

УДК 669.295

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПОСОБА ЛИТЬЯ ПОД ПОРШНЕВЫМ ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

© 2012 Ф. В. Гречников, И. П. Попов, А. М. Бибиков,
Е. Г. Демьяненко, К. А. Николенко

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Рассмотрены способы литья в виде поршневого прессования с воздействием слабых импульсных токов на расплав при его кристаллизации в виде цилиндрического слитка. Получена равномерная по сечению слитков из сплавов АД0, АМц мелкозернистая структура с величиной зерна 30-40 микрон.

Способ, литьё, кристаллизация, импульсные токи, расплав, алюминий, слиток, структура.

Создание новых материалов с повышенными конструкционными и функциональными свойствами, а также применение этих материалов для изготовления изделий в технике является одним из перспективных направлений инновационного машиностроения. Однако основной проблемой является не столько создание новых материалов, сколько развитие способов их обработки с одновременным получением изделий, в том числе и способами обработки металлов давлением. Это поставило ряд принципиально новых задач перед специалистами, занимающимися разработками инновационных технологий и внедрениями их в производство:

- создание наноструктурированных материалов одновременно с изготовлением из них изделий с учётом зависимости свойств от способов и режимов технологических процессов производства и эксплуатации;
- стабилизация наноструктурированного состояния материала, достигнутого в процессе производства;
- развитие методов компьютерного моделирования нанотехнологий.

Основные способы получения объёмных кристаллических материалов, как показывают патентные исследования, включают порошковую технологию, большую интенсивную пластическую де-

формацию и кристаллизацию из жидкого состояния с применением электромагнитных источников воздействия для получения мелкодисперсной и равномерной изотропной структуры.

Целью исследований является получение мелкозернистой кристаллической структуры алюминиевого сплава АД0 при литье в металлическую форму с последующим структурированием способами больших интенсивных пластических деформаций, в том числе и прокаткой. Работы по получению мелкокристаллической структуры в процессе литья авторами проводились и ранее. Основными из них являются: применение магнитного и гравитационного воздействия, влияние переменного электрического тока на структуру и пластичность металлических материалов. Другими авторами предлагается способ обработки расплавом электротокком. Во всех случаях удаётся обеспечить модифицированную мелкозернистую микроструктуру без применения модификаторов.

В рассматриваемом случае получение мелкозернистой структуры достигается путём совместного воздействий слабых радиочастотных электромагнитных полей (СРЭМП), обычного литья в момент кристаллизации расплава, литья с кристаллизацией под давлением (ЛКД).

Методика проведения эксперимента

Суть эксперимента кристаллизации алюминиевого расплава с использованием СРЭМП состояла в том, чтобы после литья получить мелкое зерно, а в дальнейшем с большими интенсивными пластическими деформациями в условиях холодного деформирования - структуру зерна, близкую к наноразмерным величинам.

Наличие высоких скоростей охлаждения в инструментальной штамповой оснастке является предпосылкой получения наиболее мелкого зерна в тонкостенной литой заготовке.

Отливки изготавливают в формах (пресс-формах, штампах), состоящих из пуансона (прессующего узла), матрицы, толкателей и съёмников. Верхнюю плиту с закреплёнными на ней деталями прессующего узла монтируют на ползуне пресса, а нижнюю плиту с размещёнными на ней матрицей и механизмом выталкивания отливки - на столе пресса.

Процесс ЛКД заключается в том, что расплав под действием собственной силы тяжести заливают в матрицу, затем пуансоном осуществляют окончательное оформление контуров отливки и последующее её уплотнение (выдержку давлением) до окончательного затвердевания. После извлечения из пресс-формы (ПФ) отливку можно подвергать различным видам последующей обработки (термической или механической).

Способом ЛКД изготавливают простые и сложные по конфигурации заготовки из чистых металлов и сплавов на основе алюминия, железа, магния, меди и цинка, используя для этой цели как специализированные, так и неспециализированные гидравлические прессы и машины.

