



*There is made the overview of the existing ways of heating of the large-capacity industrial ingots with heightened thermocontent and first of all with non-solidified heart.*

*В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова» НАН Беларуси,  
В. М. ОЛЬШАНСКИЙ, Национальная металлургическая академия Украины,  
И. А. ТРУСОВА, С. М. КАБИШОВ, БНТУ*

УДК 621.783.224:669.95

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ НАГРЕВА КРУПНОТОННАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЛИТКОВ С НЕЗАТВЕРДЕВШЕЙ СЕРДЦЕВИНОЙ (ОБЗОР)

Наиболее эффективным путем создания энерго-сберегающих теплотехнологий является разработка и реализация режимов горячего посада крупнотоннажных (блужинговых и слябинговых) слитков в нагревательные устройства, в том числе с незатвердевшей сердцевиной. По данным работы [1], при повышении средней температуры посада слитков в нагревательные устройства (рекуперативные и регенеративные колодцы) на  $100^{\circ}\text{C}$  средняя величина снижения удельного расхода условного топлива составляет 4,8 кг у.т./т, а угара металла — 3–4 отн.% в результате сокращения продолжительности пребывания слитков в камере колодца. Внедрение таких режимов нагрева может быть осуществлено с минимальными затратами, связанными в основном с организацией транспортировки слитков к отделению нагревательных колодцев с максимальным содержанием жидкой фазы.

Выполненные комплексные исследования по изучению закономерностей нагрева крупнотоннажных слитков горячего посада показали, что основными факторами, определяющими теплотехнические показатели работы ячеек нагревательных колодцев (удельный расход условного топлива, производительность колодцев), являются количество жидкой сердцевины в слитке в момент посада и выбор соответствующего рационального температурного режима [2–5 и др.].

Существующие способы нагрева слитков с повышенным теплосодержанием и в первую очередь с незатвердевшей сердцевиной можно разделить на две группы:

- нагрев с выдержкой без подачи топлива;
- нагрев с регламентированной скоростью подъема температуры в рабочем пространстве в первом периоде нагрева.

### Нагрев слитков с выдержкой без подачи топлива

Технология нагрева слитков с выдержкой без подачи топлива сводится к тому, что после

посада слитков в нагревательный колодец и закрытия крышки топливо либо не подают, либо подают так называемый «дежурный расход» газа, который необходим для безопасного зажигания факела горелки при включении колодца в работу. Далее процесс, как правило, ведется по стандартной традиционной технологии, включающей в себя двухпериодный нагрев (в первом периоде поддержание максимальной тепловой мощности колодца  $M_{\text{общ}} = \text{const}$  до выхода на контрольную температуру, во втором — нагрев при постоянной температуре печи  $t_{\text{печ}} = \text{const}$ ).

В работе [6] приведены результаты исследований нагрева слитков кипящей стали массой 17,5 т сечением (1540x830)...(1480x730) мм в колодцах с одной верхней горелкой блужинга 1500 Нижнетагильского металлургического комбината. Масса садки 150 т, максимальная мощность колодцев, отапливаемых природно-доменной смесью,

$Q_n^p = 8400$  кДж/м<sup>3</sup>. Температура поверхности слитков в момент посада в колодец составляла  $900\text{--}950^{\circ}\text{C}$ , что обеспечивало, по данным расчетов, наличие жидкой сердцевины. Выдержка слитков в колодце без подачи топлива осуществлялась в течение 0,75–0,9 ч, при этом температура рабочего пространства повышалась от  $900\text{--}950$  до  $1050\text{--}1100^{\circ}\text{C}$  за счет теплоты, выделяющейся при кристаллизации слитков. После этого включается максимальный расход топлива и далее процесс нагрева осуществляется по традиционному двухступенчатому режиму, описанному выше. Нагрев слитков горячего посада по разработанной технологии позволил сократить продолжительность пребывания слитка в колодце на 0,5 ч и соответственно снизить удельный расход условного топлива на 2–4 кг у.т./т.

В Днепропетровском металлургическом институте (ныне Национальная металлургическая академия Украины) разработан способ нагрева

слитков с объемом незатвердевшей сердцевины на уровне 20% [7]. При этом слитки загружают в колодец, разогретый до температуры на 50–100 °С ниже средней температуры поверхности слитков, а выдержку без подачи топлива продолжают до тех пор, пока в слитке не останется 5–7% незатвердевшего металла, после чего подается максимальный расход газа и далее нагрев ведется по традиционной технологии.

