

М315892

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

СУХИНИН Геннадий Константинович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ ДЛЯ
КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНОЙ
РАЗЛИВКИ СТАЛИ

(Специальность 05.04.05. — Технология и машины
сварочного производства)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

СУХИНИН Геннадий Константинович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ ДЛЯ
КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНОЙ
РАЗЛИВКИ СТАЛИ

(Специальность 05.04.05. – Технология и машины
сварочного производства)



Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работе выполняемая во Всесоюзном научно-исследовательском
и конструкторском институте автогенного машино-
строения (ВНИИавтогенмаш) и МВТУ им. Н.Э.Баумана
Научный руководитель:

кандидат технических наук Антонов И.А.

Научный консультант:

доктор технических наук, доцент Ямпольский В.М.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Владимирский Т.А.

кандидат технических наук, доцент Клебонов Г.Н.

Ведущее предприятие: Центральный научно-исследовательский
институт черной металлургии им. И.П. Бардина

Защита диссертации состоится "___" _____ 1977 г.
на заседании специализированного Совета _____

Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшего технического училища имени Н.Э. Баумана по адресу:
Москва, 107005, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим
высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан "___" _____ 1977 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА

доктор технических наук, доцент

Ямпольский В.М.

Д 79586 подп. к печ. 17.03.77 г. Объем I п.л. Звк. 599 Тир 100

Тип. МВТУ

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Решения XXV съезда КПСС предусматривают дальнейшее расширение применения прогрессивных высокопроизводительных способов производства стали. Особое внимание уделено увеличению выпуска металла в установках непрерывной разливки (УНРС), которые обеспечивают условия для полной механизации и автоматизации процесса разлива, а также повышение выхода годного проката на 10–12%. Государственным планом развития народного хозяйства СССР на 1976–1980 гг. предусмотрено увеличение выпуска стали в УНРС с 7 до 20 млн. т в год, главным образом, за счет строительства заводов мощностью 5–8 млн. т стали. В связи с этим особую актуальность приобретает повышение производительности УНРС, что может обеспечить существенное снижение капитальных затрат при строительстве таких комплексов. Работы, проведенные в Советском Союзе и за рубежом, показывают, что во вновь проектируемых УНРС скорость разлива может быть увеличена в 1,5–2 раза при условии увеличения производительности всех агрегатов УНРС, в том числе машин для кислородной резки мерных заготовок.

Анализ данных металлургических заводов показывает, также, что непроизводительные потери металла при кислородной резке горячей стали велики и составляют в настоящее время около 30 тыс. т стали в год. Однако опыт применения кислородной резки в УНРС свидетельствует о том, что возможности процесса еще не полностью реализованы как в достижении максимальной скорости резки, так и в сокращении непроизводительных потерь металла. В связи с необходимостью резкого увеличения выпуска стали в ближайшие годы на УНРС решение этих вопросов приобретает особую актуальность.

Целью работы являлось изыскание способов повышения эффективности процесса кислородной резки в условиях УНРС с разработкой оптимальных технологических параметров и режущей аппаратуры, обеспечивающих повышение производительности процесса и снижение потерь металла.

Методы исследования. Для изучения факторов, влияющих на производительность кислородной резки, было проведено аналитическое исследование процесса с использованием ЭВМ "Проминь". Исследование физико-химических процессов, протекающих при кислородной резке горячего металла, проводилось с использованием аппаратуры для послойного локально-спектрального анализа, термо-

графирования и определения параметров струи кислорода. Изменение фазового состава металла кромки реза изучалось путем металлографического исследования.

Научная новизна. На основании теоретического и экспериментального исследования предложена модель процесса кислородной резки, учитывающая теплофизические и гидродинамические условия образования сквозного прореза при совместном воздействии на обрабатываемый металл кислородной струи и источника нагрева (газового пламени). Аналитическое исследование модели позволило установить обобщенную зависимость производительности кислородной резки от технологических параметров и наметить пути ее повышения.

На основании анализа процессов распространения тепла при кислородной резке предложена методика расчета минимальной температуры стали перед резкой. Доказано, что изменение содержания углерода на кромке реза связано с избирательным окислением металлического расплава в разрезе и подчиняется основным закономерностям химической термодинамики.