Различают следующие схемы процесса ЛКД (рис.1): 1 - под поршневым давлением (поршневое прессование); 2 - под пуансонным давлением (пуансонное прессование); 3 - под пуансонно-поршневым давлением (пуансонно-поршневое или комбинированное прессование).

Важным критерием, характеризующим каждую схему процесса ЛКД, является коэффициент формообразования - отношение объёма незатвердевшего сплава $V_{нс}$, вытесненного пуансоном во время окончательного оформления контуров отливки, ко всему объёму $V_{от}$: $K_{\phi} = V_{нс} / V_{от}$. В зависимости от схемы ЛКД K_{ϕ} может изменяться от нуля до единицы.

При поршневом прессовании давление кристаллизующемуся расплаву передаётся через пуансон, перекрывающий открытую полость матрицы и действующий на верхний торец формирующейся отливки в течение времени, необходимого для её затвердевания. К моменту приложения давления в местах соприкосновения расплава с матрицей образуется корка, а уровень сплава в матрице понижается вследствие объёмной усадки. Поэтому пуансон (поршень) воздействует вначале на вертикальную корку, а после соприкосновения с незатвердевшим сплавом - на всю отливку.

Формообразование отливки при поршневом прессовании практически полностью осуществляется во время свободной заливки расплава в матрицу. Основная масса расплава при контакте с пуансоном перемещается (за исключением верхней части) при понижении уровня во время уплотнения затвердевающей отливки, т.е. $K_{\phi} = 0$.

Площадь проекции пуансона при поршневом прессовании в большинстве случаев соответствует площади проекции отливки, а следовательно и рабочей полости матрицы.

При пуансонном прессовании под действием выступающей рабочей части пуансона незатвердевший сплав выдавливается вверх до полного заполнения рабочей полости ПФ. Особенностью этой схемы является то, что пуансон вначале соприкасается с расплавом, удалённым от боковых стенок матрицы, и вытесняет его

выше уровня заливки. Пуансон не соприкасается с вертикальной коркой, образовавшейся до его внедрения в расплав. Таким образом, формообразование отливки частично происходит при заливке расплава в матрицу и выдержке его в матрице до подхода пуансона, а заканчивается после внедрения пуансона в кристаллизующийся расплав. При этом $K_{\phi} = 0,1...0,7$.

Когда формообразование окончено, давление передаётся только на внутреннюю поверхность отливки или одновременно на верхний торец и внутреннюю поверхность отливки.

При пуансонном прессовании проекция прессующей части пуансона может быть меньше максимальной площади проекции отливки или равна ей.

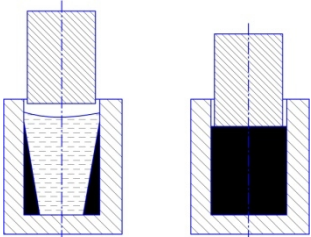
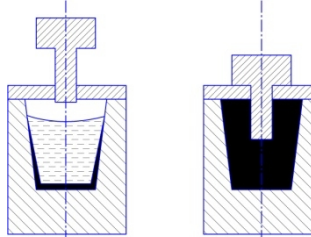
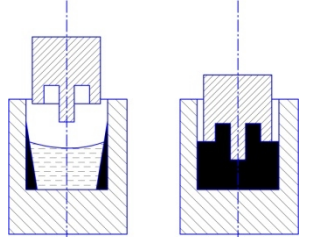
Группа (схема)		
1	2	3
Поршневое прессование	Пуансонное прессование	Пуансонно-поршневое прессование
		

Рис. 1. Классификация схем прессования ЛКД

При пуансонно-поршневом (комбинированном) прессовании формообразование отливки частично осуществляется во время заливки расплава в матрицу и выдержки его в ней до соприкосновения с пуансоном, а заканчивается после вытеснения части незатвердевшего сплава в полость, ограниченные пуансоном и расположенные выше уровня заливки расплава в матрицу. Перемещение незатвердевшего сплава происходит как при сжатии вертикальной корки, так и при выдавливании его вверх выступающими элементами пуансона.

