

УДК 669.18-412

А.Н. Смирнов, В.Е. Ухин, А.Л. Подкорытов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗНОСА ГИЛЬЗ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СОРТОВЫХ МНЛЗ

Рассмотрены причины преждевременного снятия из эксплуатации и разрушения гильз кристаллизаторов высокоскоростных сортовых МНЛЗ. Предложена систематизация эксплуатационных дефектов и повреждений гильз.

Ключевые слова: кристаллизатор, дефект покрытия, трещина, износ, деформация, стойкость, внутренний профиль, конусность

### Введение

Основной тенденцией развития техники и технологии непрерывного литья сортовой заготовки является стремление повысить производительность как новых, так и уже существующих МНЛЗ, за счет увеличения скорости разливки стали при условии обеспечения высоких кондиций твердой заготовки, соответствующих требованиям ведущих международных систем стандартов качества. [1] Повышение скорости разливки интенсифицирует тепловой поток и увеличивает деформацию профиля гильзы. В этих условиях не только ускоряются процессы износа, но и могут проявляться дефекты изготовления гильзы, нанесения покрытия, которые не обнаруживаются при более низких скоростях разливки.

В настоящее время на металлургических предприятиях Украины накоплен большой объем экспериментального материала по эксплуатации кристаллизаторов МНЛЗ. Но в большинстве случаев эти данные, необходимые для увеличения стойкости кристаллизаторов и повышения качества получаемой на предприятии продукции, не анализируются и не обобщаются.

В статье исследована повреждаемость гильз кристаллизаторов сортовой МНЛЗ при литье в промышленных условиях заготовок «квадрат 100 – квадрат 150 мм». Большинство параметров непрерывного литья (марка стали, температура разливки, расход охлаждающей воды и пр.) изменялись во всех исследованных плавках незначительно. Скорость разливки для гильз сечением «квадрат 120 мм» составляла не менее 3,7 м/мин, в отдельных плавках была 4,5 и более м/мин.

Опробовано несколько типов гильз кристаллизаторов с различной геометрией рабочей полости. По форме профиля гильзы разделили на три группы:

- 1) гильзы с многоступенчатой параболической конусностью производства фирм «КМЕ» и «ЕМ»;

- 2) гильзы производства АХК «ВНИИМЕТМАШ», в которых компенсация усадки выпуклой затвердевающей корочки производится путем ее постепенного выпрямления;
- 3) гильзы производства фирмы «Kobelco» с усовершенствованной параболической конусностью (тип профиля – «e-mould»), позволяющей минимизировать величину газового зазора между непрерывно-литой заготовкой и стенкой гильзы [2].

Некоторые технологические характеристики исследованных гильз приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные характеристики гильз

Фирма – производитель гильзы	Технические характеристики гильз				
	Материал	Конусность	Тип и толщина покрытия, мкм	Конусность, (%/м)	
				Рад. гр.	Пар. гр.
«КМЕ», Германия	Cu – Ag	параболическая	Cr (120)	0,87	0,88
«ЕМ», Италия	Cu – Ag	4-х конусная	Cr (120)	0,99	1,0
«ВНИИМЕТМАШ», Россия	Cu DHP	3-х конусная	Cr (120 – 160)	2,36	1,42
«Kobelco», Япония	Cu – Ag	параболическая (e-mould)	Cr (70)	0,89	0,88
«Kobelco», Япония	Cu – Ag	параболическая (e-mould)	Ni+P – Co – Cr (70)	0,89	0,88

Все гильзы, указанные в таблице, имели длину 1000 мм, при этом их эффективная длина составляла 876 мм, базовый радиус МНЛЗ – 7 м. Все гильзы были сняты из-за появления дефектов, делающих не возможной ее дальнейшую нормальную эксплуатацию. Различия в конструкции, геометрии гильз, значительные различия в стойкости позволили проследить динамику повреждаемости гильз и получить данные о различных видах повреждений кристаллизаторов.

