



RS Global
Journals

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773
Tel: +48 226 0 227 03
Email: editorial_office@rsglobal.pl

| | |
|----------------------|--|
| JOURNAL | World Science |
| p-ISSN | 2413-1032 |
| e-ISSN | 2414-6404 |
| PUBLISHER | RS Global Sp. z O.O., Poland |
| ARTICLE TITLE | СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ХАРАКТЕРЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДОЙ КОРОЧКИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ |
| AUTHOR(S) | Смирнов Алексей Николаевич, Лысенко Татьяна Владимировна, Васильев Дмитрий Сергеевич |
| ARTICLE INFO | Lysenko Tetiana, Vasylyev Dmytro, Smirnov Oleksiy. (2021) Modern Concepts of the Nature of the Formation of a Hard Crust in the Mold of the Continuous Casting Machine. World Science. 3(64). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30032021/7514 |
| DOI | https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032021/7514 |
| RECEIVED | 25 January 2021 |
| ACCEPTED | 19 March 2021 |
| PUBLISHED | 24 March 2021 |
| LICENSE |  This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License . |

© The author(s) 2021. This publication is an open access article.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ХАРАКТЕРЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДОЙ КОРОЧКИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Смирнов Алексей Николаевич,

доктор технических наук, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАНУ, зав. отделом МГД, Украина, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

Лысенко Татьяна Владимировна,

д.т.н., профессор, зав. кафедры «Технологии и управления литейными процессами» Государственного университета «Одесская политехника», Украина, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3183-963X>

Васильев Дмитрий Сергеевич,

Аспирант, Государственного университета «Одесская политехника», Украина, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3660-1628>

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032021/7514

ARTICLE INFO

Received: 25 January 2021

Accepted: 19 March 2021

Published: 24 March 2021

KEYWORDS

Casting mold, crystallization, liner taper.

ABSTRACT

The nature of the formation of a hard crust in the mold is studied, taking into account the shrinkage of the workpiece during solidification. Comparison of the geometric shapes of the sleeves of the leading manufacturers from Germany, Italy, Japan. It is shown that defects in the billet crust originating in the mold cannot be corrected by subsequent cooling conditions. At the exit from the mold, the ingot crust must be of uniform thickness and withstand the ferrostatic pressure of liquid steel in order to prevent metal breakthroughs. This requires the organization of an intensive and continuous heat removal from the liquid steel to the cooling water in the crystallizer. The processes of heat removal from the surface of the solid crust of the workpiece through the walls of the mold liner are of decisive importance from the point of view of the dynamics of the growth of the solid phase and, as a consequence, the formation of surface and subsurface defects. To ensure high productivity and the required surface quality of the billet, leading companies strive to optimize the geometric shape of the mold sleeve, departing from classical designs.

Citation: Lysenko Tetiana, Vasylyev Dmytro, Smirnov Oleksiy. (2021) Modern Concepts of the Nature of the Formation of a Hard Crust in the Mold of the Continuous Casting Machine. *World Science*. 3(64). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30032021/7514

Copyright: © 2021 Lysenko Tetiana, Vasylyev Dmytro, Smirnov Oleksiy. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Введение. Кристаллизатор (рис.1) представляет собой один из наиболее важных узлов, определяющих рациональную работу МНЛЗ и оптимальное качество непрерывнолитой заготовки.

Кристаллизатор выполняет функцию приема жидкого металла, попадающего в него из промежуточного ковша, а также перевода части жидкой стали в твердое состояние посредством отвода тепла охлаждающей водой. При этом в кристаллизаторе происходит формообразование заготовки. В ходе пребывания металла в кристаллизаторе от НЛЗ отводится от 15% до 35% всего тепла [1, 2], которое аккумулировано металлом.



*Рис. 1. Гильзовый кристаллизатор сортовой МНЛЗ ОАО «ЕМЗ» (в сборе)
1 – стальной кожух; 2 – дроссельное устройство, для распределения смазки (масло) по граням гильзы; 3, 7 – нижняя и верхняя крышка кристаллизатора с уплотнениями; 4 – поддерживающие ролики; 5 – коллектора 1-й секции ЗВО; 6 – подводный воду патрубков*



*Рис. 2. Детали кристаллизатора (гильза с обечайкой в сборе)
1 – медная гильза; 2 – обечайка*

Усовершенствование конструкции кристаллизаторов охватывает методы оптимизации теплоотвода и управления однородностью толщины затвердевающей оболочки слитка, формирующейся в кристаллизаторе; предотвращения деформации гильзы кристаллизатора в процессе эксплуатации; увеличения срока службы гильзы; оперативное изменение сечения заготовки и пр.

Кристаллизатор представляет собой водоохлаждаемую проточную гильзу 1 (рисунок 2) и, следовательно, материал, из которого она изготавливается, должен быть теплопроводным. Поэтому для изготовления гильз используется медь, сплав меди с серебром или сплав меди с хромом и цирконием, которые обеспечивают высокую интенсивность отвода тепла от поверхности НЛЗ.