Практическая ценность. Разработаны режимы и аппаратура для кислородной резки горячей стали в УНРС, обеспечивающие повышение скорости резки и уменьшение потерь металла в результате сокращения ширины реза в две раза. Разработанные газовая аппаратура и режимы позволяют увеличить производительность действующих УНРС без существенных капитальных вложений на реконструкцию газорезок и значительно снизить затраты на машины для кислородной резки мерных слитков при строительстве новых высокопроизводительных УНРС. Экономический эффект от внедрения вновь разработанной технологии в непрерывное металлургическое производство составляет 1 млн. рублей в год при разливе в УНРС 7 млн. т стали.

Апробация. Основные положения работы доложены на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" в 1976 г., на Московской научно-технической конференции сварщиков и получили практическое внедрение на Горьковском и Новолипецком металлургических заводах, предприятиях "Красное Сормово", "Амурсталь" и др., а также включены в проекты вновь строящихся УНРС заводов: "Азовсталь", Череповецкого металлургического и др.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов по работе. Выполнена на 200 маши-

нописных листах, содержит 92 рисунка, 16 таблиц и 105 наименований используемых литературных источников.

Глава первая содержит обзор литературы по основным аспектам рассматриваемого вопроса. Анализ существующих способов резки мерных слитков показал, что несмотря на отдельные случаи применения пресс-ножниц и машин импульсной резки (резка - взрывом) при разливке blooms, кислородная резка является одним из основных технологических процессов в УНРС. В настоящее время машинами для кислородной резки оснащены 30 промышленных установок непрерывной разливки стали.

К основным преимуществам кислородной резки в УНРС относятся:

- а) высокая мобильность процесса при изменении технологических параметров разливки (скорости разливки, температуры слитка и др.);
- б) возможность резки слитков любых поперечных сечений;
- в) отсутствие силовых воздействий на жидкий металл и исполнительные механизмы.

Это позволяет считать процесс кислородной резки в условиях УНРС перспективным.

Известно, что производительность кислородной резки горячей стали зависит от температуры и толщины разрезаемого металла и расхода режущего кислорода. Однако, опубликованные в литературе режимы резки имеют разноречивый характер.

В теоретических исследованиях А.Л.Вейса, А.И.Розловского, Р.Гуннерта, Д.Розенталя, А.Велса, И.Бошнакова и др. рассматривались лишь отдельные стороны процесса, такие как: распространение тепла в металле, гидродинамика течения шлака в разрезе, диффузия железа и кислорода в ламинарном слое шлака, газовая динамика истечения кислорода из сопел. Это не позволяло определить взаимосвязь технологических параметров с производительностью процесса и наметить пути повышения его эффективности при кислородной резке стали в установках непрерывной разливки.

В соответствии с поставленной целью содержание работы определялось следующими задачами:

1. Аналитическое и экспериментальное исследование зависимости производительности процесса резки от его основных технологических параметров.

2. Исследование зависимости ширины реза от параметров процесса и разработки рекомендаций по ее уменьшению.

3. Исследование влияния кислородной резки горячего металла на состав и структуру металла кромок.

4. Разработка оптимальных режимов процесса и высокоэффективной режущей аппаратуры для кислородной резки в установках непрерывной разливки стали.

Глава вторая посвящена аналитическому и экспериментальному исследованию основных закономерностей процесса кислородной резки, выявлению изменений фазового и химического состава металла на кромке и определению путей повышения производительности процесса при резке мерных заготовок в УНРС. В настоящее время в области кислородной резки накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал, который обеспечивает рациональное применение процесса во многих отраслях промышленности. Этому в существенной мере способствовали труды советских ученых: К.К.Хренова, Г.Б.Евсеева, Н.Н.Клебанова, А.Н.Шашкова, С.Г.Гузова, И.А.Антонова и др.

