



*The results of investigation of chemical descaling at different temperatures of coil formation both for low- and high-carbon rolled wire are given.*

*А. Б. СЫЧКОВ, Восточно-Европейский металлургический дивизион ОАО «Мечел»,  
М. А. ЖИГАРЕВ, С. Ю. ЖУКОВА, А. В. ПЕРЧАТКИН,  
А. В. ПЕРЕГУДОВ, ОАО «Молдавский металлургический завод»,  
В. И. ГРИЦАЕНКО, РУП «Белорусский металлургический завод»*

УДК 669

## ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ОКАЛИНЫ ДЛЯ ЕЕ ПОЛНОГО УДАЛЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ КАТАНКИ ПЕРЕД ВОЛОЧЕНИЕМ

Существует [1–3] дифференциация температур виткообразования на линии Stelmog для химического и механического удаления окалины с поверхности катанки перед ее волочением. В основном для механического удаления окалины предлагается более высокая температура (900 °С), а для химического способа – более низкая температура (~800 °С). Однако следует иметь в виду погрешность пирометров, которая предопределяет некоторые колебания этих температур как в большую, так и в меньшую стороны, а также особенности последующих техпроцессов удаления окалины, действующих в метизном производстве. Так, например, в условиях СЗАО «ММЗ» [4, 5] оптимальной температурой виткообразования для катанки как из низко-, так и высокоуглеродистых марок стали, предназначенной для механического удаления окалины, является температура ~900 °С. На стане 150 РУП «БМЗ» установлены следующие температурные параметры катанки перед виткообразователем: для последующего механического удаления окалины – 900–950 °С, для химического метода ~850 °С. При этих температурах формируется однородная окалина, практически на 100% состоящая из вюститита (FeO), который имеет минимальную адгезию к поверхности металлоосновы и наилучшим образом (полностью) удаляется механическим способом.

Для сохранения в процессе охлаждения металла после виткообразования на линии Stelmog вюститной составляющей и предотвращения ее распада на магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), обладающий высокой адгезией к металлооснове и соответственно плохой способностью к удалению с поверхности ка-

танки, внедрена технология ускоренного охлаждения металла вентиляторным воздухом в диапазоне температур 570–400 °С. И даже для катанки сварочного назначения из низкоуглеродистой легированной кремнемарганцевой стали типа Св-08Г2С [5], для которой не применяется ускоренное вентиляторное охлаждение в температурном диапазоне распада вюститита (570–400 °С), при хорошей системе механического окалиноудаления обеспечивается удовлетворительное удаление окалины с формированием светлой металлической поверхности катанки перед волочением, что обеспечивает получение блестящей поверхности омедненной проволоки из такой катанки.

Указанный выше технологический режим двухстадийного охлаждения углеродистой катанки на линии Stelmog (температура виткообразования  $t_{в/у}$  ~950 °С, блоки струйного охлаждения БСО: ~4–6 шт. 600–800 мин<sup>-1</sup> и до 1480 мин<sup>-1</sup> для различных диаметров катанки [6]) обеспечивал также и удовлетворительную стравливаемость окалины с поверхности катанки.

Однако, по заявлениям некоторых потребителей, травление такой катанки периодически проходит неудовлетворительно. Так, наблюдается бурление травильной ванны, что может быть связано с выделением водорода при перетраве. Возможно и неполное удаление окалины, что предположительно обусловлено разным составом окалины (FeO + Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, хотя это исключается технологией на линии Stelmog). Происходит также частичное осыпание окалины по периметру катанки при погрузочно-разгрузочных и транспортных работах за счет относительно большей толщины вюститной

окалины, сформированной при 950 °С. Это обуславливает разную травимость окалины с элементами пере/недогрева и появлением так называемых бластеров – пузыристой окалины.

С другой стороны, неудовлетворительное удаление окалины может быть обусловлено и неэффективной технологией на метизном предприятии: применение для садочного травления катанки отработанных травильных растворов, например, с термотравильных агрегатов непрерывного действия при наличии в них индустриального масла. Такое загрязнение травильного раствора обуславливает несмачивание поверхности катанки кислотой со всеми вытекающими из этого негативными последствиями.