Все конструкции кристаллизаторов можно объединить в три большие группы: блочные, гильзовые и сборные. Все они в зависимости от формы технологической оси МНЛЗ могут быть прямолинейными и радиальными.

Блочные кристаллизаторы изготавливаются из цельнокатанных или литых медных блоков с толщиной стенок 150...175 мм. В стенках просверлены отверстия, по которым проходит охлаждающая вода. Кристаллизаторы такого типа характеризуются сравнительной долговечностью, отсутствие стыков между стенками обеспечивает достаточно высокую надежность их в работе. В то же время они дороги в изготовлении. В процессе эксплуатации в такой монолитной конструкции возникают термические напряжения, вызывающие деформации стенок и образование в них трещин (особенно по углам). Все в конечном итоге снижает производительность МНЛЗ и ухудшает качество НЛЗ. Ремонт таких кристаллизаторов затруднен. В настоящее время в массовых промышленных масштабах такие кристаллизаторы не применяются.

Гильзовые кристаллизаторы изготавливаются из цельнотянутых медных труб с толщиной стенки 10...20 мм. Из трубной заготовки различными методами обработки металла давлением получают деталь с заданным профилем поперечного сечения, называемую гильзой, которая и является внутренней рабочей стенкой кристаллизатора. Охлаждающая вода с высокой скоростью (свыше 12 м/с [2]) движется между корпусом и гильзой по зазору шириной 3...5 мм, обеспечивая интенсивный и равномерный отвод теплоты. Необходимо отметить, что коробление гильзы предотвращается также устройством ребер жесткости.

Гильзовые кристаллизаторы получили широкое распространение на МНЛЗ, отливающих сравнительно небольшие по сечению сортовые заготовки преимущественно квадратного сечения с максимальным размером сторон 180 – 200 мм, а также для отливки круглых, полых и других профилей. Большим достоинством таких кристаллизаторов является возможность достижения высоких скоростей разлива вследствие большой интенсивности теплоотвода через тонкие стенки гильзы, отсутствия стыков в рабочей поверхности стенки, которые часто являются причиной зависания слитка, небольшого расхода меди, легкой замены изношенных гильз, а также простота конструкции и сравнительно невысокая стоимость. Однако гильзовые кристаллизаторы не пригодны из-за недостаточной жесткости медных тонкостенных гильз для разлива прямоугольных и крупных квадратных сечений, а также практически не восстанавливаются при ремонтах.

Сборные кристаллизаторы изготавливаются из четырех отдельных медных плит, каждая из которых для большей жесткости крепится шпильками на отдельной стальной плите. В зависимости от толщины плит кристаллизаторы делятся на тонко- (15...25 мм) и толстостенные (50...100 мм). Собранные все вместе и стянутые по боковым граням болтами они образуют изложницу с медной рабочей поверхностью, расположенную в стальном корпусе. Для снятия температурных напряжений в плитах, вызывающих их деформации, и для предотвращения образования зазоров между стенками плит стягивающие болты снабжены пружинными компенсаторами.

Такие кристаллизаторы широко применяются для отливки прямоугольных листовых заготовок – слябов и крупных блюмов, так как высокая жесткость стен позволяет выдерживать без деформации очень большое ферростатическое давление.

Сборная конструкция по мере износа поверхности медных плит обеспечивает возможность неоднократных ее ремонтов путем прострожки и шлифовки рабочей поверхности плит с последующим их использованием, что дает большую экономию меди.

Характерной особенностью сборного кристаллизатора является возможность изменения ширины отливаемой заготовки. Это достигается перемещением узких стен вставленных между широкими, с помощью различных механических или электромеханических приводов.

При высоких скоростях разлива (свыше 3 м/мин) на современных сортовых МНЛЗ, рекомендуется применять кристаллизаторы длиной ≥ 900 мм. В мировой и отечественной практике при разливе сортовой заготовки наиболее стабильные результаты разлива получены на гильзовых кристаллизаторах длиной 1000 мм.

Определение закономерностей теплообмена между заготовкой и кристаллизатором в настоящий момент является актуальной задачей. Ее важность остается весьма высокой,

поскольку от условий теплообмена в кристаллизаторе зависит скорость вытяжки, качество поверхности и макроструктуры НЛЗ.

Результаты исследований. Следует отметить, что дефекты зарождающейся в кристаллизаторе корочки заготовки невозможно исправить последующими условиями охлаждения. На выходе из кристаллизатора корочка слитка должна быть равномерной толщины и выдерживать ферростатическое давление жидкой стали, чтобы предотвратить прорывы металла. Для этого требуется организация интенсивного и непрерывного теплоотвода от жидкой стали к охлаждающей воде в кристаллизаторе.

Теоретически, толщина корки НЛЗ зависит от времени пребывания слитка в гильзе кристаллизатора. Тем не менее, плотность теплового потока редко является однородной, и варьируется как в поперечном, так и в продольном направлениях. Процесс образования корки зависит от химического состава стали, перегрева металла, условий истечения металла в гильзе кристаллизатора, типа смазки, конструкции гильзы кристаллизатора.

