

12/14

Технология калибровки сортового проката в многокалиберных двухвалковых клетях в комбинации с термомеханической обработкой

Риккардо Масини*

В последние годы применение калибровочных групп на станах сортовой прокатки достигло такого разнообразия и уровня развития, что они стали ключевым элементом технологического процесса сортовой прокатки.

Изначально калибровочные клетки применялись только для обработки прутков, используемых в дальнейшем для изготовления автомобильных деталей. В настоящее время их использование расширено и на другие области применения, такие как катанка в бухтах или калиброванный пруток, поступающий в многоблочную группу прокатного стана, т.е. включает обширный сортмент продукции. Таким образом, концепция «калиброванной прутки» как окончательный сортовой прокат с точными размерными допусками была развита (рис. 1) от простого круглого прутка до широкого сортамента прокатанных продуктов (полос, квадратной и шестигранной стали). Такой подход потребовал разработки новой схемы прокатного стана и обеспечения большей гибкости в его работе (рис. 2).

Окончательно развитие рынка в направлении минимизации числа технологических операций с прокатанным металлом после прокатного стана потребовало расширения поставок на рынок готового продукта с «нулевыми дефектами», имеющего не только весьма точные размеры, но и заданные механические свойства. Только калибровочные группы могут обеспечить экономически эффективное решение для производства сортового проката с такой высокой размерной точностью. Кроме этого, обеспечение точного регулирования температуры прокатанного и калибровочной клетки металла в процессе его последующей обработки позволяет получить стабильные и заданные механические свойства в сочетании с высокой точностью размеров. Успешная реализация такой технологии термомеханической прокатки становится возможной при расположении калибровочной группы в конце прокатной линии и установки за ней необходимого оборудования для ускоренного охлаждения в технологическом потоке (рис. 3).

Для удовлетворения новых повышенных требований были усовершенствованы и пересмотрены конструкции калибровочных групп, основные характеристики которых рассматриваются ниже.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЛИБРОВОЧНЫХ ГРУПП

Непрерывные изменения, как в сферах применения, так и в требованиях к готовому

продукту являются стимулами для дальнейшего развития калибровочных групп с повышенными характеристиками и гибкостью в сравнении с первыми поколениями этого типа оборудования. Основные характеристики современных калибровочных групп включают:

1. Применение калибровочных групп для широкого сортамента прокатанных продуктов (не только кругов, но и полос, квадратов, шестигранников).
2. Применение калибровочных групп для всего диапазона различных видов продуктов, от прутков до катанки и катанки в бухтах.
3. Совмещение калибровки с термомеханической прокаткой (ТМП).
4. Единая система схем калибровки.
5. Прокатка с нулевыми дефектами.
6. Применение прокатных валков из различных материалов (литых из чугуна, твердосплавных).
7. Возможность регулировки межвалкового зазора и размеров проката в процессе прокатки под нагрузкой (гидравлическая CAPT, CAP межвалкового раствора).

Некоторые из этих требований уже были обеспечены на оборудовании первого поколения, но для реализации их полной комбинации потребовалось развитие оборудования с новыми характеристиками. Более убедительно сказанное можно подчеркнуть двумя существенными показателями нового поколения калибровочных групп — расширенным гибкостью и увеличением нагрузки при прокатке.

Повышение гибкости прокатки обеспечено за счет применения на всех участках технологической линии оборудования, успешно обеспечивающего обработку различных видов продукции: прутков, катанки и катанки в бухтах. Новое поколение оборудования также обеспечило прокатку различных профилей (круг, квадрат, полоса, шестигранник) и реализацию «свободно-размерной» прокатки с различными системами калибров без каких-либо ограничений.

Для удовлетворения всех этих характеристик новое поколение калибровочных



Рис. 1. Сортмент сортового калиброванного проката

групп должно гарантированно удовлетворять следующие требования.

1. Быстрая смена в технологической линии, как всей калибровочной группы, так и отдельных блоков (рис. 4).
2. Быстрая смена валков и проводок вне прокатной линии для обеспечения быстрой установки клетей или кассет в линию в соответствии с производственной необходимостью (рис. 5). Для этого:
 - устанавливается предварительно напряженная калибровочная клетка для обеспечения быстрой смены валков «роботом»;
 - предварительно напряженная калибровочная клетка должна легко разводиться;
 - время смены валков должно быть минимальным.
3. Возможность применения валков из различных материалов и их различной настройки для соответствия различным объемам прокатываемых партий.
4. Высокая точность настройки клетей вне линии прокатки.

