

**ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**На правах рукописи**

**КОСТЕЦКИЙ Юрий Витальевич**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВЫХ КРУПНОТОННАЖНЫХ  
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ**

**Специальность 05.16.02 — «Металлургия  
черных металлов»**

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**ДОНЕЦК — 1992**

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00691466 (W)

ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

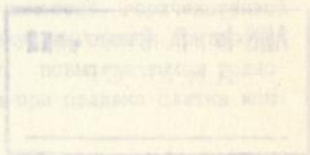
КОСТЕЦКИЙ Юрий Витальевич

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВЫХ  
КРУПНОТОННАЖНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ

Специальность 05.16.02 - "Металлургия черных металлов"

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк - 1992



АВ 25.030

Работа выполнена в Донецком ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Научные руководители: академик АН Украины, доктор технических наук, профессор Медовар Б.И.; кандидат технических наук, доцент Троянский А.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Казачков Е.А.; кандидат технических наук, доцент Моргунов А.В.

Ведущее предприятие: завод "Энергомаш-спецсталь" /г.Краматорск/.

Защита состоится "24" декабре 1992 г. в ауд. 353 пятого учебного корпуса в 12 часов на заседании специализированного совета Д 068.20.01 в Донецком ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Адрес: 340000, г.Донецк, ул.Артема, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого политехнического института.

Автореферат разослан "23" ноябре 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук

А.А.Троянский

АНБ им. В. Стефанюка  
АН УРСР

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Удовлетворение все возрастающих требований к толстолистовому прокату идет за счет развития технологических процессов, обеспечивающих получение качественных стальных слитков. Однако даже в случае применения специальных методов, трудно гарантировать получение крупной бездефектной заготовки, причем дефекты литейного происхождения не всегда могут быть исправлены при дальнейших переделах.

В настоящее время для гарантированного получения качественной структуры и требуемого уровня механических свойств широкоформатного толстолистового проката больших толщин стальные заготовки подвергают ковке, что увеличивает себестоимость готовой продукции и снижает технико-экономические показатели производственного процесса. В связи с этим актуальной задачей является разработка и совершенствование технологии получения качественных литых заготовок для прокатки на толстый лист.

Цель работы. Разработка и исследование технологии производства листовых крупнотоннажных горизонтальных слитков, требующих минимальной предпрокатной подготовки.

Научная новизна. Разработана математическая модель затвердевания горизонтального слитка, с помощью которой изучено влияние основных параметров на кинетику затвердевания металла. Установлено влияние утепляющих материалов на химсостав металла в головной части слитка и качество головной поверхности. Показана возможность устранения положительной ликвации вредных примесей в головной части слитка за счет применения рафинирующего шлака, наводимого на зеркале металла в процессе разливки. Разработаны основы технологии отливки крупнотоннажных горизонтальных слитков с рафинированием металла в головной части на этапе разливки.

Практическая ценность. В промышленных условиях опробованы различные варианты отливки горизонтальных листовых слитков. Установлены оптимальные варианты отливки. Применение разработанной технологии позволяет повысить качество горячекатанной толстолистовой стали, устранить ковку заготовок при производстве крупногабаритных листов и плит, повысить выход годного. Использование рафинирующего шлака при отливке слитка иск-

лочает необходимость удаления значительного слоя металла в головной части горизонтального слитка и повышает технико-экономические показатели технологии.

Разработанная технология может быть использована в сталеплавильных и литейных цехах, производящих крупные стальные слитки и отливки, не требует значительных капитальных затрат и дефицитных материалов.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на Всесоюзной научно-технической конференции молодых металлургов-исследователей (Донецк, 1989), на научно-технической конференции "Проблемы повышения качества металлопродукции по основным переделам черной металлургии" (Днепропетровск, 1989), на VII Всесоюзной научной конференции "Современные проблемы электрометаллургии стали" (Челябинск, 1990), на научно-технической конференции "Создание и освоение экологически чистых, ресурсосберегающих технологий в черной металлургии" (Донецк, 1991).

Публикации. Основное содержание работы отражено в 15 печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы из 129 наименований, 5 приложений. Работа изложена на 165 страницах, включая 71 рисунок и 14 таблиц.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена рассмотрению современных технологических схем производства толстолистового проката и известных способов получения бесприбыльных горизонтальных слитков, а также особенностей слитков данного типа.

