

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 621.746.5.047

Столяров А.М., Потапов И.М., Юдин Д.В.

КАЧЕСТВО НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО МЕТАЛЛА, РАЗЛИТОГО РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

Аннотация. В электросталеплавильном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» разливка стали производится на сортовых МНЛЗ двумя способами: закрытой и открытой струей. Расчетная суточная производительность машины при разливке открытой струей на 3,3–5,7% (отн.) выше, чем при разливке закрытой струей из-за возможности разливать металл более длинными сериями. Однако качество металла, отлитого открытой струей, ниже, чем при разливке закрытой струей. Целью данной работы является сравнение качества сортовой заготовки, отлитой разными способами. Арматурная сталь марки А500С, предназначенная для армирования железобетонных конструкций, изготовления фундаментных блоков, тяжелых арматурных сеток и каркасов, дорожного строительства, разливается как открытой, так и закрытой струей. В работе проанализирован массив производственных данных из 144 плавов. Металл 118 плавов (82%) был разлит открытой струей, а 26 плавов (18%) – закрытой струей. Сравнение качества макроструктуры сортовой заготовки сечением 150×150 мм, отлитой разными способами, показало, что все без исключения дефекты внутреннего строения при разливке открытой струей имеют большую степень развития, чем при разливке закрытой струей. Наибольшее различие (на 1,28 балла) характерно для краевых точечных загрязнений. Установлена возрастающая линейная зависимость степени развития данного дефекта от содержания серы в металле, разлитом открытой струей. Это свидетельствует о том, что при данном способе разливки существенный вклад в общую загрязненность металла вносят сульфидные и окисульфидные включения. Для снижения загрязненности стали включениями рекомендуется иметь в металле содержание серы менее 0,010 %.

Ключевые слова: сталь, сортовая МНЛЗ, способы разливки, непрерывнолитая заготовка, макроструктура, качество

В электросталеплавильном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» эксплуатируются две сортовые МНЛЗ фирмы «VAI» [1–3]. На пятиручьевых МНЛЗ радиального типа с радиусом изгиба 9 м в основном отливаются заготовки с размерами поперечного сечения 150×150 мм. Разливка стали из промежуточного ковша в кристаллизаторы производится двумя способами: закрытой и открытой струей.

В режиме разливки закрытой струей для регулирования подачи металла из промежуточного ковша в кристаллизаторы используются стопоры промежуточного ковша, представляющие собой корундографитовые моноблоки с нижней пробкой из периклазоуглеродистого материала. Жидкий металл поступает в кристаллизаторы под уровень через погружные стаканы с осевыми отверстиями. Стопоры подвергаются агрессивному воздействию жидкого металла и шлака и лимитируют продолжительность кампании промежуточного ковша и серийной разливки, не превышающей 6–8 плавов.

При разливке открытой струей в качестве дозирующих элементов металлической проводки промежуточного ковша применяются постоянные верхние и сменные нижние циркониевые стаканы. Регулирование подачи жидкого металла в кристаллизаторы осуществляется путем смены нижних стаканов, имеющих разный диаметр калиброванных отверстий. Смена этих стаканов осуществляется при помощи специаль-

ных механизмов быстрой замены (отстрела). Отсутствие стопоров позволяет увеличить длительность кампании промежуточного ковша до 30–35 часов и серийность разливки до 18–20 плавов за сутки.

В работе [4] приведены расчетные значения суточной производительности сортовой МНЛЗ при разливке металла разными способами. Установлено, что при разливке открытой струей суточная производительность машины на 3,3–5,7% (отн.) выше, чем при разливке закрытой струей из-за возможности разливать металл более длинными сериями. Однако отмечено, что качество металла, отлитого открытой струей ниже, чем при разливке закрытой струей.

Целью данной работы является сравнение качества сортовой заготовки, отлитой разными способами. Следует отметить, что открытой и закрытой струей может разливаться далеко не каждая марка стали.

Арматурная сталь марки А500С, предназначенная для армирования железобетонных конструкций (рис. 1), изготовления фундаментных блоков, тяжелых арматурных сеток и каркасов, дорожного строительства, разливается как открытой, так и закрытой струей.

