

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ им. З. И. НЕКРА ОВА

На правах рукописи

КУЛЕШОВ Николай Иванович

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА
СЛИТКА С УЧЕТОМ ЕГО ВЕСОВЫХ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
И СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Специальность 05.16.02 - "Металлургия черных металлов"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1993

ВНИИ ЧМ
НА



00815927 (W)

Ав 26.843
в Научно-исследовательском приборостроительном
центре "Авот".

Научный руководитель: доктор технических наук,
старший научный сотрудник
КУЛЬБЕВ С. И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
старший научный сотрудник
ПОЛЯКОВ В. Ф.
кандидат технических наук,
доцент СМИРНОВ А. Н.

Ведущее предприятие: Мариупольский концерн
"АЗОВМАШ".

Защита состоится 2.04 1993 г. в 14⁰⁰ час. на за-
седании специализированного совета К. 141.02.01 в Институте
черной металлургии по адресу, 320050 г. Днепропетровск,
пл. Стародубова, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
черной металлургии.

Автореферат разослан 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

Г. В. ЛЕВЧЕНКО.

Производство металлоемких изделий для энергетической, судостроительной, машиностроительной отраслей связано с получением поковок из крупных стальных слитков. Наиболее часто используемые при этом кузнечные слитки имеют значительную по относительному объему прибыльную часть и отличаются между собой отношением высоты тела к среднему диаметру и конусностью граней.

Машиностроительные предприятия, имеющие соответствующий парк литейной оснастки, позволяющей получать слитки развесом от 1 до 200т и выше, производят поковки самой широкой номенклатуры: кольца, штамповые кубики, плиты, валы, ротора и др.

Однако при использовании только обычных прибыльных слитков не учитываются специфические особенности поковок. Параметры литой заготовки обеспечивают получение плотной осевой оси в теле и мало связаны с параметрами поковки. Выбор слитка для получения конкретного изделия производится из ряда отливаемых на предприятии слитков с учетом массы этого изделия. Повысить эффективность производства возможно путем оптимизации параметров слитка применительно к конкретной поковке, с учетом не только ее массы но и геометрии.

Внедрение в производство слитков различных типов, с одной стороны - снижает отходы и трудоемкость за счет приближения формы слитка к форме поковки, с другой стороны - осложняет выбор слитка, поскольку при этом необходимо учитывать большое количество параметров.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Снизить расходный коэффициент металла и повысить качество готовых изделий за счет разработки автоматизированной системы, осуществляющей выбор литой заготовки из большого числа слитков разнообразной формы и обеспечивающей минимальные отходы и трудоватраты.

В соответствии с этими задачами исследования являлись:

- формулировка критериев выбора слитка и условий обеспечения качества изделия;
- исследование влияния различных факторов на характер и распределение дефектов в слитках измененной геометрии путем проведения натуральных и вычислительных экспериментов;
- получение закономерностей, позволяющих прогнозировать изменение размеров дефектной области при ковке, а значит гарантированно удалять ее в процессе получения готового изделия;
- исследование качества поковок, полученных из слитков изме-

ненной геометрии;

- разработка алгоритма и программы выбора слитка по многим параметрам, включая весовые, геометрические и структурные характеристики литой заготовки;

- внедрение результатов работы в производство.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА:

- сформулированы критерии оптимизации кузнечного слитка и условия обеспечения качества поковки;

- предложены механизмы формирования основных структурных зон слитка;

- выявлена связь между параметрами двухфазной зоны и строением усадочной раковины в теле слитка;

- разработана математическая модель закова усадочной раковины в теле сдвоенного слитка;

- разработан алгоритм выбора слитка произвольной геометрии для поковки с учетом его массы, формы и внутреннего строения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ. Результатом проведенных исследований явилось внедрение на ПО "Баррикады" автоматизированной системы выбора кузнечного слитка. Это позволило повысить эффективность получения поковок различного класса, за счет замены традиционного слитка литыми заготовками, оптимальными по весу и конфигурации для кузнечных заготовок разнообразной формы.

Внедрение слитков измененной геометрии позволило снизить неоднородность механических свойств длинномерных поковок в 1,3...1,4 раза, расход металла на поковку на 8 %. Годовой экономический эффект составил 233,6 тыс. руб.

АПРОВАЦИЯ РАБОТЫ. Материалы диссертации доложены на научно-технической конференции "Проблемы промышленной кристаллизации и компьютерное моделирование металлургических технологий" (Ижевск, 1988г.); межреспубликанской научно-технической конференции "Передовой опыт производства стали, ее внепечной обработки, равлики в слитки и получения кузнечных заготовок" (Волгоград, 1989г.); 1-ой Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование металлургической технологии в машиностроении" (Волгоград, 1990г.); 11-ой Всесоюзной конференции по проблемам слитка "Процессы равлики, модифицирования и кристаллизации стали и сплавов" (Волгоград, 1990г.); 2-ой Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование металлургической технологии в машиностроении" (Волгоград, 1991г.).

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ и получено 1 авторское свидетельство на изобретение.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, описки литературы (101 наименование). Основной текст содержит 205 страниц, в том числе 27 таблиц и 53 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ основных видов кузнечных заготовок, изготавливаемых на машиностроительных предприятиях показывает, что подавляющее большинство (60...80 %) наименований поковок - полые. Используемый в настоящее время для широкой номенклатуры поковок прибыльный слиток имеет ряд значительных недостатков.

Во-первых, количество типоразвесов слитков ограничено парком литейной оснастки, увеличение которого экономически нецелесообразно из-за повышения расходов материалов, потребности иметь дополнительные площади и т.д. С другой стороны узкая номенклатура слитков приводит для определенных поковок к снижению выхода годного в результате большого остатка металла.

