

зоне чистого изгиба испытывали на четырехточечный изгиб на универсальной экспериментальной установке ZD-4.

Было определено, что для образцов с поперечными царапинами до скалывания кромки, нанесенных при нагрузке на индентор 21,2 Н и 30,8 Н, прочность стекла составляла соответственно 58,9 МПа и 30,5 МПа. Аналогично для образцов с продольными царапинами прочность стекла была определена как 65,4 МПа и 30,3 МПа. Фрактографический анализ разрушенных при изгибе образцов установил, что источник разрушения находился в точке внедрения индентора на одной из царапин. По значениям ширины царапин была вычислена твердость при царапании стекла ($H_S = 6,7$ ГПа).

По результатам проведенного исследования можно сделать выводы о влиянии привнесенного повреждения поверхности стекла и схемы его нанесения на прочность:

1. Прочность образцов стекла с поверхностными царапинами практически не зависит от направления нанесения царапин ($\sigma = 58,9$ МПа и 65,4 МПа – для нагрузки на индентор $P_f = 21,2$ Н; $\sigma = 30,5$ МПа и 30,3 МПа – для нагрузки на индентор $P_f = 30,8$ Н).

2. При увеличении прилагаемой к индентору нагрузки с 21,2 Н до 30,8 Н прочность стекла снижается приблизительно в 2 раза (для образцов с поперечными царапинами до скалывания кромки – в 1,93 раза; для образцов с продольными царапинами – в 2,16 раза).

3. Используемый экспериментальный метод может рассматриваться в качестве простого, доступного и эффективного способа оценки остаточной прочности хрупких материалов и элементов конструкций из них.

Смирнов А.Н., Лысенко Т.В., Васильев Д.И.

(ОНПУ, г. Одесса)

ПРИЧИНЫ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ГИЛЬЗ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ

E-mail: d0505909266@gmail.com

Увеличение производительности МНЛЗ связано с повышением скорости разливки. При этом возрастают тепловая и механическая нагрузки на гильзу, проявляются технологические дефекты в их изготовлении, что повышает вероятность разрушения покрытия и выхода кристаллизатора из строя. Целью работы является исследование причин преждевременного выхода из строя гильз сортовых кристаллизаторов, работающих при повышенной скорости разливки.

В работе рассмотрено поведение хромового покрытия гильз кристаллизатора сортовой МНЛЗ «квадрат 120 мм», которые использовались на одном из металлургических предприятий при разливке низкоуглеродистой стали обычного состава. Всего было исследовано более 10 гильз, изготовленных двумя поставщиками, и эксплуатировавшимися при скорости разливки около 4 м/мин. Эти гильзы показали относительно низкую стойкость и были преждевременно сняты из эксплуатации.

Заготовки для досліджень вирізали із зони декількох вище мениска, в якій видиме впливання рідкої сталі відсутствовало і нижче мениска, поскільки саме в цій частині виникає максимальна температура нагріву поверхні кристалізатора.

Дослідження виконували з допомогою методів оптичної металлографії на мікроскопі «Neophot-21». Травлення зразків проводили в реактиві, що містить 50% азотної кислоти, 25% уксусної кислоти, 25% фосфорної кислоти [1]. Товщину покриття і мікротвердість виміряли на приладі ПМТ-3, навантажувач при вимірюванні мікротвердості 0,25 Н.

Встановлено, що на поверхні гільз виникають типові дефекти – риси, знос поверхні і в кутах кристалізатора, які викликаються рухомою заготовкою, температурною деформацією гільзи і посилюються до нижньої частини кристалізатора.

Крім вказаних дефектів, спостерігали ділянки ерозійного руйнування.

Такі ділянки неправильної форми і розміром декількох сантиметрів виникали вже після відносно невеликого числа плавів декількох нижче мениска. Потемніння покриття свідчить про помітний локальний перегрів гільзи, так як хром темніє (окислюється) при температурах вище 500 °С [2].

