

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В СИСТЕМЕ CONSTEEL®: ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

**М.В. Мельниченко**

[m.v.melnichenko@mail.ru](mailto:m.v.melnichenko@mail.ru)

*ФГБОУ ВО «ДонНТУ», Донецк, ДНР, Российская Федерация*

В статье подробно рассмотрена технология предварительного подогрева металлического лома в системе Consteel® компании Tenova. Особое внимание уделено технологическим особенностям процесса: транспортировке лома, его предварительному нагреву, функционированию газогорелочных устройств и системе автоматического управления. Подробно описаны преимущества внедрения технологии, включая снижение энергопотребления, сокращение времени плавки, оптимизацию производственных процессов и улучшение экологических показателей. Значительный интерес представляет практический опыт внедрения системы Consteel® на Ашинском металлургическом заводе, который демонстрирует высокую эффективность модернизации сталеплавильного производства с использованием современных технологических решений. Высокая эффективность данной технологии и открывает перспективы для ее дальнейшего распространения в металлургии.

**Ключевые слова:** предварительный подогрев, металлический лом, система Consteel®, газогорелочные устройства, дуговая сталеплавильная печь

**Введение.** Электросталеплавильные печи с непрерывной загрузкой лома и рекуперацией отработанной теплоты широко используются в современной сталеплавильной индустрии. Компания Tenova постоянно совершенствовала систему Consteel® в соответствии с конкретными требованиями своих клиентов с момента ее первого промышленного внедрения в США в 1989 г. Длительное время система Consteel® работала за счет утилизации высокотемпературных отходящих газов из дуговой сталеплавильной печи (ДСП), нагревая лом до среднemasсовой температуры 150...250 °С, но для максимального сокращения расхода электроэнергии лом необходимо нагревать до среднemasсовой температуры порядка 600 °С. Для этого в системе Consteel® устанавливают горелки, привносящие дополнительную химическую энергию [1]. Применение газогорелочных устройств в системе предварительного подогрева Consteel® позволяет оптимизировать процесс нагрева металлолома за счет внесения дополнительной химической энергии, повышая эффективность устройства. Это решение интегрирует непрерывную подачу лома с технологией нагрева и плавки, обеспечивая значительное снижение времени плавления и электропотребления [2].

*Цель работы* — детальное рассмотрение интеграции предварительного подогрева лома отходящими газами из ДСП и газогорелочных устройств.

**Технологический процесс.** Металлический лом, представленный в виде стружки, резки или ломаных кусков, транспортируется с площадки складирования на конвейер подачи, обеспечивающий его последовательное перемещение в зону обработки. На этапе подачи исходный металлический лом характеризуется температурой, близкой к температуре окружающей среды, а также определенным уровнем влажности, которые оказывают значительное влияние на эффективность последующего термического нагрева. В частности, эти параметры влияют на теплопередачу и процессы теплового обмена, что непосредственно сказывается на скорости и равномерности разогрева материала, а также на энергозатратах, необходимых для достижения требуемых технологических режимов. Таким образом, предварительный контроль температуры и влажности металлического лома является важным этапом для оптимизации процесса нагрева и повышения общей эффективности металлургического производства.

В системе Consteel® дымовые газы, образующиеся в электродуговой печи, служат для предварительного нагрева сырья в секции предварительного нагрева, в то время как лом подается в тигель равномерным контролируемым потоком. Нагрев металлического лома осуществляется посредством прямого теплообмена с отходящими высокотемпературными газами, движущимися навстречу металлическому лому и проходящими сквозь него, что позволяет эффективно использовать теплоту газов [1]. Температурный режим в нагревательном канале поддерживается в диапазоне 900...1300 °С, что обеспечивает эффективный и равномерный прогрев ломовой массы до целевого температурного интервала. Важной характеристикой процесса служит время пребывания материала в нагревательной зоне, которое варьируется в зависимости от длины и конфигурации нагревательного конвейера и составляет от нескольких минут до одного часа [1]. Такой режим нагрева способствует оптимизации тепловой обработки, минимизации термических напряжений и подготовке лома к последующим этапам металлургической переработки.