Стойкость исследованных гильз изменялась в широких пределах (табл.2). Установлено, что в гильзах отработавших более 20-30 плавов начинают проявляться дефекты покрытия, которые располагаются несколько зоне, расположенной ниже мениска, температура которой, а соответственно и термические напряжения и деформации максимальны. Общий вид поверхности такой гильзы, отобранной после эксплуатации, приведен на рис.1.

Таблица 2 – Стойкость исследованных гильз

Фирма – производитель гильз (количество, шт.)	Стойкость гильз, плавков, средняя (минимум – максимум)
«КМЕ», Германия (12)	215 (16 – 351)
«ЕМ», Италия (23)	220 (97 – 460)
«ВНИИМЕТМАШ», Россия (32)	210 (61 – 420)
«Kobelco», Япония, однослойное покрытие (22)	270 (48 – 540)
«Kobelco», Япония, многослойное покрытие (6)	670 (519 – 909)

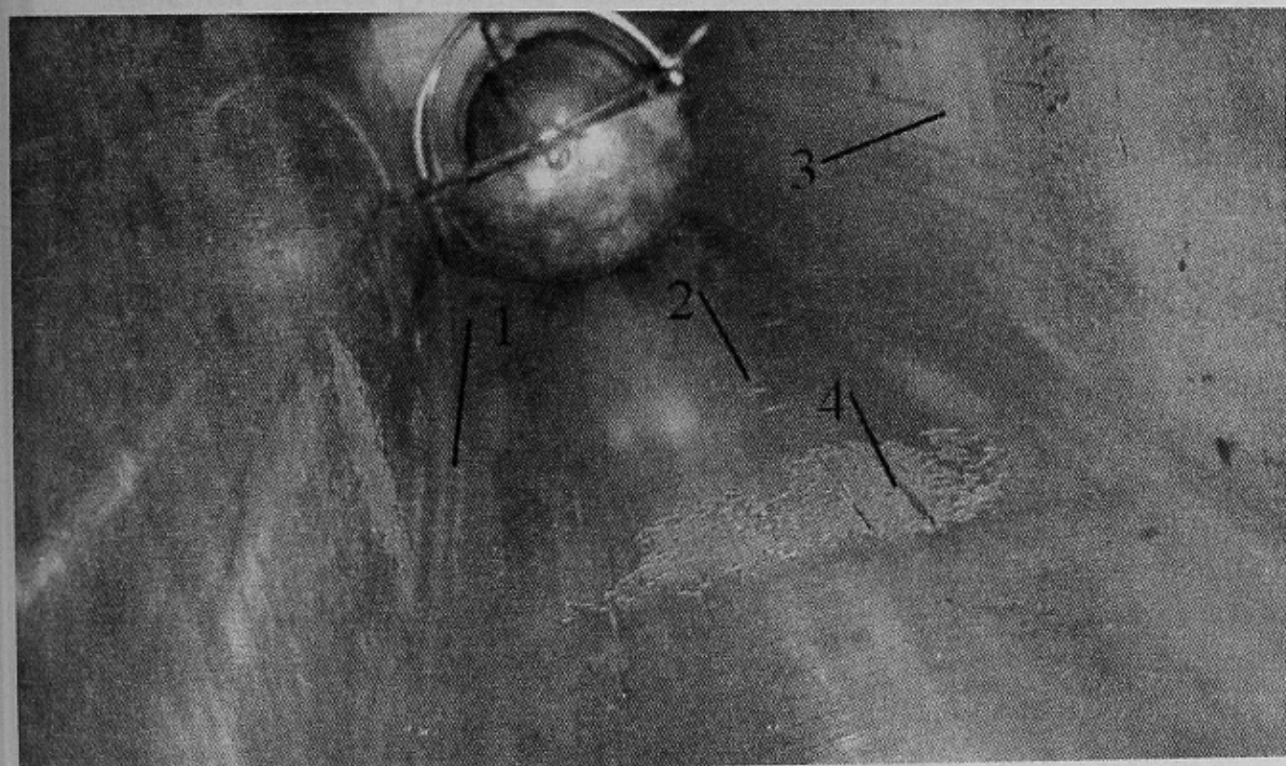


Рисунок 1 – Виды разрушения покрытия гильз кристаллизатора

На рис.1 изображена поверхность гильзы кристаллизатора на участке немного ниже мениска. Практика работы кристаллизаторов показывает, что некоторые исследованные гильзы производства АХК «ВНИИМЕТМАШ» (Россия) имели низкую стойкость и выходили из строя по причине интенсивного разрушения защитного покрытия.

Эта гильза была изъята из эксплуатации из-за интенсивного разрушения покрытия – раковин в зоне ниже мениска и показала значительно меньшую стойкость по сравнению с ожидаемой (планируемая стойкость 87 плавков). Для гильз производства фирмы КМЕ отмечена такая же самая

причина выхода из строя, но они показали несколько большую стойкость – приблизительно 119 плавов. В целом поверхность гильзы блестящая и не окислена, но хромовое покрытие имеет явные повреждения. Можно выделить несколько типичных дефектов, которые в той или другой степени проявляются на всех гильзах из опытной партии.

В процессе формирования заготовки в кристаллизаторе МНЛЗ в его углах корочка нарастает быстрее и раньше становится более прочной и твердой, чем у грани, вследствие двухмерного теплового потока, что является причиной интенсивного износа гильзы в углах на первых этапах затвердевания (рис.1 поз.1)