Во-вторых, получение длиномерных поковок из нормальных прибыльных слитков (Н/Д-2,0...2,5) связано с большой трудоемкостьюковки.

В-третьих, данные слитки имеют значительную по относительному объему прибыльную часть, удаляемую в отход. Использование подобной прибыли оправдано для получения поковок на сплошные изделия. В случае изготовления деталей с осевым сверлением применение слитков с массивной прибылью нецелесообразно.

В-четвертых, прибыльные нормальные слитки не всегда оптимальны с точки зрения качества металла. Их геометрические параметры подобраны таким образом, чтобы иметь плотную осевую зону в теле. Однако при минимальной физической неоднородности металла в слитке имеется значительная химическая неоднородность.

Использование технологии получения удлиненных удвоенных слитков, отливаемых в составную из двух полуформ изложницу, позволяет избежать ряда указанных недостатков, однако на два порядка увеличивает их номенклатуру. Сдвоенные слитки имеют в теле увкую усадочную раковину, размеры и форма которой зависят от ряда факторов. Среди них - геометрия слитка и тип головной части, марка

стали, некоторые технологические условия разлива жидкого металла. В свою очередь от формы усадочной раковины зависят размеры годной для получения поковки части слитка. Таким образом, при выборе литой заготовки под конкретную поковку помимо массы необходимо учитывать ряд дополнительных параметров, описывающих внешнюю и внутреннюю геометрию слитка, а также ряд факторов, влияющих на формирование внутренней структуры слитка. К тому же, исходя из необходимости получения качественной заготовки детали в процессековки и последующей механической обработки, следует учитывать трансформацию усадочных дефектов в заготовке.

При большом наборе слитков разнообразной геометрии и массы становится актуальной задача выбора оптимального слитка с учетом максимального выхода годного и наименьшей трудоемкостиковки. Исходя из этого выбраны параметры оптимизации и ограничения, позволяющие получить качественную поковку.

Слиток по эффективности изготовления из него поковки может быть оценен с точки зрения расхода металла и трудовых затрат на поковку. В первом случае в качестве параметра оптимизации выбирается масса слитка (1). Проведенный анализ производственных норм времени на основную операциюковки - протяжку показал, что времяковки прямо пропорционально диаметру исходной заготовки. Исходя из этого в качестве условий, обеспечивающих снижение трудоемкостиковки выбраны выражения (2), (3), соответственно для гладких и ступенчатых слитков.

$$\min G \quad (1); \quad \min D \quad (2); \quad \min A = \sum_{i=1}^n (V_i \ln \frac{D_i}{d_i}) \quad (3),$$

где G, D - масса и диаметр слитка или его части;

V_i, d_i - объем и диаметр i -ой ступени поковки.

Объединение условий 1, 2 или 1, 3 в целевую функцию с весовыми коэффициентами, соотносящимися как затраты на поковку и производство металла в слитках, позволяет проводить оптимизацию по общей эффективности слитка.

Ограничениями оптимизационной задачи по выбору слитка являются условия обеспечения качества металла поковки:

$$y_i \geq y_{\min i}; \quad d_n < d_{\text{омб}}; \quad G - G_{\text{омб}} \geq G_n, \quad (4)$$

где $y_i, y_{\min i}$ - реальный и минимально допустимый уков на i -ой ступени;

d_n - диаметр осевой дефектной зоны в поковке;

$d_{отв}$ - диаметр отверстия в заделке;
 $G_n, G_{откл}$ - массы поковки и непригодной дляковки части слитка.

Наиболее сложной задачей на этапе выбора слитка для искретной поковки является выполнение условия удаления дефектной зоны поковки в отход. Для этого необходимо знать, во-первых, характер, форму и размеры усадочных дефектов в слитках различного типа и, во-вторых, прогнозировать их изменение при ковке.

Для изучения характера и расположения усадочных дефектов, а также химической и структурной неоднородности удлиненных ступенчатых слитков, исследовались два прибыльных слитка массой 4,07 т с верхней меньшей и верхней большей частью, отлитых, соответственно, из стали ЗХНЗМФА и 2Б.

Строение слитков изучалось по выявленной травлением макроструктуре продольных темплетов. В удлиненном ступенчатом слитке с меньшей нижней частью можно выделить шесть основных структурных зон: корковая зона; зона столбчатых кристаллов; зона равноосных кристаллов; конус из кристаллов; осевая зона; усадочная раковина. В слитке с меньшей верхней частью, кроме вышеперечисленных зон, имеется зона подприбыльного моста, разделяющая усадочную раковину на открытую, расположенную в прибыли, и закрытую (вторичную) в теле слитка.

Основные дефекты слитка сосредоточены в осевой зоне. Для слитка с меньшей нижней частью можно выделить два типа дефектов осевой зоны: V-образные трещины; усадочная раковина. В слитке с меньшей верхней частью помимо указанных дефектов в зоне подприбыльного моста выявлены продольные трещины, толщиной 0,2 мм. Трещины прерывистые, протяженностью 13...40 мм, и расположены в зоне диаметром 35 мм.

Усадочная раковина в теле слитка с меньшей нижней частью открытая. В месте стыка тело-прибыль намечается пережим, но вследствие большего диаметра слитка в подприбыльном горизонте, чем в слитке с меньшей верхней частью (при одинаковых размерах прибыли) объема жидкого металла в прибыли не хватило до момента окончания формирования моста. На большем своем протяжении открытая усадочная раковина в теле слитка имеет постоянный диаметр. Стенки усадочной раковины неровные.

В слитке с меньшей верхней частью вторичная усадочная раковина в теле слитка изолирована от открытой (первичной) плотным мостом металла, предохраняющим стенки вторичной усадочной ракови-

ны от окисления при нагреве под ковку.

