



УКРАЇНА

(19) UA (11) 43379 (13) C2

(51) 7 C21C5/56, C22B9/22

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

**(54) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ЗЛИТКІВ В ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІЙ УСТАНОВЦІ З ПРОМІЖНОЮ ЄМКІСТЮ**

(21) 97052159

(22) 12 05 1997

(24) 17 12 2001

(46) 17 12 2001, Бюл № 11, 2001 р

(72) Патон Борис Євгенович, Тригуб Микола Петрович, Дереча Олександр Якович, Цибань Ігор Володимирович

(73) ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМ Є О ПАТОНА НАНУ

(56) Смелянский М Я и др Электронные плавильные печи – М Энергия, 1971, сс 36–38

(57) Способ получения слитков в электронно-лучевой установке с промежуточной емкостью, включающий подачу и плавление расходуемой заготовки в промежуточную емкость, слив жидкого металла из промежуточной емкости в кристалли-

затор и обогрев поверхности расплава металла в кристаллизаторе, промежуточной емкости и сливном носке, отличающийся тем, что создают металлический барьер в месте перетока жидкого металла из промежуточной емкости в сливной носок, а слив металла производят при достижении температуры поверхности металла в кристаллизаторе равной  $T_s \pm 0,05 T_s$ , где  $T_s$  - температура солидус, путем проплавления металлического барьера, при этом объем сливаемого металла регулируют продолжительностью паузы между расплавлениями металлического барьера таким образом, чтобы высота сливаемой порции металла по высоте кристаллизатора составила  $(0,01 - 0,03)d$ , где  $d$  - диаметр спитка, мм

Предполагаемое изобретение относится к области специальной электрометаллургии и может быть использовано для получения высококачественных слитков и литых заготовок из сложнолегированных сталей и сплавов с мелкозернистой структурой

Известен способ получения слитков в электронно-лучевой установке, включающей подачу жидкого металла в кристаллизатор с обогревом кристаллизующейся поверхности электронными лучами и последующую кристаллизацию металла, где расплав подают в кристаллизатор по его рабочей поверхности (см авт свид СССР № 663175 от 6 12 1977 г, МКИ С21 с 5/56)

Известен также способ электронно-лучевой плавки сталей и сплавов, включающий плавление расходуемой заготовки над промежуточным тиглем с формированием слитка в кристаллизаторе и наведение в промежуточном тигле на зеркале металла синтетического шлака (см авт свид СССР № 337021 от 27 04 1970 г, МКИ С21 с 5/56)

Характерным недостатком указанных способов является то, что формирование слитка происходит в условиях непрерывного слива и обогрева расплава металла в кристаллизаторе, что приводит к увеличению глубины металлической ванны, а в сложнолегированных сплавах – к росту протя-

женности двухфазной твердо-жидкой зоны металла. В таких условиях кристаллизации (протекает при низких скоростях охлаждения на фронте затвердевания) в большей степени получают развитие процессы макро- и микросегрегации, а кристаллическая структура характеризуется наличием последовательных чередующихся зон поверхностной мелких кристаллов, крупных столбчатых кристаллов и осевой зоны (в слитках диаметром более 300 мм) равноосных кристаллов, где степень ликвидации достигает максимальных размеров

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому объекту является способ, включающий расплавление электронными лучами шихты в промежуточном тигле, слив жидкого металла в кристаллизатор через отверстие в дне тигля или за счет поворота, обогрев поверхности расплава в кристаллизаторе электронным лучом (См Смелянский М Л, "Электронные плавильные печи", Энергия, М, 1971, с 36–39)

Существенным недостатком способа является то, что весь жидкий металл, образовавшийся в результате плавления шихты, сразу сливается в кристаллизатор, где непрерывно обогревается электронными лучами. В результате обра-

зуется жидкая металлическая ванна большого объема, а затвердевание металла в слиток сопровождается развитием процессов избирательной кристаллизации – образованием структурных зон в слитке с различными физико-химическими и механическими свойствами

Задачей настоящего изобретения является разработка способа получения мелкозернистых слитков с высокой структурной и химической однородностью

Поставленная задача достигается тем, что в известном способе получения слитков в электронно-лучевой печи с промежуточной емкостью включающем подачу и плавление расходуемой заготовки в промежуточную емкость, слив жидкого металла из промежуточной емкости в кристаллизатор и обогрев поверхности расплава в кристаллизаторе, промежуточной емкости и сливном носке создают металлический барьер в месте перетока жидкого металла из промежуточной емкости в сливной носок, а слив металла производят при достижении температуры поверхности металла в кристаллизаторе равной  $T_s \pm 0,05 T_s$ , где  $T_s$  – температура солидус, путем проплавления металлического барьера, при этом объем сливаемого металла регулируют продолжительностью паузы между расплавлениями металлического барьера таким образом, чтобы высота сливаемой порции металла по высоте кристаллизатора составила  $(0,01 \text{--} 0,03) d$ , где  $d$  – диаметр слитка, мм

Формирование металлического барьера в месте перетока жидкого металла из промежуточной емкости в сливной носок приводит к постоянному накоплению расплава металла в промежуточной емкости, а периодический слив жидкого металла в кристаллизатор обеспечивает его быстрое затвердевание во всем объеме порции металла с образованием однородной мелкозернистой структуры и гарантированно прочным соединением с основой металла слитка