Основной элемент рассматриваемой системы — закрытый нагревательный бункер, обеспечивающий герметичное пространство для загрузки металлического лома с помощью конвейерного транспортера. Вдоль продольной оси бункера последовательно расположены газогорелочные устройства — высокоэффективные факельные горелки, функционирующие на природном газе. Конструкция горелок разработана с учетом необходимости формирования равномерного и стабилизированного факела пламени, что позволяет минимизировать образование локальных зон перегрева и обеспечить оптималь-

ное распределение теплового потока по всей массе лома. Кроме того, данные горелочные устройства характеризуются пониженным уровнем эмиссии оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), что способствует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду и соответствует современным экологическим требованиям промышленного отопления. Такая конструктивно-технологическая реализация нагревательного бункера обеспечивает эффективный и контролируемый процесс предварительного нагрева лома, оптимизируя тепловой режим и повышая качество последующих этапов металлургической переработки.

Для обеспечения эффективного и экологически безопасного режима горения реализуется строго контролируемая подача воздуха и топлива, поддерживающая оптимальное стехиометрическое соотношение. Это позволяет минимизировать образование угарного газа ( $\text{CO}$ ) и  $\text{NO}_x$ , а также снизить энергетические потери. Современные автоматизированные системы управления процессом горения, включая турбулизацию пламени и регулирование подачи кислорода, обеспечивают адаптацию параметров горения в реальном времени в зависимости от физико-химических характеристик загружаемой шихты, что повышает общую эффективность и экологичность производственного процесса.

Важный этап технологического процесса — поддержание оптимального термического режима лома, который исключает как перегрев, так и возможность воспламенения материала. Для достижения данной задачи применяют многоточечные высокоточные датчики температуры, такие как термопары и инфракрасные пирометры, обеспечивающие непрерывный мониторинг температурного поля и предоставляющие оперативную обратную связь в систему автоматизированного управления технологическим процессом. Таким образом реализуется эффективный контроль параметров нагрева, способствующий повышению стабильности и безопасности производства.

Предварительный термический нагрев лома также играет важную роль в снижении содержания влаги в шихте в результате испарения адсорбированной воды. Это существенно снижает вероятность возникновения водородных дефектов в металле, возникающих при последующем плавлении. Данный процесс особенно актуален для лома, который подвергался продолжительному хранению во влажных условиях, что повышает влагосодержание и негативно сказывается на качестве конечного продукта. Внедрение предварительного нагрева позволяет улучшить металлургические характеристики материала и повысить эффективность плавильного процесса.

После достижения заданной температуры лом подается непосредственно в ванну электродуговой печи с помощью герметичного шлюзового устройства, минимизирующего потери теплоты и проникновение атмосферного воздуха. Высокая температура шихты ускоряет процессы расплава и сокращает время

плавки, что приводит к снижению общего потребления электроэнергии. Благодаря непрерывному процессу загрузки органические соединения, образующиеся из неметаллической части лома, подвергаются тщательному пиролизу и сгорают внутри системы. Это обеспечивает минимальное образование вредных веществ, таких как диоксины и фураны. Кроме того, система обеспечивает значительное снижение шума, создавая более безопасную и здоровую рабочую среду и устраняя необходимость в персонале, работающем в опасных зонах.

В процессе непрерывной загрузки в ДСП жидкий металл в ванне защищен слоем вспененного шлака, что позволяет эффективно контролировать температуру и расход энергии. Поступающий в печь скрап погружается в остаток жидкого металла от предыдущей плавки, объем которого всегда достаточен. Электрическая дуга работает под слоем шлака, благодаря чему плавка становится практически непрерывной. Постоянное плоское зеркало металла, над которым горят электроды, обеспечивает стабильное расплавление поступающего металлолома в ванне с жидким металлом. Это повышает устойчивость и непрерывность всего процесса плавки [3–6].