Особенность рассматриваемой схемы прессования заключается в том, что вытесненный незатвердевший сплав не соприкасается со стенками матрицы, а заполняет рабочие полости в пуансоне. С момента приложения давления пуансон также воздействует на вертикальную корку, соприкасающуюся с боковыми стенками матрицы и образовавшуюся до момента соприкосновения сплава с пуансоном. В этом случае $K_{\phi} = 0,1...0,7$. Если отливка полностью оформляется при

движении пуансона, а нижняя её часть является пресс-остатком, то $K_{\phi} = 1$.

Наиболее эффективна и проста с точки зрения получения мелкого зерна схема поршневого прессования. С этой целью расплав алюминия АД0, полученный в печи в ковше, разогретый до температуры плавления алюминия 720-740 °С, переносится в зону кристаллизации в условиях наиболее быстрого охлаждения расплава при схеме поршневого прессования. При этом осуществляется отвод тепла через массивные металлический стенки матрицы и пуансона. Во избежание диффузионных процессов, связанных с проникновением железа в расплав алюминия, оснастку покрывали специальной краской с наполнителем тальком, а затем наносили ещё слой смеси с графитом. Штамповая оснастка предварительно нагревалась до температуры 250-300 °С, обеспечивающей жидкое состояние расплава до момента кристаллизации, когда пуансон давил на расплав, обеспечивая давление до 10 МПа. Для этого разогретая оснастка устанавливалась на гидропресс, который

обеспечивал необходимое давление в момент кристаллизации. В то же время к расплаву подводился провод от генератора сигнала слабых электромагнитных импульсов.

Воздействием электромагнитных полей радиочастотного диапазона малой мощности можно управлять процессами диффузии и кристаллизации и, в конечном счёте, оказывать влияние на диспергирование структуры и свойства литых изделий. Созданные опытно-экспериментальные генераторы акустических преобразований подтвердили, что слабое электромагнитное поле радиочастотного диапазона уменьшает размер зерна в литых заготовках в несколько раз за счёт нанофазного и наногетерофазного модифицирования [1,2]. Теоретические основы процесса объясняют ряд авторов [3,4].

По данным современных исследований и теорий жидкая, предкристаллизационная фаза вещества представляет собой сложную гетерогенную композицию различных по размеру и составу надмолекулярных структур (НМС) или гель-фракций, содержащих от нескольких единиц до сотен тысяч молекул золь-фракции. Флуктуирующие размеры, расстояния и силы взаимодействия НМС, их поверхностная энергия - это всё энергоёмкие параметры, которые варьируются в процессах и зонах фазовых превращений и химических реакций. А это - потенциальная возможность раскачки колебательно-вращательных движений НМС или их цепочек. Причём, если оценить размеры, массы и моменты инерции НМС, то собственные частоты таких движений окажутся в кило- и мегагерцевой области радиочастотного диапазона. На фоне управляющего радиочастотного воздействия волны этих движений самоподдерживаются и синхронизируются. Волны согласованных движений НМС без затухания распространяются конвективным сносом

именно туда, где помимо самих структур есть источники питания, т.е. вдоль границ фазовых и химических превращений - в акустический волновой канал. Это приводит к скачкообразному перебросу внутренней энергии на расстояние, превышающее среднюю длину пробега фононов, т.е. возникает тепловой пробой и быстрое выравнивание температур в широких пространственных пределах и как следствие - сближение скоростей кристаллизации по объёму и получение слитка с равновесной структурой. Таким образом, появляется возможность управления процессами кристаллизации посредством слабых сигналов.

Достаточно вспомнить спонтанное намагничивание ферромагнетиков или поляризацию сегнетоэлектриков. В их среде уже есть микро- и наноразмерные области структурной когерентности-домены, и для их макроскопической ориентации требуется лишь небольшое внешнее поле.