Несмотря на то что в целом у большинства потребителей катанки химическое удаление окалины идет удовлетворительно, возникла необходимость исследовать технологические особенности двухстадийного охлаждения для обеспечения наилучшего стравливания окалины.

В основном это связано с оптимизацией температуры виткообразования, так как просматривается четкая зависимость, что с уменьшением этой температуры снижается толщина окалины и увеличиваются ее плотность и адгезия к металлооснове. Также оптимизация температуры позволяет формировать плотный слой окалины без участков с осыпанием и бластеров и обеспечить быстрое прохождение при охлаждении неблагоприятного температурного диапазона (570–400 °С). Тем самым, формируется оптимальный химический состав окалины, состоящий из вюстита (FeO) без наличия на границе раздела окалины-металлооснова магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и гематита (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Последних два оксида железа могут располагаться с внешней стороны от металлоосновы и вюстита.

Недостатком более низкой температуры виткообразования является ухудшение товарного вида катанки, так как во внешних поверхностных слоях образуются пылевидный налет ржаво-коричневого

цвета, состоящий из гематита (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Это явление в ряде случаев настораживает потребителей, вводя их в заблуждение, что металл якобы прокорродирован.

Ниже приведены результаты исследования химического удаления окалины при различных температурах виткообразования как для низко-, так и высокоуглеродистой катанки.

В ряде случаев на поверхности катанки наблюдаются темные или светлые «пятна» (рис. 1), которые выглядят как нарушение сплошности слоя окалины по периметру катанки и могут вызвать ошибки при выборе технологии удаления окалины.

На метизных предприятиях «пятнистость» окалины воспринимают как наличие окалины разной травимости, различной степени адгезии к поверхности катанки и поэтому начинают бороться с ней, пытаясь вытравить эти «пятна», вследствие чего перерасходуют кислоту, ингибиторы, увеличивают время травления. По этой же причине происходит перетрав [7] металлической части поверхности катанки, при котором выделяется водород, вызывающий бурление кислотной ванны. Также увеличивается количество шлама – продуктов травления окалины и охрупчивается металл (водородная хрупкость). Пятнообразование на поверхности катанки может быть обусловлено следующими причинами.

1. Разложение вюстита (FeO) при медленном охлаждении в диапазоне температур 570–400 °С на магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и железо (Fe):  $4\text{FeO} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}$ . В этом случае Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> выделяется попеременно с FeO на границе раздела металлооснова – окалины и имеет большую адгезию к поверхности катанки, чем вюстит.

Поэтому способность к стравливанию у магнетита значительно хуже, чем у вюстита. Из рис. 2, 3 видно, что участки металла имеют разное время травления окалины и поэтому наблюдается неполное ее удаление.

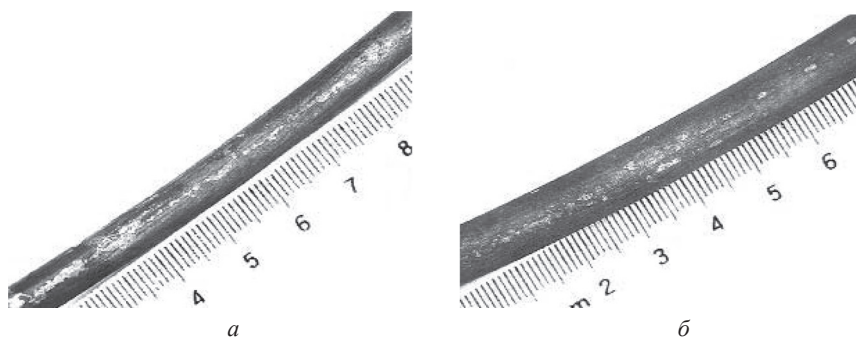


Рис. 1. Внешний вид после травления «пятна» на поверхности катанки диаметром 7 мм (а) и 9 мм (б): а –  $t_{\text{в/у}} = 900$  °С; БСО 4 шт. 600 мин<sup>-1</sup>;  $V_{\text{тр}} = 0,2\text{--}0,3$  м/с; крышки над БСО открыты; б –  $t_{\text{в/у}} = 850$  °С; БСО 4 шт. 800 мин<sup>-1</sup>;  $V_{\text{тр}} = 0,2\text{--}0,3$  м/с; крышки над БСО открыты