Однако отсутствие единых представлений о характере процесса кислородной резки затрудняет дальнейшее повышение его эффективности. Вследствие этого была предпринята попытка разработать модель процесса, которая учитывала бы теплофизические и гидродинамические условия образования сквозного прореза при совместном воздействии на обрабатываемый металл кислородной струи и источника нагрева (газового пламени). В предлагаемой модели процесса приняты следующие основные допущения, необходимые для формулировки краевых задач тепло- и массопереноса:

1) доля тепла подогревающего пламени мала по сравнению с тепловыделением от горения железа, что подтверждается данными работы С.Г.Гузова, поэтому она не принималась во внимание при расчетах;

2) конвективные потери тепла в кислородный поток и на теплоизлучение поверхности при температуре $\sim 1600^{\circ}\text{C}$ не существенны. Они также не учитывались при определении удельной теплопередачи металлу;

3) слой окисла на поверхности расплава, удаляемый струей кислорода, по стехиометрическому составу соответствует закиси железа (FeO), поэтому он при вышеуказанной температуре поверхности находится в жидком состоянии;

4) толщина слоя окисла существенно меньше слоя расплава,

поэтому в расчетах использовались теплофизические и гидродинамические параметры металла, которые считались независимыми от температуры;

5) условия течения расплава на внешней границе жидкого слоя соответствуют переходному режиму от ламинарного течения к турбулентному, поскольку число Рейнольдса $Re \leq 2 \cdot 10^5$;

6) вследствие существенного различия в вязкостях выдуваемого из разреза жидкого металла и кислороде скоростью течения расплава на поверхности реза по сравнению со скоростью газа можно пренебречь.

Вышеприведенные допущения позволили существенно упростить математическое описание схемы протекания процесса.

Кислородная струя (рис.1), вытекающая из режущего сопла со скоростью потока ω_r , окисляет верхние слои металла, нагретого подогревающим пламенем до температуры воспламенения в кислороде, и перемещает слой окисляемого железа по ходу струи со скоростью u_c на внешней границе расплава. Выделяющаяся в разрезе за счет окисления стали теплота создает квазистационарное тепловое поле, которое поддерживает определенную толщину расплавленного слоя, обеспечивающего продвижение резки в направлении резки со скоростью v .

Процесс образования сквозного прореза при кислородной резке может быть описан совокупностью трех основных уравнений, выражающих: закон сохранения массы (1); закономерность течения расплава в разрезе под действием поля кислородной струи, представляющую собой уравнение Прандтля в безразмерном виде (2); и закон теплопроводности Фурье (3):

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial y} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \omega_r \frac{\partial \omega_r}{\partial y} + \int_r \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} \quad (2)$$

$$\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} + c \gamma v \frac{dT}{dx} = 0 \quad (3)$$

V - скорость резки, см/с;

U - скорость перемещения расплава, см/с;

ψ - функция тока, связанная со скоростями

V и U отношениями $U = \frac{\partial \psi}{\partial x}$; $V = -\frac{\partial \psi}{\partial y}$;

ω_r - скорость газового потока, см/с;

T - температура в рассматриваемой точке, К;

γ - коэффициент кинематической вязкости кислорода, см²/с;

λ - коэффициент теплопроводности, кал/см·с;

$c\gamma$ - объемная теплоемкость стали, кал/см³·°С.

Граничные условия для уравнения (1) имеют вид (см. рис. 1):

$X = h_{ж}$, $U = 0$; $X = 0$, $U = U_c$; для уравнения (2): $X = h_{ж}$, $\psi = 0$, $\frac{\partial \psi}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial \psi}{\partial y} = 0$; для уравнения (3): $X = 0$, $-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = q_x - q_n$, $\frac{\partial T}{\partial x} = T_c$; $X = h_{ж}$, $T = T_{пл}$.

Решение уравнений (1-3) с учетом приведенных граничных условий позволило получить обобщенную зависимость скорости резки от основных технологических параметров:

$$\alpha \cdot V^{\frac{3}{2}} + \ln V = \beta \quad (4)$$

где $\alpha = 11,4 \sqrt{\frac{\mu_{ж} \cdot \delta \cdot Re_x^{\frac{4}{3}}}{\rho_r \cdot \omega_r^2 \cdot a}}$; $\beta = \ln \frac{q}{c\gamma(T_{пл} - T_0)}$

$\mu_{ж}$ - коэффициент динамической вязкости расплава, пуаз;

a - коэффициент температуропроводности, см²/с;

ρ_r - плотность потока кислорода на срезе сопла, г/см³;

q - осредненный удельный тепловой поток от слоя горячего железа к металлу, кал/см²·с.