Горизонтальное расположение слитка, когда его высота значительно меньше длины и ширины, позволяет успешно реализовать преимущества направленного затвердевания. Разливка крупных горизонтальных слитков (Unidirection solidification ingots) в изложницы производится как правило сифонным способом. При этом головную и боковые поверхности затвердевающего слитка теплоизолируют. В результате основной теплоотвод осуществляется направленно в массивный поддон, а фронт кристаллизации является

плоским и перемещается снизу вверх.

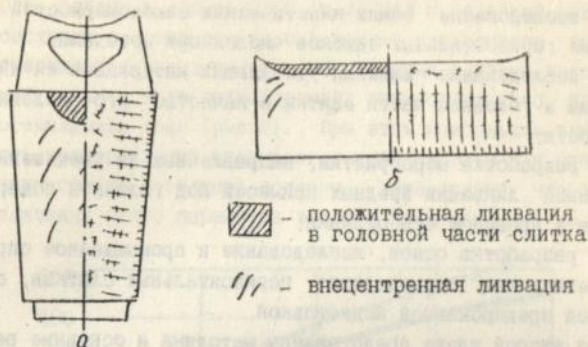


Рис. 1. Кристаллическая структура и макросегрегация вертикального /а/ и горизонтального /б/ слитков.

Работы по разработке технологии производства однонаправленно затвердевающих горизонтальных слитков проводились в Японии и Франции. В последние годы исследования в этом направлении ведутся ИЭС им. Е. О. Патона совместно с ПО "Азовмаш", а также в ПО "Ижорский завод".

Горизонтальные слитки отличаются повышенной физической и химической однородностью. Существенным положительным фактом является отсутствие каких-либо дефектов в осевой части таких слитков. В то же время для них характерны: положительная ликвация примесей под головной поверхностью слитка;  $\wedge$ -образная ликвация, локализованная у боковой поверхности слитка; незначительная пористость в головной части крупных слитков (рис. 1). При этом указанные дефекты расположены таким образом, что могут быть полностью удалены механическим путем в процессе дальнейшего передела.

Анализ технологической схемы производства толстолистового проката из горизонтальных слитков показывает, что необходимость удаления перед прокаткой с головной поверхности слитка металла обогатленного примесями, существенно снижает технико-экономические показатели и затрудняет внедрение такой технологии.

В связи с этим диссертационная работа была направлена на

решение следующих задач :

- исследование общих кинетических закономерностей затвердевания горизонтальных слитков численными методами;
- исследование влияния утепляющих материалов на химсостав металла в головной части слитка и качество его головной поверхности;
- разработка мероприятий, направленных на уменьшение положительной ликвации вредных примесей под головной поверхностью слитка в процессе его отливки;
- разработка основ, исследование и промышленное опробование технологии производства горизонтальных слитков, с минимальной предпрокатной подготовкой.

Во второй главе представлены методика и основные результаты численного моделирования теплофизических процессов, протекающих при затвердевании горизонтального слитка.

В основе математической формулировки рассматриваемой задачи лежит дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности :

$$\rho c \frac{dT}{\tau} - \text{div}(\lambda \text{ grad } T) + q, \quad (1)$$

Задачу затвердевания решали в рамках теории квазиравновесной двухфазной зоны, точнее ее модификации, предложенной Ю. А. Самойловичем. Предполагалось, что в начальный момент времени жидкометаллическая ванна имеет одинаковую по всему объему температуру. На донной поверхности слитка и на границе "слиток-изложница" задавали условия идеального теплового контакта

$$\lambda_{\text{сл}} \frac{dT_{\text{сл}}}{dx} = \lambda_{\text{п}} \frac{dT_{\text{п}}}{dx}, \quad T_{\text{сл}} = T_{\text{п}}, \quad (2)$$

На внешней поверхности стенки изложницы и нижней поверхности поддона задавали граничные условия третьего рода

$$-\lambda \frac{dT_{\text{п}}}{dx} = \alpha_{\text{п}} (T_{\text{п}} - T_{\text{ос}}), \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности (1) с начальными и граничными условиями (2-3) образуют систему уравнений, описывающую процесс затвердевания слитка. Для численного решения полученной системы уравнений использовали метод конечных разностей.

