

УДК 621.73-412.004.12

Гаманюк С. Б.
Руцкий Д. В.
Зюбан Н. А.
Галкин А. Н.

ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ДОННОЙ ЧАСТИ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СЛИТКА И ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА ГОДНОГО МЕТАЛЛА¹

В настоящее время получение качественных крупных слитков и поковок представляет сложную научную и техническую задачу в связи с наличием физических, физико-химических и кристаллизационных процессов, протекающих во время разливки, затвердевания иковки слитков.

С целью улучшения структурной и химической неоднородности слитка существует ряд методов воздействия на затвердевающий металл: инокулирование [1, 2], вибрация [3, 4] и другие, но главными факторами, определяющими особенности формирования структуры и строения слитка, являются его геометрические параметры [5, 6]. Их наилучшее соотношение обеспечивает получение благоприятной макроструктуры, подавление развития ликвационных явлений, уменьшение дефектов осевой зоны.

Большим вкладом в решение этой проблемы явился метод отливки слитков с вогнутой донной частью («выпуклым») поддоном, разработанный в ЦНИИТМаш [7]. Данная конфигурация слитка позволила улучшить структуру и повысить выход годного в поковку.

В настоящее время отсутствуют разработки по оптимальному выбору конфигурации донной части обеспечивающей улучшение качества металла. Кроме того применение слитков данной геометрии обеспечивает повышенный выход годного в поковку, что является актуальным.

Совершенствование и развитие этого метода предопределило направление дальнейших исследований, связанных с оптимизацией геометрических параметров слитков с вогнутой донной частью, изучением особенностей их кристаллизации и строения.

Целью работы является исследование влияния изменения геометрии донной части на особенности кристаллизации и формирования структуры слитка на базе проведения физического моделирования.

Для проведения физического моделирования слитков были разработаны и изготовлены лабораторные установки [8, 9], с помощью которых изучали процессы, происходящие при затвердевании и структурообразовании модельных слитков с различной конусностью тела, объемом прибыльной части и отношением высоты к среднему диаметру тела H/D , что позволило определить влияние изменения геометрии слитков с вогнутой донной частью на процессы кристаллизации и структурообразования.

На основании полученных данных были построены графики зависимостей, отражающих изменение толщины затвердевавшего слоя во время охлаждения расплавленного гипосульфита в изложнице (рис. 1), а также кинетические кривые вертикального продвижения нарастающей твердой фазы (рис. 2).

При исследовании процесса кристаллизации слитка обычной геометрии и с вогнутой донной частью установлено, что нижний горизонт слитков затвердевает быстрее, с увеличением высоты скорость затвердевания уменьшается. Однако в слитке с вогнутой донной

¹ Работа выполнена в рамках проекта МК – 4034.2012.8 «Разработка оптимальной конфигурации и технологии отливки кузнечных слитков в вакууме с контролируемым развитием дефектных зон литого металла с целью повышения качества и надежности крупногабаритных изделий энергетического машиностроения».

частью на нижнем горизонте скорость образования твердой фазы в 1,3 раза выше, чем в обычном слитке. На среднем и верхнем горизонтах скорость кристаллизации в сравниваемых слитках одинакова. Изменение конфигурации поддона позволяет увеличить в 1,4 раза долю вертикальной кристаллизации (см. рис. 1) за счет увеличения скорости затвердевания нижней части слитков.