Максимальный диаметр вторичная усадочная раковина имеет в месте сочленения верхней и нижней частей слитка. Металл прилегающий к усадочной раковине плотный без дефектов. Открытая усадочная раковина в слитке с меньшей верхней частью полностью локализована в прибыли.

Формирование усадочной раковины в теле слитка происходило в момент, когда металл в осевой зоне находился в двухфазном состоянии. Образование усадочной полости вызвано понижением уровня расплава вследствие восполнения усадки нижерасположенного твердо-жидкого участка. При этом обнажается поверхность бокового фронта и выявляется его дендритное строение. Размер выступающих дендритов на стенке усадочной раковины зависит от ширины участка питания, ограниченного границами выливаемости и границей питания.

Размеры неровностей стенки раковины у исследуемых слитков различны, что связано, по-видимому, с различной шириной участка питания, размеры которого зависят от свойств расплава и в первую очередь от распределения выделившейся твердой фазы по сечению твердо-жидкой зоны.

При затвердевании низкоуглеродистых сплавов значительное количество твердой фазы выделяется у температур ликвидус, что приводит к уменьшению участка питания и смещению его к температуре ликвидус. Некоторые сплавы с перетектическим превращением затвердевают с выпадением большей части твердой фазы у температуры солидус, что также приводит к сокращению размеров участка питания.

Нижняя часть усадочной раковины обоих слитков более рыхлая чем верхняя, что связано с увеличением размеров двухфазной области в большем по размерам сечении слитка и скоплением оседающих кристаллов, опускающихся с маточным расплавом в результате усадки.

В работе произведена оценка размеров выступающих частей дендритов.

$$X = h + \varepsilon (H - h) \quad (5)$$

где X - высота выступающей части дендрита;
 h - глубина мениска жидкого металла между дендритами;
 H - продольные размеры участка питания;
 ε - усадка.

Характер и расположение усадочных дефектов во многом опре...

ляется формой тела и типом головной части. По конфигурации тела различают слитки с массивной нижней частью и массивной верхней частью. Чаще всего используются прибыльные сдвоенные слитки, имеющие узкую усадочную раковину по всей высоте тела. Однако в определенных случаях могут оказаться эффективнее слитки бесприбыльные и с захоложенной верхней частью.

Для изучения характера и распределения усадочных дефектов в ступенчатых слитках различного типа исследовались шесть слитков с различной формой тела и типом головной части. По окончании затвердевания и извлечения из изложниц слитки разрушались вдоль оси с помощью варьва, после чего изучались форма и относительные размеры усадочной раковины.

В слитках с меньшей верхней частью усадочная раковина проникает в тело слитка на 55...62 %. Тип головной части слитка не оказал заметного влияния на диаметр усадочной раковины в нижней части и протяженность в теле. Изменение головной части повлияло только на форму и диаметр раковины в верхней части слитка на протяжении 0,15...0,20 общей высоты. Глубина проникновения усадочной раковины в тело в слитках с меньшей нижней частью значительно меньше и составляет 30 % от высоты тела слитка.

Существенные различия в форме раковины наблюдается в верхней части слитков. У бесприбыльных слитков максимальный диаметр раковины у верхнего торца тела и равен диаметру слитка. Применение холодильника сужает усадочную раковину в верхней части тела до 40 % за счет усиленного теплоотвода к массивному холодильнику. Наименьшее развитие поперечных размеров раковины наблюдается у прибыльных слитков.

Полученные результаты исследования характера и формы усадочных дефектов в различных типах слитков показывают, что максимальное использование тела возможно при ковке прибыльных слитков. У бесприбыльных и слитков с холодильником верхняя часть с усадочной раковинной недопустимо большого диаметра удаляется в отход. Определить эту часть можно если она имеет определенную величину относительного диаметра раковины в теле. На рисунке 1 показано для каждого типа слитка местоположение сечения, ниже которого диаметр усадочной раковины не превышает 25 % от диаметра слитка. Расстояние от верха тела представлено в процентах к общей высоте. Таким образом, если считать, что часть слитка, лежащая выше указанного сечения, не используется при ковке, то можно видеть эффективность