Суть способа слабого электромагнитного воздействия состоит в следующем. В непосредственно примыкающую к среде короткозамкнутую гальваническую петлю-антенну (магнитный диполь) от маломощного генератора (~10 В*А) подаются слабые электрические импульсы тока. Импульсный электроток создает поперечное СРЭМП и формирует в скин-слое антенны нормальные волны продольных колебаний с характерным набором гармоник или выбранной формой их импульсов (рис. 2).

Волны беспрепятственно и с большой скоростью распространяются в среде влияния, оказывая воздействие на скорость протекания процессов. Частота следования электромагнитных импульсов, подаваемых в петлю-антенну, лежит в радиодиапазоне от единиц до тысяч килогерц и определяется экспериментально по максимальной эффективности.

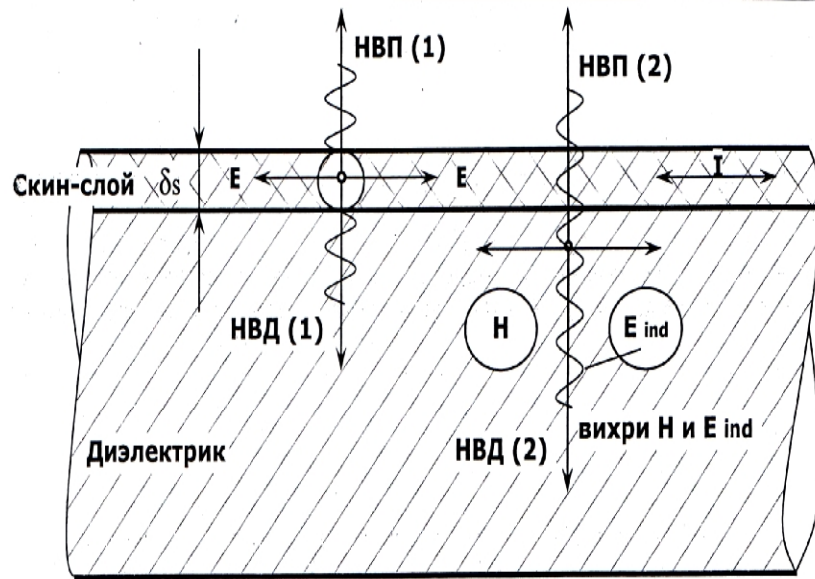


Рис. 2. Схема электромагнитного преобразования:

E – напряжённость электрического поля; I – ток; H – напряжённость магнитного поля; НВП(1) – нормальная волна в проводнике, созданная в скин-слое толщиной δS ; НВД(1) – нормальная волна в диэлектрике; НВП(2) – волна в проводнике, созданная в диэлектрике; НВД(2) – волна в диэлектрике, возникающая под действием первичной напряжённости H ; E_{ind} – индуцированное электрическое поле

В зонах фазовых превращений образуется волновой канал, в котором происходит согласование колебательно-вращательных движений надмолекулярных структур с частотой волны. Это обеспечивает скачкообразный переброс внутренней энергии на значительное расстояние (длину пробега фонона), что приводит к быстрому выравниванию температур и скоростей кристаллизации, т.е. получение слитка с равномерной структурой. Таким образом, происходит согласованная передача внутренней энергии (соответственно - температуры) по кластерным каналам перколяции с аномально высокой скоростью, определяемой отношением длины кластера к периоду согласованных колебательно-вращательных движений надмолекулярных структур. В результате такого «теплового пробоя» зона фазового перехода перемещается вглубь металла, где формируются новые самоподобные кластеры.

В качестве слитка получалась карточка с размерами в плане 100x100 мм и толщиной 6 мм. Эти размеры слитка дава-

ли достаточный объём металла, который обеспечивал намеченный процесс кристаллизации при поршневом прессовании - с одной стороны, а с другой - может быть использован для прокатки с целью получения ленты для производства банок под жидкие и пищевые продукты.