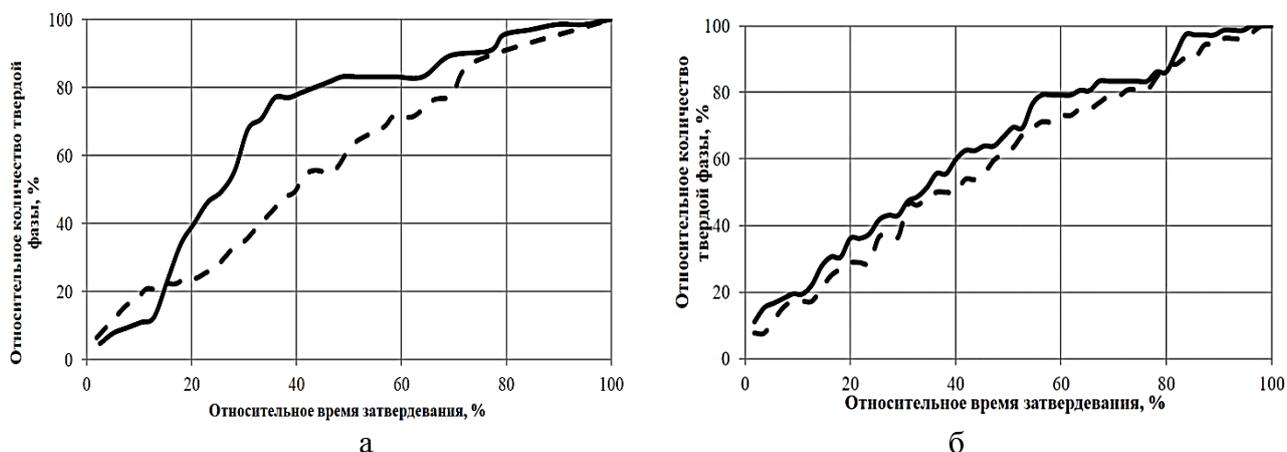


Рис. 1. Кривые горизонтального и вертикального затвердевания моделируемых слитков: — — — — горизонтальное затвердевание; — — — — вертикальное затвердевание; а – слиток с вогнутой донной частью; б – слиток обычной геометрии

Кинетические кривые вертикального затвердевания отливаемых слитков с различными H/D , полученные в процессе физического моделирования, показывают ускорение темпа продвижения твердой фазы в вертикальном направлении (рис. 2).

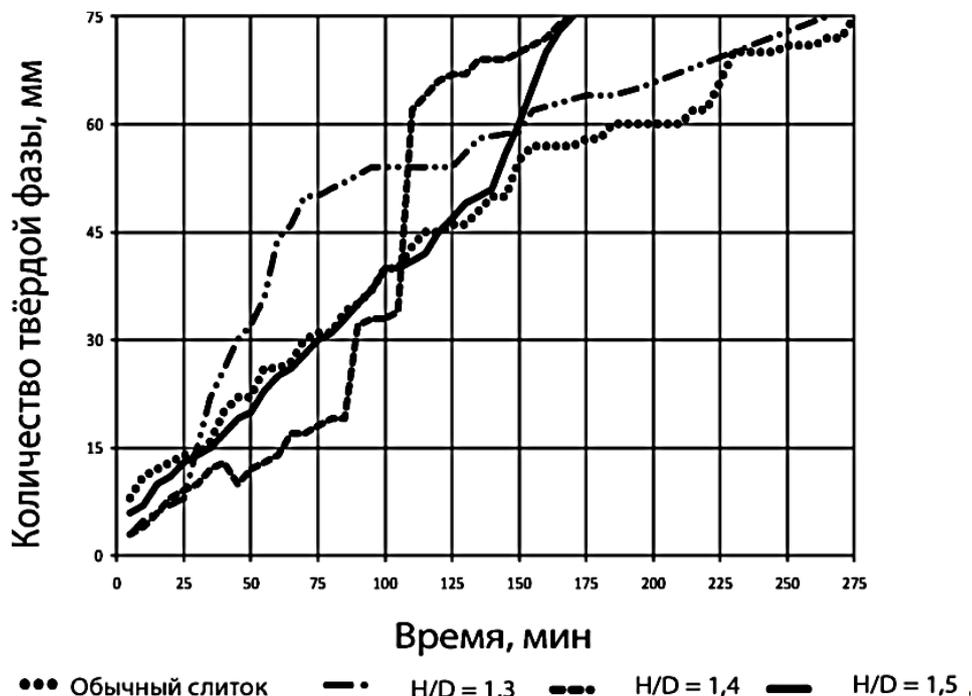


Рис. 2. Кинетика вертикального затвердевания слитков с вогнутой донной частью с различным H/D и слитка обычной геометрии

На рис. 3 представлена макроструктура моделируемых слитков. Оценка макроструктуры показала, что изменение конфигурации донной части привело к изменению процессов затвердевания, т. е. к увеличению скорости и направленности затвердевания, что привело

к уменьшению развития осевой зоны слитка, являющейся зоной повышенного скопления легкоплавких примесей и дефектов усадочного происхождения, снижающих качество слитков и получаемых из них изделий энергетики и машиностроения (табл. 1).

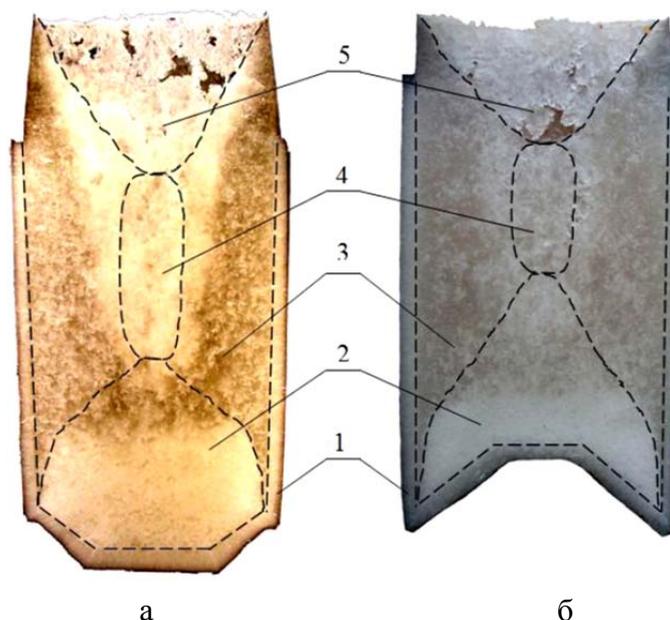


Рис. 3. Макроструктуры модельных слитков:

а – слиток обычной геометрии; б – слиток с вогнутой донной частью; 1 – зона столбчатых кристаллов; 2 – нижняя часть; 3 – зона различно ориентированных кристаллов; 4 – зона осевой рыхлости; 5 – усадочная раковина

Таблица 1

Структурная неоднородность модельных и реальных слитков

Тип слитка	Относительная площадь зон				
	Зона столбчатых кристаллов, %	Зона конуса осаждения, %	Осевая зона, %	Зона различно ориентированных кристаллов, %	Усадочная раковина, %
Модельный слиток обычной геометрии	10,6	22,6	7,3	46,1	13,4
Модельный слиток с вогнутой донной частью	14,1	21,9	4	47	13
Промышленный слиток обычной геометрии	19,6	12,7	7,9	46,4	13,4
Промышленный слиток с вогнутой донной частью	13,1	15,6	4,19	54,81	12,3

Для подтверждения результатов физического моделирования было проведено сравнение структуры реальных слитков массой 24,2 и 22,5 т стали 38ХНЗМФА.

Каждая структурная зона отличается от остальных параметрами дендритной структуры, плотностью, химическим составом.

Зона конуса осаждения в слитке с измененной конфигурацией донной части в 1,3 раза больше, чем в сравниваемом. Значительное развитие вертикальной составляющей затвердевания (увеличение зоны конуса осаждения), привело к сокращению протяженности осевой зоны на 450 мм, а ее диаметра на 50 мм (см. рис. 4).

Подробное исследование осевой зоны слитков выявило, что в этой зоне сконцентрировано наибольшее количество трещин и несплошностей. Трещины располагаются в постоянно сужающейся кверху осевой зоне, ограниченной по периметру шнурами внеосевой ликвации. В нижней части осевой зоны слитков, трещины более мелкие, с неявно выраженной направленностью. Результаты, показывают, что в опытном слитке трещины имеют более благоприятную ориентацию для последующей заварки при ковке (осадке).

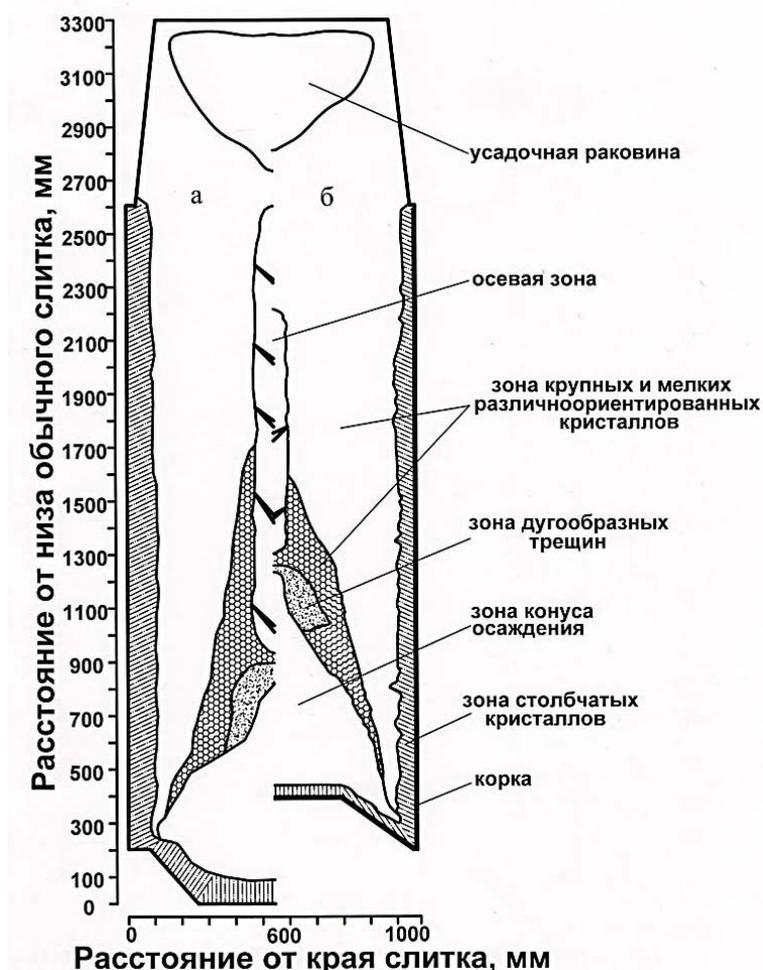


Рис. 4. Структурные зоны в слитках:

а – слиток обычной геометрии; б – слиток с вогнутой донной частью

Средняя величина дендритов в слитке с выпуклым поддоном в среднем в 1,2 раза меньше, чем в слитке обычной геометрии, а плотность дендритной структуры в 1,4 раза выше. Меньшая величина кристаллов и большая плотность структуры, формирующих осевую зону способствуют повышению однородности строения и улучшению проработки осевых объемов, после обработки давлением.