Примерно на уровне мениска и несколько ниже его сформировался ряд коротких трещин в покрытии. Видны две систем Установлено два типа таких трещин: в первой (рис.1 поз. 2) трещины идут по образующей стенки гильзы, во второй (рис.1 поз. 3) – по длине гильзы. Эти трещины отличаются характером развития, но наиболее вероятной причиной их появления можно считать термические деформации стенки, величина которых различна в продольном и поперечном направлениях.

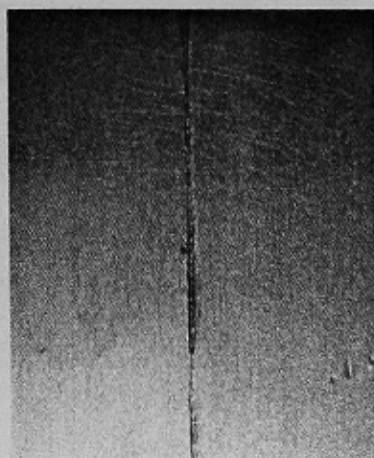
Также на поверхности покрытия возникают достаточно протяженные (диаметром около 50 – 60 мм) участки разрушения (рис.1, поз. 4) и полосы каплевидных раковин (длиной от 5 до 10 мм, глубиной от 1 до 2 мм), вытянутые по ходу движения заготовки.

Аналогичные участки, но в меньшем количестве, наблюдали также и в гильзах производства КМЕ. В этих зонах покрытие гильзы постепенно утоньшается постепенно (рис.2,а), границы этих зон эрозии сглаженные, и на дальних стадиях разрушения большая часть покрытия обнажается до медной основы, но в отдельных местах фрагментарно сохраняется. С учетом постепенного характера развития, эти участки можно трактовать как зоны эрозионного разрушения.

С участками эрозионного разрушения связаны глубокие риски, которые, как видно из рис.2,а, проходят глубоко через покрытие и основной материал гильзы. Они возникали в районе подвода струи и распространялись вниз по ходу движения заготовки. Возможная причина их появления – застывшие капли стали на поверхности заготовки, которые оказывают абразивное воздействие на внутреннюю поверхность гильзы [3]. При низкой прочности сцепления покрытия и меди абразивные частицы прорезают покрытие, вызывая в нем сколы, а при выходе на прочное покрытие частица отваливается или истирается и риска быстро исчезает, так как твердость хрома заметно выше твердости стали. Если такая частица сразу попадает на качественное покрытие, при ее движении создаются последовательные зоны растяжения – сжатия, но хрупкого разрушения покрытия не происходит (рис.2, б).



