

*Е.А. Шевченко¹, А.М. Столяров¹, А.Н. Шаповалов²,
К.В. Баранчиков³*

¹Магнитогорский государственный технический университет

²Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Новотроицкий филиал

³ОАО «Уральская Сталь»

ИЗУЧЕНИЕ ИСКАЖЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛЯБА

Аннотация. В условиях ОАО «Уральская Сталь» профиль непрерывнолитого сляба сечением 270×1200 мм часто имеет искаженный вид вследствие выпуклости узких граней и вогнутости в приребровой зоне широких граней. Изучено влияние протяженности поддерживающей системы узких граней заготовки на параметры искажения профиля сляба. Установлены статистически значимые зависимости между параметрами искажения профиля заготовки. Предложен механизм деформации заготовки для условий существующей поддерживающей системы узких граней сляба под кристаллизатором. Рассмотрены мероприятия по предупреждению искажения профиля отливаемого сляба.

Ключевые слова: непрерывнолитой сляб, искажение профиля, выпуклость узких граней.

E.A. Shevchenko¹, A.M. Stolyarov¹, A.N. Shapovalov², K.V. Baranchikov³

¹Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov (Magnitogorsk, Russia)

²Novotroitsk branch of the National University of Science and Technology “MISIS”

³JSC “Ural Steel”

STUDY OF DISTORTION OF CROSS-SECTION CONTINUOUSLY CAST SLABS

Abstract. On the surface of the slab cross-section 270×1200 mm revealed the presence of bulge narrow faces and tightening wide faces in edge zone at JSC “Ural Steel”. The effect of the length of the supporting system of narrow faces blank on the parameters of distortion of the profile of the slab was viewed. A statistically significant correlation between the parameters of profile distortion of the workpiece was established. The deformation mechanism of the workpiece in the limited action of the supporting system below the mold was proposed. Measures to prevent distortion of the profile of the cast slab were considered.

Keywords: continuous casting slab, shape deterioration, bulge narrow faces.

E-MAIL: nfmisis-nis@yandex.ru

В электросталеплавильном цехе ОАО «Уральская Сталь» эксплуатируется слябовая машина непрерывно-го литья заготовок (МНЛЗ) фирмы SMS Demag. Данная машина криволинейного типа с вертикальным участком имеет базовый радиус 10,5 м. Высота сборного кристаллизатора равна 900 мм, а зона вторичного охлаждения состоит из 17 секций. На МНЛЗ преимущественно разливается сталь марок 09Г2С, 17Г1С-У, 10ХСНДА и класса прочности К52. Слябы шириной 1200 мм и толщиной 190 или 270 мм отливаются со средней скоростью 1,25 и 0,9 м/мин соответственно. Характерным дефектом непрерывнолитых слябов большей толщины является искажение поперечного сечения – профиля заготовки. С целью изучения этого дефекта было проведено специальное исследование качества отлитого металла.

В процессе исследования изучены 300 угловых темплетов, вырезанных из непрерывнолитых слябов сечением 270×1200 мм. При этом одна половина исследованных слябов была отлита с поддержкой уз-

ких граней только одним роликом, расположенным на раме под кристаллизатором, а другая половина – с удлиненной системой поддержки из четырех роликов. Результаты изучения качества металла показали, что подавляющее большинство всех исследованных заготовок – 95 % (отн.) имело искажение поперечного сечения. Профиль слябовой заготовки характеризовался наличием выпуклости узкой грани и вогнутости в приребровой зоне широкой грани. На рис. 1 показано характерное искажение профиля сляба сечением 270×1200 мм из стали 17Г1С-У с выпуклостью узкой грани величиной $h_{\text{вып}}$ и вогнутостью широкой грани шириной $B_{\text{вог}}$ от угла сляба и глубиной $h_{\text{вог}}$.

В таблице представлены данные по сравнению параметров, характеризующих искажение профиля слябов, отлитых с разной протяженностью поддержки узких граней заготовки.

Из приведенных данных видно, что увеличение протяженности поддерживающей системы узкой грани сля-