В работе проанализирован массив производственных данных из 144 плавов. Металл 118 плавов (82%) был разлит открытой струей, а 26 плавов (18%) – закрытой струей.

Химический состав металла представлен в табл. 1.



Рис. 1. Вид арматуры

Таблица 1

Данные о среднем содержании химических элементов в стали, мас. %

Способ разливки	C	Si	Mn	S	P	N	Al
Открытой струей	0,19	0,19	0,64	0,013	0,009	0,008	0,002
Закрытой струей	0,19	0,21	0,70	0,010	0,009	0,008	0,012

Из табл. 1 видно, что металл при разных способах разливки имеет схожий химический состав, различающийся только содержанием алюминия. Это объясняется тем, что из-за опасности затягивания узких калиброванных отверстий сменных стаканов содержание алюминия в металле при разливке открытой струей должно быть не выше 0,006 %.

Данные о температурно-скоростном режиме разливки металла приведены в табл. 2.

Параметры температурно-скоростного режима при разливке разными способами отличаются незначительно.

Для общего массива данных получена линейная зависимость (рис. 2) скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора (v , м/мин) от величины перегрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус (Δt , °C):

$$v = 3,073 - 0,0224 \cdot \Delta t, \quad r = -0,5054.$$

Из сортовой заготовки каждой плавки был вырезан поперечный темплет. После необходимой подготовки производилась металлографическая оценка качества макроструктуры металла согласно ОСТ 14-4-73 по четырехбальным стандартным шкалам.

Усредненные результаты оценки представлены на рис. 3.

Таблица 2

Усредненные параметры режима

Способ разливки	Температура металла в промежуточном ковше, °C	Температура ликвидус, °C	Перегрев металла, °C	Скорость вытягивания заготовки, м/мин
Открытой струей	1545	1513	32	2,41
Закрытой струей	1545	1515	30	2,35

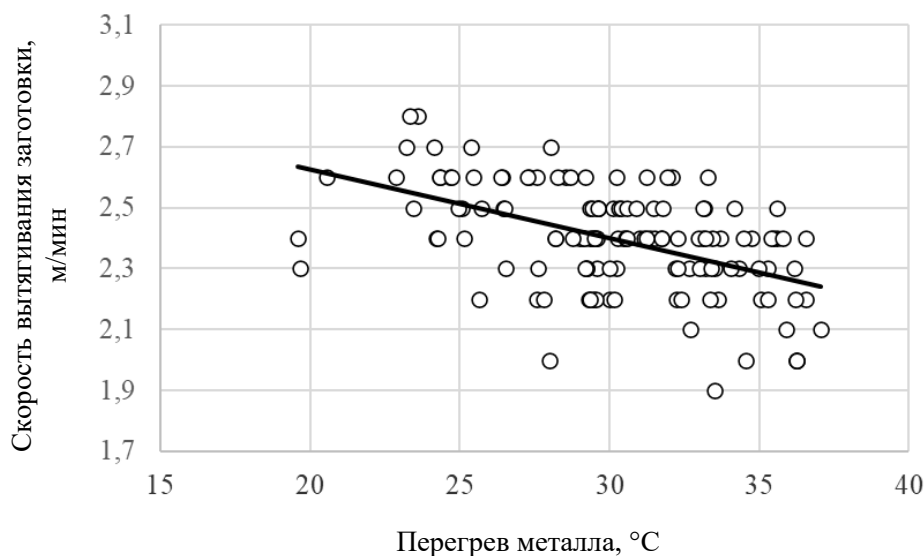


Рис. 2. Зависимость скорости вытягивания сортовой заготовки из кристаллизатора от перегрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус

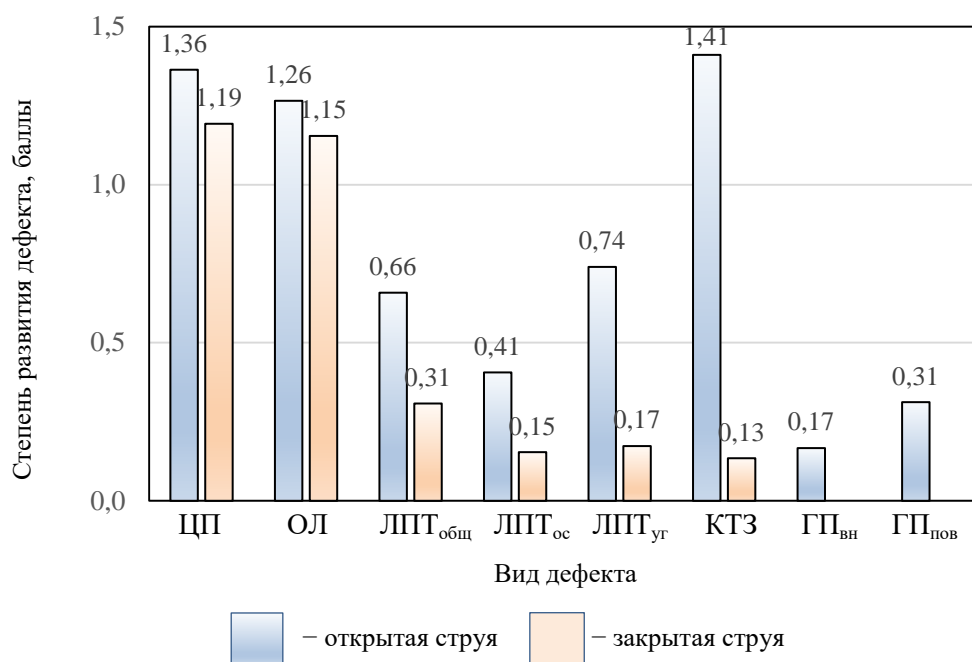


Рис. 3. Результаты оценки качества макроструктуры сортовой заготовки из стали марки 500С, отлитой разными способами:

ЦП – центральная пористость; ОЛ – осевая ликвация; ЛПТ_{общ}, ЛПТ_{ос}, ЛПТ_{уг}, – ликвационные полоски и трещины общие, осевые, угловые; КТЗ – краевые точечные загрязнения; ГП_{вн}, ГП_{пов} – газовые пузыри внутренние, поверхностные

Анализ полученных результатов показал, что все рассмотренные дефекты в металле, отлитом открытой струей, имеют большую степень развития, чем при разливке закрытой струей. Разница в значениях следующая: для центральной пористости – 0,17 балла; осевой ликвации – 0,11 балла; ликвационных полосок и трещин общих, осевых и угловых – 0,35, 0,26 и 0,57 балла соответственно; краевых точечных загрязнений – 1,28 балла; газовых пузырей внутренних и поверхностных – 0,17 и 0,31 балл. Наиболее серьезное различие наблюдается в краевых точечных загрязнениях.

Краевые точечные загрязнения – это скопления неметаллических включений, располагающиеся в виде рассеянных точек в верхней части поперечного сечения квадратной заготовки, отлитой на машине с изогнутой технологической осью. Дефект проявляется после глубокого травления металла и на серном отпечатке (рис. 4) [5–8].

Степень развития дефекта определяется размером и количеством расположенных в металле неметаллических включений. Краевые точечные загрязнения образуются вследствие фиксации продвигающимся фронтом кристаллизации всплывающих в лунке жидкого металла неметаллических включений.

В работе проведен корреляционно-регрессионный анализ влияния содержания различных химических элементов и параметров температурно-скоростного режима разливки стали открытой струей на степень развития краевых точечных загрязнений. Установлена возрастающая линейная зависимость загрязненности