Рост корочки заготовки определяется величиной теплоотвода в гильзе, происходящего по следующим этапам (рисунок 3):

- проводимость через корку слитка;
- проводимость через гарнисаж (при использовании ШОС) или смазку;
- проводимость и излучение через газовый зазор между коркой слитка и стенкой гильзы кристаллизатора;
- проводимость через стенку гильзы кристаллизатора и конвекция на поверхности раздела гильзы и охлаждающей воды.

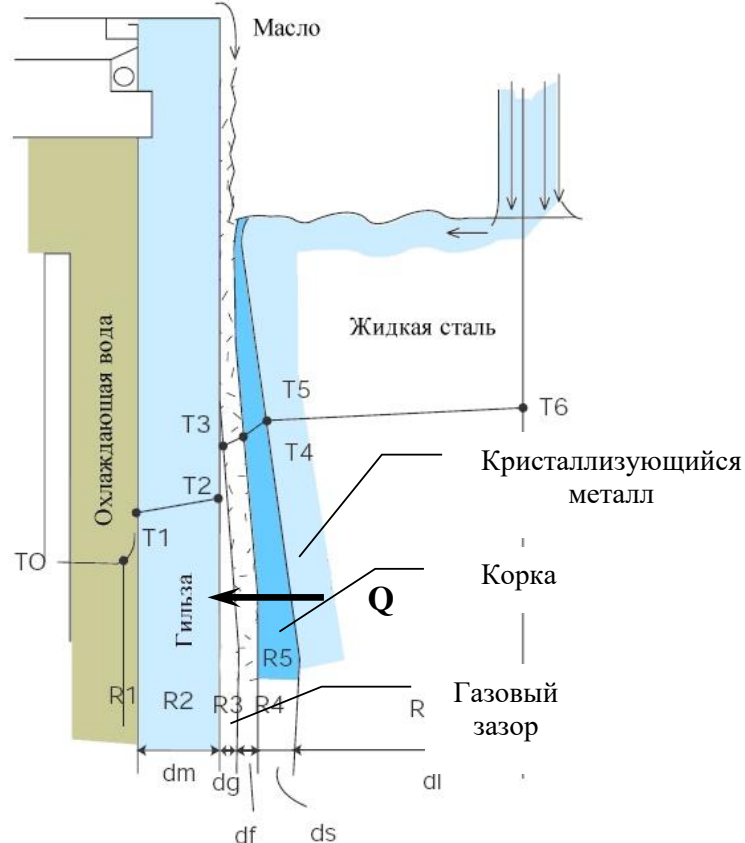


Рис. 3. Схема передачи тепла от кристаллизующейся стали к охлаждающей воде dm, dg, df, ds, dl – толщины стенки гильзы, газового зазора, слоя смазки, корки и жидкой стали соответственно; $R1, R2, R3, R4, R5$ – сопротивление тепловому потоку охлаждающей воды, стенки гильзы, газового зазора, смазки, корки, кристаллизующегося металла соответственно; $T0, T1, T2, T3, T4, T5, T6$ – температура охлаждающей воды ($30 - 35^\circ\text{C}$), стенки гильзы со стороны охлаждающей воды, стенки гильзы со стороны затвердевшей корки, смазки, поверхности затвердевшей корки, солидус, ликвидус соответственно; Q – тепловой поток

Каждый из вышеперечисленных этапов влечет за собой сопротивление тепловому потоку и росту корки НЛЗ.

Наибольшее сопротивление отводу тепла оказывают газовый зазор между коркой НЛЗ и стенкой гильзы (R3) – 35,5% и проводимость через твердую корку (R5) – 25,1% [3]. Таким образом, рост корки НЛЗ в кристаллизаторе зависит, прежде всего, от динамики образования газового зазора.

Газовый зазор формируется как результат комплексного взаимодействия двух факторов: усадки, возникающей по мере охлаждения корки, при которой сталь отходит от стенок гильзы кристаллизатора и ферростатического давления столба жидкого металла. Деформация (выпучивание) корки, в первую очередь, зависит от состава стали и температуры корки. Следовательно, величина зазора, толщины корки, а, значит, и теплового потока изменяются в зависимости от скорости разливки [4-7], химического состава стали, типа смазки (масло/ШОС), конусности и состояния гильзы кристаллизатора.

Воздушный зазор, прежде всего, образуется в углах слитка, где охлаждение является наиболее быстрым благодаря 2-х мерному тепловому потоку (рисунок 4).

