



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 220 816** (13) **C2**
(51) МПК⁷ **B 22 D 27/02**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2001117994/02, 02.07.2001**

(24) Дата начала действия патента: **02.07.2001**

(43) Дата публикации заявки: **10.05.2003**

(46) Опубликовано: **10.01.2004**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **Формирование отливок под воздействием давления, вибрации, ультразвука и электромагнитных сил. - М.: НИИМАШ, 1977, с. 40-42. SU 1770399, 23.10.1992. US 4244796, 13.01.1981. US 5253696 A, 19.10.1993. RU 2027544 C1, 27.01.1995.**

Адрес для переписки:

**113519, Москва, ул. Кировоградская, 24,
корп. 1, кв.352, С.Л.Тимченко**

(72) Автор(ы):

**Задорожный Н.А.,
Макеев В.П.,
Рыбкин В.А.,
Сидоренков В.В.,
Тимченко С.Л.**

(73) Патентообладатель(ли):

**Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана**

(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ФАСОННЫХ ОТЛИВОК

(57) Реферат:

Изобретение относится к литейному производству. Способ управления процессом формирования фасонных отливок заключается в пропускании электрического тока непосредственно по расплаву в процессе заполнения формы и при затвердевании. В процессе заполнения формы пропускают ток плотностью не менее 10^4 А/м² за счет последовательного расположения контактов по отливке. По мере увеличения количества твердой фазы в затвердевающем металле плотность тока увеличивают от 10^5 до 10^8 А/м².

После окончания кристаллизации отливки плотность тока уменьшают до достижения температуры отливки диапазона значений (0,2-0,5)Т_{пл.}. Выбор значения плотности тока определяется фазовым состоянием металла. Способ позволяет управлять соотношением между твердой и жидкой фазами и агрегатным состоянием материала отливки, регулировать скорость и время кристаллизации металла. Обеспечивается уменьшение структурных неоднородностей и механических напряжений в отливке. Снижается вероятность возникновения недоливов металла, газовой пористости и осевой рыхлости.

RU 2 220 816 C2

RU 2 220 816 C2



RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 220 816** (13) **C2**
(51) Int. Cl.⁷ **B 22 D 27/02**

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2001117994/02, 02.07.2001**

(24) Effective date for property rights: **02.07.2001**

(43) Application published: **10.05.2003**

(46) Date of publication: **10.01.2004**

Mail address:

**113519, Moskva, ul. Kirovogradskaja, 24,
korp. 1, kv.352, S.L.Timchenko**

(72) Inventor(s):

**Zadorozhnyj N.A.,
Makeev V.P.,
Rybkin V.A.,
Sidorenkov V.V.,
Timchenko S.L.**

(73) Proprietor(s):

**Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet im. N.Eh. Baumana**

(54) **METHOD OF CONTROLLING PROCESS FOR MAKING SHAPED CASTINGS**

(57) Abstract:

FIELD: foundry. SUBSTANCE: method comprises steps of passing electric current directly on melt at process of filling mold and during its solidification; at process of filling mold passing current with density no less than 10^4A/m^2 due to successive arrangement of contacts on casting; as solid phase quantity in solidified metal increases, increasing electric current density from 10^8A/m^2 to 10^5 ; after termination of casting crystallization lowering

electric current density until achieving temperature of casting in range $(0,2-0,5)T_{\text{melt}}$; selecting value of electric current density according to phase state of metal. Method allows to control relation between solid and liquid phases and state of aggregation of casting material, to control speed and time period of metal crystallization. EFFECT: lowered structural non-uniformities and mechanical stresses of casting, reduced possibility for occurring of metal short run, gaseous porosity and axial friability.

RU 2 2 2 0 8 1 6 C 2

RU 2 2 2 0 8 1 6 C 2

Изобретение относится к литейному производству и предназначено для управления процессами формирования фасонных отливок и кристаллизации электропроводного материала под действием электрического тока высокой плотности ($10^4 < j < 10^8$ А/м²).

Известен способ получения непрерывнолитого металла (патент России 2027544, В 22 D 27/02, 11/10, 1992), включающий заливку расплава в металлический кристаллизатор, пропускание электрического тока через кристаллизующийся расплав и охлаждение металла при его транспортировке, в том числе и в зоне вторичного охлаждения, где смонтированы поддерживающие устройства. При этом электрический ток подводят к металлическому кристаллизатору, а выводят через поддерживающие устройства в зоне вторичного охлаждения.