Численное моделирование показало, что затвердевание горизонтального слитка в направлении от донной к головной поверхности происходит в соответствии с законом квадратного корня. Это подтверждается результатами зондирования глубины жидкометаллической ванны в ходе затвердевания горизонтального слитка массой восемнадцать тонн (рис. 2). При этом наибольшее влияние на скорость затвердевания оказывает такой параметр как отношение толщины слитка к толщине поддона. Установлено, что оптимальные значения этого параметра лежат в пределах от 1 до 1,5.



Рис. 2. Кинетика затвердевания горизонтального слитка высотой 510 мм.

Одним из проявлений химической неоднородности в горизонтальном слитке является внецентренная  $\wedge$ -образная ликвация. Ликвационные дефекты данного типа располагаются, как правило, в зоне разветвленных дендритов, растущих в направлении от боковой поверхности к центру слитка. Учитывая это, на основе результатов численного моделирования можно прогнозировать их расположение в слитке (рис. 3).

Были проведены расчеты кинетики затвердевания горизонтального слитка высотой 450 мм и шириной 2 м в различных изложницах, стенки которых выполнены из чугуна ( $\lambda = 52 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , толщина 300 мм), шамота ( $\lambda = 1,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , толщина 250 мм) и каолина ( $\lambda = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , толщина 100 мм). Площадь зоны дендритов, растущих от боковой поверхности (зона внецентренной ликвации) составила в первом случае до 25% от общей площади поперечного сечения слитка. Для изложниц со стенками из шамота и

каолина эта величина достигает соответственно 10% и 5%, а глубина максимального проникновения  $\wedge$ -образной ликвации в тело слитка 160 мм и 80 мм (рис. 4).

При отливке опытных слитков для футеровки стенок изложницы был выбран шамотный кирпич, как наиболее доступный материал. Толщина футеровки составляла 230 мм. При этом глубина проникновения внецентренной  $\wedge$ -образной ликвации для девятитонного слитка высотой 420 мм в головной части достигла 110 мм, а в середине высоты до 60 мм. Для двадцатитонного слитка высотой 510 мм эти величины составили соответственно 125 мм и 38 мм.

В третьей главе приведены результаты экспериментов по отливке горизонтальных слитков в опытно-промышленных условиях.

На первом этапе сифонным способом отливали опытные слитки массой до четырех тонн.

Анализ макроструктуры и химической однородности опытных слитков показал, что их затвердевание преимущественно направленно, снизу вверх. Состояние футеровки стенок изложницы после разливки допускает возможность ее многократного использования. На основе полученных данных была разработана конструкция и изготовлены специальные изложница и поддон для

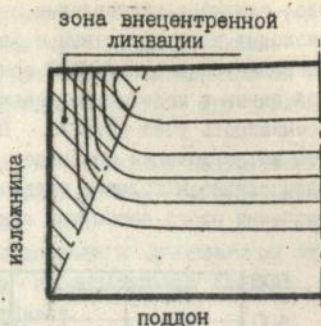


Рис. 3. Определение размеров зоны внецентренной ликвации по результатам численного моделирования

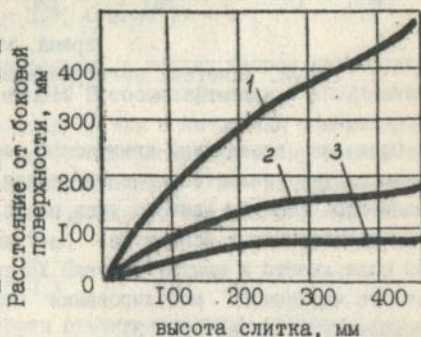


Рис. 4. Зависимость глубины зоны внецентренной ликвации по высоте слитка от материала стенки изложницы/1 - чугун; 2 - шамот; 3 - каолин/.

отливки крупных горизонтальных слитков.

На втором этапе проводили эксперименты по отливке горизонтальных слитков массой до 10 тонн из стали 09Г2С. Ориентировочные размеры слитков - 420x1260x2200 мм.

Распределение примесей по сечению девятитонного слитка отличается достаточно высокой однородностью, за исключением положительной ликвации в головной части (рис. 5), которая хорошо видна на серном отпечатке поперечного темплета. При этом толщина ликвационного слоя достигает 50 мм, то есть в процессе предпрокатной подготовки данного слитка требуется удаление не менее 50 мм металла с головной поверхности.