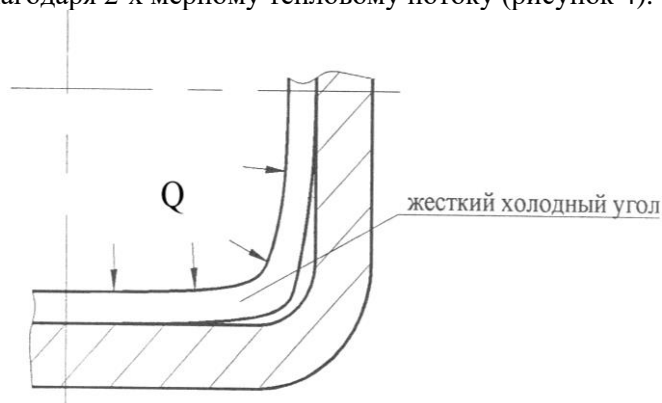


Рис. 4. Механизм образования газового зазора в углах заготовки при ее затвердевании в гильзе кристаллизатора

После формирования зазора перенос тепла по углам слитка снижается. По мере удаления участка слитка от мениска зазор распространяется от углов к середине граней, однако, величина зазора по граням является меньшей, чем по углам (что обусловливается выпучиванием корки под действием ферростатического давления).

Плотный контакт между корочкой слитка и стенкой гильзы наблюдается на участке, где ферростатическое давление больше усилий усадки. Неоднородный зазор приводит к соответствующей неравномерности в толщине корки и такому дефекту формы, как ромбичность.

Тепловой поток максимален в районе мениска металла в кристаллизаторе, где зазор между корочкой слитка и стенкой гильзы наименьший. Обычно максимальная температура стенки гильзы наблюдается на 150 – 250 мм ниже мениска металла в гильзе кристаллизатора [8]. При скоростях разливки 1,5 – 2,5 м/мин тепловой поток в зоне мениска составляет 2,5 – 3,5 МВт/м². Коэффициенты теплоотдачи от стенки к воде в диапазоне 25000 - 30000 Вт/(м²·°C) достигаются при скорости протекания воды 5 – 6 м/с [6, 7] и обеспечивают снятие тепловых потоков. При этом температура внутренней и наружной поверхности гильзы не превышает 260°C и 100 – 150°C соответственно [8] и находится ниже температуры рекристаллизации (350 – 375°C) медных сплавов, применяемых для изготовления гильз кристаллизаторов [9-12]. При увеличении скорости разливки до 3,5 – 5 м/мин тепловые потоки достигают величины 4 – 6 МВт/м² [13-15]. Значительный рост тепловых потоков на уровне мениска приводит к повышению температуры на внутренней поверхности гильзы в зоне мениска до 300 – 340°C, т.е. практически приближается к температуре рекристаллизации медных сплавов и может привести к образованию трещин в меди и короблению стенок гильзы.

Величина среднего теплового потока ($q_{cp.}$) в гильзе кристаллизатора может быть вычислена по следующей формуле:

$$q_{cp.} = \frac{F \cdot c \cdot \Delta T}{S}, \quad (1)$$

где $q_{cp.}$ – средний тепловой поток; F – расход воды на кристаллизатор; ΔT – перепад температуры воды на выходе и входе кристаллизатора; c – удельная теплоемкость воды; S – площадь поверхности контакта между НЛЗ и гильзой кристаллизатора.

Данный параметр позволяет сравнивать между собой гильзы кристаллизаторов различных конструкций и анализировать влияние переменных параметров процесса разливки стали на ход затвердевания корочки НЛЗ.

При увеличении скорости разливки общий тепловой поток повышается за счет более плотного контакта корочки слитка со стенками гильзы кристаллизатора. Однако ввиду меньшего времени нахождения слитка в гильзе кристаллизатора удельная величина теплоотвода уменьшается.

Необходимо отметить, что более 50% тепла отводится в верхней части гильзы кристаллизатора, нижняя часть, при этом, работает в большей степени как подпорка для корки НЛЗ. В работе [16] изучалось влияние газового зазора в нижней части кристаллизатора, выраженное через величину конусности стенок на плотность теплового потока (рисунок 5). С уменьшением зазора, т.е. увеличением конусности, плотность сначала линейно возрастает и достигает своего максимума при значении 0,8%. При дальнейшем увеличении конусности роста теплового потока не происходит. Это связано с тем, что при такой величине конусности газового зазора практически нет, и термическое сопротивление оболочки слитка является определяющим. Эта закономерность коррелируется с данными измерения температуры стенки и теплового потока по высоте гильзы [8, 12, 13-18]. Поэтому основные технологические изменения в конструкции гильз, обеспечивающие увеличение толщины оболочки и ее равномерность, проводят в верхней части гильз на расстоянии 50 – 350 мм от уровня мениска. Следует отметить, что некоторое увеличение толщины оболочки на выходе из кристаллизатора в высокоскоростных МНЛЗ достигается за счет увеличения длины гильзы до 900 – 1000 мм