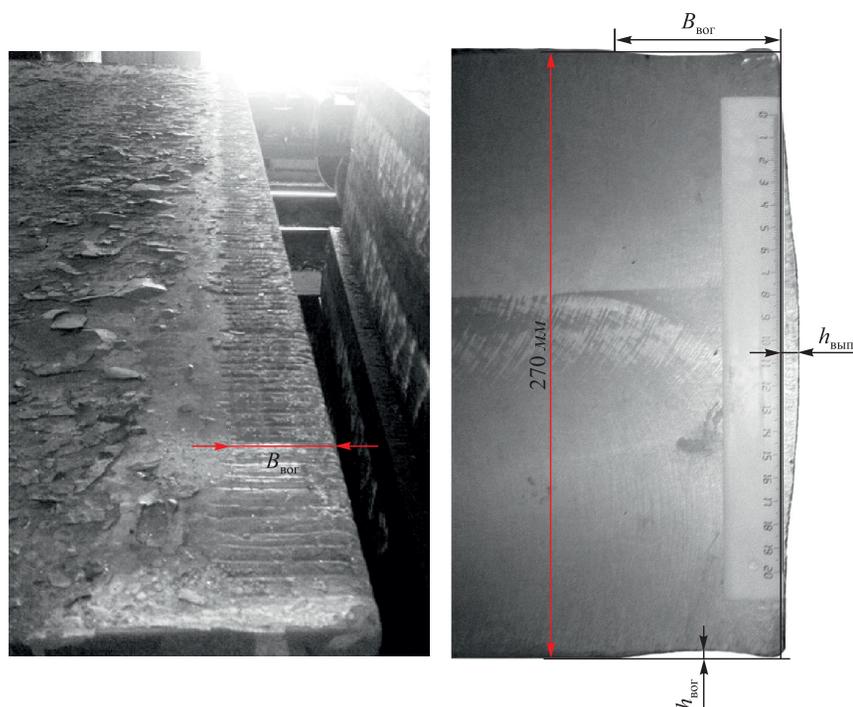


Рис. 1. Искажение профиля непрерывнолитого сляба сечением 270×1200 мм из стали 17Г1С-У

Результаты изучения качества металла угловых темплетов из слябов толщиной 270 мм, отлитых с короткой (один ролик) и удлиненной (четыре ролика) системой поддержки узких граней заготовки под кристаллизатором

Параметр	Система поддержки узких граней	
	короткая	удлиненная
Число изученных темплетов	150	150
Выпуклость узкой грани: среднее значение, мм дисперсия, мм ² критерий F критическое значение критерия $F_{0,05}$ критерий t критическое значение критерия $t_{0,05}$	10,6 2,32	5,8 2,14
	1,085 1,31 27,92 1,97	
Ширина вогнутости широкой грани: среднее значение, мм дисперсия, мм ² критерий F критическое значение критерия $F_{0,05}$ критерий t критическое значение критерия $t_{0,05}$	113,1 56,21	66,8 120,66
	2,14 1,31 43,14 1,97	
Глубина вогнутости широкой грани: среднее значение, мм дисперсия, мм ² критерий F критическое значение критерия $F_{0,05}$ критерий t критическое значение критерия $t_{0,05}$	2,8 0,156	1,1 0,177
	1,14 1,31 35,02 1,97	

ба под кристаллизатором с одного до четырех роликов привело к снижению средней величины выпуклости узкой грани с 10,6 до 5,8 мм. Соответственно снизились средние значения ширины зоны вогнутости приребровой части широкой грани с 113,1 до 66,8 мм, а также глубины вогнутости – с 2,8 до 1,1 мм. Существенное превышение расчетных значений критерия t над его критическим значением свидетельствует о статистически значимом различии между сравниваемыми выборками с вероятностью не менее 95 %. Однако в следствие удлинения поддерживающей системы узких граней заготовки под кристаллизатором полностью не удалось устранить искажение профиля сляба толщиной 270 мм.

В результате изучения угловых проб металла была установлена тесная взаимосвязь между величиной выпуклости узкой грани сляба и параметрами зоны вогнутости широкой грани заготовки. При увеличении выпуклости узкой грани непрерывнолитой заготовки возрастают как ширина, так и глубина зоны вогнутости в приребровой части широкой грани изученных слябов, отлитых как с короткой, так и с удлиненной системой поддержки узких граней под кристаллизатором (рис. 2).

Уравнения установленных прямолинейных зависимостей имеют следующий вид:

$$B_{\text{вог}} = 7,90h_{\text{вып}} + 25,11, \quad r = 0,895; \quad (1)$$

$$h_{\text{вог}} = 0,29h_{\text{вып}} - 0,46, \quad r = 0,910. \quad (2)$$

Высокие значения коэффициентов парной корреляции r , существенно превышающие критическую