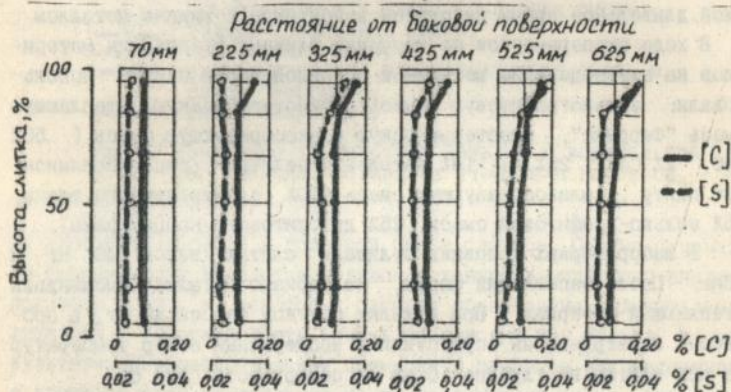


Рис. 5. Распределение углерода и серы в поперечном сечении горизонтального слитка массой 9 тонн

Распределение неметаллических включений по сечению опытного горизонтального слитка также отличается достаточно высокой однородностью. Причем в отличие от обычных вертикальных слитков в осевой части отсутствуют скопления неметаллических включений. Существенное различие при уровне значимости 0,95 наблюдалось только для размеров сульфидных включений по высоте слитка, что объясняется уменьшением скорости затвердевания металла в направлении от донной к головной части.

Анализ дефектов (заливин, плен), обнаруженных на донной поверхности слитка, а также условий их формирования, наблюдаемых в процессе разливки показал, что для предотвращения образования данных дефектов, необходимо обеспечивать максимально быстрое

покрытие всей поверхности поддона жидким металлом, то есть начинать разливку с максимально возможной скоростью. При этом следует избегать разбрызгивания металла в начальный момент разливки.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния утепляющего материала на затвердевание и химический состав металла в головной части слитка.

В связи с малым отношением высоты горизонтального слитка к его ширине в процессе разливки необходима теплоизоляция большого по площади зеркала металла, которое после затвердевания становится поверхностью проката. Кроме того утепляющий слой длительное время находится в контакте с жидким металлом.

В ходе экспериментов по изучению влияния утепляющих материалов на затвердевание металла в головной части слитка использовали: золюграфитовую смесь, экзотермическую утепляющую смесь "Ферракс", экзотермическую шлакообразующую смесь ( 55% CaO, 2% CaF<sub>2</sub>, 25% Al, 18% натриевой селитры), теплоизоляционную плиту, шлакообразующую смесь (50% электропечного шлака, 25% золю-графитовой смеси, 25% датолитового концентрата).

В лабораторных условиях отливали слитки весом 40 кг и 60кг. После заполнения формы, на зеркало металла присаживали утепляющий материал. При отливке слитков массой 40 кг, в процессе затвердевания осуществляли непрерывный замер температур по оси слитка на глубине 10 мм от поверхности (рис. 6).

После отливки слитков проводили сравнительный визуальный анализ состояния головной поверхности, полученной под различными утепляющими материалами. Кроме того, из слитков вырезали темплеты для исследования усадочных дефектов.

Анализ температурных кривых (рис. 6) и выявленных усадочных дефектов указывает на необходимость использования экзотермических материалов, что исключает теплопотери от жидкого металла на нагрев утепляющего слоя и предотвращает раннее образование корки твердого металла на головной поверхности.

Лучшие результаты достигнуты при использовании "двухслойного" утепления, состоящего из слоя шлака, образовавшегося после сгорания экзотермической шлакообразующей смеси, дополнительно утепленного экзотермической шлакообразующей смесью "Ферракс".

На втором этапе исследовали влияние утепляющего материала

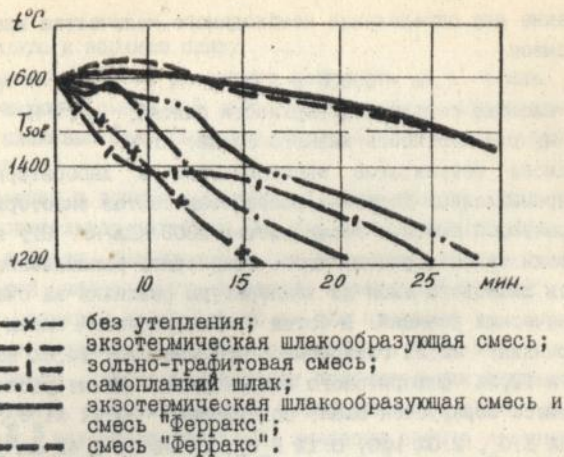


Рис. 6. Изменение температуры металла в контрольной точке при различных вариантах утепления головной поверхности.

