

УДК 669.18:620.192:621.746.5

П.В.Ковалев (асп., каф. СиС), А.А.Казаков, д.т.н., проф.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ХОЛОДНОКАТАНОГО ЛИСТА, ИМЕЮЩИХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНУЮ ПРИРОДУ

Постоянно возрастающие требования, предъявляемыми к качеству металлопродукции, являются постоянным стимулом совершенствования технологии производства холоднокатаного листа. Для целенаправленного совершенствования этой технологии, трудно переоценить значение классификации дефектов, основанной на понимании их природы, причин возникновения и способов устранения.

Для выявления природы дефектов холоднокатаного листа, произведенного в условиях ОАО “Северсталь”, были исследованы литые образцы, отобранные по ходу сталеплавильного производства, темплеты, вырезанные из слябов, а также горячекатаные и холоднокатаные листы. Поверхностные дефекты, условно называемые “плена”, “черные штрихи”, “выкрошка”, исследовали на 32 образцах холоднокатаного листа из сталей следующих марок: 08Ю, 08ПС, 01ЮТ, ДС03, ДС05. Применение комплексной методики исследования поверхностных дефектов, наряду с анализом технологических параметров производства холоднокатаного листа, позволило определить причины образования дефектов и выявить их природу.

Дефект “плена”. Результаты металлографических и микрорентгеноспектральных исследований показали, что основной причиной дефекта “плена” являются неметаллические включения системы $FeO - Al_2O_3$. Эти включения образовались на этапе сталеплавильного передела при раскислении металла, что подтверждается сравнением их состава с составом продуктов раскисления, обнаруженных в литых образцах, отобранных по ходу внепечной обработки и разливки, а также с составом включений в дефектах подката и в точечной неоднородности сляба.

В процессе раскисления стали алюминием из-за градиента концентраций алюминия и кислорода в окрестности зоны его растворения может происходить образование не только корунда (Al_2O_3), который является термодинамически устойчивым в широком интервале концентраций остаточного алюминия в стали, но и герценита $FeO \cdot Al_2O_3$ в областях со следами алюминия и высокими концентрациями кислорода. Действительно, на некотором расстоянии от зоны растворения алюминия, где его концентрация еще не достигла заметных значений, а переокисленность металла все еще достаточно высока, в соответствии с термодинамическими расчетами, образуются жидкие включения герценита- $FeO \cdot Al_2O_3$. Далее, после растворения всего присаженного алюминия и усреднения его по объему сталеплавильной ванны, эти включения, попадая в зоны хорошо раскисленной стали, частично восстанавливаются, поэтому в готовом металле мы наблюдаем весь спектр составов от чистого корунда до герценита.

Исследование технологических параметров плавки, в которых на поверхности холоднокатаного листа был обнаружен дефект “плена”, показало следующее. Образование дефекта провоцируется, когда суммарное количество присаженного алюминия превышает критическое значение – 750 кг на плавку, причем, чем больше алюминия вводится в жидкую сталь на всех этапах сталеплавильного передела, тем больше неметаллических включений обнаруживается в самом дефекте, тем сложнее его морфология и грубее внешний вид.

Дефект “черные штрихи”. Как следует из результатов металлографических и микрорентгеноспектральных исследований, данный тип дефекта может иметь сложное

строение, состоящее из оксидов железа и остатков эмульсии на поверхности листа, а также включений карбида кремния в оболочке SiO₂ в приповерхностных слоях.

Для поиска причин образования этого дефекта были исследованы технологические параметры соответствующих плавов. Из анализа этих данных следует, что в пяти случаях из восьми исследованных плавов, пораженных этим дефектом, использовался погружной стакан из кварца, а в пяти случаях отмечено введение в сталь-ковш карбида кремния в количестве от 77 до 202 кг. Таким образом, из восьми исследованных, в семи плавках жидкая сталь сосуществовала с кремнеземом или карбидом кремния. Наличие карбида кремния в дефекте “черные штрихи” может быть связано с реакцией взаимодействия углерода, входящего в состав шлакообразующих смесей, с кварцем погружного стакана. Термодинамическое моделирование процессов взаимодействия в системе состоящей из 10% углерода и 90% SiO₂ показало, что, начиная с 1510°C и выше, кварц взаимодействует с углеродом с образованием карбида кремния. Принимая во внимание температуру разливки, равную 1550-1580°C, можно заключить, что шлак может иметь температуру, при которой идет взаимодействие кремнезема с углеродом. Более того, далее карбид кремния, обладая высокой адгезией к жидкой стали может переходить из шлака на границу с металлом. Химически неустойчивый в стали, карбид кремния снова будет взаимодействовать с кислородом, растворенным в стали, с образованием оксида кремния.

Таблица 1.

Название дефекта	Состав НВ	Источник дефекта	Способы устранения
Черные штрихи	1. C 2. FeO 3. SiO ₂ 4. SiC	1. Продукты взаимодействия жидкой стали с ШОС-ом в проковше или с кварцевым погружным стаканом при разливке; 2. Остатки эмульсии.	Исключить высокотемпературный контакт кремнезема с углеродом
Плена	Al ₂ O ₃ -FeO	Первичные и вторичные продукты раскисления стали, в том числе аккумулированные на поверхности стакана	Минимизировать расход алюминия, избежать взаимодействия алюминия с переокисленной сталью
Выкрошка	FeO	1. Внутреннее окисление из твердой фазы; 2. Повышенная температура разливки.	Предотвратить долговременный контакт сляба/подката с окалиной или окисленным шлаком

Дефект “выкрошка”. Причиной данного типа дефекта являются сателлитные включения, выросшие в твердом металле на эндогенных включениях- продуктах раскисления в условиях высокотемпературного контакта металла с переокисленным шлаком или окалиной. По мере удаления от поверхности контакта источника кислорода, размер сателлитных включений закономерно уменьшается. Сателлитные включения, наследованные от горячих трещин сляба, были обнаружены и при исследовании дефектных образцов горячекатаного подката. Веерообразный характер распределения сателлитных включений полностью соответствовал неравномерному течению металла при горячей деформации, с учетом формы горячей трещины, заполненной окалиной. При последующей холодной деформации такого листа, локальные приповерхностные участки, содержащие недеформируемые сателлитные включения, отделяются от основного металла, образуя дефект “выкрошка”.

Статистический анализ данных по разливке металла показал, что температура разливки для плавов, в которых на поверхности холоднокатаного листа был обнаружен дефект “выкрошка”, составляет 1570-1580°C, что на 20– 25°C выше средней температуры разливки. Повышенная температура разливки может привести к поражению слитков наружными продольными и поперечными трещинами. Развитая окисленная поверхность трещин

представляет собой источник образования сателлитных включений, являющихся продуктами внутреннего окисления стали.

Состав неметаллических включений, источники дефектов и возможные способы устранения представлены в табл. 1.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что исследованные дефекты холоднокатаного листа типа “пленя”, “черные штрихи” и “выкрошка” имеют сталеплавильную природу.