Согласно данным Сумитомо Киндзоку Коё [8], их способ отопления нагревательного колодца отличается тем, что расход топлива устанавливается в зависимости от скорости подъема температуры в рабочем пространстве. Слитки сажают с колодец с температурой 900 °С, топливо не подается, а колодец разогревается за счет теплоты, выделяющейся при кристаллизации незатвердевшей сердцевины. Когда скорость подъема температуры достигнет 77,4 °С/мин, включается горелка и устанавливается расход газа 700 м<sup>3</sup>/ч, сохраняемый до скорости подъема 61,4 °С/мин, затем расход топлива увеличивается до 1700 м<sup>3</sup>/ч, а при достижении скорости роста 106,4 °С/мин расход увеличивают до 2700 м<sup>3</sup>/ч и сохраняют его до тех пор, пока температура в колодце не достигнет 1320 °С, после чего подачу топлива прекращают и производят выдачу слитков в прокат. Второй период нагрева при  $t_{\text{печ}} = \text{const}$  в данной технологии отсутствует.

В работе [9] приведены результаты исследований нагрева слитков, содержащих 10–30% жидкой сердцевины, где подчеркивается, что нагрев таких слитков требует обязательного наличия начального периода с очень низкой или вообще нулевой тепловой нагрузкой, необходимой, по мнению авторов, для того, чтобы затвердевание происходило со скоростью, близкой к нормальной. В принципе этот способ ничем не отличается от способа, приведенного в работе [6]. Время нагрева в итоге удалось сократить с 6–8 до 3–5 ч, а удельный расход топлива снизить на 20%, при этом качество металлопродукции не ухудшилось.

Институт проблем литья НАН Украины предложил способ обработки слитков из кипящей и полуспокойной стали перед прокаткой [10], согласно которому все этапы технологических операций от разливки до выдачи в прокат привязаны ко времени полного затвердевания слитка в изложнице, при этом время выдержки слитка в изложнице после окончания разливки составляет 15–20 % от времени полного затвердевания слитка; время охлаждения на воздухе – 10–15%; время нагрева в колодцах – 60–70%. Технология нагрева в колодце включает в себя время выдержки слитков без подачи топлива 7–20% от времени полного затвердевания в изложницах; подъем температуры в рабочем пространстве со скоростью 1,4–1,8 °С/мин до температуры 1280–

1290 °С и выдачу в прокат. При этом способе нагрева также отсутствует период томления слитков при  $t_{\text{печ}} = \text{const}$ . Разработанная технология обеспечивает снижение расхода топлива на 25–30%, уменьшение угара металла и увеличение производительности отделения нагревательных колодцев на 2,5%.

Разработан способ подготовки слитков с незатвердевшей сердцевиной к нагреву, который обеспечивает улучшение качества металла путем подавления вторичных усадочных дефектов [11]. Оптимальное время посадки слитков в колодец, согласно изобретению, составляет 80–85% от времени завершения процесса затвердевания слитка.

В работах [12–14] приведены режимы нагрева крупнотоннажных слитков с незатвердевшей сердцевиной для условий Криворожского государственного горно-металлургического комбината «Криворожсталь» и Алчевского металлургического комбината. Так, для условий КГГМК «Криворожсталь» суть технологии подготовки слитка массой 12,5 т заключалась в следующем. Через 25–30 мин от конца разливки слитки раздевали в стрипперном отделении и через 25 мин осуществляли посад в нагревательные колодцы. По сравнению с обычной технологией, при которой также предусмотрен нагрев с высоким теплосодержанием, время от конца разливки до посадки в колодцы сократили на 25–30 мин. После посадки слитков в колодцы подача топлива не осуществлялась в течение 2,4 ч, а общее время подачи топлива составило 2,0 ч (вместо 5,67 ч). Это позволило сократить время нагрева слитка до требуемой температуры на 1,27 ч и достигнуть снижения удельного расхода условного топлива 1,4 кг у.т./т. Для условий нагрева слитков в регенеративных колодцах ОАО «Алчевский металлургический комбинат» авторами показано, что при нагреве слитков массой 9,45–13,9 т с жидкой сердцевиной в количестве ~25% топливо расходуется практически только на компенсацию тепловых потерь рабочей камеры и с уходящими газами, а нагрев слитка осуществляется за счет внутреннего теплосодержания и скрытой теплоты кристаллизации [14]. В зависимости от количества жидкой сердцевины слитков в момент посадки режим нагрева после выдержки без топлива может быть традиционным двух- или одноступенчатым при  $M_{\text{общ}} = \text{const}$ .