Анализ уравнения (4) показал, что скорость резки зависит от толщины (δ), свойств ($\mu_{ж}$; a ; $c\gamma$) и температуры (T_0) разрезаемого металла, а также скорости потока кислорода (ω_r) и удельной теплопередачи к металлу (q). Последние два параметра определяются технологическими режимами резки.

Кроме того, анализ уравнения (4) с помощью ЭВМ "Проминь" позволил дополнительно выявить ряд ранее необъясненных явлений, протекающих при кислородной резке металлов. Так, снижение скорости резки железа Армо по сравнению с низкоуглеродистой сталью

объясняется значительным повышением вязкости железоуглеродистого расплава, что подтверждается работами А.М.Самерина и А.А. Вертмана. Увеличение концентрации углерода на кромке до определенного предела при резке холодного металла способствует снижению вязкости железоуглеродистого расплава и улучшению условий массопереноса в разрезе. Таким образом, при резке имеет место как бы "саморегулирование" процесса. Снижение скорости резки литого металла по сравнению с прокатом вызвано тем, что литой металл имеет более крупное зерно и для перемещения расплава в разрезе требуется повышенное силовое воздействие со стороны кислородной струи, что находится в полном соответствии с теорией турбулентного течения жидкости в шероховатых трубах.

Исследование влияния технологических параметров, связанных с условиями непрерывной разливки стали, показало, что при резке горячего металла скорость резки уменьшается с увеличением толщины заготовки, как и для холодного по экспоненциальному закону и пропорциональна $\sim \delta^{-0,4}$.

Повышение температуры разрезаемого металла толщиной 100 – 500 мм до 1000°C позволяет, при прочих неизменных условиях увеличить скорость резки в 2,7 раза. Увеличение содержания легирующих элементов в стали снижает скорость резки. Так, при резке высоколегированных коррозионностойких марок сталей скорость резки снижается на 15–25% по сравнению с низкоуглеродистой сталью.

Анализ уравнения (4) показал также, что при заданных внешних условиях (δ , T_0 , состав стали) скорость резки может быть увеличена посредством увеличения удельной теплопередачи металлу и повышения скорости потока кислорода.

Исследование процесса кислородной резки низкоуглеродистой стали толщиной 100–500 мм показало, что доля тепла, вносимая подогревающим пламенем мала и не превышает 2–5% тепла, выделяющегося при сгорании железа в разрезе. Количество тепла, поступающее в металл в случае резки холодного металла, составляет 60% теплоты, выделившейся при сгорании металла в разрезе, и уменьшается с повышением температуры разрезаемой стали. Последнее вызывается увеличением в 3–5 раз количества неокисленного железа в шлаке при резке горячего металла.

На основании анализа данных теплового баланса установлена зависимость эффективной мощности линейного источника тепла (Q_n)

и удельной теплопередачи (q) от параметров процесса

$$Q_m = 6,55 \cdot V \cdot \delta \cdot \frac{T_s - T_0}{T_s} \quad (5)$$

$$q = \frac{1100 \cdot \sqrt[3]{V_{кр}}}{\sqrt{\delta}} \cdot \frac{T_s - T_0}{T_s} \quad (6)$$

Как видно из зависимости (6), удельная теплопередача определяется при заданной температуре нагрева и толщине разрезаемого металла, расходом режущего кислорода. При этом в случае обработки холодного металла скорость резки пропорциональна $\sim \sqrt[3]{\frac{V_{кр}}{V_{кр, опт}}}$, а при резке металла, нагретого до температуры 950°C $\sqrt[3]{\frac{V_{кр}}{V_{кр, опт}}}$, где $V_{кр, опт}$ — оптимальный расход режущего кислорода для данной толщины, а $V_{кр}$ — фактический расход. Отсюда следует, что для повышения скорости резки стали толщиной 100–500 мм на 50% при прочих одинаковых условиях необходимо увеличить расход режущего кислорода в 3,4 раза при резке холодного металла и в 8 раз — для горячего. Однако, в условиях непрерывной разливки стали увеличение расхода кислорода сверх оптимального его значения с целью повышения производительности процесса нельзя признать целесообразным, так как это приводит к увеличению ширины разреза и, как следствие, потере металла.