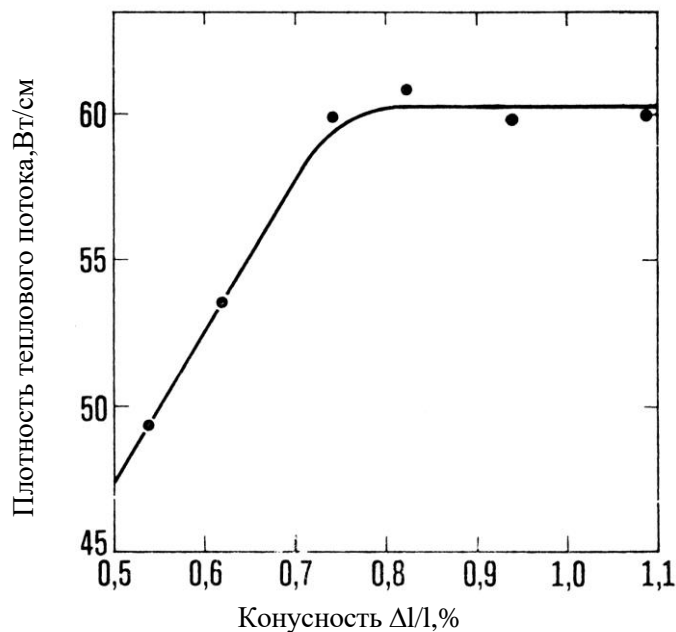


Рис. 5. Влияние конусности стенок гильзы кристаллизатора на плотность теплового потока [18].

Разливка стали при более высоких скоростях приводит к замедлению процессов затвердевания в гильзе кристаллизатора, сокращая толщину и прочность корки НЛЗ, особенно в углах (рисунок 6) и увеличивает вероятность прорывов металла под кристаллизатором.

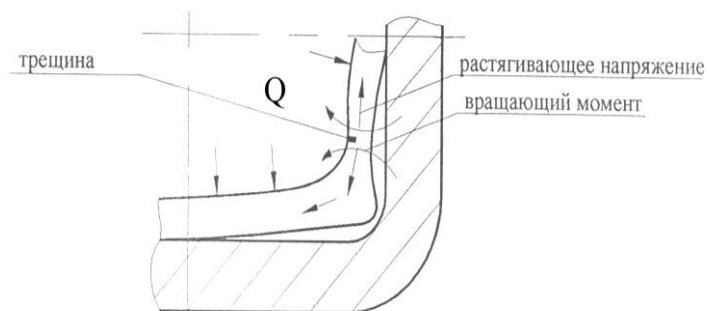


Рис. 6. Механизм образования трещины в углу НЛЗ при повышении скорости разливки

Толщина и профиль корки, в значительной степени, зависят от содержания углерода в стали и, таким образом от фазовой диаграммы. Для обычных процессов непрерывной разливки со смазкой гильзы кристаллизатора (открытая струя), максимальное волнообразное нарастание корки и минимальные скорости переноса тепла наблюдаются при содержании углерода около 0.10 % [19, 20]. Образование волнистой корки слитка происходит в результате напряжений, возникающих вследствие преобразования (трансформации) фазы δ в γ . При содержании углерода в 0.1 % сталь испытывает максимальное преобразование фазы δ в γ в твердом состоянии, по сравнению со сталями с более высоким содержанием углерода.

На высокоуглеродистых марках стали корка слитка в кристаллизаторе имеет более стабильную толщину и более гладкую поверхность.

Характерной особенностью является локальное утонение корки в угловых зонах поперечного сечения заготовки (ужимин). Корка НЛЗ низкоуглеродистых марок стали на выходе из кристаллизатора имеет локальные тонкие области, которые могут привести к прорывам металла.

Локальное утонение корки слитка, обусловленное этими переменными значениями, может привести к образованию поверхностных трещин или порывов.

Для того чтобы уменьшить размер газового зазора и увеличить теплоотвод от заготовки, при постоянных тенденциях увеличения скоростей разливки на современных сортовых МНЛЗ, гильзы кристаллизаторов выполняют с параболической многоступенчатой конусностью [8, 12 – 17].

Конусность гильз кристаллизаторов рассчитывается следующим образом [20]:

$$MT = [(W_1 - W_2) / W_1] / (100 / L), \quad (2)$$

где MT – конусность гильзы, %/м; W_1, W_2 – расстояние между стенками в верхней и нижней части гильзы соответственно, мм; L – длина конусного участка гильзы, м.

Расчет конусности гильз кристаллизаторов весьма важен для определения возможности отвода тепла от НЛЗ в гильзах с различной геометрией рабочей полости.

Необходимо отметить, что увеличение конусности способствует увеличению теплопередачи, поскольку улучшается контакт между коркой слитка и стенкой гильзы кристаллизатора. Однако чрезмерная конусность увеличивает сопротивление вытягиванию слитка, пики теплопередачи, а также ускоряет износ гильзы в ее нижней части [18].

По результатам опытно-промышленных опробований, основные типы конструкции геометрической формы (профиля) гильз кристаллизаторов можно классифицировать по следующим признакам: характер изменения конусности по граням и углам гильзы в вертикальной плоскости по ходу движения НЛЗ, геометрическая форма граней гильзы в поперечном сечении, величина конусности в нижней и верхней частях гильзы.

На рисунке 7 приведено сравнение геометрических профилей гильз фирм-производителей «Eurogora Metall» (Италия), «КМЕ» (Германия), «Shinko Metal Product» (Япония), «Абах» (КНР – Франция – Германия), SaarMetal (Германия) и АХК «ВНИИметмаш» (Россия), измеренных по середине граней для заготовки сечением 120×120 мм.