#### **Нагрев слитков с регламентированной скоростью подъема температуры**

В 1975 г. японской фирмой «Синниппон Сэйтецу К.К.» предложен способ нагрева слитков с жидкой сердцевиной, предусматривающий после посадки в колодец подъем температуры в рабочем пространстве со скоростью 50–150 °С/мин и выдачу слитков на прокатку при достижении центром

слитка температуры на 200 °С превышающей температуру его поверхности [15]. Данная технология обеспечила снижение расхода топлива и увеличение выхода годного от 91,5 до 94,5%. Согласно [16], эта же фирма предлагает слитки, содержащие 20% жидкой сердцевины, выдерживать в колодце в течение 2,5–4,0 ч для достижения следующего температурного распределения в момент выдачи слитка: температура в средней части слитка больше температуры 1/4 толщины слитка и больше температуры поверхности слитка.

В 1978 г. японская фирма «Nippon Kokan K.K.» опубликовала результаты исследований внедренного на заводе Fukuyama способа нагрева слитков в нагревательных колодцах, который получил название «перевернутого L» [17]. Согласно этой технологии, после посадки слитков в колодец устанавливается определенная минимальная тепловая нагрузка, обеспечивающая подъем температуры в рабочем пространстве до 1200 °С с незначительной скоростью. Затем, незадолго до выдачи, тепловую нагрузку резко увеличивают, поднимают температуру поверхности слитков до требуемого значения и выдают в прокат. Применение этой технологии обеспечило экономию топлива до 34%, а коэффициент полезного теплоиспользования при этом повысился от 34,3 до 43,4%.

Национальной металлургической академией Украины предложен способ нагрева слитков с жидкой сердцевиной [18], согласно которому слитки перед посадом в колодец охлаждаются со скоростью 250–350 °С/ч до достижения перепада температур между центром и поверхностью 500–600 °С. Нагрев в колодцах осуществляют таким образом, чтобы температура поверхности повышалась со скоростью 160–220 °С/ч до заданной температуры прокатки, обеспечивая при выдаче перепад температур между центром и поверхностью слитка 150–200 °С. Внедрение такой технологии позволяет добиться увеличения производительности колодцев на 10–30% и сократить удельный расход условного топлива на 5–10% и снизить окисление на 3–5%.

Карагандинским металлургическим комбинатом разработано несколько вариантов технологий нагрева слитков с жидкой сердцевиной [19, 20]. Согласно способу, предложенному в работе [19], на первой стадии нагрева слитков поддерживается постоянная скорость подъема температуры в колодце (1–3 °С/мин), а продолжительность второго периода (при постоянной температуре печи) составляет от 23 до 54% продолжительности первого периода. Второй способ [20] отличается тем, что температуру в рабочем пространстве нагревательного колодца в начальный период нагрева поддерживают равной температуре поверхности слитка до окончания процесса кристаллизации, о чем свидетельствует прекращение роста температуры на поверхности слитка и дальнейший нагрев

выполняется по стандартной двухпериодной технологии (нагрев + выдержка).

В работе [21] приведен способ нагрева слитков с незатвердевшей сердцевиной в количестве 5–30%, который включает в себя трехпериодный режим нагрева с регулируемой скоростью подъема температуры. Согласно данному способу, на первой ступени (до завершения кристаллизации слитка) скорость нагрева составляет 120–130 °С/мин, на второй ступени скорость повышается до 255–295 °С/мин, при достижении температуры поверхности слитка 1250–1300 °С делают выдержку слитков при постоянной температуре печи до тех пор, пока перепад между поверхностью и центром составит 30–50 °С.

