



УДК 669.74

Поступила 30.06.2014

И. А. КОВАЛЕВА, А. А. КУЧКОВ, А. В. ВЕНГУРА, Н. А. ХОДОСОВСКАЯ, И. А. ГУЗОВА,  
И. А. ОВЧИННИКОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКАЛИНООБРАЗОВАНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЕСШОВНЫХ ТРУБ

*Показано, что актуальным является исследование окалинообразования на непрерывнолитых и горячекатаных заготовках, позволяющее улучшить качество продукции, и, тем самым, повысить ее конкурентоспособность.*

*It is shown that research of scaling on the uninterruptedly-casted and the hot-rolled blanks, enabling to improve quality of production and due to that to increase its competitiveness, is actual.*

Основным приоритетом на ОАО «Белорусский металлургический завод» – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» является качество как фактор конкурентоспособности продукции.

Многообразие дефектов, не всегда резко различающихся по внешнему виду, создает значительные трудности при их идентификации в практической работе трубопрокатного цеха (ТПЦ) завода. Особенно сложно определять происхождение дефектов поверхности, на которые при нагревах воздействует воздух или атмосфера печи, что приводит к изменению химического состава поверхностного слоя, окислению, обезуглероживанию и т. д.

В связи с этим важно установить характерные признаки дефектов при использовании соответствующих методов исследования металла.

Так, при исследовании и изучении дефектов особое внимание было уделено дефектам «отпечатки», обнаруженным на наружной поверхности готовых труб. В классификаторе дефектов бесшовных горячекатаных труб производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» приведены причины образования отпечатков – это налипание металла на валки прошивного стана; превышение зажимных усилий упоров при порезке на пилах пакетной резки труб; механические повреждения на валках транспортной системы; сколы на дисках Дишера; изъязвы на поверхности валков проводковой системы в виде раковин (из-за выкрашивания металла) или сетки разгара.

Однако была выявлена еще одна причина возникновения дефекта «отпечатки» – из-за налипания вкатанной окалины (рис. 1).

Неизбежной составляющей процесса горячей прокатки бесшовных труб является тепловая обработка металла, которая оказывает существенное влияние на качество прокатываемого изделия и составляет одну из основных причин возникновения дефектов на наружной поверхности труб из-за образования оксидного слоя при нагреве заготовки.

Сцепление окалины с окисляемой металлической поверхностью играет важную роль. С одной стороны, прочное сцепление окалины уменьшает окисление стали во время нагрева заготовок в печах и при их последующей обработке, а с другой – затрудняет удаление окалины в процессе деформации, что приводит к ухудшению качества поверхности.

При нагреве металла необходимо стремиться к тому, чтобы окалина как можно меньше прилипла к основному металлу для обеспечения наибо-



Рис. 1. Внешний вид отпечатков от вкатанной окалины на наружной поверхности горячекатаной трубы

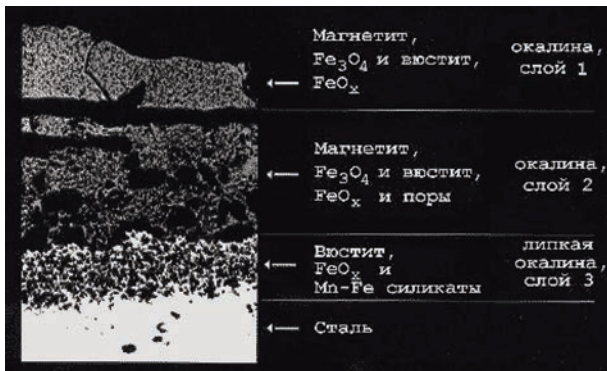


Рис. 2. Строение слоев окалины

лее легкого ее удаления с металла, что достигается соответствующими режимами нагрева.

На рис. 2 изображено строение слоев окалины. Как видно из рисунка, наиболее прочно связан с металлической поверхностью слой из так называемой «липкой окалины».

Специалистами была поставлена задача – исследование причин образования отпечатков из-за налипания окалины путем анализа: визуальный осмотр непрерывнолитых и горячекатаных заготовок перед посадом и после в кольцевую нагревательную печь; визуальный осмотр гильз; расположение и глубина залегания дефектов на поверхности металла; металлографическое исследование.

В условиях ОАО «Белорусский металлургический завод» – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» специалистами Исследовательской лаборатории Исследовательского центра совместно с технологами



Рис. 3. Внешний вид дефектов



Рис. 4. Дефект «отпечатки» в поперечном сечении микрошлифа

ТПЦ был произведен визуальный осмотр гильзы, на которой были обнаружены дефекты, представляющие собой углубления неправильной формы (рис. 3).