на химсостав металла в головной части слитков. Серные отпечатки с поперечных темплетов отливок и данные химического анализа показали, что в некоторых случаях образование положительной ликвации в головной части слитка происходит не только в результате перераспределения примесей в процессе затвердевания, а также за счет поступления их из утепляющего слоя. Например, при использовании зольно-графитовой смеси или смеси "Ферракс" происходит насыщение приповерхностного слоя металла углеродом и серой.

При наличии на поверхности жидкого металла слоя основного шлака, дополнительно утепленного экзотермической теплоизоляционной смесью, в головной части слитка наблюдается эффект десульфурации. Концентрация серы в приповерхностном слое в два раза ниже (0,010%), чем в остальном металле (0,021%).

Экспериментально установлено, что повышение удельного расхода шлака не приводит к увеличению глубины рафинирования по сере (в опытах 8-10 мм, для слитков 130x250x250 мм). Это связано с диффузионным характером процесса рафинирования.

Анализ результатов позволил получить простое эмпирическое

соотношение для определения необходимого количества шлакообразующей смеси

$$m = 0,036 \cdot p \cdot S \cdot H, \text{ кг} \quad (4)$$

где  $S$  - площадь головной поверхности слитка,  $\text{м}^2$ ;  $H$  - высота слитка,  $\text{м}$ ;  $p$  - плотность жидкого шлака,  $\text{кг/м}^3$ .

На основе результатов экспериментов в лабораторных и опытно-промышленных условиях разработан состав экзотермической шлакообразующей смеси с термичностью 2300 кДж/кг. Эту величину рассчитывали таким образом, чтобы обеспечить раплавление смеси и прогрев шлакового слоя до температуры разливки за счет тепла экзотермических реакций. В состав шлакообразующей смеси входит: 7,8% алюминия; 22,5% глинозема; 45% извести; 14,5% натриевой селитры и 10,2% флюоритового концентрата. После раплавления данной смеси образуется шлак, содержащий: 39,9%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 43,2%  $\text{CaO}$ , 4,5%  $\text{SiO}_2$ , 2,0%  $\text{MgO}$ , 0,1%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 0,19%  $\text{S}$ , 9,4%  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{FeO}$  менее 1%. Смесь была использована при отливке восемнадцатитонного горизонтального слитка из стали 20.

В пятой главе представлены результаты экспериментов по исследованию в опытно-промышленных условиях технологии сифонной отливки крупнотоннажных горизонтальных слитков под рафинирующим шлаком, наводимым на зеркале металла в процессе раливки, а также результаты исследований качества проката.

Экспериментально установлено, что раливку горизонтального слитка необходимо вести на "чистый" поддон. Подачу шлакообразующей смеси целесообразно начинать после окончания формирования жидкометаллической ванны и заполнения изложницы приблизительно на 1/4 высоты (в экспериментах использовалась изложница высотой 800 мм). Был практически опробован вариант подачи экзотермической шлакообразующей смеси на зеркало металла в изложнице по наклонному желобу с раливочной площадки. При этом использовали смесь, расфасованную в полиэтиленовые пакеты по 10-15 кг.

В соответствии с разработанной технологией был отлит восемнадцатитонный горизонтальный слиток габаритами 510x1750x2600 мм из стали 20. Для раливки использовали специальный чугунный поддон, конструктивно выполненный из двух плит - верхней и нижней. В нижней плите расположены каналы для сифонной проводки. После наборки проводки, на нижнюю плиту устанавлива-

ли центровую и верхнюю плиту.

Средняя скорость разливки составила 2,4 т/мин. Расход шлакообразующей смеси 9,5 кг/т. По окончании заполнения изложницы на шлаковый слой было присажено 75 кг утепляющей смеси "Ферракс".

Головная и донная поверхности полученного слитка имели удовлетворительное качество. На них не выявлены грубые поверхностные дефекты. Для исследования качества опытного металла из центральной части слитка вырезали поперечный темплет, а также фрагмент размером 510x710x1750 мм для прокатки.