На основании выполненного обзора способов нагрева слитков с повышенным теплосодержанием и в первую очередь с незатвердевшей сердцевиной следует, что разработка и реализация режимов горячего посада блюминговых и слябинговых слитков представляют важную научную и техническую задачу как с точки зрения исследования закономерностей процессов подготовки слитков к прокатке, так и с точки зрения создания энергосберегающего технологического процесса, предусматривающего наряду со значительной экономией топлива увеличение производительности металлургических агрегатов.

### Литература

1. Котляревский Е.М., Кузовников А.А. Экономия топлива и снижение утара металла при нагреве слитков и заготовок // Бюл. НТИ. Черная металлургия. 1985. № 9. С. 16–21.
2. Самойлович Ю.А., Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Филиппов В.В. Стальной слиток. В 3-х т. Т.2. Затвердевание и охлаждение / Под общ. ред. В.И. Тимошпольского, Ю.А. Самойловича. Мн.: Белорусская наука, 2000.
3. Прикладные задачи металлургической теплофизики / В.И. Тимошпольский, Н.М. Беляев и др. Мн.: Наука і тэхніка, 1991.
4. Затвердевание стального слитка в изложнице: Методы исследования режимов затвердевания и охлаждения: Справ. / В.И. Тимошпольский, Ю.А. Самойлович, И.А. Трусова и др. Мн.: Вышш.шк., 2003.
5. Закономерности нагрева слитков горячего посада / И.С. Тимошпольский, В.И. Тимошпольский, Б.Ф. Шендрик и др. // Сталь. 1989. №9. С. 97–100.
6. Исследование режима нагрева и прокатки крупных слитков на блюминге 1500 НТМК / Я.Е. Иоффе, А.Б. Стеблов, А.М. Серова и др. // Сталь. 1979. № 3. С. 201–202.
7. А.с. СССР 1186666: Способ нагрева слитков в нагревательных колодцах / Н.С. Рой, Ю.С. Борбоц, Н.П. Свинолов и др. Опубл. 23.10.85. Бюл. № 39.
8. Заявка 59-20430. Япония. Способ отопления нагревательного колодца. Йосихара Какудзи, Кимура Сюньити, Исии Кэнтаро.
9. Оптимизация нагрева слитков в нагревательных колодцах / Rao T.R.S., Rupar David, Upton Edwin A., Ellis Robert // J.: Iron and Steel Eng. 1984. N 10, 34.
10. А.с. СССР 1541292: Способ обработки слитков кипящей и полуспокойной стали / В.И. Легенчук, Е.Ф. Деюк, Н.П. Липка и др. Опубл. 07.02.90. Бюл. №5.
11. А.с. СССР 1313884: Способ подготовки слитков с незатвердевшей сердцевиной к нагреву / Е.И. Казанцев, И.В. Куликов, А.В. Темник и др. Опубл. 30.05.87. Бюл. № 20.

12. Разработка режимов нагрева крупнотоннажных слитков с повышенным теплосодержанием / О.В. Дубина, В.И. Тимошпольский, В.И. Губинский и др. // Сб. науч. тр.: Металлургическая теплотехника. Днепропетровск. 2002. №7. С. 116–123.

13. Численное моделирование и экспериментальные исследования теплофизических процессов металлургических технологий и создание на их основе энергосберегающих режимов / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, В.В. Филиппов и др. // Материалы третьей Российской национальной конференции по теплообмену. М. 21–25 октября 2002 г. Т.7. С. 266–269.

14. Разработка режимов нагрева незатвердевших слитков массой 9,45–13,9 т в регенеративных колодцах обжимного цеха ОАО «Алчевский металлургический комбинат» / В.И. Тимошпольский, О.В. Дубина, Э.О. Цкитишвили и др. // Литье и металлургия. 2002. №2. С. 32–36.

15. Заявка 51-115209. Япония. Способ нагрева слитков в томильных колодцах / Ямада Киёси, Сэки Осаму, Сугимото Йоити, Усиода Ясумаса.

16. Заявка № 51-135808. Япония. Способ регулирования нагрева стальных слитков / Футакура Бунго, Мицуда Маса-ру, Такахаси Масаёси, Такамури Осаму.