Обобщая приведенные данные, следует отметить, что геометрический профиль гильзы можно условно разбить на четыре участка:

I – участок, расположенный над уровнем мениска в гильзе протяженностью 100 – 150 мм в процессе литья (его профиль определяется, главным образом, технологией изготовления гильзы и, как правило, имеет повышенную конусность);

II – участок, расположенный непосредственно под мениском металла в гильзе и имеющий протяженность 150 – 250 мм (на этом участке происходит максимальный отвод тепла, а твердая корочка только начинает формироваться и легко поддается различного рода деформации);

III – участок протяженностью 300 – 350 мм, расположенный под участком *II* и обеспечивающий наращивание твердой корочки в заготовке по мере ее продвижения вниз (на этом участке, собственно, формируется геометрическая форма НЛЗ);

IV – нижняя часть гильзы протяженностью 250 – 300 мм (на этом участке происходит образование установившихся газовых зазоров между внутренней поверхностью гильзы и НЛЗ как по углам, так и по граням, что оказывает существенное влияние на условия затвердевания заготовки).

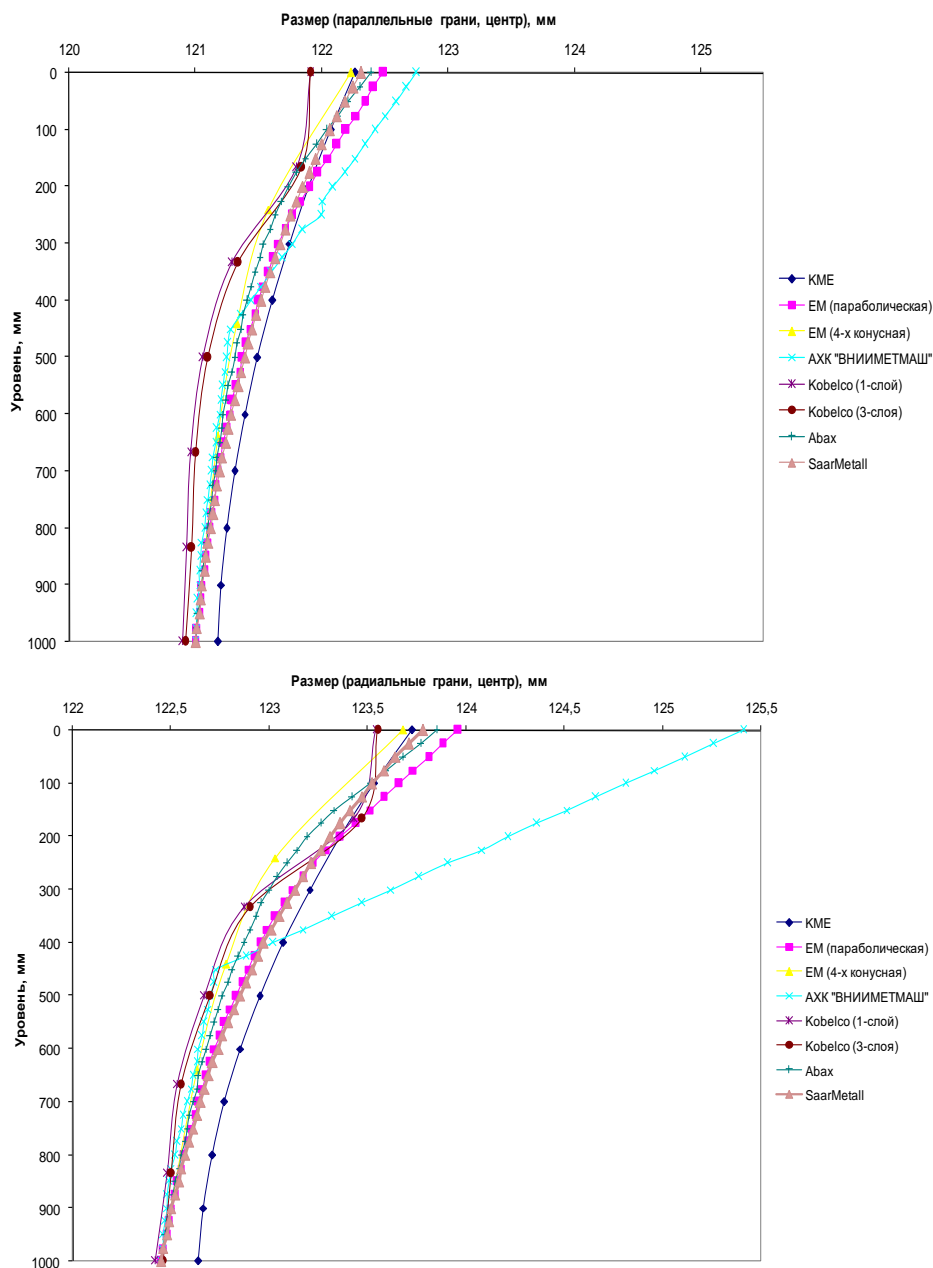


Рис. 7. Сравнение профилей гильз различных фирм-производителей

Выводы. Почти во всех исследованных нами конструкциях гильз участки II и III имели закон изменения конусности, который был близок к расчетным значениям, учитывающим усадку заготовки при затвердевании. Исключение составила трехконусная гильза конструкции «ВНИИметмаш», имеющая выпуклые грани на первом и втором участке, которые плавно переходят в плоскость на третьем участке. Незначительные отличия в конфигурации этих участков у различных фирм-производителей следует объяснять некоторыми отличиями в выборе базовых исходных параметров для расчетов, с одной стороны, и ограничениями в точности измерений профиля гильзы, с другой. Именно участки II и III могут рассматриваться как «параболические» (в отличие от прямолинейных двухконусных гильз традиционных конструкций). В зависимости от технологии изготовления гильз конусность на этих участках может меняться либо ступенчато, либо плавно (в соответствии с расчетной зависимостью).

Наибольшие различия в конфигурации гильзы в вертикальном сечении для различных производителей наблюдаются на IV участке. Это объясняется тем фактом, что именно на этом участке появляется высокая вероятность возникновения неравномерного воздушного зазора между заготовкой и гильзой кристаллизатора. Соответственно появление газового зазора тормозит рост твердой корочки, а при неравномерном газовом зазоре по граням и углам (что