Серные отпечатки поперечного темплета показали, что в головной части слитка отсутствует положительная ликвация серы. Таким образом, использование рафинирующего шлака позволило устранить слой положительной ликвации серы в головной части слитка. На серном отпечатке заметно изменение размеров сульфидов по высоте слитка, связанное с изменением скорости затвердевания металла. У боковой поверхности также отмечается наличие "усов" внецентренной ^-образной ликвации, удаленных от нее на 38 мм на уровне половины высоты слитка и на 125 мм в головной части.

Макроструктура, выявленная на поперечном темплете имеет характерный для горизонтальных слитков вид. Зона столбчатых кристаллов охватывает приблизительно 60% высоты слитка и достигает уровня 295 мм, считая от донной поверхности. У головной поверхности на глубину до 20 мм наблюдаются отдельные скопления пор, размер которых не превышает 0,3 мм. При прокатке поры завариваются.

Результаты химического анализа проб металла, отобранных по сечению слитка, свидетельствуют о химической однородности и отсутствии положительной ликвации серы в головной части слитка (рис. 7).

Без какой-либо предварительной подготовки поверхности опытный металл был прокатан на сляб толщиной 180 мм и лист толщиной 60 мм. Нагрев и прокатку выполняли в соответствии с типовой техногической инструкцией.

Поверхности раскатов обеих толщин показали удовлетворительное качество. Не обнаружены какие-либо грубые поверхностные дефекты, связанные с качеством поверхности слитка. Проти-

в противоположные поверхности раскатов, соответствующие донной и головной поверхностям слитка, качественно не отличались.

Макроструктура деформированного металла характеризуется высокой однородностью, отсутствием трещин, расслоений и пор, видимых невооруженным глазом.

В данной работе важно было оценить изотропность механических свойств проката.

Для этого поперечное сечение раската условно делили на три равные зоны по толщине так, чтобы в первой зоне располагался металл из головной части слитка, а во второй и третьей - соответственно из центральной и донной частей. Образцы для испытаний отбирали в каждой зоне.

Результаты исследования механических свойств опытного металла представлены в таблицах 1 и 2. Приведенные данные свидетельствуют о достаточно высокой однородности распределения этих свойств по сечению проката. Причем уровень свойств вдоль и поперек направления прокатки практически одинаков. По толщине проката (вдоль оси Z) прочностные свойства ниже, чем по другим направлениям на 5-7%.

Прокат толщиной 60 мм также отличается повышенной однородностью по механическим свойствам. Разброс значений по зонам не превышает 5-6%.

Сравнение представленных данных с результатами испытаний серийного проката стали 20 на ПО "Ижорский завод" и требованиями ГОСТ показывает, что механические свойства опытного проката находятся на достаточно высоком уровне.

Следует отметить большую однородность опытного металла по сравнению с прокатом, полученным из традиционного листового

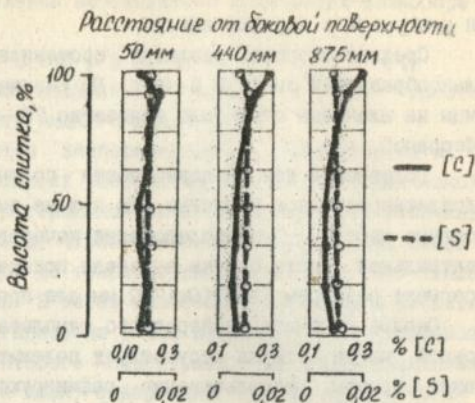


Рис. 7. Распределение углерода и серы по высоте в поперечном сечении горизонтального слитка массой 18 т.

Таблица 1

Механические свойства 180 мм сляба (без термообработки)

Зона	продольные (x)				поперечные (y)				по толщине (z)			
	$\sigma_b$ , Мпа	$\sigma_r$ , Мпа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$\sigma_b$ , Мпа	$\sigma_r$ , Мпа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$\sigma_b$ , Мпа	$\sigma_r$ , Мпа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
1	491	345	27	58	490	338	28	59	491	338	24	38
2	450	317	28	55	455	320	28	55	441	297	22	37
3	491	344	28	60	485	343	29	59	471	325	24	54
Заводск данные *	436- 490	230- 255	25- 35									

Таблица 2

Сляб 180 мм ( без термообработки)  
Ударная вязкость КСУ  $+20^{\circ}\text{C}$  Дж/см<sup>2</sup>