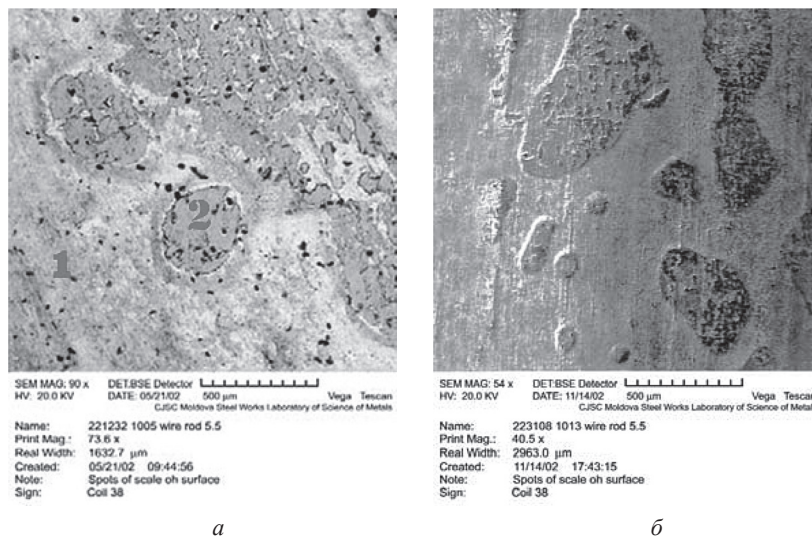


Рис. 2. Поверхность низкоуглеродистой катанки с участками разной травимости: *а* – 1 – участок со стравленной окалиной (полностью); 2 – рельефно-возвышающийся участок с  $Fe_3O_4$  – нетравленный. РЭМ – исследование в отраженных электронах; *б* – слой  $Fe_3O_4$  частично стравлен. РЭМ – исследование во вторичных электронах

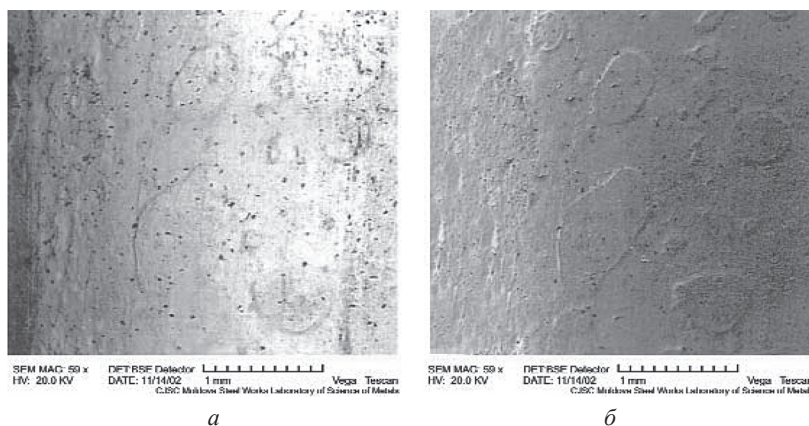


Рис. 3. Полностью вытравленная окалина на поверхности катанки: выпуклые участки ( $Fe_3O_4$ ) имеют большее время травления: *а* – РЭМ – исследование в отраженных электронах; *б* – РЭМ – во вторичных электронах