представляется наиболее вероятным) может происходить деформация профиля заготовки, что приводит к развитию дефекта типа «ромбичность». Недостаточное охлаждение заготовки из-за появления газового зазора может также привести к подплавлению твердой корочки на выходе из кристаллизатора (в углах НЛЗ) и, как следствие, к прорыву жидкого металла.

Видимо, именно поэтому, ряд разработчиков и производителей гильз (например, «Eurora Metalli», «Абах») предпочитают иметь в нижней части гильзы повышенную конусность (превышающую расчетные значения, соответствующие параболе), которая как бы гарантирует контакт заготовки с поверхностью нижней части гильзы. Вместе с тем, как показывает опыт эксплуатации таких гильз, основной причиной их вывода из эксплуатации является сравнительно быстрый износ в нижней части, который начинается с истирания защитного износостойкого покрытия, а затем и непосредственно тела медной гильзы. При этом величина износа может составлять от 1,5 до 2,0 мм и существенно колеблется по периметру гильзы. Фактически такой износ нижней части гильзы создает благоприятные условия для формирования «ромбичности» в заготовке, поскольку износ гильзы в углах дает возможность деформироваться твердой корочке заготовки и занять под действием внутренних напряжений такое устойчивое положение, при котором два (или три) угла заготовки упрутся в соответствующие им углы гильзы. Уменьшение скорости износа нижней части гильзы удастся достигнуть только путем рационального подбора скорости вытягивания заготовки в зависимости от параметров литья (величина перегрева над температурой ликвидус, химический состав стали, условия и тип смазки, уровень мениска металла, положение промежуточного ковша над мениском металла). Однако следует полагать, что повышенная конусность гильзы в нижней ее части накладывает серьезные ограничения в плане повышения скорости литья и качества геометрической формы заготовки.

Нельзя не отметить, что большая часть разработчиков и производителей гильз придерживаются мнения, что в нижней части гильзы конусность должна быть меньше, чем рассчитанная в соответствии с усадкой заготовки. Этот подход как бы учитывает уменьшение степени усадки в сравнении с расчетными данными, что обеспечивает уменьшение скорости износа гильзы в нижней части даже в случае увеличения скорости вытягивания заготовки до максимально допустимых, а также устраняет возможность «утяжки» гильзы в нижней части, крышкой кристаллизатора при его сборке. Так, использование гильз с уменьшенной конусностью в нижней их части в условиях ОАО «Енакиевский металлургический завод» (на сечении заготовки 120×120 мм) позволило повысить среднюю стойкость гильз в среднем на 30-40% в сравнении с аналогичными гильзами с повышенной конусностью.

