебаний на зарождение и рост кристаллов алюминиевого сплава марки А356 (аналог АК7пч), содержащий 6,5-7,5 % кремния. Использовался ультразвуковой генератор мощностью 1,5 кВт с частотой 20 кГц.

Температуры начала и конца кристаллизации сплава составляют 614 °С и 554 °С, соответственно. Первичные дендриты алюминия образуются при 614°С, двойная эвтектика при 574°С, тройная эвтектика и комплекс интерметаллидных фаз формируются на последних стадиях кристаллизации. Без ультразвуковой обработки сплав имел дендритную структуру со средним размером зерна до 1-1,5 мм. После ультразвуковой обработки зерна приобрели сферическую форму со средним размером зерна не более 200 мкм.

В указанных работах также приведены результаты исследования режима обработки расплава ультразвуком: прерывистый и непрерывный варианты обработки. Эксперименты показали, что прерывистое (импульсное) воздействие эффективнее измельчает зерно, чем непрерывная ультразвуковая обработка. Увеличение длительности ультразвуковой воздействия в изотермических условиях с 3-5с до 10-20с, также лишь незначительно улучшило структуру.

В работе [6] исследовалось влияние ультразвуковой обработки расплава на качество поверхности непрерывнолитой заготовки из сплава Al-1% Si. Использовался генератор ультразвука с максимальной мощностью 1 кВт и частотой 22,3 кГц.

В отсутствии ультразвукового воздействия температура по длине разливочного устройства через каждые 100 мм снижается в среднем на 11 °С. При ультразвуковом воздействии распределение температуры по сечению более равномерное и максимальный градиент составляет около 2 °С.

Шероховатость поверхности слитка снизилась с 30-40 мкм до 10 мкм. Исследование микроструктуры полученных слитков показало, что в отсутствии ультразвуковой обработки структура слитка состоит главным образом из крупных зерен (средний размер зерна составляет около 100 мкм). Ультразвуковая обработка расплава при непрерывном литье приводит к уменьшению среднего размера зерна до 31,2 мкм. Так же, согласно полученным данным после ультразвукового воздействия повышается растворимость кремния в α -фазе, первичные кристаллы кремния становятся тоньше.

Авторы работы [1] использовали ультразвуковую обработку для изменения литой структуры и улучшения механических свойств сплава AlSi9Cu3.

Микроструктура образца, отлитого без ультразвуковой обработки расплава полностью дендритная, длина отдельных ветвей достигает 700 мкм. Ультразвуковая обработка при 640 °С способствовала формированию розеточных зерен алюминия со средним размером около 65 мкм. Снижение температуры расплава при обработке до 630-620 °С позволило получить розеткоподобные и округлые зерна со средним размером около 50-55 мкм. А ультразвуковая обработка при 615 °С обеспечивает преобладание в микроструктуре сферических зерен со средним размером зерен около 43 мкм. Кроме изменения размера и формы формирующихся зерен металлической матрицы отмечено изменение размера, толщины и межфазного расстояния эвтектических выделений кремния. Для каждой температуры обработки повышение мощности способствовало измельчению зерна.

Таким образом, анализ результатов исследований, представленных в открытых источниках, позволяет сделать вывод о перспективности ультразвуковой обработки расплавов легких металлов с целью дегазации, улучшения их структуры и повышения механических свойств, при этом наилучший эффект с точки зрения воздействия на микроструктуру формирующегося слитка оказывает пульсационное воздействие ультразвука при температурах наиболее близких к точке начала кристаллизации сплава.

Список использованных источников

1. Puga, H. Influence of ultrasonic melt treatment on microstructure and mechanical properties of AlSi9Cu3 alloy / H. Puga [и др.] – J. Mater. Proc. Technol, 2011. – No. 211. – P.1729–1735.
2. Kudryashova, O.B. Ultrasonic effect on the penetration of the metallic melt into submicron particles and their agglomerates / O. B. Kudryashova [и др.] – Russ. J. Non-Ferrous Metals, 2017. – No 4. – С. 427–433.
3. Sillekens, W.H. The ExoMet Project: EU/ESA research on high performance light metal alloys and nanocomposites / W.H. Sillekens [и др.] – Metal. Mater. Trans. A: Phys. Metal. Mater. Sci., 2014. – No 8. – P.3349–3361.
4. Vorozhtsov, S. The Influence of ScF3 nanoparticles on the physical and mechanical properties of new metal matrix composites based on A356 aluminum alloy / S. Vorozhtsov – JOM, 2016. – No. 12. – P. 3101–3106.
5. Jian, X., Effect of power ultrasound on solidification of aluminum A356 alloy / X. Jian, H. Xu, T.T. Meek, Q. Han // Materials Letters 59, 2005. – P. 190–193.
6. Xin-tao, Li. Study of ultrasonic melt treatment on the quality of horizontal continuously cast Al–1%Si alloy / Li Xin-tao, Li Ting-ju, Li Xi-meng, Jin Jun-ze // Ultrasonics Sonochemistry 13, 2006. – P.121–125.