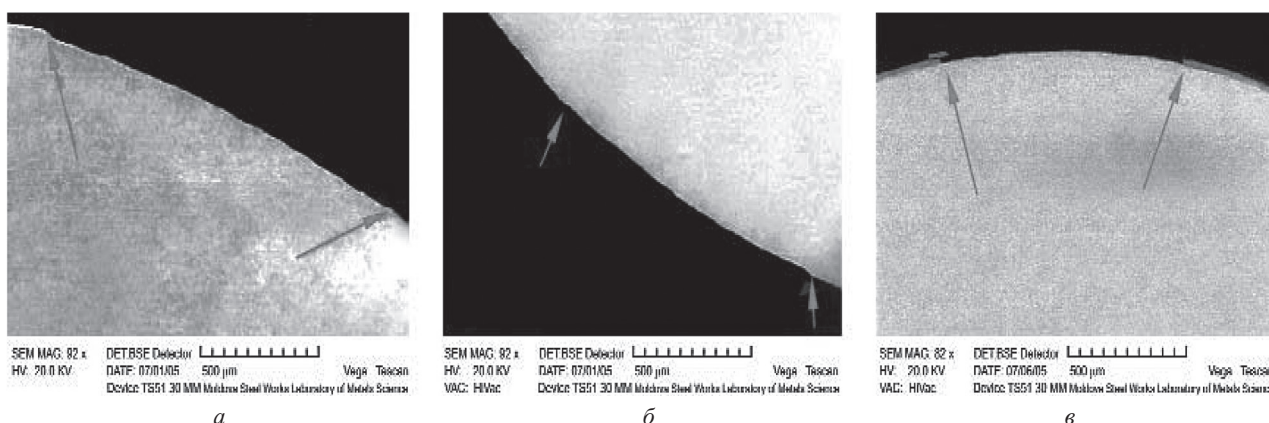


Рис. 4. «Пятна» на поверхности катанки после травления: *а* – катанка диаметром 5,5 мм, марка 1008. РЭМ – исследование во вторичных электронах; *б* – катанка диаметром 7 мм, марка 1008; *в* – катанка диаметром 6,5 мм, марка 1006. РЭМ – исследование в отраженных электронах

2. «Выпотевание» меди и никеля [8], когда создается микрорельеф на поверхности катанки, что однако не влияет на процессы удаления окалины, а обуславливает разный уровень отражения света

от поверхности и проявление «пятнистости» поверхности (рис. 4). Это явление повышает шероховатость поверхности катанки и способствует улучшению окалиноудаления.



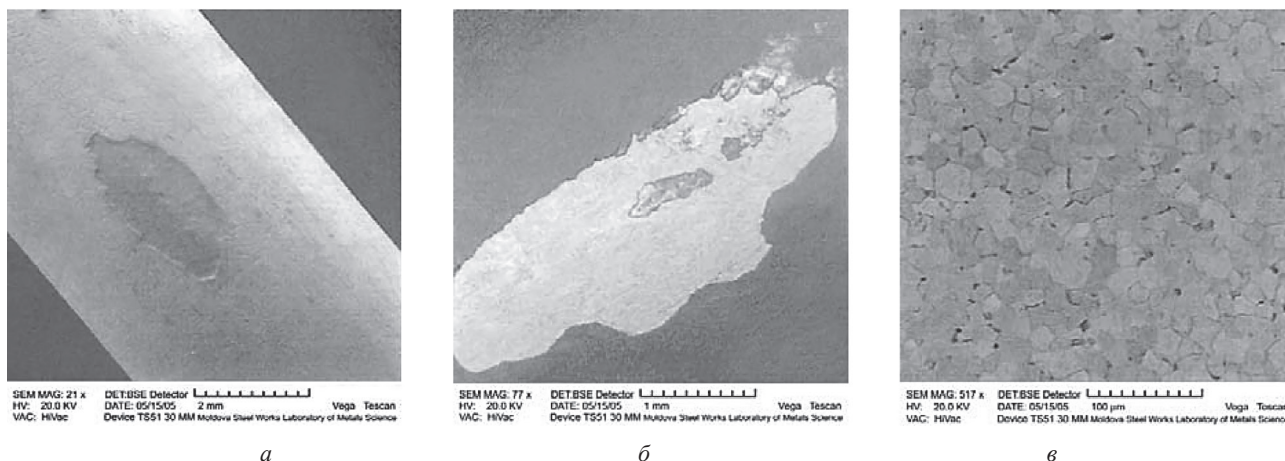


Рис. 5. Внешний вид «пятен» (а, б) и структуры на поверхности катанки (в). РЭМ: а – во вторичных электронах; б, в – в отраженных электронах

3. Атмосферная или иная неравномерно распределенная по периметру поперечного сечения катанки коррозия, в том числе питтинговая.