металла неметаллическими включениями (КТЗ, баллы) от содержания серы в стали ([S], %):

$$КТЗ = 101,93 \cdot [S] + 0,122, \quad r = 0,5512.$$

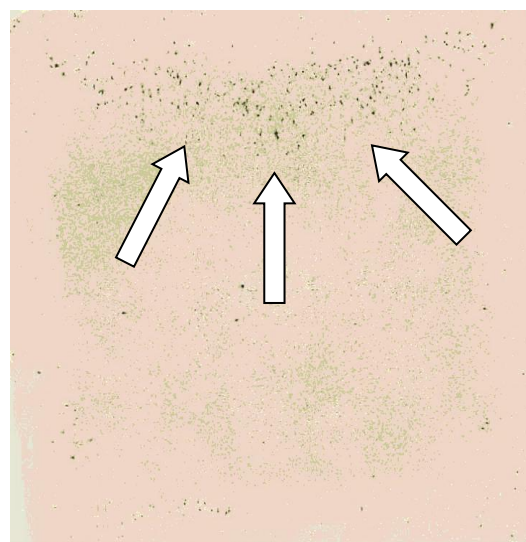


Рис. 4. Краевые точечные загрязнения (показаны стрелками) на серном отпечатке с поперечного темплетта сортовой заготовки

Данная зависимость статистически значима с вероятностью 99,9% ($r_{0,001}=0,3211$).

Графически она представлена на рис. 5 в виде столбчатой диаграммы.

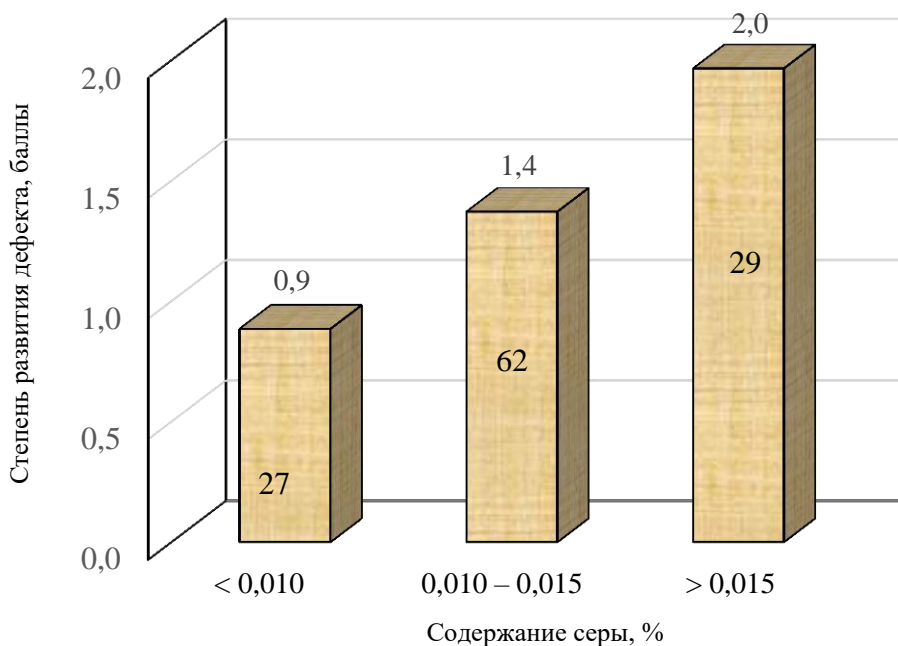


Рис. 5. Зависимость степени развития краевых точечных загрязнений в сортовой заготовке от содержания серы в металле при разливке открытой струей: цифры внутри столбиков – количество плавков

Из приведенных данных следует, что при увеличении содержания серы в металле на 0,005 % степень развития краевых точечных загрязнений возрастает в среднем на 0,5 балла. Следовательно, причиной этого является рост загрязненности металла сульфидными и окисульфидными неметаллическими включениями. Для снижения загрязненности стали включениями рекомендуется иметь в металле, разливаемом открытой струей, содержание серы менее 0,010 %.

Заключение

Сравнение качества макроструктуры сортовой заготовки сечением 150×150 мм из стали марки 500С, отлитой разными способами, показало, что все без исключения дефекты внутреннего строения при разливке открытой струей имеют большую степень развития, чем при разливке закрытой струей. Наибольшее различие (на 1,28 балла) характерно для краевых точечных загрязнений. Установлена возрастающая линейная зависимость загрязненности металла неметаллическими включениями от содержания серы в металле, разлитом открытой струей. Это свидетельствует о том, что существенный вклад в общую загрязненность металла при данном способе разливки вносят сульфидные и окисульфидные включения. Для снижения загрязненности стали включениями рекомендуется иметь в металле содержание серы менее 0,010%.