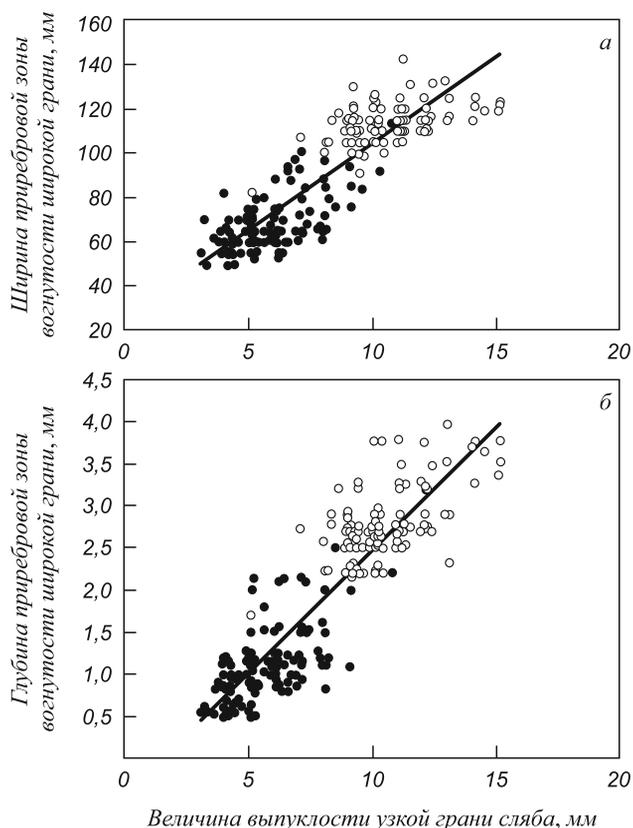


Рис. 2. Зависимость ширины и глубины приребровой зоны вогнутости широкой грани сляба толщиной 270 мм от выпуклости узкой грани заготовки, отлитой с короткой (светлые точки) и удлиненной (темные точки) системой поддержки узких граней сляба под кристаллизатором

величину $r_{0,001}$, равную 0,321, свидетельствуют об их статистической значимости с вероятностью 99,9 %.

Выявленная тесная взаимосвязь между величиной выпуклости узкой грани сляба и параметрами зоны вогнутости широкой грани заготовки позволяет предположить следующий механизм формирования искажения

профиля отливаемой заготовки. Очевидно, что главной причиной образования такого дефекта является недостаточная толщина корочки сляба толщиной 270 мм на выходе из поддерживающей системы кристаллизатора при используемом температурно-скоростном режиме разливки. Это подтверждается тем, что расчетная величина толщины корочки на выходе даже из удлиненной поддерживающей узкие грани системы при скорости вытягивания 0,9 м/мин составляет всего лишь 11,4 % толщины заготовки, что является явно недостаточным для сохранения профиля. Для сравнения, этот параметр при отливке сляба толщиной 190 мм на выходе из короткой поддерживающей системы, состоящей всего из одного ролика, при скорости вытягивания 1,25 м/мин составляет 13,7 % толщины заготовки, обеспечивая сохранность профиля сляба.

На рис. 3 показана схема профиля заготовки сечением 270×1200 мм на выходе из поддерживающей узкие грани системы под кристаллизатором с приложенными к заготовке внешними и внутренними силами.

Из-за недостаточной толщины корочки затвердевшего металла прочность затвердевшей оболочки узкой грани заготовки, характеризуемая силой F_k , оказывается меньше силы давления жидкого металла F_j . Это вызывает образование выпуклости узкой грани, которая уже не поддерживается роликами. При этом происходит разворот более охлажденных ребер заготовки, имеющих большую прочность и жесткость, с образованием вогнутости прилегающего участка металла широкой грани сляба с более высокими пластическими свойствами и температурой (рис. 4).

Ширина и глубина зоны вогнутости зависят от величины выпуклости узкой грани и механических свойств затвердевшего металла.

В ранее проведенном исследовании [1] было установлено, что увеличение выпуклости узких граней непрерывнолитого сляба толщиной 270 мм вызывает