а



б

Рисунок 2 – Разрушение покрытия в участках эрозии (а) и абразивного действия поверхности заготовки (б)

Явления износа (угловой, нижних граней) были выражены только при высокой стойкости гильзы. На рисунке 3 приведена поверхность многослойной гильзы производства фирмы «Kobelco», стойкость 780 плавов, с равномерным износом угловых областей. Износ на гранях не наблюдался.

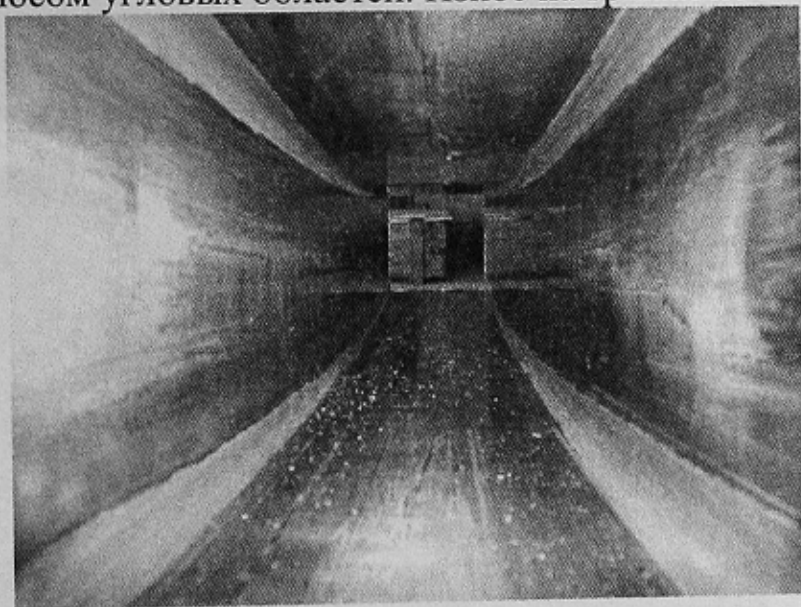
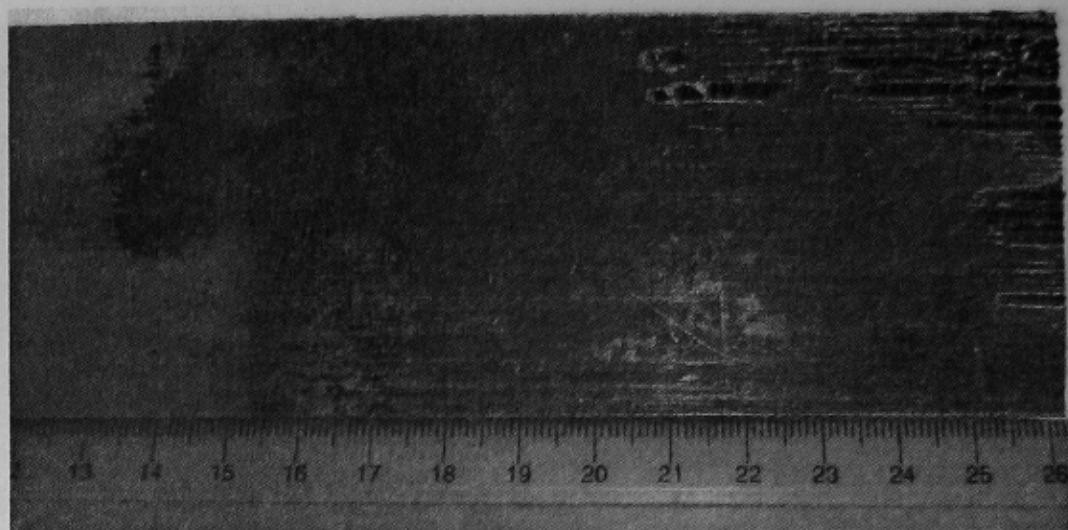