Список источников

1. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. *Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учебное*

пособие. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. 320 с.

2. Столяров А.М., Селиванов В.Н. *Непрерывная разливка стали. Машины непрерывного литья заготовок: учебное пособие.* Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. 192 с.
3. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / Сомнат Басу, А.М. Столяров, М.В. Потапова, С.В. Дидович // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.* 2014. №1 (45). С. 24 – 27.
4. Разливка на сортовой МНЛЗ арматурной стали разными способами / А.А. Миннигулов, А.М. Столяров, И.М. Потапов, Д.В. Юдин // *Технологии металлургии, машиностроения и материалообработки: сб. тр. по материалам национальной конференции / под ред. В.М. Колокольцева.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023. Вып. 22. С. 30-35.
5. Ботников С.А. *Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла.* Волгоград: Панорама, 2011. 97 с.
6. Мурапталова Р.Р., Столяров А.М., Потапова М.В. *Краевые точечные загрязнения сортовой непрерывнолитой заготовки // Теория и технология металлургического производства.* 2017. №4 (23). С. 23-25.
7. Изучение загрязненности неметаллическими включениями сортовой непрерывнолитой заготовки / А.М. Столяров, В.В. Мошкунов, М.В. Потапова, Р.Р. Мурапталова // *Теория и технология ме-*

таллургического производства. 2018. №1 (24). С. 14-20.

8. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / А.М.

Столяров, Сомнат Басу, М.В. Потапова, С.В. Дидович // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (45). С. 24 – 27.

Сведения об авторах

Столяров Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металлургии и химических технологий института металлургии, машиностроения и материалобработки, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: sam52.52@mail.ru

Потапов Иван Михайлович – бакалавр, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

Юдин Данил Владиславович – бакалавр, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

QUALITY OF CONTINUOUSLY CAST METAL Poured BY DIFFERENT METHODS

Stolyarov Alexander M. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Professor, Department of Metallurgy and Chemical Technologies, Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Material Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: sam52.52@mail.ru.

Potapov Ivan M. – Bachelor's degree, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Yudin Danil V. – Bachelor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. In the electric steelmaking shop of PJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works" steel casting is carried out on longitudinal CCMs by two methods: closed and open casting. Estimated daily productivity of the machine at casting by open jet is 3.3-5.7 % (relative) higher than at casting by closed jet because of the possibility to cast metal in longer series. However, the quality of metal cast by open jet is lower than that of closed jet casting. The purpose of this paper is to compare the quality of billets cast by different methods. Reinforcing steel of A500C grade, intended for reinforcing reinforced concrete structures, manufacturing of foundation blocks, heavy reinforcement meshes and frames, road construction, is cast by both open and closed jet casting. The paper analyzes an array of production data from 144 melts. Metal from 118 melts (82 %) was cast by open casting, and 26 melts (18 %) - by closed casting. A comparison of the macrostructure quality of a 150×150 mm section billet cast by different methods showed that all defects of internal structure without exception have a higher degree of development in open jet casting than in closed jet casting. The greatest difference (by 1.28 points) is characteristic for edge point contamination. An increasing linear dependence of the degree of development of this defect on the sulfur content in the metal poured by open jet was established. This indicates that at this method of casting a significant contribution to the total contamination of metal is made by sulfide and oxysulfide inclusions. To reduce the contamination of steel by inclusions, it is recommended to have a sulfur content of less than 0.010 % in the metal.

Keywords: steel, longitudinal CCM, casting methods, continuous cast billet, macrostructure, quality.

Ссылка на статью:

Столяров А.М., Потапов И.М., Юдин Д.В. Качество непрерывнолитого металла, разлитого разными способами // Теория и технология металлургического производства. 2024. №3(50). С. 4-8.
Stolyarov A.M., Potapov I.M., Yudin D.V. Quality of continuously cast metal poured by different methods. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2024, vol. 50, no. 3, pp. 4-8.