

уровень демпфирующей способности этого чугуна с шаровидным графитом объясняется возникновением более высоких пиков напряжений на краю иглоок мартенсита, вследствие чего дополнительно повышается логарифмический декремент затухания колебаний.

Увеличение гидроабразивной стойкости аустенитного чугуна с диспергированными изолированными карбидными включениями в его структуре в условиях эрозийного и ударно-абразивного износа объясняется дополнительной армирующей способностью мартенсита, расположенного вокруг карбидного включения в мягкой аустенитной металлической основе сплава.

Наряду с этим снижается коррозионная стойкость аустенитного чугуна ЧН9Г6ДЗШ в связи с увеличением его электродного потенциала при электрохимической коррозии в агрессивных средах.

Заключение

МГД-воздействие оказывает заметное влияние на содержание ферромагнитной фазы в структуре аустенитного чугуна на ЧН9Г6ДЗШ, что позволяет за счет изменения количества ФМФ непосредственно влиять на такие физико-механические свойства аустенитного чугуна, как условный предел текучести, циклическая вязкость, гидроабразивная и коррозионная стойкость.

Поступила 25.04.2008

УДК 621.313:621.74:669

Ф. Сиддики, Г. И. Касьян, А. А. Кучаев*, Р. Я. Якобше*

ЗАО «Донецкий электрометаллургический завод», Донецк

*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНЛЗ ПРИ ЛИТЬЕ КРУГЛЫХ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ ЗАО «ДОНЕЦКИЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

ЗАО «Донецкий электрометаллургический завод» (ДЭМЗ) производит непрерывнолитую трубную заготовку из углеродистых, конструкционных, высоколегированных и нержавеющей марок стали для машиностроительных и подшипниковых заводов, трубной и нефтегазовой промышленности, атомной энергетики. Электросталеплавильный цех (ЭСЦ) поставляет круглые заготовки диаметром 120, 130, 150, 160, 180 мм. Представлены технические характеристики основных конструктивных элементов шестиручьевого сортовой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Рассмотрены особенности технологии непрерывной разливки круглой заготовки закрытой струей.

ЗАТ «Донецкий электрометалургійний завод» (ДЕМЗ) виробляє безперервнолиту трубку заготовку з вуглецевих, конструкційних, високолегованих та нержавіючих марок сталі для машинобудівних та підшипникових заводів, трубної та нафтогазової промисловості, атомної енергетики. Електросталеплавильний цех поставляє круглі заготовки діаметром 120, 130, 150, 160, 180 мм. Представлені технічні характеристики основних конструктивних елементів шестиструмкової сортової МБЛЗ. Розглянуті особливості технології безперервного розливання круглої заготовки закритим струменем.

The CJSC «Donetsk Electrometallurgical Mill» (DEMM) produces continuously cast round billets for continuous cast pipe billets, as well as hot-rolled rounds of carbon, structural, high-alloy and stainless steel grades for mechanical engineering works, ball-bearing plants, pipe mills, oil and gas industry and nuclear power engineering. The electric arc furnace shop supplies 120, 130, 150, 160 and 180 mm round billets. The technical characteristics of main constructive elements of six-strand billet continuous caster are presented. The technological details of round billets continuous casting by closed stream are described.

Ключевые слова: МНЛЗ, электромагнитный перемешиватель, сталь, круглая заготовка.

Введение

Актуальной задачей применения технологии непрерывного литья сортовых заготовок является получение качественных бесшовных труб для различных отраслей промышленности [1-3].

В ЭСПЦ ЗАО “Донецкий электрометаллургический завод” эксплуатируется шестиручьевая МНЛЗ фирмы Danieli. МНЛЗ предназначена для разливки углеродистых, низколегированных, высокоуглеродистых, кремнистых и подшипниковых сталей в заготовки квадратного и круглого сечений [4-6].

Выплавка стали в электродуговой печи и внепечная обработка

Оборудование ЭСПЦ включает в себя дуговую сталеплавильную печь (ДСП), установку ковш-печь (УКП), вакууматор для производства высококачественных низколегированных и нержавеющей сталей, а также шестиручьевую машину непрерывного литья для производства квадратной и круглой заготовок. Внепечная обработка позволяет осуществить доводку получаемого полупродукта жидкой стали до стали более сложных марок, производимой в соответствии с высокими требованиями к качеству продукции. Доводка стали в УКП по температуре и химическому составу повышает производительность и эксплуатационную гибкость при одновременном снижении издержек производства.

Схема технологического процесса электродуговой плавки в ДСП, обработки стали в УКП и непрерывной разливки сортовых заготовок проведена на рисунке.