Материалы, оборудование, оснастка

В качестве материала для литья использовался пищевой алюминий АД0 толщиной $1,76 \pm 0,005$ мм, применяемый в производстве алюминиевой посуды.

Для жидкостной формовки применялся гидравлический пресс усилием 100 кН с величиной хода 500 мм. Устройство пресса позволяет передавать усилие в любом положении ползуна (рис. 3).

Ввиду небольшого объёма и массы слитка детали (165 граммов) исходную заготовку расплавляли в ковше из нержавеющей металла ёмкостью около трёх литров. Нагрев до плавления осуществлялся газовой кислородной.



Рис. 3. Гидравлический пресс с оснасткой:
1 - гидравлический пресс;
2 - штамповая оснастка

Для оснастки использовались плитки из стали 45 толщиной 20 мм. Из них изготовлен штамп, состоящий из трёх основных деталей: 1 - подштамповая плита, 2 - матрица, 3 - пуансон (рис.4). Пуансон имеет размеры, соответствующие размерам в плане рабочей полости матрицы, которая по высоте составляет 20 мм.

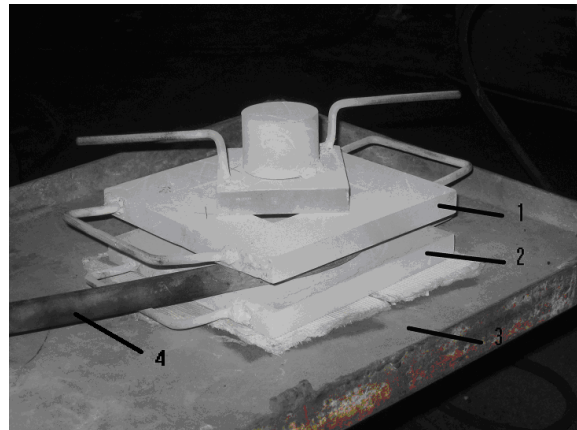


Рис. 4. Штамповая оснастка:
1 - подштамповая плита; 2 - матрица;
3 - пуансон; 4 - горелка

Для покрытия поверхностей штампа использовался тальк и графит. В качестве источника слабых электромагнитных импульсов использовался одноканальный формирователь. Генератор электромагнитных воздействий и схема реализации метода представлены на рис. 5.

Электромагнитное воздействие проводилось при частотах 250, 500 и 1000 кГц. Это позволило выявить оптимальную частоту, при которой структура наиболее мелкая и равномерная.

Для получения макро- и микрошлифов применялась эпоксидная смола и отвердитель. Макро- и микроструктуру изучили на растровом электронном микроскопе РЭМ - 106.

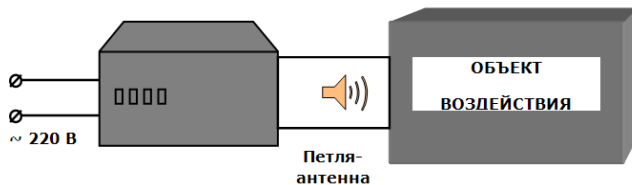


Схема реализации метода электромагнитного воздействия



Генератор электромагнитных колебаний

Рис. 5. Механизм электромагнитного воздействия

Результаты экспериментальных исследований

На рис. 6, *а, б, в* представлены микроструктуры образцов, полученных после поршневого прессования (жидкостной штамповки) при электромагнитном воздействии с разными частотами: 200, 500, 1000 кГц. На рис. 6, *г* представлена макро- и микроструктура образца, полученного после жидкой штамповки без электромагнитного воздействия.