Рисунок 3 – Разрушение покрытия в многослойной гильзе при ее высокой стойкости

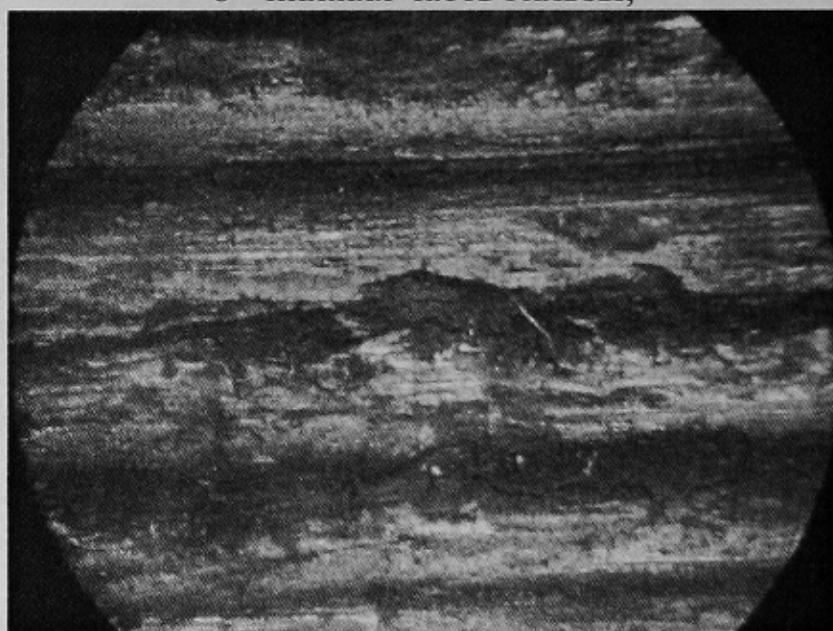
Осмотр поверхности большого количества гильз показал, что основным видом разрушения, встречающегося наиболее часто, является абразивный износ части покрытия (рис.4). При этом в верхней части гильзы (в районе мениска) происходит интенсивное окисление материала покрытия, что объясняется достаточно высокой температурой нагрева и агрессивным влиянием среды. В этой области видны глубокие риски, которые проходят сквозь все покрытие к медной основе. Форма рисок и характер их развития свидетельствует о том, что основные причины их возникновения связаны с трением заготовки о гильзу.



а - район мениска;



б - нижняя часть гильзы;



в – нижняя часть гильзы, увеличение x50;

Рисунок 4 – Износ рабочей поверхности кристаллизатора

В процессе литья на этом участке образуются капли жидкого металла, которые привариваются к поверхности хромового покрытия. Это приводит к появлению так называемых адгезионных мостиков сварки [3]. Процесс адгезионной сварки усиливается из-за давления стали на застывшую каплю.

Далее заготовка постепенно протягивается вниз и приварившийся участок отрывается с образованием язв на покрытии. Высокая температура в этой зоне приводит к тому, что процесс «сварка-отрыв» может повторяться несколько раз, пока на поверхности не образуется достаточно большой и крепкий выступ. Это вызывает последующий абразивный износ.

В нижней части гильзы участков сварки в виде ямок не наблюдали. Здесь, как показано на рис.4, преобладает интенсивный абразивный износ. Риски имеют длину 50-100 мм, достаточно глубоки, однако скалывания хромового покрытия между ними не наблюдали (эта гильза выдержала около 200 плавов).

При увеличении зоны износа в 50 раз показано, что поверхность трения достаточно ровная из-за абразивного действия корки, хотя на поверхности риск в некоторых местах наблюдаются участки, забитые окалиной, и частично похожие на зону сварки (поверхность образца предварительно промывали спиртом).