Зона	продольные (x)	поперечные (y)	по толщине (z)
1	114	112	72
2	108	117	105
3	120	115	101
Заводск. данные*	99-160		

\* Прокат толщиной 160-180 мм из обычных листовых слитков

слитка (рис. 7). Видно, что в 180мм слябе из горизонтального слитка разброс значений ударной вязкости по сечению не превышает 10% при суммарном обжатии в 2,8 раза, в то время как в 90 мм листе из обычного 15 т листового слитка он достигает 35% при обжатии в 6,7 раза. Обычно уровень обжатия слитка для получения листа с высоким уровнем механических свойств для углеродистых и ниаколегированных марок сталей должен быть не менее 5-6.

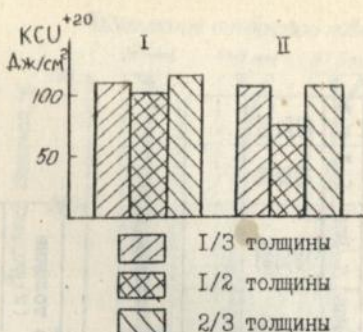


Рис. 8. Уровень механических свойств по сечению проката из горизонтального/I/ и вертикального/II/ слитков.

В шестой главе представлены результаты оценки технико-экономической эффективности технологии отливки горизонтальных слитков и описаны перспективы развития данной технологии.

Отмечается, что важным преимуществом горизонтальных слитков является более высокая физическая и химическая однородность. Геометрическая форма слитков данного типа и отсутствие головной и донной обрешки обеспечивают увеличение выхода годного. Использование горизонтальных слитков позволяет более плавно менять тоннаж отливаемых слитков изменяя количество металла, заливаемого в изложницу.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных исследований разработаны основные положения технологии отливки крупнотоннажных горизонтальных слитков, пригодных для дальнейшего передела.

2. Предложен способ повышения химической однородности горизонтальных слитков за счет наведения слоя рафинирующего шлака на зеркале металла в процессе разливки. Это позволяет исключить в ряде случаев механическую обработку головной поверхности горизонтального слитка перед прокаткой.

3. Предложена математическая модель затвердевания горизонтального слитка в условиях направленного теплоотвода, позволяющая прогнозировать глубину проникновения внецентренной ликвации в тело слитка. Численным моделированием установлена оптимальная величина отношения толщины слитка к толщине поддона, которая составляет 1,0-1,5.

4. Проведены исследования влияния утепляющих материалов на затвердевание и химсостав металла в головной части слитка. Установлено, что при отливке горизонтальных слитков для присадки на зеркало металла необходимо использовать экзотермические смеси, а для достижения эффекта рафинирования шлаковый слой должен быть дополнительно утеплен.

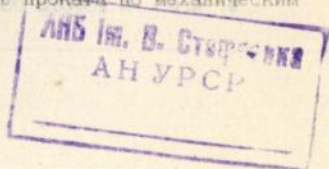
5. Предложен и опробован в опытно-промышленных условиях состав экзотермической шлакообразующей смеси для наведения слоя рафинирующего шлака на поверхности жидкого металла в ходе разливки (7,8% алюминия; 22,5% глинозема; 45% извести; 14,5% натриевой селитры; 10,2% флюоритового концентрата). Рекомендовано выражение для определения расхода шлакообразующей смеси в зависимости от геометрических размеров слитка  $m = 0,036 \cdot p \cdot S \cdot H$ , кг (где  $p$  - плотность жидкого шлака;  $S$  - площадь головной поверхности слитка;  $H$  - высота слитка, м).

6. Предложены и опробованы в промышленных условиях конструкции изложницы и поддона для сифонной отливки крупнотоннажных горизонтальных слитков.

7. Проведены эксперименты по отливке в опытно-промышленных условиях горизонтальных слитков массой от четырех до восемнадцати тонн, в ходе которых были опробованы и уточнены основные положения технологии сифонной отливки листовых горизонтальных слитков, а также показана возможность получения слитков с качественной головной поверхностью и отсутствием слоя положительной ликвации серы в головной части.

Показано, что листовые горизонтальные слитки, отлитые под рафинирующим шлаком, могут быть подвергнуты прокатке на толстый лист без предварительной механической обработки поверхностей.