Обеспечение возможности охлаждения поступающего в калибровочную группу материала для получения требуемых механических и металлургических свойств на конечном продукте потребовало изменения схемы прокатного стана и существенного повышения допустимых усилий прокатки в клетях. Калибровочная группа располагается на

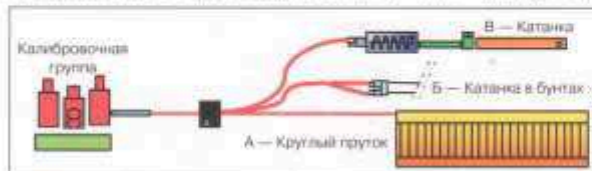


Рис. 2. Новая схема прокатного стана с высокой гибкостью в работе



Рис. 3. Прокатка сортового металла с высокой точностью размеров в комбинации с термомеханической обработкой: высокая точность + заданные механические свойства

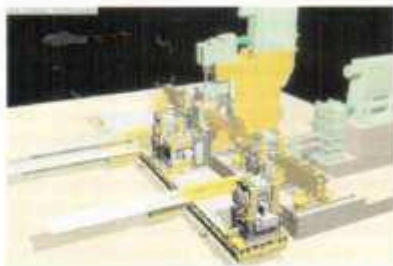


Рис. 4. Быстрая смена калибровочных блоков в линии

конец технологической линии прокатки для обеспечения отделки всех видов прокатанной продукции за счет применения секций охлаждения и обеспечения температурной однородности в прокатной линии, а также регулирования температуры на входе в калибровочную группу и рафинирования микроструктуры готового продукта.

Вследствие расширения сортамента прокатываемых профилей и/или применение термомеханической прокатки существенно возросли нагрузки на клети (рис. 6) и резко выросли усилия прокатки (на том же размерном сортаменте продукции). Также необходимо было учесть тот факт, что калибровочная группа должна производить более широкий размерный сортмент продукции в сравнении с традиционной конфигурацией стана (рис. 7).

Новая технология потребовала применения клетей с существенно повышенной допустимой нагрузкой на валки, что сделало более трудной адаптацию калибровочной группы из трех- или четырехвалковых клетей по сравнению с двухвалковыми клетями. Также в зависимости от конфигурации группы она должна выдерживать изменяемую нагрузку, что заставило перейти от применения механически напряженной системы к гидравлической системе. Поздние разработки обеспечили возможность настройки валков под нагрузку в процессе прокатки за счет внедрения систем автоматического регулирования межвалкового зазора, оснащенных системами измерения размеров сортового проката в линии стана (подобно системам, успешно работающим на полосовых станах).

СХЕМЫ КАЛИБРОВОЧНЫХ ПРОХОДОВ

Для выбора наилучшей схемы калибровочных проходов, обеспечивающей высшую точность размеров конечного продукта, проводилось множество экспериментальных исследований. Однако с годами требования рынка к гибкости и экономической эффективности сформировали мнение о «наилучшем подходе». Обычно при сопоставлении схем калибровки преимущественное внимание уделяют количеству применяемых в схеме валков, оказывающих большее влияние, чем сама последовательность проходов. Среди различных решений для круглого проката наибольшее распространение получили две



Рис. 5. Быстрая смена валков вне прокатной линии

схемы калибровки (рис. 8): одна с двумя валками и системой вытяжных калибров «овал—круг—круг», другая — с тремя валками и системой калибров «треугольник—круг—круг». На самом деле, оба эти решения обеспечивают получение хорошего результата в отношении высокой точности размеров.

При необходимости обеспечения соответствия более строгим требованиям по допускам лучше применить дополнительные клети и реализовать схему прокатки с тремя финальными круглыми калибрами, чем изменить саму схему прокатки (см. рис. 8). Однако со временем выяснилось, что решения с установкой дополнительных клетей или валков обеспечивают относительно малое повышение точности размеров на окончательном прокате, но сопровождаются существенным ростом капитальных и текущих затрат. Например, установка дополнительной, четвертой клети позволяет повысить точность размеров проката всего на несколько сотых миллиметра (которые обычно не востребованы стандартами по точности размеров на готовом продукте), но при этом повышает производственные затраты на 20%. Необходимо также отметить, что такой подход после определенных пределов точности не позволяет эффективно повышать точность размеров без постоянного повышения качества (точности) всей линии прокатного стана (валки, клети, проводки), что также связано с еще более высокими затратами.