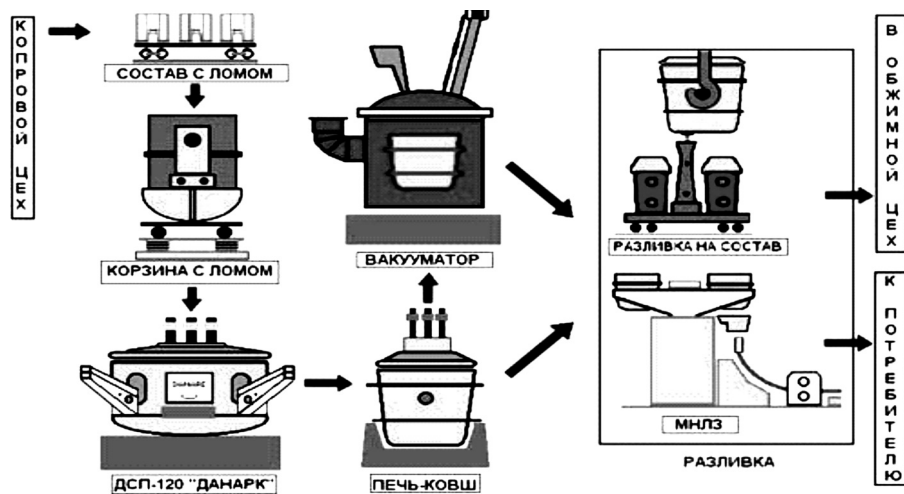


Схема технологического процесса электродуговой плавки, обработки стали в установке ковш-печь и непрерывной разливки сортовых заготовок

Технические характеристики шестиручьевой МНЛЗ

В электросталеплавильном цехе на МНЛЗ из выплавленной стали производятся непрерывнолитые круглые и квадратные заготовки, а также ведется разливка стали в изложницы для последующей прокатки в обжимном цехе.

В табл. 1 представлены основные технические характеристики сталеразливочного и промежуточного ковшей.

Основные технические характеристики шестиручьевой МНЛЗ представлены в табл. 2.

Особенности технологии непрерывной разливки круглых заготовок

Сталь выплавляли в ДСП емкостью 120 т с последующей обработкой на УКП. При необходимости получения металла с особыми требованиями по содержанию газов, серы и неметаллических включений сталь вакуумировали. Для получения низких концентраций углерода сталь подвергали вакуумно-кислородному обезуглероживанию на установке VD/VOD. После обработки металла в УКП содержание серы и фосфора составляет 0,004-0,009, и 0,008-0,014 % соответственно.

Таблица 1. Технические характеристики сталеразливочного и промежуточного ковшей

| Технические параметры | Физические величины |
|---|---------------------|
| Емкость сталеразливочного ковша, т | 120 |
| Опора сталеразливочного ковша | поворотный стенд |
| Тип промежуточного ковша | дельта |
| Емкость промежуточного ковша, т | 24 |
| Уровень металла в промежуточном ковше, мм | 800 |
| Опора промежуточного ковша | подъемная тележка |

Таблица 2. Основные характеристики МНЛЗ

| Технические параметры | Физические величины |
|---|--|
| Число ручьев, шт | 6 |
| Радиус МНЛЗ, мм | 8000 |
| Радиус разгиба, мм | 15000 |
| Металлургическая длина, мм | 23000 |
| Расстояние между ручьями, мм | 1100 |
| Сечение заготовок, мм | 100-150 (квадратные заготовки); 120-180 (круглые заготовки) |
| Тип кристаллизатора | гильзовый, криволинейный, многоконусный |
| Длина кристаллизатора, мм | 1000 (квадратные заготовки); 780 (круглые заготовки) |
| Скорость разливки, м/мин | максимальная 5,8 |
| Амплитуда качания кристаллизатора, мм | максимальная 16 |
| Частота качания кристаллизатора, кач/мин | максимальная 252 |
| Механизм качания кристаллизатора | шарнирный четырехзвенный |
| Контроль уровня металла в кристаллизаторе | радиоактивный Co 60 |
| Длина заготовки, мм | 6000-12000 |
| Зона вторичного охлаждения | 4 независимые сектора |
| Режимы разливки | открытая и закрытая сруи |
| Длина заготовки, мм | 6000-12000 |
| Зона вторичного охлаждения | 4 независимые сектора |
| Режимы разливки | открытая и закрытая струи |
| Смазка кристаллизатора | масло или шлакообразующая смесь |
| Тип затравки | жесткая |
| Длина затравки, мм | 12980 |
| Тянуше-плавильный агрегат (ТПА) | модульный (две пары роликов с индивидуальным приводом) |

Шестиручьевая МНЛЗ 1 и 2-го уровней автоматизации, производительностью 800 тыс. т в год предназначена для литья квадратных (100, 120, 125, 130 и 150 мм) и круглых заготовок диаметром 120, 130, 150, 160 и 180 мм открытой и закрытой струями. В ЭСПЦ отливаются круглые заготовки из 24-х марок сталей закрытой струей. Непрерывное литье круглых заготовок производится для углеродистых и легированных сталей, содержащих в жидкой стали более 0,007 % Al.