Повышение скорости резки при заданных условиях непрерывной разливки стали может быть достигнуто также путем увеличения скорости потока режущего кислорода.

Из газовой динамики известно, что скорость газового потока на выходе из сопла определяется давлением ($P_{кр}$) кислорода на входе в сопло и для условий кислородной резки может быть найдено из следующего выражения:

$$\omega_r = 770 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1}{P_{кр} + 1}\right)^{0,286}} \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) показал, что наибольшее увеличение скорости потока кислорода (до 90%) наблюдается в интервале давлений на входе в сопло от 1 до 30 кгс/см², дальнейшее повышение давления кислорода перед соплом до 100 кгс/см² позволяет увеличить скорость кислородного потока лишь на 8%. Результаты экспериментов по резке как холодного, так и горячего металла, выявили, что производительность процесса прямо пропорциональна скорости потока кислорода. Причем, увеличение давления режущего кислорода по-

ред резком до 30 кгс/см^2 позволяет повысить скорость резки на 30% при прочих равных условиях.

Другим, не менее важным, параметром кислородной струи является ее скорость на входе в разрезаемый металл. Исследование газодинамических характеристик сопел режущего кислорода различной конфигурации показало, что полное давление режущего кислорода в струе, замеренное трубками Пито, уменьшается с увеличением расстояния от среза сопла. При этом, увеличение расстояния между торцом мундштука и точкой замера с 10-20 до 50-60 мм уменьшает полное давление струи режущего кислорода с $5,5$ до $3,5 \text{ кгс/см}^2$, что приводит к снижению скорости потока примерно на 20% и соответствующему уменьшению скорости резки. Вместе с тем, в условиях непрерывной разливки стали вследствие поводки слитка торец мундштука устанавливают, как правило, на расстоянии 50-60 мм от поверхности слитка. Учитывая вышеизложенное, в условиях УНРС необходимо принять меры к уменьшению расстояния между мундштуком и металлом.

Известно, что сопла с плавным входом и коническим расширением на выходе (конвергентно-дивергентного типа) обеспечивают более полное превращение потенциального давления на входе в сопло в кинетическую энергию струи. У сопел ступенчато-цилиндрического типа, применявшихся до настоящего времени в мундштуках при кислородной резке в УНРС, резкое расширение струи при переходе от горлового сечения канала к выходному приводит к завихрению струи в мертвых зонах, и, как следствие, к потере полного давления в сопле и уменьшению скорости потока. Сравнительные эксперименты по резке низкоуглеродистой стали толщиной 150 мм показали, что при одинаковом отставании и прочих неизменных условиях сопла конвергентно-дивергентного типа обеспечивают возможность получения скоростей резки на 30% больших, чем при использовании сопел ступенчато-цилиндрического типа. Таким образом, применение при резке кислорода высокого давления, сопел конвергентно-дивергентного типа и поддержание постоянным расстояния между резком и металлом 10-20 мм позволяет увеличить скорость при кислородной резке слитков в УНРС в две раза.

Исследование физико-химических процессов при кислородной резке показало, что температура разрезаемого металла оказывает существенное влияние на химический состав и структуру металла кромок реза и образующихся в разрезе шлаков. Пособным локальным спект-

ральным анализом и металлографическими исследованиями металла на кромке реза установлено, что при резке холодной стали содержание углерода на кромке возрастет в 2+3 раза по сравнению с исходным, что в совокупности с воздействием термического цикла от источника тепла приводит к появлению на кромке структур закалки. В то же время с повышением температуры подогрева стали до 800-1000°C наблюдается обезуглероживание металла на кромке реза. На основании анализа термических циклов разработана методика определения минимально допустимой температуры слитка при резке мерных заготовок на транспортно-отделочных линиях, обеспечивающая получение в э.т.в. пластичных структурных составляющих, близких к исходному металлу.

Глава третья посвящена исследованию зависимости ширины реза от основных технологических параметров кислородной резки. На основании теории процессов распространения теплоты в пластине от мощного быстро движущегося линейного источника тепла и по результатам экспериментов по резке металла, выполненных с применением методики математического планирования, дана оценка влияния технологических параметров на ширину разреза.