4. Наличие в поверхностных внешних слоях окалина гематита ( $Fe_2O_3$ ) в виде тончайшей мелкодисперсной пудры рыже-ржавого цвета, которая неравномерно распределяется на поверхности катанки, но легко удаляется.

Зачастую наблюдаются «пятна» и до, и после травления окалина, особенно при высоких значениях температуры виткообразования ( $t_{в/у}$ ). До удаления окалина «пятна» образуют участки осыпавшейся окалина. «Пятна» иногда образуют пленку, в ряде случаев из «выпотевших» Cu, Ni, Cr (иногда Si), которая механически хорошо разрушается, но плохо удаляется при травлении. Так как в металлографических исследованиях применяется достаточно сильное травление, то очень часто «выпотевание» примесей цветных металлов не обнаруживаются.

Однако на внутренней поверхности окалина эти элементы присутствуют, что вполне объяснимо: «выпотевание» наблюдается на границе раздела окалина-металлооснова.

В ряде случаев локальное повышение содержания этих элементов на катанке достигает ~10% для Cu, ~5% для Ni, ~2% для Cr.

В процессе исследований варьировали температуру виткообразования в диапазоне 700–1050 °C через 50 °C, а также интенсивность воздушного охлаждения БСО (от их полного отключения до 6 БСО  $\times$  1000  $мин^{-1}$ ) и время термостатирования под теплоизолирующими крышками при скорости роликового транспортера от 0,2–0,3 до 0,3–0,4 м/с с последующей оценкой окислительного удаления с поверхности катанки в лабораторных условиях.

Кроме оценки удаляемости окалина химическим методом, проведена также подобная оценка

и механического способа удаления, в том числе и по методике фирмы «Beckaert».

Дополнительно исследовали зависимости изменения механических свойств, структурных параметров, внешнего вида поверхности катанки от температуры раскладки витков на роликовый транспортер линии Stelmor.

Ниже приведены результаты исследований.

На рис. 5, а, б, в и 6 приведена окалина на поверхности низкоуглеродистой катанки с «пятнами» оголившегося металла с ферритной структурой.

Технологический процесс двухстадийного охлаждения этого металла на линии Stelmor – стандартный ( $t_{в/у} = 950$  °C; БСО 4 шт. 600  $мин^{-1}$ ;  $V_{тр} = 0,2–0,3$  м/с; теплоизолирующие крышки над БСО открыты).

В рамках изменения параметров технологии, которые, в конечном итоге сводились к варьированию температуры виткообразования при стабилизации условий работы БСО (4–6 шт. 600–800  $мин^{-1}$  для низкоуглеродистой катанки), скорости транс-

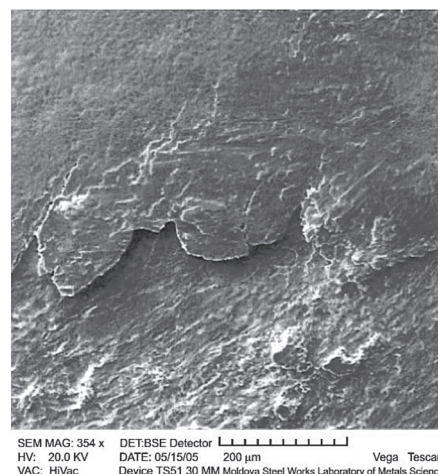


Рис. 6. Внешний вид «пятен» окалина на поверхности катанки, РЭМ – во вторичных электронах