Однако область применения указанного способа ограничена наличием металлического кристаллизатора. Недостатками этого способа являются невозможность управления скоростью процесса кристаллизации, необходимость принудительного охлаждения, что делает практически невозможным его применение при литье в песчаные, гипсовые, керамические и другие неметаллические формы. Таким образом, рассмотренный способ не решает проблему формирования фасонных отливок.

Известен также способ литья под давлением, включающий воздействие переменного электрического тока частотой 50-400 Гц и силой 500-1000 А на расплав в зонах формирования колец беличьей клетки короткозамкнутого ротора электрической машины. Повышение качества ротора, полученного указанным способом, заключается в образовании более высокого сопротивления изоляции клетки в пазу ротора (патент России 1764804, В 22 D 27/02, 1989).

Однако с технической точки зрения этот способ является трудоемким при получении фасонных отливок различных конфигураций, что связано со сложностью подвода электрического тока к расплаву, находящемуся в металлической пресс-форме. Также данный способ ограничен необходимостью применения переменного электрического тока и высокого давления при заливке металла в пресс-форму.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому эффекту к предлагаемому изобретению является способ управления процессом формирования фасонных отливок, включающий заливку расплава в песчано-глинистую форму (ПФ), пропускание электрического тока через отливку плотностью не более 10^4 А/м² за счет контактов, расположенных в форме и не контактирующих непосредственно с отливкой, в процессе нахождения ее в жидком, твердожидком и до окончания его кристаллизации (Формирование отливок под воздействием давления, вибрации, ультразвука и электромагнитных сил. М., НИИМАШ, 1977 г., с.40-42). К достоинствам способа следует отнести возможность влияния электрического тока на процесс кристаллизации, структуру и механические свойства материала отливок. Однако практическая реализация способа, принятого за прототип, является технически трудоемкой, а эффективность влияния тока низкой. В частности, при получении отливок, кристаллизация которых осуществлялась под действием электрического тока, подводимого с помощью контактов, расположенных в форме, необходимо предусматривать прокладку из теплоизоляционного материала между опокой и формовочной смесью, а электрический ток протекает через форму и отливку, включенные как электрические сопротивления в цепь последовательно. В случае, если один контакт расположен на отливке, а другой - на металлической опоке, протекание электрического тока также осуществляется не только по отливке, но и по форме. При этом металлическая опока будет находиться под электрическим напряжением, что требует ее изоляции от внешнего окружения. Существенно, что в предлагаемом аналоге используется электрический ток, плотность которого в 10^3 раз меньше, чем в заявляемом.

Использование в аналоге токов более высокой плотности ($j > 10^4$ А/м²) невозможно, так как приведет к просушке формы в области электродов и, как следствие, к снижению электропроводности формовочной смеси, нестабильности во времени электрических характеристик, а значит, к уменьшению эффективности влияния тока на процесс кристаллизации. Применение сухих непроводящих форм (гипсовые, керамические, и. т. д.)

для получения отливок по способу, принятому за прототип, является невозможным.

Задачей изобретения является осуществление стабильного регулирования скоростью процессов формирования фасонной отливки и кристаллизации материала независимого от электрических параметров литейной формы. Технический результат изобретения заключается в создании текстуры материала отливки, обуславливающей возникновение анизотропии физических характеристик и приводящей к улучшению механических свойств, в уменьшении структурных неоднородностей и механических напряжений литого фасонного изделия.

Сущность способа заключается в том, что электрический ток плотностью не менее 10^4 А/м² пропускают непосредственно по расплаву в процессе заполнения им произвольной по составу неметаллической формы за счет последовательного расположения контактов по отливке. Выбор значения плотности электрического тока, пропускаемого по формируемой отливке, определяется фазовым состоянием ее материала. При нахождении отливки в жидком состоянии плотность электрического тока, пропускаемого через отливку, составляет не менее 10^4 А/м², а в твердожидком состоянии и до окончания процесса кристаллизации плотность электрического тока находится в диапазоне ($10^5 - 10^8$) А/м², а именно, на стадии фазового перехода плотность электрического тока по мере увеличения количества твердой фазы в отливке повышают от 10^5 до 10^8 А/м², а после окончания кристаллизации отливки плотность электрического тока уменьшают. Выдержка сформированной отливки в форме производится при пропускании по ней электрического тока плотностью $j \leq 10^8$ А/м², и постепенно уменьшают его вплоть до достижения температуры отливки диапазона значений $(0,2-0,5) \cdot T_{пл}$.