Из сталеразливочного ковша емкостью 120 т металл поступает в 24-тонный

дельтовидный промежуточный ковш. Футеровка промковша состоит из изоляционного слоя легковесного бетона, арматурного слоя высокоглиноземистого бетона, андалузитовых тиксотропных масс и рабочего слоя из магнезиальных торкретмасс. Стойкость бетонной футеровки промковша составляет 150 серий плавков.

Жидкая сталь разливается с защитой струи металла от вторичного окисления с применением системы «защитная огнеупорная труба»-«стопор-моноблок»-«стакан-дозатор»-«погружной стакан» для повышения качества поверхности и внутренней структуры заготовок. Данные конструктивные элементы изготовлены из корундоуглеродистых и специальных уплотнительных материалов. Седловая часть стаканов и наконечник стопора выполнены из периклазоуглеродистых материалов. Зона контакта погружного стакана со шлакообразующей смесью (ШОС) в кристаллизаторе выполнена из циркония. Ассимилирующая смесь, а затем теплоизолирующая присаживаются на зеркало металла с расходом 0,25-0,30 кг/т стали после наполнения металлом промковша.

Сталь из промковша разливали через стакан-дозатор диаметром 34 мм с погружным прямоточным стаканом под уровень металла в кристаллизаторе. Скорость движения охлаждающей воды в зазоре между гильзой и обечайкой кристаллизатора составляла 12-15 м/с при максимальном входном давлении 8 бар. Это обеспечивает перепад температуры воды на выходе 4-10 °С.

Многоконусный профиль гильзы кристаллизатора позволяет иметь постоянный контакт между корочкой заготовки и медной гильзой. Многоконусность обеспечивает равномерный теплоотвод по всей длине кристаллизатора и получение требуемой толщины корочки слитка.

Параметры качания кристаллизатора устанавливаются в зависимости от скорости разлива, чтобы исключить подвисяние корочки по периметру кристаллизатора и образование прорывов металла, глубоких меток на поверхности заготовки. Заданную скорость разлива поддерживают автоматически с помощью системы управления уровнем металла в кристаллизаторе.

МНЛЗ оснащена системой электромагнитного перемешивания (ЭМП) в кристаллизаторе при разливке стали закрытой струей для улучшения качества структуры металла и поверхности заготовки.

В зоне вторичного охлаждения (ЗВО), состоящей из 4-х независимых секторов общей длиной 8,5 м, заготовки охлаждаются распылением воды до температуры не более 1050 °С в конце ЗВО.

При освоении технологии производства на МНЛЗ круглых трубных заготовок отработаны следующие температурно-скоростные режимы и технологические параметры, определяющие разливаемость плавков и качество непрерывнолитых заготовок:

- технологическая схема разлива с установкой защитной трубы со специальным уплотнением на стакан-коллектор шибера сталеразливочного ковша до открытия шибера затвора и минимальная длительность разлива открытой струей 1,0-1,5 мин при смене ковшей по серии;

- схема разлива серий плавков: старт на 5, 6-ти ручьях в зависимости от диаметра заготовки; автостарт ручьев с оптимальной массой металла в промковше для стабильного начала разлива — 16-20 т с дифференцированием по ручьям;

- температурный режим разлива с перегревом металла в промковше над температурой ликвидуса 25-40 °С;

- скорость разлива заготовок 1,5-3,6 м/мин зависит от диаметра заготовки и температуры перегрева стали в промковше над температурой ликвидуса;

- амплитуда качания кристаллизатора составляет 7-11 мм, частота качания - до 230 кач/мин;

- режимы вторичного охлаждения заготовок с удельным расходом воды 1,15-1,40 л/кг стали; количество распыляемой воды в ЗВО определяется маркой стали и скоростью разлива при помощи специальных расчетных алгоритмов с регулировкой по секторам для минимизации повторного разогрева поверхности заготовки и образования внутренних трещин;

Новые методы и прогрессивные технологии литья

- режимы работы системы ЭМП жидкой стали в кристаллизаторе при величинах тока 280-380 А и частоте 6 Гц для улучшения качества поверхности и внутренней структуры заготовок;

- подбор и опробование оптимального состава ШОС для защиты мениска металла и смазки кристаллизатора;

- разливка серий плавов с одним или двухразовым изменением по ходу серии положения промковша с погружными стаканами по высоте зоны контакта с шлаковым поясом и зоны работы ЭМП для обеспечения стойкости погружных стаканов и серийности разливки 4-6 плавов.