Также видна тонкая медная стружка - это подтверждает возможность попадания стружки меди в поверхность заготовки. [4].

На основании выполненных исследований дефекты, связанные с разрушением покрытия гильз кристаллизаторов сортовых МНЛЗ можно разделить на две группы:

- не прогнозируемые, вызванные нарушениями при изготовлении гильзы, а также не соблюдением технологии разлива стали (изменение скорости литья), которые возникающие в любой период работы МНЛЗ, резко снижая срок службы кристаллизатора;
- прогнозируемые - накапливающиеся постепенно в процессе эксплуатации, вызывая постепенное ухудшение эксплуатационных свойств, и при которых гильза показывает высокую стойкость.

### **Выводы**

Установлено, что разлива стали со скоростями, превышающими номинальные значения, приводит к усиленному взаимодействию затвердевшей корочки с поверхностью гильзы вследствие несоответствия размеров ее внутренней полости величине усадки заготовки, что ведет к деформации гильзы и ускоряет отслоение покрытия, а, следовательно, интенсифицирует износ кристаллизатора. Дальнейшее использование такого кристаллизатора при номинальных скоростях литья может привести к образованию дефектов геометрической формы заготовки из-за ее неравномерного контакта с гильзой, что может стать причиной прорыва металла под кристаллизатором.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов А.Н. Физическое моделирование условий формирования непрерывнолитой сортовой заготовки в кристаллизаторе высокоскоростной МНЛЗ / А.Н. Смирнов, В.Е. Ухин, Е.Ю. Жибоедов // Процессы литья. – 2009. - №1. – С. 33-42.
2. Noblot, Alain Application of diamond high-speed casting technology at ispat unimetal / Alain Noblot, Pierre Sutter, Franz Wimmer, Klaus Frauenhuber, Lawrence Gould // MPT Int.– 2001, V. 24, № 1.- P. 66-68, 70.
3. Попов, В.Л. Анализ механизмов формирования поверхностных слоев при трении / В.Л. Попов, А.В. Колубаев // Трение и износ. - 1997.– Т. 18. - С. 818-826.
4. Физическая модель образования поверхностных трещин в слябах / А.В. Куклев, В.В. Соснин, В.В. Виноградов, В.А. Поздняков // Сталь. – 2004. - № 11.– С.95 - 98.

Поступила в редакцию 19.10.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. Н.А.Маняк

© Смирнов А.Н., Ухин В.Е., Подкорытов А.Л., 2010

УДК 669.187.2

**П.И. Тищенко, С.Н. Тимошенко, С.Ю. Пасечник,  
А.П. Тищенко, А.Ю. Пасечник**

### **ПОДОВЫЙ ЭЛЕКТРОД С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ДЛЯ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Представлен подовый электрод стержневого типа, в котором используется алюминий в качестве промежуточного жидкометаллического теплоносителя. Полость с теплоносителем выполнена переменного по высоте электрода сечения, что обеспечивает электровихревое течение теплоносителя и повышает эффективность переноса тепла от ванны жидкой стали к воде.

Ключевые слова: подовый электрод, жидкий теплоноситель, электровихревое течение

#### **Проблема и ее связь с научной и технической задачей**

Дуговые сталеплавильные печи постоянного тока (ДСППТ) в силу ряда технико-экономических преимуществ [1] перед печами переменного тока получили заметное распространение как в машиностроительном комплексе для производства высококачественных сталей и сплавов, так и в «большой» металлургии [2] при производстве полупродукта. Подовый электрод (ПЭ) является одним из основных узлов ДСППТ. Из четырех типов ПЭ: проводящая подина, игольчатый, пластинчатый и стержневой, последнему чаще отдают предпочтение как наиболее рациональному с точки зрения технологии плавки и обслуживания печи [3].