Однородность мелкозернистой структуры в слитке гарантируется поддержанием температуры поверхности металла в кристаллизаторе равной  $T_s \pm 0,05 T_s$  в момент подачи расплава металла и объемом порции сливаемого металла в пределах  $(0,01 \text{--} 0,03)$  ее высоты к диаметру кристаллизатора

Пределы указанных параметров и технологические режимы получения мелкозернистых слитков по данному способу определены в результате экспериментальных плавок, численных расчетов с помощью математической модели и исследований структуры металла

Температура поверхности металла в кристаллизаторе  $T_s \pm 0,05 T_s$  в момент очередного слива расплава выбрана с тем, чтобы обеспечить необходимую скорость охлаждения ( $10 \text{--} 100 \text{ K/s}$ ), кристаллизацию слоя металла при полном гарантированном сплавлении с основой металла слитка

При температуре поверхности металла ниже  $T_s - 0,05 T_s$  не обеспечивается гарантированное сплавление металла порции с основой металла слитка, появляется вероятность образования дефектов (непроплавов, неслитин)

При температуре поверхности металла выше  $T_s \pm 0,05 T_s$  снижается интенсивность охлажде-

ния порции металла и увеличивается объем металлической ванны, а, следовательно, процесс затвердевания протекает аналогично обычному процессу формирования слитка с непрерывной подачей жидкого металла в кристаллизатор

Ограничение объема порции сливаемого жидкого металла в пределах  $(0,01 \text{--} 0,03)$  ее высоты к диаметру слитка обусловлено тем, чтобы обеспечить свободное растекание и высокую скорость охлаждения во всем объеме кристаллизующегося слоя металла

Слив и кристаллизация порции металла более  $0,03$  диаметра слитка приводит к образованию структурной неоднородности (росту мелких и крупных кристаллов) в пределах отдельно затвердевшего слоя металла

Порции металла высотой менее  $0,01$  диаметра слитка имеют трудности со свободным растеканием по поверхности в зоне затвердевания (из-за быстрого их охлаждения), что требует дополнительного тепловложения

Получают мелкозернистые слитки с высокой структурной и химической однородностью следующим образом

Переплавляемую заготовку загружают в камеру, оснащенную механизмом подачи. Печь герметизируют, вакуумируют и при достижении рабочего вакуума включают источники питания и управление электронных пушек

Заготовку подают в зону плавки над промежуточной емкостью. Плавление заготовки, наведение жидкой ванны металла в промежуточной емкости и обогрев поверхности металла в кристаллизаторе осуществляют электронными лучами. По мере сплавления заготовки и накопления жидкого металла в промежуточной емкости в месте перетока его в сливной носок образуется металлический гарнисаж (барьер), препятствующий сливу металла в кристаллизатор

При достижении оптимальной температуры на поверхности металла в кристаллизаторе в диапазоне  $T_s \pm 0,05 T_s$  электронным лучом проплавляют образовавшийся металлический барьер на сливном носке и сливают порцию жидкого металла

После слива порции металла высотой  $(0,01 \text{--} 0,03)$  диаметра слитка отключают нагрев электронной пушки, на сливном носке при этом снова образуется металлический гарнисаж и слив металла прекращается

Порция металла растекается тонким слоем по поверхности слитка в кристаллизаторе и затвердевает

Таким образом периодически сливая жидкий металл из промежуточной емкости в кристаллизатор при достижении заданной температуры поверхности металла ведут процесс формирования слитка требуемой высоты. Затем выводят усадочную раковину и охлаждают слиток в печи для предотвращения его растрескивания

**Пример:** Получали мелкокристаллические слитки по данному способу из жаропрочного сложного легированного сплава на никелевой основе ЭП975 в электронно-лучевой печи УЭ182М. В качестве расходуемой заготовки для переплава использовали электроды вакуумно-индукционной

выплавки  $\varnothing 250$  мм. Получали слитки  $\varnothing 310$ , 400 мм в соответствии с описанием, изложенным в заявке.

Величина порций сливаемого металла из промежуточной емкости в кристаллизатор  $\varnothing 310$  мм составила  $6 \pm 1$  мм, в кристаллизатор  $\varnothing 400$  мм –  $8 \pm 1$  мм по высоте. Температура поверхности металла в кристаллизаторе перед заливкой 1520–1580 К (температура контролировалась цветовым пирометром "ХОТ-ШОТ"). Начальная скорость охлаждения порции металла соответствует  $10^2$  К/с. Продолжительность выплавки слитка длиной 2,0 м составляла 6 часов.

Исследования макро- и микроструктуры слитка, а также распределение легирующих элементов и примесей показало высокую степень однородности металла. Структура слитков равноосная, мелкозернистая с размером зерна 200–1000

мкм. Плотность дендритной структуры, характеризующаяся расстояниями между осями I-го и II-го порядков в 4–6 раз выше, чем в слитках полученных по базовому способу, а степень ликвидации элементов значительно ниже.

В связи с высокой дисперсностью структуры слитки не нуждаются в термостатировании при охлаждении и не склонны к трещинообразованию и обладают удовлетворительной пластичностью при деформации.

Применение заявляемого способа по сравнению с существующим позволит:

1. Улучшить качество металла за счет высокой структурной и химической однородности.

2. Повысить служебные характеристики получаемых изделий (дисков, валов для ГТД и пр.).

---

Тираж 50 экз

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03

---