З збільшенням числа плавів покриття руйнується. Видно, що краї ділянки нерівні, згладжені. Це можна пояснити частичним розчиненням і випаровуванням хрому під впливом високої температури заливаної сталі. Всередині ділянки хромове покриття стає тонше, краплі застиглої сталі приварюються до поверхні і при русі заготовки викликають глибокі риси, що проникають на декількох міліметрів в мідну основу. Риски провокують крихкі сколи і розщеплення покриття на чешуйки. Необхідно відзначити, що за межами ерозійного ділянки такі риси швидко згладжуються і сколи в покритті, пов'язані з ними, не спостерігали.

Між хромовим покриттям і мідною основою в більшості досліджених зразків спостерігали достатньо чітко виражений перехідний шар. Він має добре видимі межфазну межу, яка йде паралельно хромовому покриттю. Відповідно, її можна пов'язати з дифузійним хрому в мідь і утворенням твердого розчину.

Товщина перехідного шару коливалася, і була, в основному, 10...18 мкм. Мікротвердість перехідного шару підвищена порівняно з мікротвердістю основи і досягала 1400 Н/мм². Однак такою шар не був однорідним і, в окремих випадках, його не спостерігали. При виготовленні шліфа в цих місцях покриття відносно легко відділялося від основи з утворенням помітного зазору.

Для отримання достатньо міцного з'єднання покриття з основним металом рекомендується проводити тривалу термічну обробку – дифузійний віджиг.

В процесі дифузійного віджигу відбувається утворення α -твердого

раствора хрома в меди. При достижении предела растворимости ($t. C_{\alpha}$) возможно выделение β -фазы – твердого раствора меди в хrome. Необходимо учитывать, что с понижением температуры α -фаза становится пересыщенной, и из нее будет выделяться β -фаза в соответствии с ходом линии предельной растворимости.

Следовательно, наблюдаемый переходной слой представляет собой смесь α и β фаз, полученных путем термической обработки (температура нагрева поверхности кристаллизатора при нормальной работе менее 250 °С и скорость диффузии хрома в медь низкая).

При нарушении технологии нанесения покрытия, недостаточной выдержки при термической обработке надежного переходного слоя не получается. Прочность соединения покрытия и основы получается относительно низким, и термические деформации ведут к нарушению контакта хрома и меди. Из-за высокой плотности теплового потока в этих местах заметно возрастает температура нагрева хромового слоя, что ведет к его окислению и отслаиванию.

Также необходимо учитывать влияние толщины покрытия. Указанные эффекты наблюдали, в первую очередь, в гильзах с большей толщиной слоя хрома, что связано с заметным увеличением внутренних напряжений в покрытии при его утолщении [3]. Отслаивание покрытия, разрушение в этих местах медной основы способствуют резкому снижению стойкости гильзы и ее преждевременному снятию из эксплуатации. Исследованные гильзы были сняты из эксплуатации из-за интенсивного развития раковин в околomenисковой зоне, и их стойкость составила менее 35% от номинальной.

В результате выполнения исследований установлено, что преимущественной причиной разрушения хромового покрытия гильз является износ, который увеличивается в нижней зоне кристаллизатора. Вблизи мениска наблюдаются макроскопические участки эрозии и отслоения покрытия. Проведенные исследования показали, что вероятной причиной эрозионного разрушения покрытия является нарушение технологии изготовления гильзы, а так же превышение оптимальной толщины хромового покрытия. Непрерывное литье со скоростями, превышающими рекомендованные, ведет к деформации гильзы и ускоряет отслоение покрытия. Увеличение толщины покрытия повышает температурное сопротивление гильзы и, следовательно, обуславливает повышенный нагрев и растрескивание покрытия. Для получения достаточной стойкости гильз в таких условиях необходимо выбирать оптимальные параметры непрерывной разливки.

Литература:

1. Беккерт М., Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению / Беккерт М. // М.: Металлургия. – 1979. – С. 336.
2. Дубинин Г.Н., Диффузионное хромирование сплавов / Дубинин Г.Н. // М.: Машиностроение. – 1994.– С. 451.
3. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов / Хансен М. // М.: Машиностроение. –1992. – № 2.– С. 1488.