Принимая во внимание все предыдущие аргументы, в последние годы исследователи перешли от проектирования схем калибровочных проходов к применению гибких, легко управляемых и экономически эффективных систем. Примером может

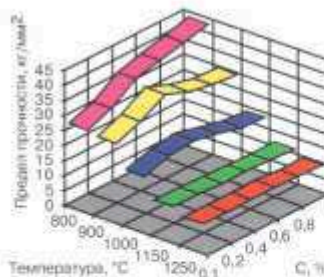


Рис. 6. Изменения усилия прокатки в зависимости от температуры прокатки

служить калибровочный блок с одним калибром, где с целью экономии калибры стали предварительно растачивать на валках блока, который затем устанавливают в клеть (вместо проведения механической обработки прямо в клети, что гарантирует очень высокую точность).

Поскольку схема калибровки валков для калибровочного прохода больше не нуждается в усовершенствовании, то начали разрабатывать новые валки и системы проходов, совершенствовать технику расположения их по осевой линии стана, а также внедрять системы регулирования натяжения. Возможность установки полностью готовой и предварительно настроенной группы в прокатную линию стала наиболее действенным новшеством в отношении немедленного получения прутка с правильными и точными размерными характеристиками. По этой причине наиболее существенные улучшения за последние годы касались точной установки калибров по оси прокатки с внедрением новой техники на основе цифровой камеры и оптических волокон, позволяющей точно совмещать оси валков и проводок по отношению к калибрам (рис. 9).



Рис. 7. Расширение размерного сортамента продукции с калибровочной группой

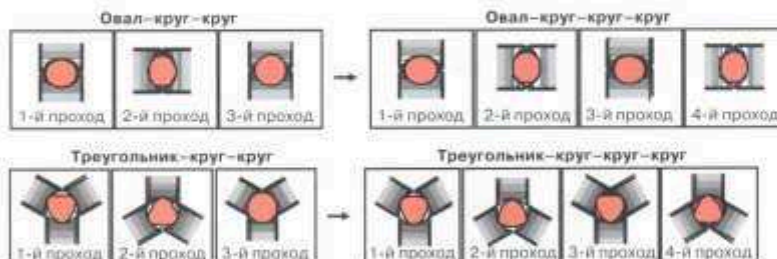


Рис. 8. Схемы калибровки валков для калибровочных проходов

VAI POMINI
Via Leonardo Da Vinci 20
21013 Castellanza (Va), Italy
Tel.: +39-0331-741468. Fax: +39-0331-741386
E-mail: Riccardo.masini@vaipomini.it

* Riccardo Masini, Proposal Department Manager, VAI POMINI, Italy

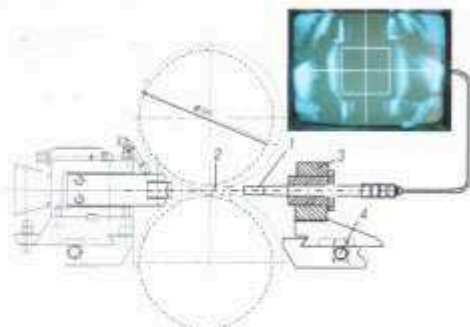


Рис. 9. Система предварительной настройки калибровочного блока с видеокамерой (1) для визуального контроля межвалкового калибра (2), направляющим устройством (3) и системой точной оптической настройки (4)

Такие системы заменили ручную работу операторов с предварительной настройкой клетей только на основе их опыта и обеспечили применение нового инструментария с визуальной индикацией и точным измерением размеров в потоке.

Также стала критичной возможность совместной установки в линии как калиброванных валков, так и валков с кольцами. Это требование относится, в частности, к многолинейным станам, где, например, установочное оборудование для производства катушки должно производить существенно большие объемы по тоннажу проката, чем при производстве прутков или катушки в бунтах. В этих случаях более предпочтительно применение разных типов валков: в одних клетях — с карбидными кольцами, а в других — валков из литого чугуна. В таких описанных условиях двухвалковые многокалибровочные блоки показывают явные преимущества. Более того, только они обеспечивают возможность установки чугунных литых валков в двухвалковые клетки, так как шейки прокатных валков, используемых на многовалковых клетях, весьма малы в диаметре, чтобы выдерживать высокие действующие нагрузки.