Достигнута следующая серийность разливки: вакуумированные плавки – 3, 4 в серии; невакуумированные плавки – 4, 5 в серии.

В период с 2001 по 2006 гг. на МНЛЗ внедрили разливку 28 марок стали. Всего отлито 84625,0 т круглой заготовки, в том числе 26462,09 т (31,27 %) вакуумированной стали. Выход годного металла составил в среднем 95,46 %.

Предъявляемые требования к геометрическим размерам и качеству поверхности непрерывнолитых круглых заготовок приведены в табл. 3.

При отливке круглых заготовок на каждой плавке производили отбор темплетов, оценивали качество макроструктуры по ОСТу 14-1-235-91 (табл. 4) и содержание неметаллических включений по ГОСТу 1778, метод Ш6 - максимум по среднему баллу (табл. 5).

Таблица 3. Качественные показатели непрерывнолитой круглой заготовки

| Диаметр заготовки, мм | 120 | 150 | 180 |
|--|---|-----------|-----------|
| Длина заготовки, мм | 6000-12000 | | |
| Допускаемые отклонения по геометрическим размерам: | | | |
| по длине, мм | +50/-100 | | |
| по диаметру, мм | +2,5/-3,0 | +3,0/-3,0 | +3,0/-3,5 |
| овальность, % | 3 % | 3,5 % | 3,5 % |
| кривизна, мм | максимум 5 мм на метр длины, исключая торцевые участки длиной 150 мм | | |
| Косина реза, мм | не более 7 | | |
| Качество поверхности | заготовки поставляются в виде отливки без обработки поверхности; на поверхности литых заготовок нет поясов, следов от прорывов, трещин, видимых без применения увеличительных приборов | | |
| Состояние торцов | на торцах заготовок допускаются натеки окисленного металла, образующиеся при газовой резке на МНЛЗ; на торцах заготовок после огневого реза на МНЛЗ не допускаются следы усадочной раковины, видимые без применения увеличительных приборов | | |

Таблица 4. Макроструктура непрерывнолитой круглой заготовки

| Макроструктура в соответствии с ОСТом 14-1-235-91 по среднему баллу | Осевая (центральная) пористость | Осевая ликвация (химическая неоднородность) | Ликвационные полосы в промежуточной зоне | Осевые ликвационные полосы и трещины | Светлая полоса | Краевые точечные загрязнения |
|---|---------------------------------|---|--|--------------------------------------|----------------|------------------------------|
| Норма по спецификации | 3,0 | 3,0 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Фактический средний балл | 0,7-2,5 | 0,5-2,5 | 0-1,0 | 0-1,0 | 0 | 0-0,5 |

Таблица 5. Содержание неметаллических включений в непрерывнолитой круглой заготовке

| Требование ГОСТа 1778, метод Ш6 по среднему баллу максимум (на перекованном профиле диаметром 30 мм) | Сульфиды | Оксиды строчечные | Оксиды точечные | Силикаты хрупкие | Силикаты пластичные | Недеформированные |
|--|----------|-------------------|-----------------|------------------|---------------------|-------------------|
| Норма по спецификации | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Фактический средний балл | 0,5-1,0 | 0,5-2,0 | 0 | 0-2,5 | 0-0,8 | 0-2,5 |

Таблица 6. Механические свойства круглой заготовки*

| Требования нормативно-технической документации | Предел текучести, МПа | Предел прочности, МПа | Относительное удлинение, % | Относительное сужение, % | Ударная вязкость КСУ ⁺²⁰ , Дж/см ² |
|--|-----------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| диаметр 150 мм | | | | | |
| Норма (по спецификации) | min 215 | min 360 | min 35 | факультативное | факультативное |
| St 10 | 270-325 | 390-440 | 35-39 | 68-74 | 324-358 |
| Норма (ГОСТ 1050-88) | min 245 | min 410 | min 25 | min 55 | - |
| Сталь 20 | 310-340 | 450-490 | 26-33 | 57-66 | 144-216 |
| диаметр 180 мм | | | | | |
| Норма (ГОСТ 1050-88) | min 205 | min 330 | min 31 | min 55 | - |
| Сталь 10 | 260-320 | 405-435 | 33-44 | 66-76 | 306-361 |
| Норма (ГОСТ 1050-88) | min 245 | min 410 | min 25 | min 55 | - |
| Сталь 20 | 305-360 | 460-520 | 25-33 | 55-64 | 169-236 |

* образцы подвергались нормализации при температуре 920 +/- 20 °С; испытания на растяжение проводились по ГОСТу 1497; испытания на ударный изгиб - по ГОСТу 9454 при температуре +20 °С

По требованиям заказчиков проверяли механические свойства непрерывнолитого металла в соответствии с ГОСТом 1050-88 и требованиями спецификаций (табл. 6).