Установлено, что при прочих равных условиях ширина разреза увеличивается с уменьшением скорости резки, увеличением температуры предварительного нагрева и толщины разрезаемого металла и уменьшается при снижении расхода и увеличении давления режущего кислорода, а также при уменьшении расстояния между мундштуком и металлом. Экспериментами, выполненными как в лабораторных, так и производственных условиях, показано, что применение сопел конвергентно-дивергентного типа, использование режущего кислорода давлением 30-40 кгс/см² и уменьшение расстояния между мундштуком и металлом до 10-20 мм позволяет в I, 5-2 реза сократить ширину реза и, как следствие, потери металла в УНРС (рис.2).

Глава четвертая содержит данные по разработке эффективной огневой аппаратуры и оптимальных режимов кислородной резки и их внедрении. Исследование составляющих эксплуатационных расходов на резку слитка показало, что затраты определяются условиями непрерывной разливки и технологическими параметрами резки. Оптимизация режимов проводилась с экономических позиций по величине затрат на один перерез, которые складываются из трудовых затрат, затрат на материалы, электроэнергию, амортизационных затрат, а также из стоимости материала, сжигаемого в разрезе кислородной струей.

На основании технико-экономического исследования предложен инженерный метод определения оптимальных технологических параметров процесса кислородной резки и расчета основных конструктивных элементов огневой аппаратуры.

Для условий непрерывного металлургического производства разработаны резки с внутрисопловым смешением горючего газа и подогревающего кислорода, обеспечивающие более высокую надежность работы по сравнению с ранее применявшимися резками инжекторного типа. Применение этих резков в машинах для резки слитков на мерные длины позволило значительно упростить схему газоводяных коммуникаций и снизить, примерно на 40%, себестоимость автогенной аппаратуры.

В результате выполненного исследования разработана огневая аппаратура, а также требования к устройству для автоматического поддержания постоянного расстояния между мундштуком и металлом.

Внедрение предложенной в данной работе технологии и газорезущей аппаратуры позволяет на действующих УНРС: повысить скорость разлива в два раза по сравнению с принятой в настоящее время практически без дополнительных капитальных затрат, снизить на 30-40% себестоимость вновь разрабатываемых машин для резки мерных слитков, а также сократить ширину реза, а, следовательно, потери металла на 15000т, кислорода на 280 тыс.м³ и природного газа на 35 тыс.м³, что обеспечивает годовую экономию свыше 1 млн. рублей на каждые 7 млн.т разлившейся стали.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований проверены в производственных условиях при резке мерных слитков из низколегированных, конструкционных и высоколегированных марок сталей в установках непрерывной разливки стали Горьковского, Новолипецкого и других металлургических заводов.

ВЫВОДЫ

I. Практика непрерывной разливки стали показывает, что наиболее эффективным и перспективным способом разделения слитков на мерные длины в УНРС является кислородная резка.

Значительный рост производства стали в установках непрерывной разливки в текущем пятилетии, увеличение сечений разливаемых заготовок и повышение скоростей разливки металла обуслови-

зает необходимость существенного повышения скорости кислородной резки и сокращения потерь металла.

2. Исследование теплофизических и гидродинамических условий образования разреза при воздействии на обрабатываемый металл кислородной струи позволило предложить модель и обобщенное уравнение процесса, устанавливающие взаимосвязь между производительностью процесса и основными технологическими параметрами.

3. На основании анализа обобщенного уравнения выявлены некоторые новые закономерности и установлены основные направления повышения производительности кислородной резки стали. Показано, что скорость резки зависит как от условий непрерывной разливки стали (толщины, химического состава и температуры металла), так и технологических параметров резки (давление и расход режущего кислорода).

4. На основании теоретических исследований модели процесса и экспериментов в условиях УНРС доказана целесообразность повышения давлений режущего кислорода до 25–30 вместо 6–10 кгс/см², уменьшения расстояния между мундштуком резака и металлом с 60 до 10–20 мм и применения сопл с плавным входом и коническим расширением на выходе, что обеспечивает максимальную энергию струи в разрезе и повышение производительности процесса в 2–2,5 раза со снижением ширины разреза в 1,5–2 раза.