Расположение и размеры уседочных дефектов в ступенчатых слитках разных типов

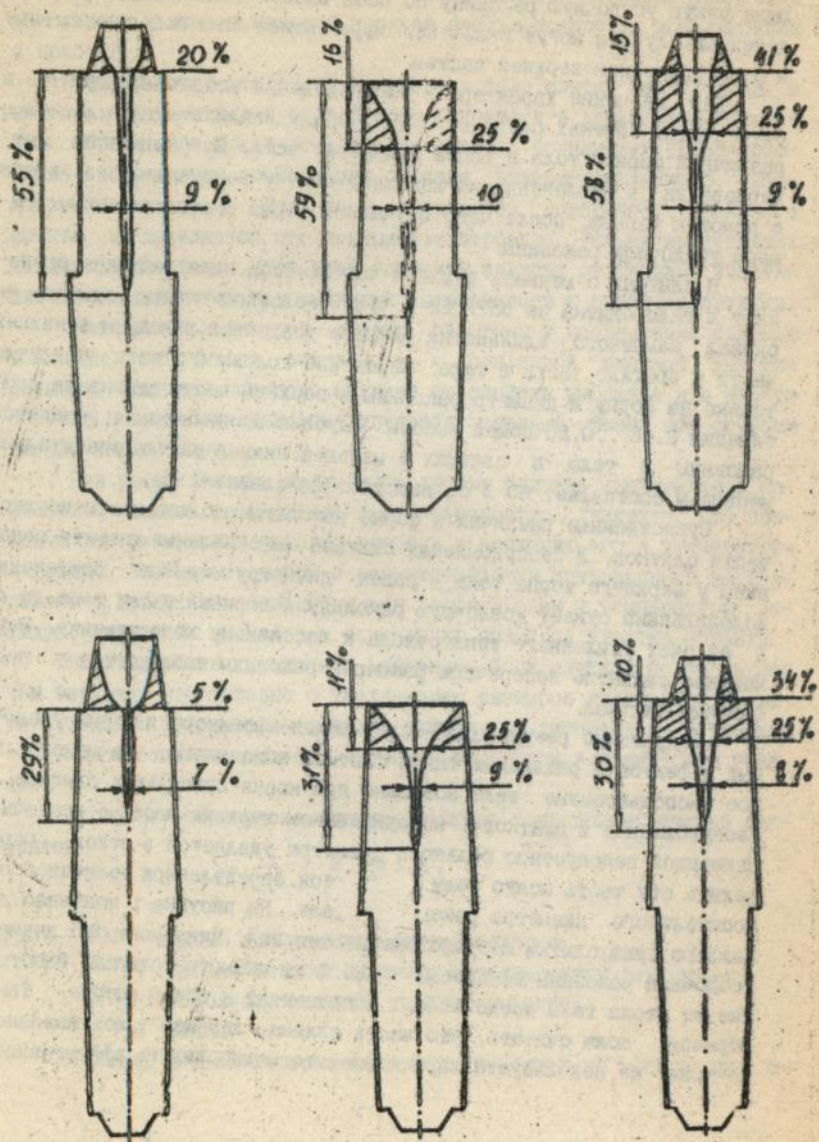


Рис. 1

использования тела каждого типа слитка.

В работе исследованно распределение углерода, серы, фосфора в сдвоенных прибыльных ступенчатых слитках массой 4,07т.

Металл слитка с массивной нижней частью достаточно однороден. Ликвация углерода по всей высоте не превышала 0,03 %, серы 0,005 % и фосфора 0,004 %. В донной части содержание указанных элементов ниже плавочного, в прибыльной - выше. Больше развитие ликвация получило в слитке с массивной верхней частью, особенно в подприбыльном горизонте. В этом месте содержание углерода выше плавочного на 0,08, серы на 0,01 и фосфора на 0,009 процентов.

Сравнение распределения углерода по сечению в нормальном прибыльном слитке и в удлиненном сдвоенном показало, что ликвация углерода в сдвоенном слитке меньше. При увеличении массы слитков разница в химической неоднородности между удлиненным и нормальным слитками увеличивается.

Исследование ликвации по сечению слитков различного типа показало, что форма слитка не оказала заметного влияния на ликвацию углерода. Максимальное содержание углерода соответствует максимальному развитию усадочных дефектов.

В результате проведения металлографического анализа установлено, что в целом распределение неметаллических включений в объеме слитка подчиняется обычным закономерностям. Верхняя зона слитка в большей степени обогащена сульфидами, низ - кислородными включениями. Отмечается увеличение содержания сульфидов в направлении от края к центру слитка. Оксидная фаза распределяется по сечению слитка скачкообразно. В осевой зоне среднего горизонта наблюдается максимальное содержание как сульфидов, так и оксидов. Следует отметить повышенное содержание включений в середине слитка. Максимальное общее содержание неметаллических включений приходится на осевую зону в верхней половине слитка и соответствует зоне максимального развития усадочных дефектов в теле слитка.

Исследование макроструктуры стальных слитков показывает, что характерной особенностью их строения является значительная физическая неоднородность осевой зоны, вызванная усадочными процессами.

В удлиненных сдвоенных слитках не удается избавиться от усадочной раковины в теле, поскольку, с одной стороны, относительно малый объем прибыли не может компенсировать усадку, с другой, относительно небольшой поперечный размер слитка приводит к раннему

образованию впадины, отделяющему прибыльную часть от основных объемов слитка, вследствие чего образуется вторичная усадочная раковина.

Для гарантированного удаления осевой зоны в процессе получения готового изделия необходимо прогнозировать размеры усадочной раковины в теле слитка. Последние зависят от множества параметров, определяющих теплофизические свойства сплава, технологические условия разливки, условия теплообмена слитка с окружающей средой. Исследование влияния большого числа параметров на развитие усадки возможно при математическом моделировании затвердевания слитка и проведении числительных экспериментов по развитым моделям на ЭВМ.

При исследовании характера, распределения и размеров усадочных дефектов основными процессами, представляющими интерес является тепловой и дилатационный.

Результатом решения тепловой задачи является распределение температуры по сечению слитка для определенного момента времени. После каждого расчетного шага находятся поля дефектов усадочного происхождения в затвердевшем металле. По окончании расчета характеристикой усадки является величина относительной доли "пустоты" в элементе объема (узле расчетной сетки).

Адаптация модели проводилась с целью установления качественного и количественного соответствия выходных расчетных данных реальному распределению и величине усадочных дефектов в исследуемых (опытных) слитках.

В части адаптации модели для получения достоверных результатов расчета удлиненных двоясных слитков в расчетном поле пористости выделялись три характерные зоны: раковины, рыхлости, пористости. Первая соответствует полости раковины в теле реальных слитков, вторая - неровностям стенок раковины, третья - кольцевой зоне пористого металла вокруг раковины. Параметры указанных зон измерялись в опытных слитках и по полученным данным определялся процент пористости Р расчетного поля, соответствующий характеру усадочных дефектов в реальных слитках.

Крупнее на развитие усадки в слитке при затвердевании влияют теплофизические свойства сплава, технологические условия разливки и условия теплообмена слитка с окружающей средой.

Изучение влияния химического состава стали на размеры дефектных областей в теле слитка проводилось путем математического мо-

делирования и затвердевания прибыльного ступенчатого слитка с массивной нижней частью массой 4,07 т. Расчет проводился для различных марок сталей.