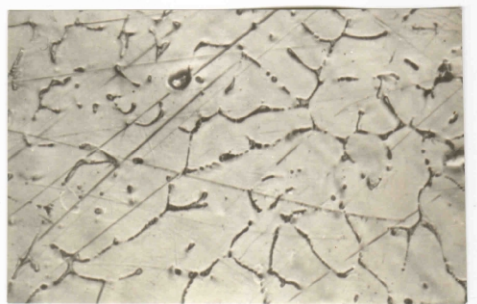
Сравнивая микроструктуры исходного листового материала, применяемого для переплава, можно говорить о том, что способ жидкостной штамповки с электромагнитным воздействием даёт величину зерна меньше, чем величина зерна листового материала. Кроме того, на величину зерна оказывает влияние частота электромагнитных волн. Наименьшая величина

зерна получена при 500 кГц и составляет 30-40 микрон.

Следует отметить, что скорость кристаллизации расплава была определена скоростью и временем работы гидравлического пресса на холостом ходу от поднятого положения до практически момента соприкосновения пуансона с расплавом при создании давления около 10 МПа.

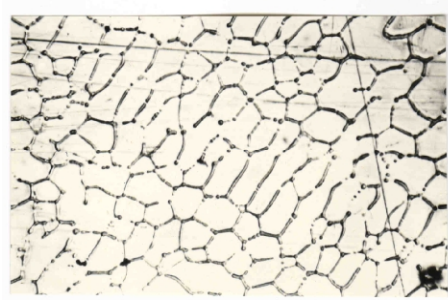
Подобные результаты получены при литье алюминиевых слитков из сплава АМЦ. Средняя величина полученных зёрен меньше средних величин зёрен, полученных без воздействия электромагнитного поля. Следует отметить и равномерное по величине распределение зёрен по сечению слитка.

Кристаллизация расплава алюминия разработанным способом проводилась на промышленном предприятии ОАО «Техмаш».



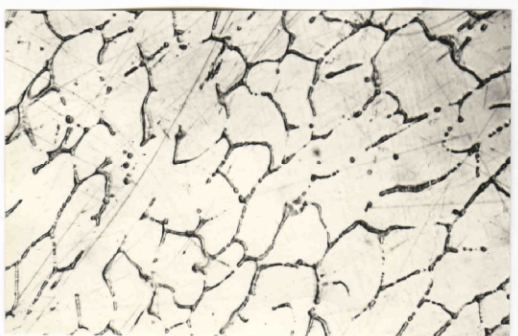
а

Структура сплава АД0 при электромагнитном воздействии 200 кГц



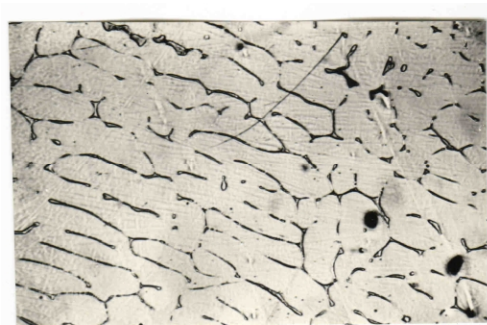
б

Структура сплава АД0 при электромагнитном воздействии 500 кГц



в

Структура сплава АД0 при электромагнитном воздействии 1000 кГц



г

Структура сплава АД0 без электромагнитном воздействии

Рис. 6. Структуры образцов

Выводы и рекомендации

1. Разработаны эффективные способы воздействия на структуру алюминиевых сплавов при их кристаллизации из расплава, а именно совмещение способов одновременно по времени СРЭМП колебаний и поршневого прессования (жидкостной штамповки).

2. Алюминиевая отливка, полученная способом поршневого прессования совместно со СРЭМП в режиме 500 кГц, является наиболее приемлемым полуфабрикатом для последующих больших интенсивных пластических деформаций с целью получения мелкодисперсной или наноуровневой структуры. Отливки, полученные по предложенному способу в технологии литья, могут использоваться для последующей обработки как давлением, так и механической обработкой.

3. Наиболее благоприятным режимом воздействия на процесс кристаллизации является СРЭМП в режиме 500 кГц. Как показали эксперименты, поршневым прессованием можно достичь величины зерна 30-40 мкм.