5. Исследование физико-химических процессов кислородной резки показало, что повышение теплосодержания резаемого металла оказывает существенное влияние на химический состав и структуру металла кромок реза. С повышением температуры резаемого металла от 20 до 1000°C снижается содержание кислорода и возрастает количество неокисленного металла в шлаке, а концентрация углерода на поверхности реза уменьшается по сравнению с исходным металлом.

6. На основании технико-экономического анализа процесса установлены оптимальные технологические режимы, обеспечивающие минимальные затраты при кислородной резке мерных слитков в УНРС.

Внедрение предложенной технологии и газорезущей аппаратуры обеспечивает снижение непроизводительных потерь металла с 0,19 до 0,09%, что равноценно увеличению выхода годного металла в количестве 15000 т в год из расчета 7 млн. т стали, разливаемых в УНРС и получение экономического эффекта в размере 1 млн. рублей.

7. Разработанные на основании проведенного исследования оборудование и технология внедрены в УНРС Горьковского и Новолипецкого металлургических заводов, а нормативно-техническая документация передана Гипромету, Уралмашзаводу и НПО Кривошеина для использования во вновь проектируемых УНРС.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Сухинин Г.К. Уменьшение потерь металла при резке на установках непрерывной разливки стали. Тезисы докладов на X Московской научно-технической конференции по итогам научных и производственных работ за 1964 год в области сварочного производства. Москва, 1965.

2. Спектор О.Ш., Сухинин Г.К. Об уменьшении потерь металла при резке в установках непрерывной разливки стали. М., "Машиностроение". Труды ВНИИавтогенмаш, вып.ХШ, 1966.

3. Шешков А.Н., Асиновская Г.А., Спектор О.Ш., Сухинин Г.К. К вопросу о природе изменения химического и фазового состава металла крошки, полученного при кислородной резке. М., "Машиностроение". Труды ВНИИавтогенмаш, вып.ХУ, 1968.

4. Спектор О.Ш., Сухинин Г.К. К вопросу о резке горячего металла. "Сварочное производство", № II, 1969.

5. Автонов И.А., Спектор О.Ш., Сухинин Г.К. Резка стали больших толщин кислородом низкого давления. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1974.

6. Сухинин Г.К., Автонов И.А. Термогидродинамические условия процесса кислородной резки. "Сварочное производство", 1976, № 10.

7. Сухинин Г.К. Исследование путей снижения потерь металла при кислородной резке горячего металла. М., ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. Труды ВНИИавтогенмаш, вып.2I, 1976.

8. Сухинин Г.К. Исследование влияния технологических параметров на производительность процесса кислородной резки горячего металла. М., ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. Труды ВНИИавтогенмаш, вып.2I, 1976.

9. Сухинин Г.К. и др. Газокислородный резак. Авторское свидетельство. № 389353, 1973, Б.И. № 29.

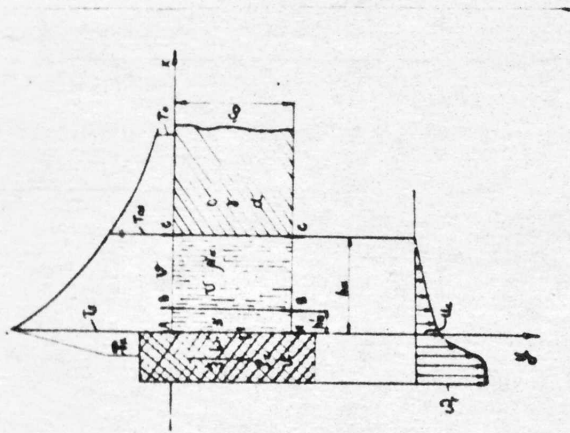


Рис. 1. Схема процесса кислородной резки

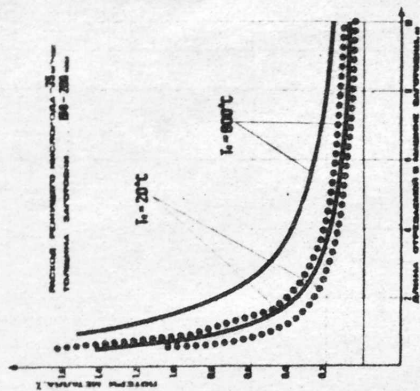


Рис. 2. Зависимость потерь металла от длины отрезаемого слитка
— существующая технология
..... новая разработанная технология