

УДК 621.78.019.82:621.771.252.005

**В.В.Парусов, В.Г.Черниченко, А.В.Сычков*, О.В.Парусов,
В.Д.Горбенко****

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНКИ

*ИЧМ НАН Украины, *ОАО «Молдавский металлургический завод»
**ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»*

Приведен анализ существующих методик количественного определения окалины на поверхности катанки. Показано, что использование методики количественного определения окалины на поверхности низко- и высокоуглеродистой катанки, разработанной ИЧМ НАНУ, дает возможность оценивать удаляемость окалины механическим способом.

Введение. В действующей нормативной документации Украины и СНГ отсутствует определение удаляемости окалины механическим способом. Для высокоуглеродистой катанки, изготавливаемой в соответствии с требованиями ДСТУ 3683–98, используют методику определения количества (массы) окалины, основанную на удалении её путем растворения в кислотном (травильном) растворе с обязательной защитой основного металла ингибитором.

В международной практике существуют нормативно-технические документы, регламентирующие определение общего количества окислов на поверхности катанки, способность их к удалению, наличие остаточных окислов. Это методики фирмы «Beckaert», Бельгия: GA–03–16 «Количественное определение общего количества окислов, способности к удалению окалины и остаточных окислов с поверхности высокоуглеродистой и низкоуглеродистой катанки»; GA–03–18 «Испытание на удаление окалины механическим способом с поверхности низкоуглеродистой катанки», GS–03–02 «Низкоуглеродистая катанка для механического удаления окалины»; GS–06–01 «Высокоуглеродистая стальная катанка качества Stelmor» и методика компании «Кобе Стел», Япония.

Методика экспериментальных исследований.

Методика по ДСТУ 3683

Согласно методике по ДСТУ 3683 раствор соляной кислоты (ГОСТ 3118) с массовой концентрацией 0,15 г/см³ подогревают до температуры не выше 50⁰С и добавляют в него ингибитор ТДА из расчета 0,5 г/дм³, а затем в указанный раствор помещают 3–5 штук (одновременно) образцов катанки длиной 90–100 мм, предварительно вместе взвешенных. При взвешивании образца до травления учитывается окалина, отделившаяся при резке. Протравленные образцы промывают, высушивают, охлаждают и взвешивают.

Среднюю массу окалины на контролируемых образцах A , в кг/т, вычисляют по формуле:

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 1000, \quad (1)$$

где m_1 – первоначальная масса образцов, г; m_2 – масса образцов после травления, г.

Расчетную массу окалины на поверхности катанки A_p , в кг/т, вычисляют по формуле:

$$A_p = K \times A, \quad (2)$$

где K – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения окалины по длине мотка:

$K=1$ для катанки, подвергнутой двухстадийному охлаждению;

$K=2,5$ для катанки, подвергнутой одностадийному охлаждению.

В соответствии с п.6.1.5 ДСТУ 3683 образцы для всех видов испытаний, в том числе и окалины, для катанки, охлажденной двухстадийным способом, отбираются от заднего конца раската.

Методика определения окалины по ДСТУ 3683 не учитывает наличие до 25 горячекатаных витков в головной части мотка, охлажденного на линии Stelmor.

Методика фирмы «Векаерт»

Лидирующее место в переработке катанки занимает Бельгийская фирма «Векаерт», контролирующая до 21% мирового рынка мегизной продукции.

Способность к удалению окислов механическим способом с поверхности катанки осуществляется в соответствии с спецификацией Векаерт GA-03-16.

Методика определения остаточных окислов и способности к механическому удалению окалины включают следующие операции:

1. Образец длиной 300 мм с окалиной на поверхности катанки взвешивается с точностью до 1 мг (G1).

2. Поверхность протяженностью 50 мм с каждого конца образца травится до полного удаления окалины. Затем образец взвешивается с той же точностью (G2).

3. Травленные концы зажимаются в захваты растягивающей машины и свободная часть образца длиной 200 мм подвергается 6% (высокоуглеродистая катанка) или 7% (низкоуглеродистая катанка) растяжению, после чего образец взвешивается с той же точностью (G3).

4. Растянутый образец подвергается полному травлению в растворе кислоты с ингибитором, после чего взвешивается с той же точностью (G4).