С целью определения характера дефектов была вырезана проба для металлографического исследования. Проведенный металлографический анализ показал, что выявленные дефекты классифицируются как отпечатки глубиной залегания до 0,18 мм (рис. 4).

При исследовании микроструктуры было обращено внимание на слой окалины максимальной глубиной залегания 1,3 мм, расположенной в районе дефекта (рис. 5). Исследуя слой окалины при

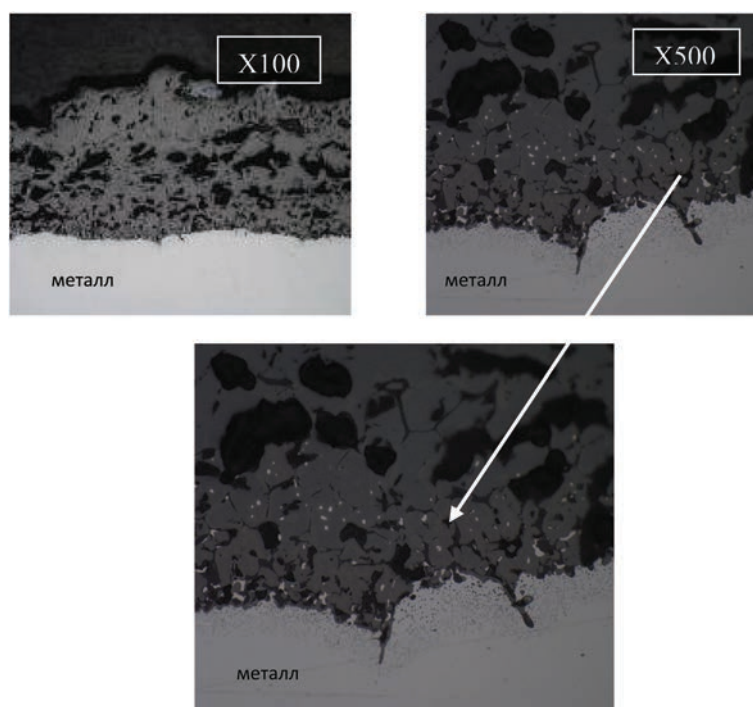


Рис. 5. Окалина в поперечном сечении микрошлифа



Рис. 6. Внешний вид поверхности заготовки с металлическим блеском под отслоившейся окалиной

увеличении 500, необходимо отметить, что окисление происходило по границам зерен и линия раздела окалина-металл полностью отсутствует.

При производстве труб из горячекатаных заготовок диаметром 140 мм было принято решение провести визуальный осмотр поверхности после нагрева в кольцевой нагревательной печи. При исследовании было отмечено, что покрытие поверхности окалиной неравномерное. Особое внимание было обращено на участок с отслоившейся окалиной, в районе которой на поверхности заготовки наблюдался ярко выраженный металлический блеск (рис. 6).

Для металлографического исследования в районе обнаружения металлического блеска была вырезана проба, из которой были приготовлены микрошлифы поперечного сечения.

При исследовании поперечных микрошлифов, вырезанных из горячекатаной заготовки диаметром 140 мм, обнаружен толстый слой окалины

максимальной глубиной залегания 1,6 мм. Исследуя окалину при увеличении 500, выявлено, что окисление происходило по границам зерен, линия раздела окалина-металл отсутствует (рис. 7).

Было высказано предположение о влиянии химического состава стали, в частности Mn, на характер образующейся окалины и силу «прилипания» ее к металлу. Поэтому для исследования были выбраны наиболее применяемые в ТПЦ марки стали 32Г2 (содержание Mn около 1,40%) и сталь марки 20 (содержание Mn около 0,60%).

В кольцевую нагревательную печь ТПЦ были загружены непрерывнолитые заготовки. После нагрева заготовки были выданы на возврат. При визуальном осмотре поверхности значительной разницы по распределению окалины выявлено не было (рис. 8).

При исследовании поперечных микрошлифов с содержанием марганца 1,40% (сталь 32Г2) и содержанием марганца около 0,60% (сталь 20) в микроструктуре окалины различий не обнаружено (рис. 9).

Дальнейшие исследования по образованию плотноприлегающей окалины были направлены на изучение диффузии железа и кислорода.

Печная атмосфера, определяемая в пламенных печах химическим составом топлива, коэффициентом расхода воздуха и совершенством конструкции топливосжигающих устройств, является важным фактором, влияющим на окалинообразование.