Для углеродистых марок сталей получены линейные зависимости относительного диаметра усадочных дефектов от содержания углерода (рис. 2). При отсутствии углерода в расплаве все прямые стремятся к предельному значению диаметра раковины порядка 25% от соответствующего размера слитка. Для малоуглеродистых сталей большее выделение твердой фазы происходит ближе к температуре ликвидус, двухфазная область получает меньшее развитие. По окончании затвердевания стенки усадочной раковины относительно ровные, с выступающими дендритами металла, величина которых не превышает 5...10 мм. Для высокоуглеродистых сталей выделение твердой фазы более равномерно распределено в интервале затвердевания, имеющем значительное развитие, что приводит к образованию усадочной раковины, заполненной друзами металла и представляющей собой сплошную зону усадочной рыхлости. Заков таких дефектов затруднителен.

Изменение температурного режима отливки незначительно влияет на размеры дефектной области в двоянных слитках. Увеличение перегрева способствует образованию моста плотного металла под прибылью.

Путем математического моделирования затвердевания слитка исследовалось влияние на относительные размеры зон усадочных дефектов в различных сечениях слитка следующих факторов: отношения высоты слитка к среднему диаметру; отношения массы верхней части слитка к массе нижней части; относительной высоты прибыли (рис. 3).

Увеличение Н/Д слитка начиная с некоторого значения, определяемого точкой пересечения кривой 1 с горизонтальной осью координат, приводит к возрастанию величины диаметра раковины в подприбыльном горизонте. Затвердевание слитков с Н/Д меньше указанного значения происходит с образованием подприбыльного моста. При этом металла в прибыли достаточно для питания усадки до момента смыкания фронтов затвердевания в верхнем сечении слитка.

Увеличение отношения масс верхней и нижней частей слитка приводит к сдвигу кривой 1 вправо, что эквивалентно уменьшению диаметра раковины под прибылью для заданного значения Н/Д слитка.

Для слитков с малым относительным объемом прибыли диаметр раковины в подприбыльном горизонте при всех значениях Н/Д слитка

Влияние химического состава на поперечные размеры
усадочной раковины в теле слитка

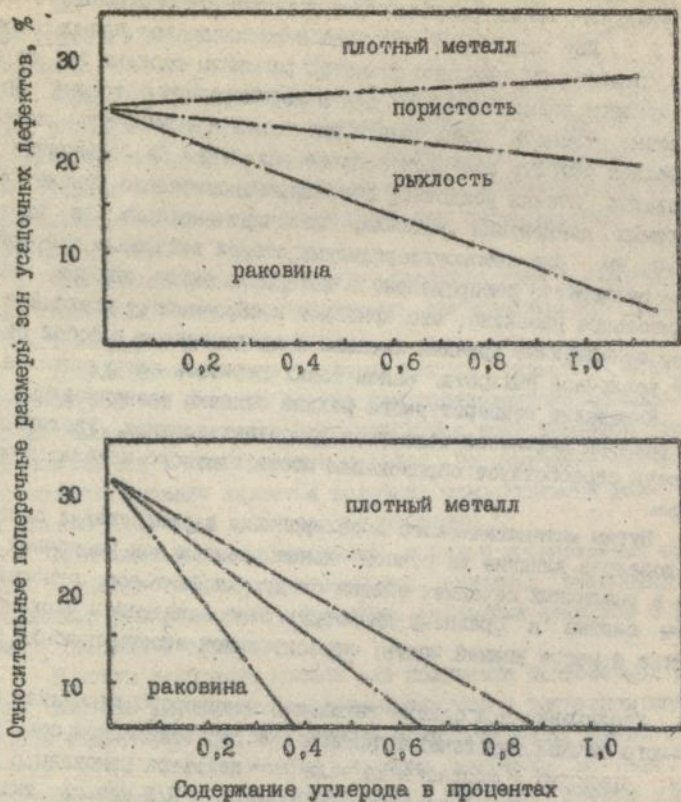


Рис. 2

- а - максимальные размеры дефектных зон в среднем сечении,
б - максимальные размеры дефектных зон в подпри-
быльном сечении.

Влияние формы слитка и отношения Н/Д на размеры зон усадочных дефектов

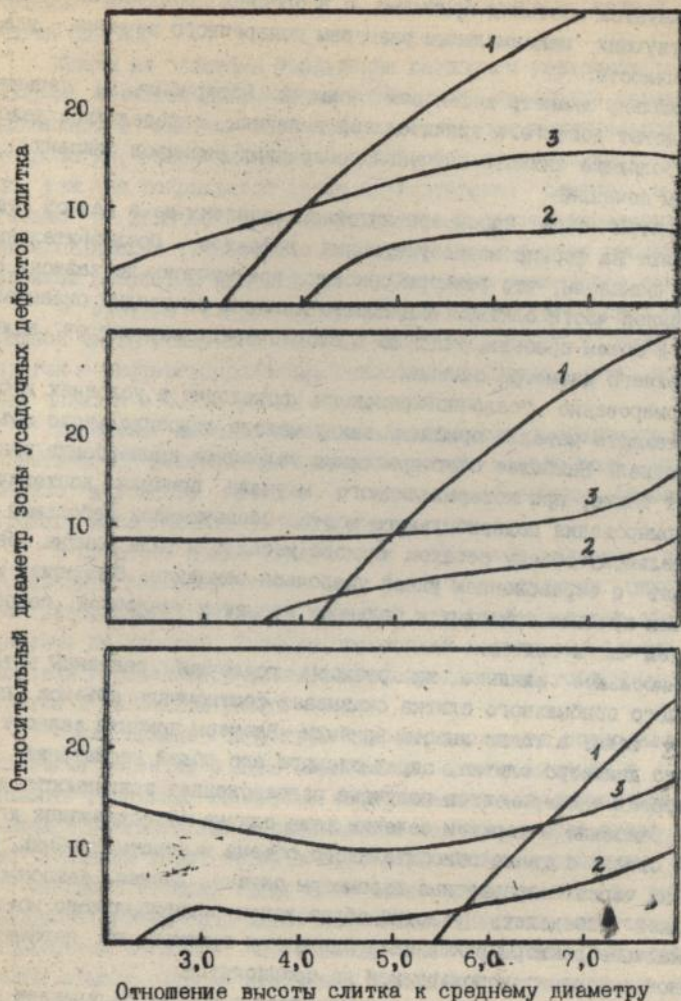


Рис. 3.