Передача энергии в ванну с жидким металлом и шлак осуществляются с повышенной эффективностью, при этом уровень излучения в сторону стеновых панелей и огнеупоров снижается. Поскольку ванна с расплавленным металлом в течение всего периода функционирования печи под электрическим током находится под слоем вспененного шлака, электрическая дуга функционирует в более стабильных условиях по сравнению с режимами, при которых дуга горит в газовой среде. Кроме того, при данных условиях обеспечивается более высокий коэффициент мощности, что характеризуется максимизацией активной составляющей мощности относительно реактивной [7].

**Применение технологии.** Технология была разработана и впервые внедрена в 1987 г., на данный момент система Consteel® компании Tenova установлена в более чем 80 производственных объектах по всему миру, охватывая ключевые регионы металлургической промышленности. Эта технология находит применения в различных странах [8].

#### *Европа*

- Италия: ORI Martin (первая установка в Европе в 1998 г.), Acciaieria Arvedi;
- Германия: проекты с использованием Consteel® Evolution;
- Турция: Haçcelik.

#### *Азия*

- Китай: Fujian Sanbao Iron+Steel, Beris-Feida, Sichuan Guanghan Desheng Iron & Steel;
- Япония: Tokyo Steel, Nippon Steel;
- Южная Корея: Dongbu Steel;

- Таиланд: GJ Steel;
- Вьетнам: Nghi Son Iron and Steel Corporation, Pomina Steel.

#### *Северная и Южная Америка*

- Бразилия: Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil VSB;
- Аргентина: Tenaris Siderca.

#### *Африка*

- ЮАР: проекты с использованием Consteel®.

Технология активно распространяется в странах с развивающейся металлургией, таких как Вьетнам и Эквадор, а также в регионах, где ужесточаются экологические стандарты (ЕС, Япония).

В Российской Федерации система Consteel® была внедрена на Ашинском металлургическом заводе, что стало частью масштабной программы модернизации производства. Эта система позволила значительно повысить эффективность сталеплавильного процесса и снизить производственные издержки [9].

Система Consteel® оснащена современными технологическими решениями, которые обеспечивают непрерывную загрузку металлического лома через шахту на своде печи. Предварительный подогрев лома происходит благодаря встречным потокам горячих газов, что способствует оптимизации процесса плавки. Дожигание СО с помощью вдуваемого воздуха и постоянное присутствие жидкой ванны металла позволяют поддерживать стабильный температурный режим и улучшать качество стали [10].

Автоматизация процесса играет ключевую роль в системе Consteel®. Контроллеры регулируют скорость конвейера, поддерживают необходимый уровень металла, управляют температурой и подачей кислорода. Это обеспечивает высокую точность и повторяемость параметров плавки, что положительно сказывается на качестве продукции.

Экономическая эффективность внедрения системы проявляется в снижении расхода электроэнергии, уменьшении времени плавки и оптимизации использования производственных площадей. Кроме того, затраты на техническое обслуживание и простои сократились, что привело к общему снижению производственных издержек.

Не менее важно и воздействие системы Consteel® на экологию. Благодаря внедрению современных технологий, удалось уменьшить выбросы пыли и СО<sub>2</sub>, а также снизить уровень шума. Эффективная система газоочистки способствует минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Техническое обслуживание системы включает регулярные проверки горелочных устройств, осмотр газопроводов, калибровку измерительных приборов и проверку систем автоматизации. Это позволяет поддерживать оборудование в рабочем состоянии и предотвращать возможные неполадки.

Меры безопасности на заводе также находятся на высоком уровне. Контроль содержания метана в воздухе, проверка герметичности соединений и работа систем аварийного отключения обеспечивают безопасные условия труда и предотвращают аварийные ситуации.

В результате внедрения системы Consteel® на Ашинском металлургическом заводе были достигнуты значительные показатели: стабильность электрической дуги, минимальное содержание азота и водорода в стали, высокая надежность оборудования. Проект доказал свою эффективность и может служить примером успешной модернизации сталеплавильного производства с использованием современных технологий.