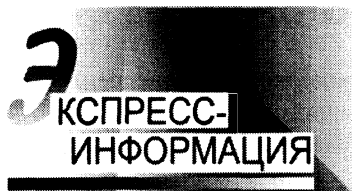
17. Исследование возможностей снижения расхода топлива в нагревательных колодцах / Tamura Yooichi, Kunioka Kazuo, Haga Yukio // Tetsu to hagane. J. Iron and Steel Inst. Jap. 1978/ 64. № 13. 1947–1958.

18. А.с. СССР 1049554: Способ нагрева слитков с жидкой сердцевиной / Н.С. Рой, Ю.С. Борбоц, Н.П. Свинолов и др. Оpubл. 23.10.83. Бюл. № 39.

19. А.с. СССР 1168621: Способ нагрева слитков с жидкой сердцевиной / В.И. Миткалинский, Е.И. Казанцев, М.А. Акбиев и др. Оpubл. 23.07.85. Бюл. № 27.

20. А.с. СССР 1456478: Способ регулирования нагрева слитка с жидкой сердцевиной и устройство для его осуществления / В.И. Барбаев, В.Е. Пятецкий, А.И. Бурдо и др. Оpubл. 07.02.89. Бюл. № 5.

21. А.с. СССР 1381179: Способ нагрева в колодцах слитков с незатвердевшей сердцевиной / В.И. Тимошпольский, Ю.А. Самойлович, И.С. Тимошпольский и др. Оpubл. 14.03.88. Бюл. № 10.



**Новые патенты по металлургии из патентного фонда  
Республиканской научно-технической библиотеки**

**Патент 2208053 РФ, МПК7 С21С 7 / 06. Способ обработки стали.**

Изобретение относится к металлургии, в частности к способам раскисления и легирования жидкой стали алюминием. Технический результат – повышение эффективности обработки жидкой стали за счет более быстрого растворения алюминия, лучшего его усвоения и равномерного распределения.

**Патент 2166550 РФ, МПК6 С21С 7 / 064. Способ производства низкокремниевой стали.**

Изобретение относится к черной металлургии, в частности к производству высококачественной низкокремниевой листовой стали, в том числе для глубокой вытяжки при штамповке.

**Патент 63455 WO, С22С 38 / 22. Конструкционная сталь и компонент роликотподшипника.**

Такую сталь получают из относительно дешевой стали, такой, как SAE52100. За счет присутствия молибдена и специальной термообработки поверхность компонента имеет мелкую бейнитную структуру. Компонентом может быть кольцо подшипника. Бейнитная структура имеет улучшенное сопротивление деформации сдвига и относительно низкую вязкость в изгибе.

**Патент 2208051 РФ, МПК7 С21С 5 / 22. Способ выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи.**

Изобретение относится к черной металлургии и может быть использовано в электросталеплавильных цехах заводов. Технический результат изобретения – снижение угара металла и энергетических затрат на тонну выплавленной стали за счет снижения температуры поверхности металла при продувке ванны кислородом.

**Патент 2208052 РФ, МПК7 С21С 5 / 52. Способ выплавки стали.**

Изобретение относится к черной металлургии и может использоваться при выплавке стали в электродуговых печах. Технический результат – снижение расхода ферросилиция и расширение сортамента сталей, выплаваемых с полной заменой марганцевых ферросплавов прямым легированием из оксидных марганецсодержащих материалов.

**Патент 2208054 РФ, МПК7 С21С 7 / 072. Способ перемешивания стали в ковше.**

Изобретение относится к способам внепечной обработки жидкого металла в ковше в черной металлургии. В предлагаемом способе существенно расширена активная зона охвата газом/порошковой смесью объема металла, за счет чего сокращено время достижения гомогенизированного состава металла без увеличения количества подаваемого газа, т. е. расширена техническая задача интенсификации перемешивания стали в ковше при ее продувке газом/газопорошковой смесью.

**Документы не продаются!**

Ознакомиться с рефератами и описаниями отечественных и зарубежных заявок и патентов, сделать копии всего документа или его отдельных страниц, осуществить тематический поиск в патентном фонде и в Internet, получить квалифицированную консультацию и помощь в проведении патентного поиска можно по адресу: г. Минск, пр. Машерова, 7, РНТБ, читальный зал патентного фонда (503 к.). Тел.: 226-65-05.