В отношении регулирования калибровочного блока можно отметить, что появляется возможность проводить различные измерения в потоке и архивировать в базе данных все взаимосвязанные параметры процесса (скорость прокатки, текущую температуру на входе). В этих условиях можно проводить коррекцию этих параметров по точным измерениям готового продукта измерительной системой и производить все прокатанные прутки с высоким качеством управления.

Что касается регулирования натяжения в компактном калибровочном блоке, то сегодня появилась возможность гарантирован-



Рис. 10. Регулирование калибровочного блока

ного управления процессом с высоким качеством без регулирования петли проката. Однако, в частности, когда сортимент прокатываемого продукта весьма широк, применение регулирования петли для круглого проката с малым диаметром в первых двух клетях обеспечивает лучшую гибкость для двухвалковых калибровочных блоков, гарантирующую лучшее регулирование во всем размерном диапазоне (рис. 10). Это не становится недостатком, поскольку с внедрением секций промежуточного охлаждения становится необходимым иметь большие площади на конце прокатной линии, что для компактного калибровочного блока менее важно в сравнении с другими факторами.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВОЧНОЙ ГРУППЫ VAI ROMINI

Все различные типы калибровочных блоков полностью соответствуют новым требованиям рынка. Однако повышенная гибкость работы двухвалкового многокалиберного блока вполне очевидна в сравнении с другими решениями на базе одного калибра в блоке с двумя-, тремя- или несколькими валками. Ниже представлены характеристики и показано, почему предварительно напряженные калибровочные блоки PSG (Pre-stressed Sizing Group) фирмы VAI Romini обеспечивают соответствие всем описанным выше требованиям рынка.

Техника единой системы схем калибровки заключается в концентрации всех различных изменений в калибровочной группе вместо установки неизменяемой последовательности калибров в последующей прокатной линии (рис. 11). Основным преимуществом становится максимальная скорость смены блоков.

Современные способы быстрой смены систем калибровки обеспечивают возможность замены калибровочных блоков за несколько минут, что минимизирует простой стана.

Однако выбор двухвалкового калибровочного блока обеспечивает не только быструю смену в линии, но также и быструю готовность новой клетки к прокатке. Фактически калибровочную клетку можно настроить на новые условия прокатки вне линии за несколько минут, в то время как при решении с одним калибром необходимо заменить клетку и менять валки или кассеты в самих клетях. Также в сравнении с трех- и четырехвалковой конфигурациями смена валков осуществляется более легко и быстро.

Для случая производства небольших партий проката решения с многокалиберным блоком также обеспечивают возможность использования при прокатке различных калибров еще до того, как возникнет необходимость проведения смены валков. С другой стороны, в случае больших партий производства наличие нескольких калибров с такими же размерами и на тех же клетях обеспечивает воз-

можность непрерывной прокатки больших объемов без смены валков.

Также необходимо принимать во внимание, что рынок не всегда требует высокой точности размеров на всем сортименте продукции. Для соответствия этим требованиям в случае применения клетей с одним калибром необходимо применение техники «свободно-размерной» прокатки, которая заключается в применении одних и тех же калибров для производства различных профилируемых размеров и позволяет избежать частой смены блоков. В случае многокалибровочных клетей, схема последовательности прокатки изучается с целью минимизации числа опасных клетей, что существенно снижает текущие затраты по сравнению с реализацией «свободно-размерной» прокатки.

Следовательно, высочайшая гибкость двухвалковых многокалибровочных блоков подтверждается за счет:

1. Меньшей частоты смены валков.
2. Управления с одним расположением по оси всех калибров на валках.
3. Минимального количества необходимых клетей для покрытия всего производимого сортимента.
4. Ускоренной смены валков.

В отношении термомеханической прокатки можно сказать, что калибровочная группа PSG является ключевым фактором этой технологии. На практике возможность смены предварительно напряженных клетей обеспечивает адаптацию блока для проведения калибровки как с применением, так и без применения термомеханической обработки без значительных напряжений на механические компоненты.

Другими словами, значительные изменения в прокатной нагрузке, которые являются ограничением для трех- и четырехвалковых решений, не являются проблемой для двухвалковых групп PSG. Также гидравлическое предварительное нагружение клетки обеспечивает безопасность в случае перегрузки блока и позволяет быстро развить валки.

Прокатка «без дефектов» существенно связана с двумя основными особенностями многокалибровочного блока: высокой жесткостью блока и ралитой системой управления межвалковым зазором.