**Технические особенности применения системы.** Основные технические аспекты и рекомендации, применяемые в технологическом процессе нагрева металлического лома с использованием газогорелочных устройств в системе Consteel®, требуют детального рассмотрения с точки зрения современных инженерных и научных подходов.

В первую очередь, выбор типа используемого газа имеет решающее значение для обеспечения качества и эффективности процесса нагрева. Предпочтение отдается природному газу, что объясняется его низким содержанием серы и высокой степенью чистоты. Согласно исследованиям, низкое содержание серы в топливе значительно снижает вероятность внедрения примесей в металл и коррозионного воздействия на компоненты оборудования. Более того, природный газ характеризуется высокой теплотворной способностью, что способствует оптимальному распределению теплоты в рабочей зоне нагрева и уменьшению выбросов вредных веществ. Таким образом, использование природного газа позволяет не только повысить качество конечного продукта, но и улучшить экологические показатели производства.

Расположение газогорелочных устройств внутри конвейера системы Consteel® реализуется с учетом сложных гидродинамических процессов, происходящих как в газовом потоке, так и в слоях шихты. Исследования показывают, что оптимизированное размещение горелок способствует максимальному тепловому воздействию на лом благодаря улучшению смешения нагретых газов с поверхностью шихты. Сбалансированный дизайн горелочных систем позволяет минимизировать потери тепловой энергии вследствие неравномерного нагрева и снижает расход топлива. При этом учитывается направление газового потока, скорость подачи шихты и свойства материала лома, что обеспечивает равномерное прогревание и предотвращает локальные перегревы, которые могут привести к нежелательным изменениям в структуре металла.

Ключевой инновацией системы Consteel® является интегрированная система автоматического управления процессом нагрева, сочетающая в себе

программируемые логические контроллеры (ПЛК) и сложные датчики измерения параметров технологической среды. По данным [8], такие системы осуществляют непрерывный мониторинг температуры нагрева, расхода природного газа, а также динамической подачи шихты. Интеграция этих данных в единую управляющую платформу позволяет реализовывать алгоритмы оптимизации, которые подстраивают параметры процесса в реальном времени для достижения максимальной эффективности и стабильности. Подобный подход значительно снижает влияние человеческого фактора, повышает безопасность эксплуатации и способствует снижению энергозатрат.

**Заключение.** Исследование технологии предварительного подогрева металлического лома в системе Consteel® позволило получить важные результаты. Внедрение данной системы существенно повышает эффективность сталеплавильного процесса благодаря непрерывной загрузке лома, предварительному подогреву до оптимальных температур, автоматизированному управлению и снижению энергопотребления.

Технологические преимущества системы проявляются в эффективном использовании отходящих газов, равномерном прогреве лома, стабильности процесса плавки и высоком качестве получаемой стали. Экономическая эффективность подтверждается снижением расхода электроэнергии, уменьшением времени плавки, оптимизацией производственных процессов и сокращением затрат на техническое обслуживание. Большое значение имеют экологические преимущества системы: снижение выбросов пыли и CO<sub>2</sub>, уменьшение уровня шума и минимизация негативного воздействия на окружающую среду.

Успешный опыт внедрения системы Consteel® на Ашинском металлургическом заводе наглядно демонстрирует высокую эффективность данной технологии и открывает перспективы для ее дальнейшего распространения в металлургической отрасли. Система представляет собой современное технологическое решение, которое позволяет существенно повысить эффективность сталеплавильного производства при одновременном улучшении экологических показателей.

Полученные результаты могут быть полезны для специалистов в области металлургии при планировании модернизации производственных процессов и внедрении современных технологических решений.

## Литература

- [1] Бирюков А.Б., Гнитиёв П.А., Шатович В.А. Утилизация теплоты газов, отходящих из дуговой сталеплавильной печи, с целью предварительного подогрева металлолома. *Вестник Донецкого национального технического университета*, 2020, № 2 (20), с. 26–32.