8. Проведены исследования качества тостололистого проката, полученного из горизонтального слитка массой восемнадцать тонн. Установлена высокая однородность проката по механическим



свойствам, достигаемая при меньшей степени деформации, в сравнении с прокатом из традиционных листовых слитков.

Основное содержание работы опубликовано в следующих работах:

1. Влияние утепляющего материала на качество головной поверхности слитка/А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий, С. Н. Вислобоков, О. Е. Чернышев//ДЭП в Черметинформации 30. 05. 90, N5484-ЧМЭО. -7с.

2. Троянский А. А., Костецкий Ю. В., Сеницын Д. В. Возможность зачистки головной поверхности горизонтальных слитков в цикле прокатки//Известия вузов. Черная металлургия. -1991. -N6. - с. 106-107.

3. Костецкий Ю. В., Троянский А. А., Вислобоков С. Н. О кинетике затвердевания крупнотоннажных горизонтальных слитков//Обобщение опыта работы молодых ученых, инженеров и рабочих отрасли по экономии материальных и энергетических ресурсов: тезисы докл. всесоюзной научно-техн. конф. - Донецк, 1989. -с. 66.

4. К вопросу об отливке крупнотоннажных листовых горизонтальных слитков/В. И. Медовар, Ю. В. Костецкий, Л. Б. Медовар, Б. И. Шукстудьский//Проблемы повышения качества металлопродукции по основным переделам черной металлургии: Тез. докл научн.-техн. конф. - Днепропетровск, 1989 г. -с. 64.

5. Рафинирование стали в процессе отливки горизонтального слитка/А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий, С. Н. Вислобоков, О. Е. Чернышев //Современные проблемы электрометаллургии стали: тез. докл. VII Всесоюзной научной конф. - Челябинск, 1990. -С. 143-144.

6. Особенности отливки и затвердевания горизонтальных слитков/ А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий, С. Н. Вислобоков, О. Е. Чернышев // Создание и освоение экологически чистых, ресурсосберегающих технологий в черной металлургии: Тезисы докл. научн.-техн. конф. - Донецк, 1991г. -с. 43.

7. А. с. N1616766 СССР, МКИ4 В22D 7/06. Устройство для сифонной отливки горизонтального слитка/ В. И. Медовар, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. - Опубл. 30. 12. 90, Бюл. N48.

8. А. с. N 1629144 СССР. МКИ В22D 7/06. Устройство для сифонной отливки горизонтальных слитков / В. И. Медовар, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. -Опубл. 23. 02. 91., Бюл. N7.

9. А. с. N 169015 СССР, МКИ В21В 1/02, 1/46. Способ произ-

водства толстых листов/В. М. Клименко, Ю. И. Юрченко, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. - Оpubл. 07.12.91, Бюл. N45.

10. А. с. N1613245 СССР, МКИ В22D 7/00. Способ сифонной разливки слитков/ В. И. Медовар, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. - Оpubл. 20.11.90., Бюл. N46.

11. А. с. N1676745 СССР, МКИ В22D 7/00. Способ отливки горизонтального слитка/В. И. Медовар, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. - Оpubл. 15.09.91, Бюл. N34.

12. А. с. N1644420 СССР, МКИ В21В 1/38. Способ производства толстых листов/В. М. Клименко, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. - не публ.

13. А. с. N1649719 СССР. МКИ В21В 1/00. Горизонтальный слиток для прокатки/В. М. Клименко, В. И. Медовар, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. - не публ.

14. Устройство для получения горизонтального слитка/ В. Е. Патон, В. И. Медовар, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. // Заявка на изобретение N4463399/02 от 14.07.88 МКИ В22D 7/06, - Положительное решение от 29.01.90

15. А. с. N1602607 СССР, МКИ В22D 7/00. Способ получения слитка/ В. И. Медовар, А. А. Троянский, Ю. В. Костецкий и др. - Оpubл. 30.01.90, Бюл. N40.

Подл. в печать 17.11.92 Формат 60×84<sup>1/2</sup>. Бумага оберточная. Офсетная печать.  
Усл. печ. л. 4,16 . Усл. кр.-отт. 427 . Уч.-изд. л. 50 . Тираж 130 экз.  
Заказ № 8-621.

Донецкий политехнический институт, 340000, Донецк, ул. Артема, 58.

ДМПП, 340050, Донецк, ул. Артема, 90

468823

Ab 26.030

**Ab 26.030**