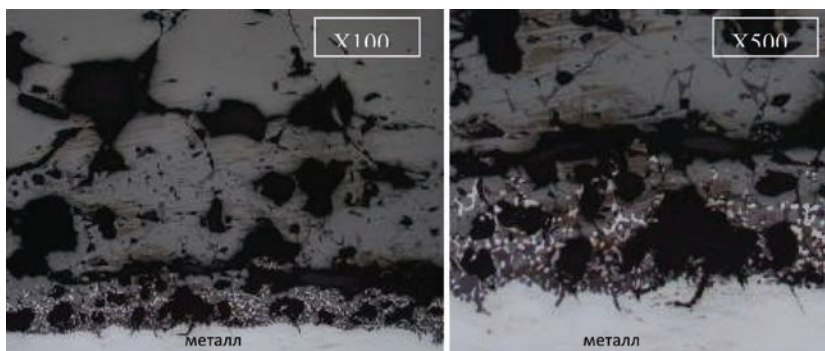


Рис. 7. Окалина в поперечном сечении микрошлифа горячекатаной заготовки диаметром 140 мм

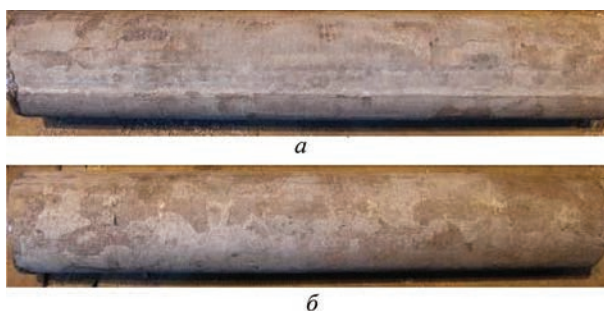


Рис. 8. Внешний вид непрерывнолитых заготовок диаметром 200 мм, выданных на возврат после нагрева в кольцевой печи: а – сталь марки 32Г2; б – сталь марки 20

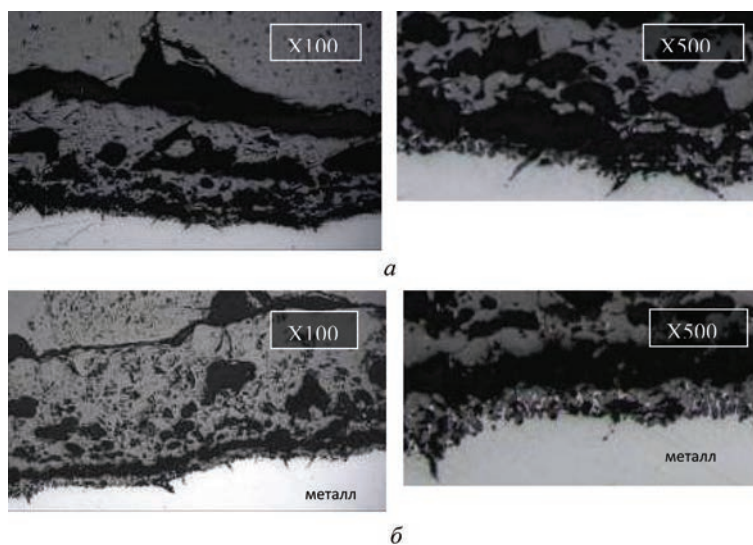


Рис. 9. Окалина в поперечном сечении микрошлифов непрерывнолитой заготовки диаметром 200: а – сталь марки 20; б – сталь марки 32Г2

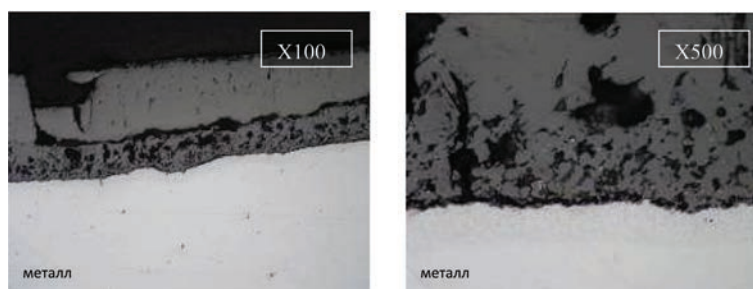


Рис. 10. Окалина в поперечном сечении микрошлифа непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм

В зависимости от действия на металл газы делят на окислительные, нейтральные и восстановительные. К окислительным газам относят кислород ( $O_2$ ), углекислый газ ( $CO_2$ ), водяной пар ( $H_2O$ ), сернистый ангидрид ( $SO_2$ ), к восстановительным газам – водород ( $H_2$ ) и оксид углерода ( $CO$ ), а к нейтральным – азот ( $N_2$ ).

Прочность сцепления окалины с металлом зависит от скорости диффузии кислорода от поверхности к внутренним слоям металла и встречной диффузии металла через слой окалины на ее наружную поверхность, концентрации кислорода на поверхности, от состава окалины, вида топлива и других причин.