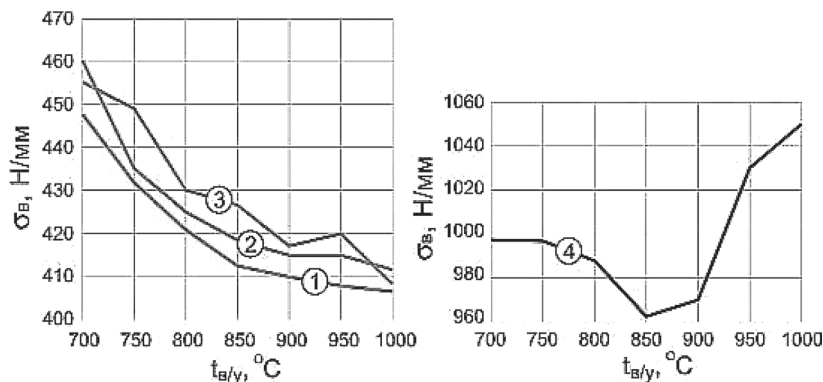


Рис. 7. Зависимость предела прочности низко- и высокоуглеродистой катанки от температуры виткообразования: 1 – низкоуглеродистая катанка диаметром 11 мм, марка 1008,  $\Delta\sigma_{в} = 40$  Н/мм<sup>2</sup>; 2 – низкоуглеродистая катанка диаметром 9 мм, марка 1008,  $\Delta\sigma_{в} = 47$  Н/мм<sup>2</sup>; 3 – низкоуглеродистая катанка диаметром 7 мм, марка 1008,  $\Delta\sigma_{в} = 46$  Н/мм<sup>2</sup>; 4 – высокоуглеродистая катанка диаметром 5,5 мм, сталь 65

портирования ( $V_{тр} = 0,2-0,3$  м/с для низко- и 0,5 м/с для высокоуглеродистой катанки), положения теплоизолирующих крышек (открыты над БСО), отмечено следующее поведение прочности катанки (рис. 7).

Для низкоуглеродистой катанки с увеличением  $t_{в/у}$  однозначно понижаются прочностные свойства (рис. 8, а), причем чем больше диаметр катанки, тем более значимо это снижение, т. е. наблюдается повышение пластичности металла.

Для высокоуглеродистой катанки имеет место экстремальная зависимость: в диапазоне 850–900 °C наблюдается минимум, а менее 800 и более 900 °C – повышающий тренд. Причем в области более высоких температур этот тренд выражен более существенно, что объясняется преимущественным формированием тонкодисперсного перлита при этих температурных диапазонах [9]. Однако в низкотемпературной области (750 и 700 °C) в поверхностных слоях наблюдается сорбит отпуска. Чем ниже температура виткообразования, тем больше по периметру и глубже распространяется эта неудовлетворительная для последующего волочения структурная составляющая (сорбит отпуска). Сорбит отпуска (до 80–85% от периметра глубиной залегания до 0,13 мм) наблюдается при температурах 750 °C, а при 700 °C появляется бейнит.

Для высокоуглеродистой катанки диаметром 5,5 мм из стали марки 65 с повышением  $t_{в/у}$  от 700 до 1000 °C происходит существенное увеличение размера зерна перлита: в среднем от № 9, 10 (ГОСТ 5639) при 700–800 °C до № 9 при 900 °C и № 7, 6 при 1000 °C. Это положительно влияет на степень прямого волочения, так как с увеличением размера зерна (в оптимальном диапазоне от № 10 к № 7 согласно уравнению Холла-Петча) повышается пластичность металла – снижается его сопротивление деформированию. Поведение дисперс-

ности перлита в зависимости от  $t_{в/у}$ , как уже говорилось, носит экстремальный характер с минимумом в области  $t_{в/у} = 800-900$  °C (абсолютный минимум при 850 °C – соответственно П1б. = 55,0 и 53,3%) и увеличением в среднем количества перлита 1-го балла при 700 °C до 61,7% и при 1000 °C до 71,7%.