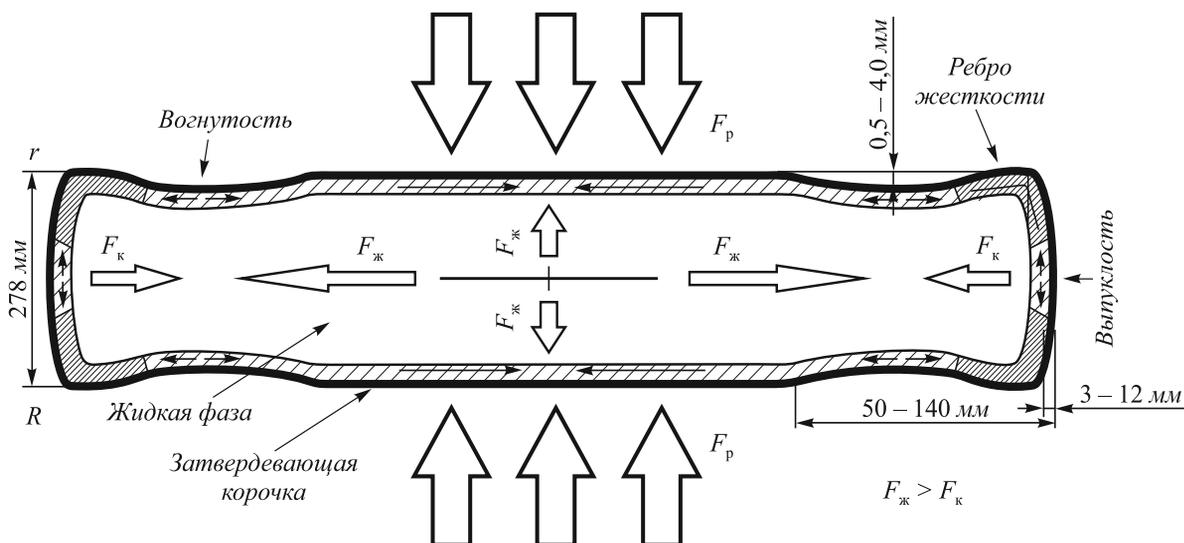


Рис. 3. Схема профиля заготовки сечением 270×1200 мм на выходе из системы, поддерживающей узкие грани

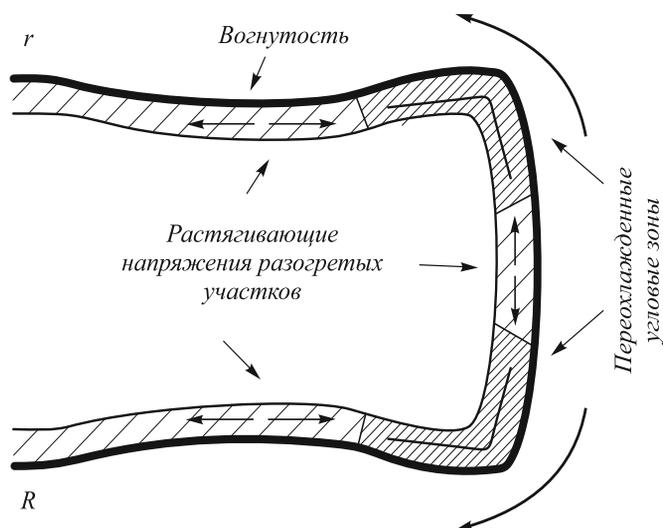


Рис. 4. Схема формирования зоны вогнутости приребровой части широких граней непрерывнолитого сляба

усиление степени развития таких внутренних дефектов заготовки, как осевая рыхлость, осевая химическая неоднородность, внутренние трещины и, как следствие, повышенную отсортировку горячекатаного листа по результатам ультразвукового контроля.

Вогнутость широких граней в приребровой зоне сляба, особенно по следам качания кристаллизатора, способствует зарождению микротрещин на поверхности отливаемой заготовки, которые ухудшают качество поверхности листового проката.

Основные мероприятия для предотвращения искажения профиля сляба сечением 270×1200 мм должны быть направлены на увеличение толщины корочки затвердевшего металла на выходе из поддерживающей системы узких граней заготовки и улучшение самой поддержки [2 – 6]. К таким мероприятиям относятся:

- снижение скорости вытягивания сляба из кристаллизатора;
- уменьшение температуры разливаемого металла;

- увеличение конусности узких стенок кристаллизатора;
- увеличение протяженности поддерживающей системы узких граней под кристаллизатором и др.

Следует отметить, что снижение средней скорости вытягивания сляба из кристаллизатора одноручевой МНЛЗ, являющееся наиболее действенным средством, нежелательно из-за уменьшения производительности как машины, так и всего цеха. Протяженность поддерживающей системы узких граней заготовки под кристаллизатором лимитируется расстоянием между кристаллизатором и нулевой секцией зоны вторичного охлаждения МНЛЗ, поэтому трудно реализуемо на эксплуатирующейся машине. Для предотвращения искажения профиля сляба сечением 270×1200 мм рекомендуется опробовать остальные предложенные мероприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2013. № 1 (41). С. 27 – 30.
2. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. // Наука и производство Урала: Межрегион. сб. научн. тр. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2013. Вып. 9. С. 57 – 61.
3. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. // Теория и технология металлургического производства: Межрегион. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 12. С. 68 – 74.
4. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. № 1. С. 38 – 41.
5. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. // Достижения и перспективы естественных и технических наук: Сб. науч. тр. II Междунар. научно-практич. конф. – Ставрополь: Логос, 2012. С. 90 – 95.
6. Шевченко Е.А., Столяров А.М., Шаповалов А.Н. // Технические науки – основа современной инновационной системы: Сб. науч. тр. II Междунар. научно-практич. конф. – Йошкар-Ола: Коллеквиум, 2013. С. 102 – 105.

© 2014 г. Е.А. Шевченко, А.М. Столяров,
А.Н. Шаповалов, К.В. Баранчиков
Поступила 8 ноября 2013 г.