На практике калибровочная клетка PSG является наиболее жестким решением, поскольку содержит один стальной блок с предварительным напряжением как в радиальном, так и в аксиальном направлениях (рис. 12). Эта особенность клетки обеспечивает сохранение единого размера калибра предварительно настроенных валков независимо от наличия или отсутствия на них на-

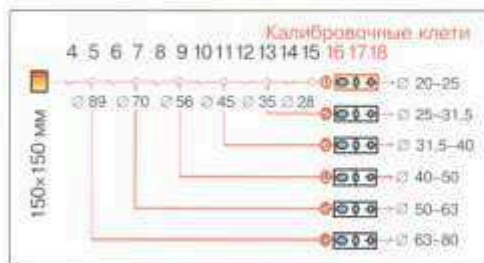


Рис. 11. Единая система схем калибровки

Даешь прокатку!

Многокалиберная калибровочная система



Система непрерывной прокатки



10 высокопроизводительных заготовочных и арматурных станов (500к-900кТРА), поставленных в течение последних двух лет!

Лист стальной горячего проката, углеродистый 1,7/20,072

Мысли в масштабах прокатки!

Вы добавляете надежности и устойчивой производительности, стремительного наращивания объема продукции (компания Xiang Nuo из КНР достигла уровня полного объема производства в 750кТРА всего за два месяца после пуска и эксплуатации!). Вы ищете идеального партнера в сфере самых современных технологий? Мы будем рады удовлетворить Ваши требования! Мы предлагаем сотрудничество с самыми опытными специалистами металлургической промышленности, а также технические решения в сфере прокатки и ведущими технологиями для изготовления металла, полос и заготовок для проволочки, углеродистой и нержавеющей стали, супер сплавов. Вы заинтересованы в модернизации, новых прокатных станках, компонентах, проектах нового строительства «с нуля», термовых, литейных технологиях? Тогда мы Ваш партнер! Обратитесь к нам!

VAI POMINI S.p.A.
Via Leonardo da Vinci 20
21054 Castigliona - Varese, Italy
Phone: (+390331) 741-211
Fax: (+390331) 741-386
e-mail: comsec@vaipomini.com
For further locations consult the web.



VAI POMINI
MINIMILL TECHNOLOGIES

www.vaipomini.com

тружки в процессе прокатки, что минимизирует число тестов и отходов проката при настройке процесса. Регулировка межвалкового зазора под нагрузку становится возможной в любом случае.

По-видимому, такие результаты возможны только с адекватной процедурой предварительной настройки клетей в вальцецифровой мастерской, которая в любом случае легче реализуется благодаря специализированной системе с точными камерами.

Окончательно необходимо подчеркнуть тот факт, что клеть PSG может всегда быть установлена в линии по «красному кольцу», что обеспечивает надежное и легкое управление.

Применение техники калибровки к широкому сортаменту прокатной продукции (не только круглого, но и плоского, квадратного, шестигранного проката) существенно упрощается с использованием двухвалковых многокалибровочных блоков. Например, возможность реализации управляемой регулировки летки раската между двумя первыми клетями обеспечивает более легкую прокатку квадратов и особенно полос.

Также применение третьей клетки с той же нагрузочной мощностью делает возможной прокатку полос с последним горизонтальным проходом без каких-либо проблем, обеспечивает гибкость для всех типов прокатных станов — для прокатки прутков, катанки и катанки в бунтах.

Требования рынка сильно различаются в зависимости от объемов партии прокатываемого продукта. Многокалибровочная прокатка в предварительно напряженных калибровочных блоках обеспечивает возможность применения валков из различных материалов (литой чугун, сталь, твердые сплавы) и позволяет реализовать их наилучший выбор для любого объема партии проката.

Система автоматического регулирования раствора валков (межвалкового зазора) — завершающее основное преимущество клетки PSG. Посредством гидравлического привода можно непрерывно варьировать зазор с точностью до сотых миллиметра и напрямую измерить его с помощью кодирующего устройства.