При большой концентрации кислорода на поверхности соприкосновения металла с окалиной происходит равномерное образование окалины, которая в меньшей степени сцепляется с металлом.

Малая концентрация кислорода на поверхности замедляет процессы окисления, они начинают протекать по границам зерен и образующаяся окалина плотнее прилипает к металлу.

Образование окалины находится в прямой (пропорциональной) зависимости от установленного

в горелке соотношения фактического количества воздуха к заданному количеству воздуха (коэффициент  $\lambda$ ). Поэтому одним из основных требований к системе управления горелками является возможность точной установки коэффициента  $\lambda$  во всем диапазоне регулирования мощности и при различных температурах подогрева воздуха.

Специалистами исследовательского центра было высказано предположение о влиянии коэффициента расхода воздуха на образование плотного налипания окалины. Принято решение изменить коэффициент избытка воздуха  $\lambda$  в кольцевой печи и провести эксперименты с непрерывнолитыми и горячекатаными заготовками (см. таблицу).



Рис. 11. Отслоившаяся окалина на поверхности горячекатаных заготовок диаметром 140 мм

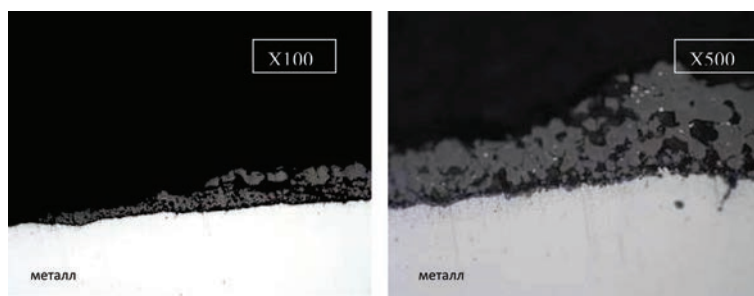


Рис. 12. Окалина в поперечном сечении микрошлифа горячекатаной заготовки

**Коэффициент избытка воздуха  $\lambda$  по зонам**

| Лямбда    | Режим   | Номер зоны в кольцевой нагревательной печи |      |      |      |      |
|-----------|---------|--|------|------|------|------|
|           |         | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    |
| $\lambda$ | Штатный | 1,05                                       | 1,08 | 1,05 | 1,05 | 1,05 |
|           | Опытный | 1,15                                       | 1,18 | 1,15 | 1,15 | 1,15 |

Выданные на возврат непрерывнолитые заготовки диаметром 200 мм из печи с измененным коэффициентом избытка воздуха  $\lambda$  были осмотрены. Отмечено, что со всех заготовок ровным небольшим слоем была отслоена окалина. Плотных налипаний окалины на металл не обнаружено. С заготовок были отобраны пробы для металлографического исследования.

Анализ поверхности при увеличении микроскопа показал, что на образцах имеет место ровное окисление поверхности металла, ясно видна линия контакта металла и окалины (линия отрыва). Отделение окалины происходит по поверхности раздела (рис. 10). Максимальная толщина окалины 0,7 мм.

После проведения исследований по нагреву непрерывнолитых заготовок был проведен следующий заключительный этап работы. Горячекатаные заготовки диаметром 140 мм после посадки и нагрева в печи с экспериментальным коэффициентом избытка воздуха  $\lambda$  были выданы на возврат.

При визуальном осмотре выявлено равномерное распределение окалины на поверхности заго-

товок (рис. 11). Замечено, что окалина имеет малую степень сцепления и при перевороте заготовок легко осыпается.

Следует отметить, что при подготовке поперечных микрошлифов слой окалины на поверхности отслоился и только его небольшая часть зафиксирована и исследована. Металлографический анализ показал, что между металлом и окалиной имеется резкая граница, по которой окалина легко удаляется, образуя сравнительно гладкую поверхность отрыва. Глубина залегания окалины составляет 0,45 мм (рис. 12). В соответствии с теорией окисления стали, прочности адгезии окалины к поверхности металла (трудноудаляемая окалина), а также на основании проведенных экспериментов изучена причина образования дефекта «отпечатки».

Установлено, что образование дефекта «отпечатки» на готовых трубах происходит по причине образования обедненной смеси газ/воздух при нагреве заготовок в кольцевой нагревательной печи, вследствие чего создается прочное сцепление окалины (замедляется процесс окисления и начинает протекать по границам зерен).

Таким образом, является актуальным исследование окалинообразования на непрерывнолитых и горячекатаных заготовках, позволяющее улучшить качество продукции и, тем самым, повысить ее конкурентоспособность.