4. Разработанный источник слабых электромагнитных импульсов имеет небольшую потребительскую мощность (не более 30 Вт) и может применяться для любых объемов расплава.

5. Объем расплава для кристаллизации под давлением ограничен размерами стола пресса, в то время как способ кри-

сталлизации при СРЭМП не имеет практически ограничений по объему расплава.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографический список

1. Давыдов, С.В. Наномодификатор как инструмент генной инженерии структурного состояния расплава чугуна [Текст] / С.В. Давыдов // Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей: Сб. докл. литейного консилиума - Челябинск, 2005. - С. 40-49.

2. Марукович, Е.И. Развитие и применение литья закалочным затвердеванием [Текст] / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеденко // Труды восьмого съезда литейщиков России. Т. 2. - Ростов-на-Дону, 2007. - С.88-95.

3. Метод электромагнитного кондиционирования в промышленных технологиях гетерофазных превращений [Текст] / В.И. Зарембо, А.А. Комеников, И.А. Бурнос [и др.]. Тяжелое машиностроение. - 2005. - №11. - С.14-18.

4. К проблеме управления структурообразованием и свойствами в литых материалах [Текст] / А.М. Бибиков, И.П.Халтурин, В.И. Зарембо [и др.]. // Труды восьмого съезда литейщиков России. Т. 1. - Ростов-на-Дону, 2007. - С.265-271.

APPLICATION OF A CASTING TECHNIQUE IN THE FORM OF PISTON PRESSING FOR GRINDING THE STRUCTURE OF AN ALUMINUM ALLOY

©2012 F. V. Grechnkov, I. P. Popov, A. M. Bibikov,
E. G. Demyanenko, K. A. Nikolenko

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper deals with casting techniques in the form of piston pressing with weak pulse currents acting on the melt as it is crystallized in the form of a cylindrical ingot. A small-grain structure with the grain size of 30-40 microns is obtained from the АД0, АМп alloys. The structure is uniform as to the section of the ingots.

Casting, technique, crystallization, pulse current, melt, aluminum, ingot, structure.

Информация об авторах

Гречников Федор Васильевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: gretch@ssau.ru. Область научных интересов: деформирование анизотропных материалов.

Попов Игорь Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: igr_popov@mail.ru. Область научных интересов: формообразование деталей сложной формы из листовых заготовок, полученных в процессах металлургического производства с использованием слабых импульсных токов.

Бибиков Алексей Михайлович, инженер кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: ipg@mail.ru. Область научных интересов: процессы литья и кристаллизации с воздействием слабых импульсных токов.

Демьяненко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, ассистент кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: e-dem@mail.ru. Область научных интересов: формообразование тонкостенных деталей сложной формы.

Николенко Константин Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: nik_kin_79@mail.ru. Область научных интересов: формообразование деталей соединительных элементов арматуры из трубных заготовок.

Grechnikov Fyodor Vasilievich, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, doctor of engineering, head of the metal forming department, Samara State Aerospace University. E-mail: gretch@ssau.ru. Area of research: anisotropic materials deforming.

Popov Igor Petrovich, doctor of engineering, professor of the metal forming department, Samara State Aerospace University. E-mail: igr_popov@mail.ru. Area of research: forming of complex-shape parts from sheets using weak pulse currents.

Bibikov Alexey Mikhailovich, engineer of the metal forming department, Samara State Aerospace University. E-mail: ipg@mail.ru. Area of research: processes of casting and crystallization using weak pulse currents.

Demyanenko Elena Gennadyevna, candidate of technical science, engineer of the metal forming department, Samara State Aerospace University. E-mail: e-dem@mail.ru. Area of research: forming of thin-walled complex-shape parts.

Nikolenko Konstantin Anatolyevich, candidate of technical science, associate professor of the metal forming department, Samara State Aerospace University. E-mail: nik_kin_79@mail.ru. Area of research: forming connector fittings from tube billets.