Используя полученные величины масс после каждой проведенной операции производятся следующие вычисления:

1. Общее количество окислов – отношение общего количества окислов на поверхности образца к весу образца с общим количеством окислов (длина образца 300 мм):

$$A = (G1 - G4) \times 1000 / G1, \text{ г/кг; кг/т.}$$

2. Способность к удалению окислов – отношение количества окислов, удаленных при растяжении образца, к общему количеству окислов (длина образца 200 мм):

$$B = (G2 - G3) \times 100 / (G2 - G4), \%$$

3. Остаточные окислы, остающиеся на образце после растяжения, определяются по следующей формуле:

$$C = A \times (1 - B) \times 1000, \text{ г/кг; кг/т.}$$

Методика П. Функе мл. и М. Хайнритц

Методика определения степени удаления окислов с поверхности катанки подобна методике, используемой фирмой «Beckaert», и основывается на растяжении (5%) образца. Однако операции, позволяющие получить исходные данные для их обработки по формуле для определения степени удаления окалины различны:

1. Образец длиной 200 мм с окалиной на поверхности катанки взвешивается с точностью до 1 мг (G1).

2. Поверхность протяженностью 50 мм с каждого конца образца травится до полного удаления окалины. Затем образец взвешивается с той же точностью (G2).

3. Травленные концы зажимаются в захваты растягивающей машины и свободная часть образца длиной 100 мм подвергается 5% растяжению, после чего травленные концы отрезаются и растянутый образец взвешивается с той же точностью (G3).

4. Растянутый образец подвергается полному травлению в растворе кислоты с ингибитором, после чего взвешивается с той же точностью (G4).

Используя полученные величины, производятся следующие вычисления:

1. Общее количество окислов:

$$A = 1,95 \times d \times ((G2 - G3) + (G3 - G4)) / G1, [\text{г/м}^2],$$

где 1,95 – экспериментально выведенный коэффициент; d – диаметр катанки, мм.

2. Остаточное количество окислов – произведение эмпирически выведенного коэффициента влияния диаметра катанки на отношение уменьшения веса образца после травления к исходному весу образца расчетной длины:

$$C = 1,95 \times d \times (G3 - G4) / G1, [\text{г/м}^2]$$

3. Степень удаления окалины – отношение остаточного количества окислов к общему их количеству:

$$B = C/A \times 100, \%$$

Отличительной особенностью данной методики является исключение повторного травления концов испытываемых образцов, благодаря чему исключается погрешность определения остаточной окалины.

Необходимо отметить, что размерность количества окалины г/м^2 (кг/м^2) является более универсальной, чем размерность г/кг (кг/т), т.к. практически не зависит от диаметра проката.

Соотношение между этими размерностями следующее:

$$\text{кг/м}^2 = K_1 \times \text{кг/т}; \text{кг/т} = K_2 \times \text{кг/м}^2;$$

$$\text{где } K_1 = \frac{d \times \rho \times 10^{-3}}{4}; K_2 = \frac{4 \times 10^3}{d \times \rho};$$

ρ – плотность стали, кг/м^3 ; d – номинальный диаметр катанки, м.

Методика, предложенная компанией «Кобе Стил», Япония

Определение степени удаления окалины производится по следующему уравнению:

$$\varepsilon_0 = [(2\gamma_0(1+\chi^2))/hE]^{1/2},$$

где ε_0 – критический уровень деформации до появления сколов, в окалине; h – толщина слоя окалины; E – модуль Юнга окалины; γ_0 – энергия разрушения слоя окалины при гладком контакте с металлом; χ – показатель шероховатости контактирующих поверхностей.

Данное полуэмпирическое уравнение, полученное на основании механики разрушения, хорошо удовлетворяет существующей концепции: лучшие характеристики удаляемости окалины обеспечиваются более толстыми слоями окалины и более гладкими поверхностями.

Методика, предложенная СЗАО «Молдавский металлургический завод»

В целом, методика аналогична методике фирмы «Beckaert» GA–03–16.

Отличительной особенностью является определение количества остаточных окислов, которое исключает зависимость остаточного их количества от общего. Остаточные окислы определяются как произведение общего количества окислов на длине образца 300 мм на величину, обратную способности к удалению, определенную на длине образца 200 мм:

$$C = ((G3 - G4) / G4) \times 1000, [\text{г/кг}; \text{кг/т}].$$

Последовательность работы с образцами и обработки данных для определения способности окалины к удалению различна, и в ряде случаев специфична. Так, компания «Кобе Стил», Япония, при оценке степени удаления окалины учитывает влияние шероховатости контактирующих поверхностей, модуль Юнга окалины и т.д.. Методика, предложенная П.Функе и М.Хайнритц, основывается на определении фактического количества как общей, так и остаточной окалины через полуэмпирически выведенный коэффициент. Методика GA–03–16, предложенная фирмой «Beckaert» основывается на фактических показателях при определении способности окислов к удалению, а остаточное количество окислов после 6 и 7% растяжения зависит от их общего количества.