Из представленных в табл. 4-6 данных видно, что качество непрерывнолитой круглой заготовки соответствует требованиям нормативно-технической документации и спецификаций заказчика на поставку круглых заготовок, качественные характеристики готовых труб, прокатанных из непрерывнолитых заготовок, - требованиям потребителя.

Выводы

- Рассмотрены особенности технологии получения качественной непрерывнолитой круглой заготовки из низко-, среднеуглеродистых и низколегированных марок стали.

- Для улучшения качества поверхности, увеличения количества плавков в серии до 5 или 6, повышения выхода годного необходимо дальнейшее совершенствование технологии выплавки и разливки низкоуглеродистых марок стали в круглые заготовки с содержанием углерода 0,08-0,12 %.

- Для увеличения объема производства и расширения марочного сортамента непрерывнолитых заготовок планируется освоение нового оборудования для отливки круглой заготовки диаметром 130, 160 мм.

1. Бойченко М. С., Рутес В. С., Фультмахт В. В. Непрерывная разливка стали. - М.: Metallurgizdat, 1961. - 230 с.
2. Рутес В. С., Аскольдов В. И., Евтеев Д. П. Теория непрерывной разливки. - М.: Metallurgia, 1971. - 296 с.
3. Самойлович Ю. А. Кристаллизация слитка в электромагнитном поле. - М.: Metallurgia, 1986. - 188 с.
4. Раза Х. С., Касьян Г. И., Осипов В. Г. Освоение производства непрерывнолитой заготовки на высокоскоростной шестиручьевой МНЛЗ // Металл и литье Украины. - 2001. - № 5-6. - С. 19-21.
5. Gasyan G., Mints A., Belomery N., Fesenko C. Operating Conditions for the Lining of a Steel Ladle in a Ladle-Furnace Unit at the MMP ISTIL (Ukraine) Joint-Stock Co // [REFRACTORIES AND INDUSTRIAL CERAMICS](#). - 2004. - № 5. - С. 312.
6. Якобше Р. Я., Козлова З. Л., Кучаев А. А., Дубоделови В. И. др. Влияние интенсивности электромагнитного перемешивания стали в кристаллизаторе МНЛЗ на структуру непрерывнолитой заготовки // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2006. - № 2. - С. 19-22.

Поступила 26.05.2008

УДК 621.774.1:594.1

А. С. Нурадинов, Е. Д. Таранов, Ю. С. Коровико*

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Исследовано влияние низкочастотной вибрации на структуру литых заготовок углеродистой стали. Показано, что вибрационная обработка слитков из стали марки 60 вызывает измельчение дендритной структуры и микроструктуры, устраняет транскристаллизацию, создает благоприятное строение вторичных структур стали и повышает ее механические свойства.

Досліджено вплив низькочастотної вібрації на структуру литих заготовок вуглецевої сталі. Показано, що вібраційна обробка зливків із сталі марки 60 викликає подрібнення дендритної структури і микроструктури, усуває транскристалізацію, створює сприятливу будову вторинних структур сталі та підвищує її механічні властивості.

The influence of low - frequency vibration on the structure of the carbon steel ingots is explored. It is shown, that vibration treatment of castings made of steel grades 60 causes grinding of dendrite and microstructure size, eliminates transcrystallization, creates the favorable structure of the second transformations in steel and increases its mechanical qualities.

Ключевые слова: вибрация осевая вертикального типа, сталь, структура, свойства.

В работах [1, 2] при физическом моделировании на прозрачных средах (камфен) процессов кристаллизации и формирования структуры слитков под воздействием различных видов и параметров вибрации было установлено, что вибрация увеличивает темп кристаллизации и сокращает продолжительность затвердевания, диспергирует дендритную структуру при сокращении зоны столбчатых дендритов за счет обламывания и измельчения кристаллов, растущих на фронте кристаллизации, а также формирования неориентированных кристаллов в зоне кавитации сплава. Также было установлено, что наиболее эффективно влияние вибрации, ориентированной в вертикальной плоскости с частотой порядка 60-100 Гц и амплитудой 1,0-2,5 мм.