Отношение массы верхней части слитка к нижней:
 а) 0,73 б) 1,0 в) 1,37.

Кривая 1- диаметр раковины в подприбыльном сечении
 2- диаметр раковины в среднем сечении
 3- диаметр пористости в среднем сечении.

больше диаметра раковины в среднем сечении тела. При достаточном объеме прибыли при значениях Н/Д слитка меньше определенной величины образуется мост под прибылью, а в средних горизонтах тела, соответствующих максимальным размерам поперечного сечения - усадочная рыхлость.

Поскольку диаметр дефектной зоны в подприбыльном сечении слитка может достигать значительной величины, определялись условия, позволяющие снижать значения поперечных размеров раковины в указанном сечении.

Геометрические параметры литейной оснастки не в равной степени влияют на формирование усадочных дефектов. Предварительные расчеты показали, что размеры раковины практически не зависят от формы нижней части слитка. Наибольшее влияние на усадку оказывают размеры и объем прибыли, которые в свою очередь зависят от величины верхнего диаметра слитка.

Формирование усадочной раковины происходит в условиях дефицита питающего металла прибыли, ввиду малого относительного объема последней. Наиболее благоприятными условиями компенсации усадки будут такие, при которых жидкого металла прибыли достаточно для формирования подприбыльного моста. Образующийся небольшой по относительному объему остаток жидкого металла в теле слитка затвердевает с образованием узкой усадочной раковины. Напротив, малый объем прибыли приводит к большому диаметру усадочной полости в верхней части слитка.

Наибольшее влияние на размеры усадочной раковины в теле двоянного прибыльного слитка оказывает соотношение объемов прибыли и тела, а также высота прибыли. Размеры прибыли зависят от верхнего диаметра слитка, определяемого его общей геометрией. По результатам экспериментов получена регрессионная зависимость диаметра раковины в верхнем сечении тела слитка от содержания углерода в стали, а также относительного объема и высоты прибыли, выраженных через безразмерные параметры слитка. Данная зависимость позволяет определять условия образования подприбыльного моста и максимальные размеры раковины в двоянных слитках по параметрам литейной оснастки, используемой на предприятии.

Для бесприбыльных двоянных слитков изучалось влияние геометрии слитка на положение сечения (расстояние от верхнего торца), ниже которого диаметр раковины не превышает заданного, что необходимо для определения годной дляковки части слитка. На ука-

ванный размер влияет относительный объем верхней части одвоенного слитка, а также условия теплообмена с окружающей средой. Путем интенсификации теплоотдачи от верхней половины слитка достигается сужение усадочной раковины, а значит увеличение годной дляковки части слитка.

Одним из способов управления развитием усадочных дефектов в слитках является организация переменного по высоте теплоотвода от поверхности слитка. При этом наиболее предпочтительной является технология, обеспечивающая создание более интенсивного теплоотвода, так как сокращается время затвердевания слитка, а следовательно и химическая неоднородность. В производственных условиях интенсификация теплоотвода осуществлялась за счет раннего снятия верхней полуформы при отливке удлиненного одвоенного слитка.

В опытной слитке максимальный диаметр усадочной раковины в годной части (ниже $1/7$ высоты) уменьшился на 30 %. Таким образом, слиток с дифференцированным теплоотводом может быть использован для изделий с более узким осевым каналом.

Качество металла поковок определяется особенностями горячей пластической деформации. При этом весьма важную роль играет качество исходного металла и степень деформации, обеспечивающая уровень механических свойств поковки.

В процессековки удлиненных одвоенных слитков происходит уменьшение размеров осевой зоны усадочных дефектов. Однако полностью заваривания усадочной раковины, имеющей развитую поверхность, достичь не удается. Размеры остаточной дефектной области по оси поковки определяются начальным распределением усадочных пороков в слитке и величиной укова.

Исследование структуры одвоенных слитков позволило выделить точечные дефекты, в виде пористости, зону рыхлости и собственно полость раковины. Закрытые поры, имеющие небольшие относительные размеры заковываются и свариваются при ковке. Для этого достаточны величины укова порядка 2,0...2,5. Полость раковины, свободная от твердого металла также интенсивно уменьшается в размерах в процессековки. Моделированиековки свинцовых заготовок с осевым отверстием показало, что относительное изменение диаметра полости равно отношению изменению диаметра заготовки в четвертой степени (6). В наименьшей степени изменяются размеры зоны рыхлости, вследствие малой доли пустоты и развитой окисленной поверхности. В принятой модели закова дефектной области (выражения 6,7)

диаметр зоны уменьшается в процессековки пропорционально укову.

$$d_p/d_{p_0} = (D_0/D)^4 \quad (6); \quad d_n = (d_p^2 + (d_{n_0}^2 - d_{p_0}^2) D_0^2/D_0^2)^{1/2} \quad (7),$$

где D_0, D - диаметры исходной и конечной заготовок;
 d_{p_0}, d_p - диаметры усадочной полости до и после прокова;
 d_{n_0}, d_n - диаметры зоны рыхлости в исходной и конечной заготовках.