Воздействие электрического тока на процесс кристаллизации дает возможность обратимо изменять количество твердой и жидкой фаз. Электрический ток, осуществляя разогрев локальных областей, микрообъемов материала, обеспечивает тем самым перевод его из твердого состояния в жидкое. Соблюдение указанных режимов позволяет регулировать время перехода из жидкого состояния в твердое и наоборот, то есть дает возможность поддерживать во времени существование агрегатного состояния материала. Максимальное значение плотности электрического тока, пропускаемого в процессе кристаллизации материала, определяется, в частности, за счет джоулевого тепловыделения, возможностью перехода твердой фазы материала в жидкую, а также пределом механической прочности материала, а минимальное - условиями зародышеобразования.

Пропускание электрического тока плотностью $j > 10^4$ А/м² непосредственно по отливке приводит, после завершения процесса кристаллизации и охлаждения отливки до температуры $(0,2-0,5) \cdot T_{пл}$, к созданию более равновесного механически напряженного состояния материала отливок, что выражается, в частности, в дополнительном снижении механических напряжений. Следовательно, отливки, полученные заявляемым способом, не требуют осуществления операции отжига. Это связано с тем, что электрический ток, наряду с тепловым воздействием, обуславливающим дополнительный прогрев отливки, оказывает также упорядоченное, векторное действие на кристаллическую решетку материала проводящей среды. Явление возникновения механических напряжений в проводящей среде под действием электрического тока высокой плотности ($j \geq 10^8$ А/м²) в условиях интенсивного охлаждения образца используется в качестве метода обработки металлов и сплавов [1]. Наличие электроупругих напряжений в металлах существенно влияет на их физические характеристики, при этом такое влияние может быть как обратимым, так и необратимым. Это связано с тем, что кристаллическая решетка реальных металлов и сплавов не является совершенной (блочная структура, поры, дислокации, точечные дефекты). Поэтому механические напряжения, созданные действием электрического тока в проводнике, обуславливают эволюцию дефектной структуры (изменение размеров и формы протяженных дефектов, перераспределение, размножение или аннигиляция дислокации, рекристаллизация, фазовые превращения, релаксация упругих напряжений и.т. д.), что в итоге приводит к необратимым изменениям физико-

механических (пластичность, прочность и др.), электрических, магнитных и других свойств металлов и сплавов. Наряду с этим возможно и обратимое влияние электрического тока на физические параметры металла, которые после выключения тока снова принимают исходные значения, связанное с изменением параметра кристаллической решетки материала за счет упругих деформаций, с упорядочением дефектов, вызванным направленностью электроупругих напряжений, с процессами магнитострикции, тензо- и магниторезистивными эффектами, термоэлектрическими и термомагнитными явлениями [2, 3].

В результате проведения структурного сравнительного анализа образцов (AlSi) было выявлено существенное различие в их структуре. Электрическое поле, возникающее при протекании электрического тока в отливке, материал которой находится в жидком состоянии, оказывает влияние на размеры зародышей кристаллизации и на условия роста кристаллов. Также электрический ток влияет на ориентацию зерен, растворимость и распределение кремния в алюминии. Влияние электрического тока на процесс кристаллизации силумина сопровождается увеличением растворимости кремния в алюминии. Доказано, что при плотности тока $j=10^6-10^7$ А/м², пропускаемого через образец, находящийся на стадии жидкого и твердо жидкого состояния, растворимость кремния в алюминии увеличивается на ~(20-25)%. Это связано с увеличением подвижности атомов кремния и с изменением свойств растворителя. Размеры эвтектических кремниевых кристаллических образований уменьшаются, их распределение становится более равномерным. Экспериментально подтверждено, что твердость материала отливок повышается на ~(15-20)% при плотности тока через образец $j=10^6-10^8$ А/м².