Таким образом, процессы отвода тепла от поверхности твердой корочки заготовки через стенки гильзы кристаллизатора имеют определяющее значение с точки зрения динамики нарастания твердой фазы и, как следствие, формирования поверхностных и подповерхностных дефектов. Для обеспечения высокой производительности МНЛЗ и требуемого качества поверхности заготовки, ведущие фирмы (производители МНЛЗ) стремятся к оптимизации геометрической формы гильзы кристаллизатора, отходя от классических конструкций. Благодаря этому для сортовых МНЛЗ достигнуто повышение скорости вытягивания НЛЗ в 1,2-1,5 раза. Видимо, усилия в области создания оптимальной геометрической формы гильзы кристаллизатора будут продолжаться, что позволит разливать сталь с еще большими скоростями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалимов А.Г. Высокоскоростная непрерывная отливка стальных заготовок / А.Г. Шалимов // Новости черной металлургии за рубежом. – М.: ОАО «Черметинформация». – 2003. – 28 с.
2. Гарште К. Инновации в производстве сортового проката и катанки / К. Гарште, Э. Вюстнер // Черные металлы. – 2004. – №6. – С. 38-44.
3. Степанов А.А. Технологические параметры разливки на высокоскоростной сортовой МНЛЗ ОАО «Северсталь» и их влияние на качество литой заготовки / А.А. Степанов, А.В. Зиборов, А.М. Ламухин и др. // Черная металлургия. ОАО «Черметинформация». – 2004. – №10. – С. 46-49.
4. Подкорытов А.Л. Освоение технологии непрерывной разливки открытой струей арматурных сталей 35ГС и 25Г2С / А.Л. Подкорытов, С.А. Ботников, И.С. Мурзин и др. // Сталь. – 2006. – №5. – С. 45-47.
5. Villoria R. High speed continuous casting of low carbon steel billets / R. Villoria, H. Stafforte, O. Sparapani e.a. // 79th Steelmaking Conference Proceedings, ISS. – Warrendale, PA: 1996. – P. 315-319.
6. Сарычев А.В. Производство сортовой непрерывнолитой заготовки из низкоуглеродистой «псевдокипящей» стали с плотной макроструктурой / А.В. Сарычев, А.М. Столяров, С.С. Масальский // Черная металлургия. ОАО «Черметинформация». – 2007. – №5. – С. 35-37.
7. Ротенберг А.М. Повышение конкурентоспособности сортовых МНЛЗ путем их модернизации / А.М. Ротенберг, И.Н. Шифрин, А.К. Белитченко и др. // Электрометаллургия. – 2003. – №3. – С. 41-46.

8. Касьян Г.И. Отливка заготовок круглого и квадратного сечения на МНЛЗ в электросталеплавильном цехе / Г.И. Касьян // *Электрометаллургия*. – 2006. – № 5 – С. 16-22. 47. Кан Ю.Е., Производство непрерывнолитых сортовых заготовок различного сечения / Ю.Е. Кан, А.В. Лейтес // *Сталь*. – 1991. – №1. – С. 25-29.
9. Глазков А.Я. Производство мелких непрерывнолитых заготовок / А.Я. Глазков, Б.Н. Моргалев, М.Г. Чигринов, В.В. Лобанов. – М.: *Металлургия*. – 1975. – 114 с.
10. Берти М. Способы повышения продолжительности работы МНЛЗ / М. Берти, Л. Питерс, Э. Перрен и др. // *Черные металлы*. – 2006. – № 5 – С. 21-26.
11. Смирнов А.Н. Современные сортовые МНЛЗ: перспективы развития технологии и оборудования / А.Н. Смирнов, А.Л. Подкорытов // *Металлургический компас*. 2009. – №12. – С. 18-25.
12. Смирнов А.Н. Модернизация высокопроизводительных сортовых МНЛЗ с целью повышения экспортного потенциала металлопродукции // А.Н. Смирнов, А.Л. Подкорытов, Д.Н. Турунов // *Труды XI конгресса сталеплавильщиков*. 3-8 октября 2010, г. Нижний Тагил. – М.: *Черметинформация*: 2011. – С. 452-457.
13. *World Steel in Figures 2010*. – Brussels: World Steel Association, 2010. – 27 p.
14. Либерман А.Л. Предпосылки организации производства непрерывнолитых заготовок малого сечения / А.Л. Либерман // *Электрометаллургия*. – 2007. – №9. – С. 17-22.
15. Минаев А.А. Повышение эффективности непрерывнолитой сортовой заготовки / А.А. Минаев, А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко и др. // *Металлы и литье Украины*. – 2001. – №5-6. – С. 22-25.
16. Ваганов Ю.А. Размещение машин непрерывного литья заготовок и установок внепечной обработки стали в действующих и вновь строящихся цехах / Ю.А. Ваганов, В.М. Колюпанов, В.В. Ряполов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. №8. – С. 20-22.
17. Смирнов А.Н. Развитие электрометаллургических мини-заводов в структуре сталеплавильного комплекса Украины / А.Н. Смирнов // *ОАО «Черметинформация»*. Бюл. *Черная металлургия*. – 2011. – №6. – С. 10-12.
18. Смирнов А.Н. Первый этап реконструкции МНЛЗ в ККЦ ОАО «Енакиевский металлургический завод» / А.Н. Смирнов, А.Л. Подкорытов, А.Ю. Оробцев, Ю.Н. Белобров, В.С. Плугатарь // *Сб. научн. тр. конф. «50 лет непрерывной разливки стали в Украине»*. – Донецк: изд-во «Ноулидж», – 2010. – С. 132-137.
19. Смирнов А.Н. Тенденции развития технологии и оборудования для непрерывной разливки стали / А.Н. Смирнов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – №4. – С. 14-19.
20. Исаев О.Б. Разработка и освоение различных схем производства сортового и профильного проката из непрерывнолитой слэбовой заготовки / О.Б. Исаев, А.В. Воробьев, О.В. Носоченко, Л.С. Лепихов, В.П. Крутиков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №8. – 2003. – С. 87-92.