- [2] Шатович В.А., Шатович Г.А. Современные способы интенсификации процесса предварительного подогрева лома в системе Consteel. *Донбасс будущего глазами молодых ученых. Науч.-техн. конф.: сб. матер.* Донецк, ДонНТУ, 2022, с. 128–131.
- [3] Окунева В.В., Павлова Ю.М., Макаров А.Н. Эффективность работы дуговых сталеплавильных печей Consteel. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: строительство. Электротехника и химические технологии*, 2019, № 1, с. 47–57.
- [4] Маркоцци М., Гацзон М. Совершенствование предварительного нагрева и важность работы электродуговых печей большой емкости с жидким остатком. *Металлургическое производство и технология*, 2011, № 2, с. 8–20.
- [5] Kuz'menko A.G. Prospects for Consteel Technology in Russia. *Steel in Translation*, 2016, no. 4, vol. 46, pp. 270–275.
- [6] Fanutti G., Pozzi M. Environmental Control and the CONSTEEL Process. *Millennium Steel*, 2004, pp. 105–110.
- [7] Черменев Е.А. *Исследование процессов нагрева и плавления окатышей в ванне дуговой печи с целью повышения энергоэффективности электроплавки стали*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, МИСиС, 2014, 183 с.
- [8] URL: <https://tenova.com> (accessed 29.04.2025).
- [9] Евстратов В.Г., Киселев А.Д., Зинуров И.Ю. Особенности тепловой работы электропечи ДСП-120 Consteel на Ашинском металлургическом заводе. *Производство черных и цветных металлов, Электрометаллургия*, 2012, № 8, с. 2–6.
- [10] Гладкая И.В., Клягин Г.С. Новые технологии и тенденции развития электросталеплавильного производства. *Новости черной металлургии за рубежом*, 2007, № 1, с. 36–38.

**Поступила в редакцию 19.06.2025**

**Мельниченко Максим Вадимович** — аспирант кафедры «Техническая теплофизика», ФГБОУ ВО «ДонНТУ», Донецк, ДНР, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Гнитиёв Павел Александрович, кандидат технических наук, декан факультета металлургии и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «ДонНТУ», Донецк, ДНР, Российская Федерация. SPIN-код: 1943-4196. E-mail: paul.gnitiev@mail.ru

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Мельниченко М.В. Технология предварительного подогрева металлического лома в системе Consteel®: опыт практического применения. *Политехнический молодежный журнал*, 2026, № 02 (103). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/metmat/mstp/1096.html>

## SCRAP METAL PREHEATING TECHNOLOGY IN THE CONSTEEL® SYSTEM: A PRACTICAL APPLICATION EXPERIENCE

**M.V. Melnichenko**

m.v.melnichenko@mail.ru

*Donetsk National Technical University, Donetsk, DPR, Russian Federation*

This article examines in detail the scrap metal preheating technology in the Tenova Consteel® system. Particular attention is paid to the process features: scrap transportation, preheating, operation of gas burners, and the automatic control system. The researchers examine in detail the benefits of implementing this technology, including reduced energy consumption, reduced melting time, optimization of production processes, and improved environmental performance. Of considerable interest is the practical experience of implementing the Consteel® system at the Ashinsky Metallurgical Plant, demonstrating the high efficiency of modernizing steelmaking operations using modern technological solutions. The high efficiency of this technology opens up prospects for its further spread in metallurgy.

**Keywords:** preheating, scrap metal, Consteel® system, gas burner devices, electric arc furnace

***Received 19.06.2025***

**Melnichenko M.V.** — Postgraduate student of Department of Technical Thermal Physics at DonNTU, Donetsk, DPR, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Gnatiev P.A., Ph. D. (Eng.), Dean of the Faculty of Metallurgy and Thermal Power Engineering at DonNTU, Donetsk, DPR, Russian Federation. SPIN-code: 1943-4196. E-mail: paul.gnatiev@mail.ru

### **Please cite this article in English as:**

Melnichenko M.V. Scrap metal preheating technology in the Consteel® system: a practical application experience. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal*, 2026, no. 02 (103). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/metmat/mstp/1096.html>