На ФГУП ПО «Баррикады» было отлито два слитка обычной геометрии массой 39,5 тонны и слиток с вогнутой донной частью массой 39,2 тонны стали 38ХНЗМФА. После отливки слитков из них были изготовлены валы роторов турбогенераторов.

Изменение геометрии слитка (табл. 2) приводит к снижению донной обреза и повышению выхода годного в поковку в результате замены обычного слитка на слиток с вогнутой донной частью.

Таблица 2

Снижение донной обрезки и повышение выхода годного металла в поковку в результате замены обычного слитка на слиток с вогнутой донной частью

Конфигурация слитка	Слиток обычный геометрии, массой 24,2 т	Слиток с вогнутой донной частью, массой 22,5 т
Величина головной обрезки, %	18	19,6
Величина донной обрезки, %	6,9	3,8
Повышение выхода годного, %	–	1,6

ВЫВОДЫ

Предлагаемый слиток с вогнутой донной частью по своим структурным и качественным характеристикам превосходит традиционный слиток. При этом в результате изменения нижней части слитка сокращается протяженность и диаметр осевой зоны слитка, достигается экономия металла за счёт снижения донной обрезки и повышения выхода годного металла в поковку на 1,6 % (см. табл. 2).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жульев С. И. Влияние инокулирования на внеосевую ликвацию в слитках для крупных поковок / С. И. Жульев, Н. А. Зюбан, Ю. М. Шелухина // *Сталь*. – 2008. – № 12. – С. 58–61.
2. Полезная модель 42454 РФ, МПК 7 В 22 D 27/15. Устройство для отливки слитков в вакууме с инокуляторами (варианты) / С. И. Жульев, Н. А. Зюбан; заявитель патентовладелец Волгоградский государственный технический университет. – № 2004117996/22; заявл. 16.06.2004; опубл. 10.12.2004.
3. Ефимов В. А. Технологии современной металлургии / В. А. Ефимов, А. С. Эльдарханов. – М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
4. Крупный слиток / Смирнов А. Н., Макуров С. Л., Сафонов В. М., Цупрун А. Ю. – Д.: Металлургия, 2009. – 278 с.
5. Исследование влияния изменения геометрии донной части кузнечного слитка на формирование внеосевой ликвационной неоднородности / Зюбан Н. А., Руцкий Д. В., Гаманюк С. Б., Коновалов С. С. // *Металлург*. – 2011.
6. Назаратин В. В. Изготовление кузнечных слитков без осевых усадочных дефектов. Часть 1. / В. В. Назаратин, Л. И. Берман, М. В. Ефимов, А. А. Селютин, П. М. Явтушенко, В. Г. Зинченко // *Металлург*. – 2012. – № 1. – С. 39–44.
7. Пат. 668753 СССР, МПК В21j 5/00, В22D 7/00. Кузнечный слиток / Г. А. Пименов, А. А. Мушкин, В. Н. Лебедев [и др.]; заявитель и патентовладелец Центр. науч.-исслед. инст. технологии машиностроения. – № 2120586/25-27; заявл. 31.03.1975; опубл. 25.06.1979, Бюл. 23.
8. Пат. на полезную модель 110667, РФ, МПК В 22 D 7/08. Устройство для исследования процесса кристаллизации слитков в изложнице / Зюбан Н. А., Руцкий Д. В., Гаманюк С. Б., [и др.]; заявитель и патентовладелец Волгоградский государственный технический университет. – № 2011121995/02; заявл. 31.05.2011; опубл. 27.11.2011. Бюл. № 33.
9. Решение о выдаче патента на полезную модель № 2011133983/02(050367). Устройство для исследования процесса кристаллизации слитков в изложнице / Зюбан Н. А., Руцкий Д. В., Гаманюк С. Б. [и др.]. – заявка от 12.08.2011.

Гаманюк С. Б. – аспирант ВолгГТУ;

Руцкий Д. В. – канд. техн. наук, доц. ВолгГТУ;

Зюбан Н. А. – д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ;

Галкин А. Н. – аспирант ВолгГТУ.

ВолгГТУ – Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия.

E-mail: tecmat@vstu.ru

Статья поступила в редакцию 06.03.2012 г.