Для исследования закова усадочных дефектов при ковке были отлиты пять сдвоенных прибыльных слитков массой 9,98 т из стали 38Х2Н2МА.

Влияние величины укова на свойства металла изучали на четырех ступенчатых поковках, которые были откованы из верхней половины слитка с таким расчетом, чтобы в каждом из 4-х сечений были одни и те же величины уковов: 2,5; 4,0; 6,0; 9,5. Пятый слиток предназначался для изучения геометрических параметров усадочной раковины, для чего был разрушен вдоль оси при помощи взрыва.

Исследование макроструктуры дисков, вырезанных из ступенчатых поволоков, а также излома дисков показало, что при всех степенях укова в рассматриваемых сечениях слитка имеются следы дефектов усадочного происхождения, что свидетельствует о недостаточной проработке металла центральной зоны слитка.

Поковки, полученные из сдвоенных слитков отличаются большой однородностью прочностных характеристик металла, как по сечению, так и по длине заготовки. Однородность механических характеристик поволоков позволяет значительно упростить процесс их термообработки за счет исключения необходимости нагрева концов заготовки на равную температуру.

Проведенные исследования и полученные результаты позволили сформулировать основные рекомендации по применению сдвоенных слитков и разработке технологииковки из этих слитков. Верхняя часть слитка (со стороны прибыли) для производства деталей сплошного сечения непригодна из-за возможности закова дефектов усадочного происхождения. Для получения поволоков высокого качества с обеспечением требуемого уровня механических свойств минимальную величину укова по сечению основного тела поковки следует назначать не менее 2,4.

Расширение номенклатуры и типов кузнечных слитков приводит к необходимости в процессе выбора слитка для поковки учитывать ле-

только его массу, но также форму и внутреннее строение.

Разработанный алгоритм позволяет осуществлять выбор слитка оптимального по своим весовым и геометрическим параметрам применительно к поковкам различного типа.

Типы слитков различаются по своему применению и имеют большую или меньшую универсальность. Наиболее широко используются нормальные прибыльные слитки, которые пригодны для изготовления различных видов поковок. Выбор такого слитка производится из условия соответствия массы слитка массе поковки.

Использование бесприбыльных слитков, отливаемых как в обычную, так и составную изложницу, а также прибыльных сдвоенных слитков ограничено только поковками для полых изделий. При выборе слитка необходимо учитывать условия удаления в отход дефектной части слитка и его диаметр, который должен быть больше величины, определяемой минимально допустимым уклоном. Выбор ступенчатых слитков производится для поковок с более чем одной ступенью. При этом проверяется возможность компоновки ступеней поковки по ступеням слитка.

Таким образом, наличие определенных характерных признаков у поковки определяет алгоритм выбора слитка, который включает:

- 1) выбор слитка для поковки без отверстия;
- 2) выбор гладкого слитка для поковки с отверстием;
- 3) выбор ступенчатого слитка для ступенчатой поковки с отверстием.

Выбранный слиток отвечает следующим условиям: минимальной массе и трудоемкостиковки, ограничениям по величине отходов, минимально допустимому уклону, удаляемости в отход дефектной осевой зоны.

Разработка системы, позволяющей автоматизировать проектирование всего цикла металлургического производства от получения слитка до поковки, осуществлена на ПО "Баррикады". Данная система в качестве подсистем включает моделирование кристаллизации слитка, автоматизированное проектирование поковки, выбор оптимального слитка, проектирование технологийковки.

Результатом освоения разработанной системы было внедрение на ПО "Баррикады" ряда технологий получения поковок из слитков измененной геометрии.

Дляковки полых заготовок был выбран бесприбыльный сдвоенный слиток. При этом количество поковок, получаемых из нового слитка,

как правило, вдвое превышало число поковок, откованных из традиционного прибыльного слитка, что сокращает трудоемкость и времяковки.

Дляковки сплошных заготовок, из которых изготавливаются полые изделия, как правило, выбирается прибыльный сдвоенный слиток. При этом возможны две схемыковки: из одного слитка, предварительно разрубленного, изготавливают две поковки; из одного слитка изготавливают одну длинномерную поковку.

Ступенчатый слиток выбирается дляковки длинномерных заготовок, имеющих различный диаметр по концам. К таким изделиям относятся валы, водила, дорны, двойные трубы и т. д. Необходимым требованием к использованию ступенчатого слитка для изготовления заготовок является наличие в ней сквозной или глухой полости. При проектированииковки заготовки выбирается слиток с узкой или широкой верхней частью тела, соответственно тому - в узкой или широкой части заготовки имеется отверстие. Если отверстие или полость большого диаметра, слиток отливается бесприбыльным.

Механические свойства поковок удовлетворяют требованиям действующей нормативно-технической документации как по пластическим, так и по прочностным характеристикам.

ВЫВОДЫ

1. Предложены критерии, позволяющие оптимизировать процесс изготовления поковки из слитков различной конфигурации не только по массе получаемых при этом отходов, но и трудоемкостиковки. Условия обеспечения качестваковки сформулированы с учетом массы выбираемого слитка, его формы и внутреннего строения, что особенно важно при использовании технологии получения сдвоенных слитков, отливаемых в составную из двух полуформ изложницу.

2. В результате экспериментального исследования удлинённых сдвоенных ступенчатых слитков предложены механизмы образования основных структурных зон, исследованы их параметры. Установлено, что наибольшее влияние геометрия слитка оказывает на строение осевой зоны, характер и распределение усадочных дефектов. В зоне усадки выделены три характерных участка: полости раковины, рыхлости и точечной пористости.