Использование постоянного электрического тока плотности $j \cong (10^4-10^8)$ А/м² позволяет влиять также на характер распределения неметаллических включений (в сплаве AlSi таким включением является эвтектический кремний) таким образом, что в отливках, полученных указанным способом, возникает анизотропия электрических характеристик материала образцов. Анизотропный характер структуры материала образцов был подтвержден косвенными измерениями. На основе анализа вольтамперных характеристик было установлено, что значение удельного электросопротивления вдоль оси образца ρ_{\parallel} (вдоль тока) меньше, чем в поперечном направлении ρ_{\perp} . Следовательно, пропускание электрического тока при кристаллизации отливки приводит к возникновению анизотропии электросопротивления ее материала. Значение $\rho_{\perp}/\rho_{\parallel}$ для материала образцов (AlSi), кристаллизация которых осуществлялась под действием электрического тока плотностью $j \cong 1.7 \cdot 10^7$ А/м², составляет ~1.6 раза, а относительные изменения $\Delta\rho/\rho_{\parallel} \leq 65\%$. Анизотропия удельного электросопротивления обусловлена статической текстурой, возникшей под действием электрического тока при кристаллизации сплава с неметаллическими включениями. Электрическое поле, возникающее в образце в процессе электропроводности, приводит к поляризации кремниевых включений и к ориентации их как диполей под действием электрического поля. Следует отметить, что наличие поперечной составляющей электрического поля оказывает влияние на плотность материала отливок.

Для сравнения укажем, что анизотропия электросопротивления в образцах, полученных литьем в ПФ без тока, отсутствует. При этом значение продольного удельного электросопротивления образцов, полученных под действием тока, меньше, чем у образцов, полученных традиционным способом. Этот факт указывает на уменьшение числа дефектов, в частности, газовых и усадочных пор за счет действия тока. Значение предела прочности образцов, полученных под действием электрического тока, повышается в среднем на ~10%.

Наряду с механическим, электрический ток оказывает и тепловое действие на материал в процессе его кристаллизации. Электрический ток влияет на скорость процессов кристаллизации и формирования отливки. Являясь внутренним источником энергии, электрический ток обеспечивает дополнительный прогрев отливки, что позволяет

стабилизировать температурное поле по времени и в ее объеме. Также тепло Джоуля-Ленца, выделяемое при протекании электрического тока через образец, влияет не только на теплофизическое состояние расплава и в дальнейшем затвердевающего металла, а также на теплообмен между отливкой и формой. Это делает возможным регулирование

5 теплового режима отливки, а также системы отливка-форма. Поэтому использование электрического тока в процессе формирования отливки позволяет уменьшить вероятность возникновения недоливов металла в форме, что особенно важно при получении тонкостенных литых изделий, приводит к уменьшению дефектности отливок, к перераспределению неметаллических включений, к снижению осевой ликвации.

10 Предлагаемый способ может быть использован для получения фасонных отливок при литье в песчаные, гипсовые, керамические и другие литейные формы, а также при литье по выплавляемым моделям. Реализация способа возможна как при литье в предварительно подогретые, так и в холодные формы. Локальный характер теплового и векторного действия электрического тока позволяет получить структуру материала,

15 обладающую наименьшим числом дефектов, таких как газовые поры, усадочные раковины. Формирование отливок указанным способом позволяет уменьшить их осевую рыхлость.

Положительный эффект от применения предлагаемого способа состоит в возможности управления соотношением между твердой и жидкой фазами и агрегатным состоянием материала отливки, регулирования скоростью и временем процесса кристаллизации

20 материала, в создании текстуры материала отливки, обуславливающей возникновение анизотропии физических характеристик и приводящей к улучшению механических свойств, а также в уменьшении структурных неоднородностей и механических напряжений литого фасонного изделия, вероятности возникновения недоливов металла, газовой пористости и осевой рыхлости. Способ позволяет получать фасонные отливки, в частности

25 тонкостенные, с улучшенными физико-механическими свойствами и не требующие дополнительного отжига.

Источники информации

1. Спицын В.И., Троицкий О.А. Электропластическая деформация металлов. - М.: Наука, 1985. - 160 с.

30 2. Сидоренков В.В. // ДАН СССР - 1989. - Т.308. 4. - С.870-873.

3. А.с. 1770399. / В.В. Сидоренков, С.Л. Тимченко // Б.И. - 1992. - 39.

Формула изобретения

Способ управления процессом формирования фасонных отливок, включающий заливку

35 металла в неметаллическую форму, пропускание электрического тока через расплав в процессе нахождения его в жидком, твердожидком состоянии и до окончания кристаллизации, отличающийся тем, что электрический ток плотностью не менее

40 10^4 A/m^2 пропускают непосредственно по расплаву в процессе заполнения им формы за счет последовательного расположения контактов по отливке, при этом плотность тока по мере увеличения количества твердой фазы в отливке повышают от 10^5 до 10^8 A/m^2 , а после окончания кристаллизации отливки плотность тока уменьшают до достижения температуры отливки диапазона значений $(0,2-0,5)T_{пл}$.

45

50