При рассмотрении всех предъявляемых требований к свойствам окислов в спецификациях фирмы «Beckaert» необходимо отметить, что в

комплексе они не выполнимы, так как часть из них противоречит друг другу. Так, требование к общему количеству окалины не более 7 кг/т и ее толщине 10...14 микрон некорректно, так как окалина толщиной 10...14 микрон соответствует содержанию 8...12 кг/т, с другой стороны небольшое количество окалины (менее 7 кг/т) приводит к ухудшению ее удаления с поверхности катанки за счет необходимости снижения температуры виткообразования (до 850°C и менее) и увеличения адгезии окалины к металлооснове. Увеличение толщины окалины до 14 микрон может вызвать ее растрескивание и снижение защитной роли от атмосферной и морской коррозии поверхности катанки.

Методики ИЧМ НАНУ

Институтом черной металлургии была разработана и опробована на ПС 150–1 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» методика определения окалины на высокоуглеродистой катанке (сталь 70), подвергнутой двухстадийному охлаждению.

По этой методике расчетную массу окалины на поверхности катанки, в кг/т, вычисляют по формуле:

$$A = \frac{Q_{Г/К} \times (L_{Г/К} \times q) + Q_{охл} \times (L_{охл} \times q)}{M}, \quad (3)$$

где A – масса окалины, кг/т; $Q_{Г/К}$ – масса окалины на поверхности горячекатаной катанки (передний конец мотка), кг/т; $Q_{охл}$ – масса окалины на поверхности катанки, подвергнутой охлаждению, кг/т; $L_{Г/К}$ – длина горячекатаной части мотка, м;

$$L_{Г/К} = \pi \cdot D \cdot n,$$

где D – средний диаметр витка, м (для мотка, произведенного на ПС 150/1, $D=1,070$ м); n – количество горячекатаных витков, шт; $L_{охл}$ – длина охлажденной части мотка, м; $L_{охл} = L - L_{Г/К}$; L – общая длина мотка, м;

$$L = \frac{M}{q};$$

q – масса одного метра катанки номинальным диаметром 5,5 мм (по ГОСТ 2590–88 $q=0,186$ кг/м), кг/м; M – масса мотка, кг.

Среднее количество окалины на исследуемой катанке диаметром 5,5 мм из стали 70 как по переднему концу мотка, так и по заднему составляло 5,8 кг/т, а по методике ИЧМ 5,38 кг/т, что ниже требований ДСТУ 3683–98 – не более 6 кг/т.

Институтом черной металлургии также разработана и опробована на ПС 150–1 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» Методика количественного определения окалины на поверхности низко– и высокоуглеродистой катанки, которая базируется на разработке фирмы «Beckaert».

Заклучение. Установлено, что при повышении температуры на виткоукладчике линии Стелмор на поверхности катанки в интервале от 800 до 940⁰С количество окалины изменяется следующим образом:

– на поверхности низкоуглеродистой катанки из стали марки SAE 1006 после раскладки на витки при температурах 800; 850; 900 и 940⁰С образуется соответственно следующее количество окалины: 4,642; 5,848; 10,327 и 11,171 кг/т;

– на поверхности высокоуглеродистой катанки из стали марки SAE 1065 после раскладки на витки при температурах 800; 850; 900 и 940⁰С образуется соответственно следующее среднее количество окалины: 3,851; 3,59; 3,360 и 9,193 кг/т.

Остаточное количество окалины составляет:

– для низкоуглеродистой катанки из стали марки SAE 1006 после раскладки на витки при температурах 800; 850; 900 и 940⁰С характерно соответственно следующее среднее количество остаточной окалины: 0,668; 0,726; 0,298 и 0,330 кг/т;

– для высокоуглеродистой катанки из стали марки SAE 1065 после раскладки на витки при температурах 800; 850; 900 и 940⁰С характерно соответственно следующее среднее количество остаточной окалины: 0,113; 0,161; 0,184 и 0,221 кг/т.

Удаляемость окалины характеризуется следующим образом:

– для низкоуглеродистой катанки из стали марки SAE 1006 после раскладки на витки при температурах 800; 850; 900 и 940⁰С удаляемость окалины в среднем составляет 85; 87; 97 и 97%;

– для высокоуглеродистой катанки из стали марки SAE 1065 после раскладки на витки при температурах 800; 850; 900 и 940⁰С удаляемость окалины в среднем составляет 97; 95; 94 и 97%.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. Э.В.Приходько