Выявлена связь между параметрами двухфазной зоны и строением усадочной раковины в теле сдвоенного слитка. Закон выделения

твердой фазы в интервале затвердевания и связанные с ним размеры и расположение участка питания в двухфазной области определяют распределение усадочных дефектов по сечению слитка.

3. Установлено, что химическая неоднородность слитка уменьшается с увеличением отношения высоты к приведенному диаметру. Вследствие большей скорости затвердевания удлиненного слитка меньшее развитие получает положительная ликвация. С увеличением массы слитка разница в химической неоднородности удлиненного и нормального слитка возрастает. Для крупных слитков удлиненной формы химическая неоднородность снижается в 1,4 раза.

4. Показано влияние геометрии удлиненного двоечного слитка на отличное от нормального прибыльного слитка распределение неметаллических включений. В двоечных слитках максимальное содержание неметаллических включений приходится на среднюю по высоте часть в месте максимального развития физической неоднородности.

5. Величина и расположение максимального диаметра усадочной раковины в теле двоечного слитка зависит от тип и размеров головной части и определяют годную дляковки часть слитка. Максимальное использование тела литой заготовки достигается при ковке прибыльных двоечных слитков. В бесприбыльных слитках величина части тела, в которой усадочная раковина имеет недопустимо большой диаметр, не превышает 16 % от общей высоты.

6. Математическая модель затвердевания слитка, разработанная на основе квазиравновесной теории двухфазной зоны, адаптирована для расчета усадочных дефектов в двоечных слитках. Настройка модели осуществлялась по результатам натуральных экспериментов.

7. По результатам моделирования установлено, что с уменьшением скорости затвердевания и снижением связанного с ней темпа выделения твердой фазы в объеме слитка повышается вероятность образования подприбыльного моста, предотвращающего от значительного окисления вторичную усадочную раковину в прибыльных двоечных слитках.

8. Установлено, что относительные размеры усадочной раковины в прибыльных слитках зависят прежде всего от параметров слитка, определяющих относительный объем прибыли. В прибыльных слитках, отливаемых в литейную оснастку для нормальных слитков, максимальный относительный диаметр усадочной дефектной зоны в теле не превышает 25 %.

Ускоренное затвердевание верхней части слитка при организа-

ции дифференцированного теплоотвода по высоте сдвоенного слитка, осуществляемого путем раннего снятия верхней изложницы, уменьшает поперечные размеры усадочной раковины.

9. Разработана математическая модель закова усадочной раковины, позволяющая прогнозировать изменение размеров дефектной зоны слитка при ковке.

10. Разработаны алгоритм и автоматизированная система выбора кузнечного слитка с учетом его формы и внутреннего строения для поковок различного класса.

Освоение автоматизированной системы позволило внедрить в производство технологии получения поковок различного класса из слитков измененной геометрии. Производством освоены новые типы литых заготовок, что дало возможность при парке изложниц в 46 единиц увеличить число слитков до нескольких тысяч без увеличения количества литейной оснастки. Это обеспечило выбор оптимального по весу и конфигурации слитка для кузнечных заготовок любой формы.

Внедрение сдвоенных слитков позволило снизить неоднородность механических свойств длинномерных поковок в 1,3...1,4 раза, расход металла на поковку на 8 %. Годовой экономический эффект составил 233,63 тыс. руб.

Основное содержание работы и результаты исследований отражены в следующих публикациях:

1. Кулешов Н. И., Марьельцев А. П., Жульев С. И. Применение информационно-поисковой системы для выбора кузнечного слитка // Кристаллизация. Теория и эксперимент. Межвуз. сбор. науч. трудов. - Ижевск. - 1987, с. 57-63.

2. Жульев С. И., Кулешов Н. И., Сергеев В. И. Алгоритм выбора слитка и рационального размещения поковки. // Проблемы промышленной кристаллизации и компьютерное моделирование металлургических технологий. Тезисы докладов. - Ижевск. - 1988, с. 23-25.

3. Жульев С. И., Кулешов Н. И., Сергеев В. И. и др. Производственный опыт использования расчёта кристаллизации стальных слитков. // Передовой опыт производства стали, ее внепечной обработки, расливки в слитки и получения кузнечных заготовок. Тезисы докладов. - Волгоград. - 1989, с. 9-10.

4. Кулешов Н. И., Гакало А. В., Жульев С. И., и др. Использование зависимостей закова усадочных дефектов при автоматизированном

выборе слитка. // Передовой опыт производства стали, ее внепечной обработки, разливки в слитки и получения кузнечных заготовок. Тезисы докладов. - Волгоград. - 1989, с. 18-19.

5. Жульев С. И., Кулешов Н. И., Сергеев В. И. Автоматизированный выбор слитка для поковок. // Передовой опыт. - 1989. - N 1, с. 30-32.

6. Пакало А. В., Жульев С. И., Кулешов Н. И. Концептуальная модель САПР технологииковки на АКК // Совершенствование металлургической технологии в машиностроении. Тезисы докладов. - Волгоград. - 1990, с. 156-160.

7. Сергеев В. И., Жульев С. И., Кулешов Н. И. Исследование двоянных ступенчатых слитков. // Процессы разливки, модифицирования и кристаллизации стали и сплавов. Сбор. науч. трудов. Часть 2. - Волгоград. - 1990, с. 139-141.

8. Пакало А. В., Жульев С. И., Кулешов Н. И. и др. Концептуальная модель подсистемы выбора слитка в САПРковки поковок. // Совершенствование металлургической технологии в машиностроении. Тезисы докладов. - Волгоград. - 1991, с. 139-142.

9. Жульев С. И., Кулешов Н. И., Петунин А. Ю. и др. А. С. 1586849 (СССР) Кузнечный слиток. Бюллетень, N, с. .

Жульев С. И.

7826841
AV 26.841