Рис. 12. Предварительно напряженная калибровочная клеть PSG: симметричная и точная настройка межвалкового зазора двумя настроечными винтами (1) и системой с гидравлическим двигателем (2)

ПРОДОЛЖЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В настоящее время новейшее поколение калибровочных блоков обеспечивает получение точности размеров до 0,1 мм. По этой причине уже стало довольно трудно осуществлять дальнейшее совершенствование калибровочного блока в направлении повышения этой точности. На практике нужно принимать во внимание, что точность размеров при механической обработке валков составляет несколько сотых мм, а ошибка в настройке валков по осевой линии существенно снижается с применением новых систем до диапазона от одной десятой до нескольких сотых мм. Механическая обработка узлов клетки также в любом случае сопровождается погрешностью в несколько сотых мм, поэтому весьма трудно еще дальше снижать допуски на размеры готового продукта, разве только с существенными инвестициями и значительными затратами по отношению к совершенствованию оборудова-

ования и процессов механической обработки.

Следующей задачей является поддержание стабильности требуемых жестких допусков в процессе долгой кампании прокатки и при всех возможных вариациях характеристик входной заготовки (материала, температуры и профиля). Принимая во внимание, что таких существенных вариаций нельзя избежать в процессе долгой кампании прокатки, допуски размеров и механические характеристики проката можно стабилизировать только при регулировании и изменении настроечных параметров в функции показаний датчиков точного измерения размеров и изменения температуры прокатки в соответствии с конечными свойствами получаемой продукции.

Относительно температурного регулирования можно отметить, что различные системы для минимизации размерных допусков всегда доступны на рынке, кроме этого, техника автоматического регулирования раствора валков успешно реализована на полосовых станах и может также успешно быть реализована на сортопрокатных станах. Конструкция многокалибровочного блока PSG фирмы VAI Pomini уже разработана для реализации автоматического регулирования межвалкового зазора под нагрузкой. В настоящий момент основным ограничением по дальнейшему повышению точности является точность работы установленных в линии измерительных систем. Ясно, что точное измерение размеров в процессе сортовой прокатки более трудно, чем в процессе полосовой прокатки, однако совершенствование таких систем и систем регулирования межвалкового зазора является ключевым элементом в совершенствовании автоматического регулирования прокатки сортовой стали.

С этой точки зрения, двухвалковая многокалибровочная группа в предварительно напряженном блоке PSG, разработанная фирмой VAI Pomini, уже полностью обеспечивает решение этих задач и предоставляет потребителю оборудование с высочайшим потенциалом для удовлетворения будущего развития рынка.

Продолжение статьи со стр. 16

рованные 10 %, высоколегированные 65 % и коррозионностойкие стали — 25 %) во время пробных испытаний с горелкой RCB средняя экономия расхода электрической энергии составила 25 МВт·ч (рис. 6), кислорода 1,2 м³/ч (рис. 7), а продолжительность включения подачи энергии на одну плавку сократилась на 2,6 мин (рис. 8).

После завершения на заводе фирмы CES испытаний системы RCB были сделаны следующие выводы:

- Более высокие скорости подачи кислорода во время плавки приводят к экономии энергии, но при этом повышается эрозия огнеупорной кладки стенок печи. Поэтому скорость подачи кислорода поддерживают на низком уровне.

- Использование технологии подачи струи кислорода в ЭДП при производстве коррозионностойких сталей (аустенитного, ферритного и мартенситного классов) стало

первым успешным опытом применения такой технологии в Западном полушарии.

- Большой объем загрузки лома и связанное с этим повышенные объемы завалки ферросилиция приводят к повышению производительности печи, что связано с увеличением объема выделяемой химической энергии при сгорании дополнительного количества ферросилиция.

- При выплавке коррозионностойких сталей среднее время цикла плавки сокращено на 20 мин.

При сравнении показателей производства коррозионностойких сталей непосредственно до и во время использования горелки RCB были получены следующие результаты:

- сокращение потребления электроэнергии на 52 кВт·ч/т;
- сокращение потребления кислорода на 3,8 м³/ч.

Были также проведены исследования по применению технологии горелок RCB для обезуглероживания жидкой стали и процес-

сов формирования шлака при выплавке коррозионностойких сталей, результаты которых вскоре будут опубликованы.

С момента разработки системы RCB фирмой VAI Fuchs до января 2004 г. было оборудовано 37 различных печей. Преимущества такой системы перечислены ниже:

- сокращение цикла плавки на 20 %;
- повышение технологической гибкости процесса;
- более равномерное распределение температуры по объему ванны со сталью;
- предсказуемость хода операций;
- возможность компьютерного управления расходом энергии;
- снижение требований по техническому обслуживанию (отсутствие движущих частей) и к штату рабочего персонала;
- возможность производства как углеродистых, так и коррозионностойких марок стали;
- короткий срок окупаемости.