Способность к стравливанию окалины с поверхности как низко-, так и высокоуглеродистой катанки (рис. 8) практически однозначно улучшается с уменьшением  $t_{в/у}$  и соответственно ухудшается с ее увеличением, т. е. время травления окалины минимально при минимальных температурах  $t_{в/у}$ . Это можно объяснить тем, что с уменьшением  $t_{в/у}$  снижается толщина окалины и увеличивается ее адгезия к металлооснове, но низкая прочность вюститита обуславливает при кислотном травлении достаточно быстрое проникновение кислоты по микротрещинам в слой окалины и ее растворение. Плотный, но равномерный по толщине и химическому составу слой окалины (вюстит на границе металл-окалина, образованный благодаря высокой

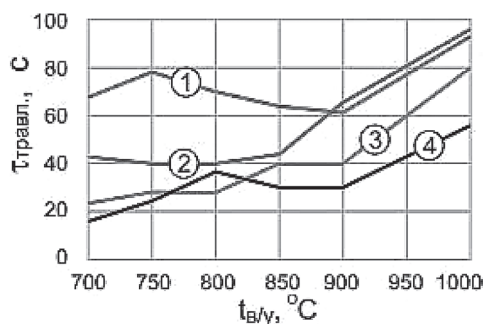


Рис. 8. Зависимость времени травления катанки из низко- и высокоуглеродистой стали от температуры виткообразования: 1 – низкоуглеродистая катанка диаметром 11 мм, марка 1008; 2 – низкоуглеродистая катанка диаметром 9 мм, марка 1008; 3 – низкоуглеродистая катанка диаметром 7 мм, марка 1008; 4 – высокоуглеродистая катанка диаметром 5,5 мм, марка 65

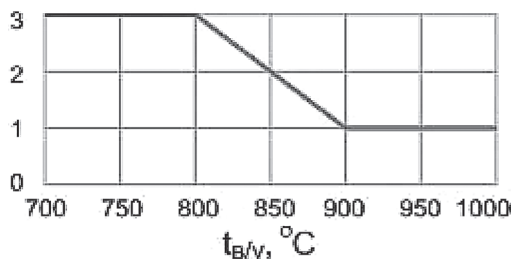


Рис. 9. Зависимость цвета окалины перед ее удалением с поверхности катанки от температуры виткообразования

скорости охлаждения катанки в интервале температур распада вюститита) при минимальных  $t_{в/у}$  обеспечивает и однородное ее стравливание по периметру и длине катанки. Однородность распределения окалины на поверхности катанки при этом обеспечивается также достаточно высокой скоростью перемещения витков по роликовому транспортеру линии Stelmor. Этот вывод подтверждается также и условиями «пятнообразования» на поверхности катанки (рис. 9, 10).

Наиболее оптимальным с точки зрения товарного вида катанки является диапазон  $t_{в/у} = 1000\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ , когда поверхность катанки имеет серый (с просинью) металлический цвет. Со снижением  $t_{в/у}$  этот цвет сменяется сначала на серо-коричневый при  $850\text{ }^\circ\text{C}$ , а затем и на темно-красно-ржавый при  $800\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$ . Как уже указывалось выше, цвет корродированного металла обусловлен легко удаляемой пылью гематита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Физическое обоснование этого процесса заключается в том, что при высокой  $t_{в/у}$  на поверхности катанки образуется  $\text{FeO}$  – вюстит преимущественно черного цвета, над ним –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – магнетит металлического цвета (это доказывается тем, что стравливается двуслойная окалина: нижний слой – черный, верхний – серый).

При снижении  $t_{в/у}$  поверхностный слой металла переохлаждается в большей степени до области образования  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – гематита ржавого цвета. В связи с самоотпуском поверхности катанки за счет тепла сердцевины гематит в полной мере (при достаточно высоких  $t_{в/у}$ ) частично восстанавливается в  $\text{FeO}$ . При более низких  $t_{в/у}$  остается пылевидная пудра гематита.

На поверхности катанки наблюдаются «пятна» двух типов. Темные «пятна» на поверхности катанки образуют остатки не удаленной окалины или продукты распада вюститита на магнетит и железо. Светлые «пятна» («блестящие пятна») представляют собой окалину, опавшую частично и неравномерно по периметру поперечного сечения катанки. Последнее (светлые «пятна») наблюдается при высоких  $t_{в/у}$ , когда образуется большое количество толстой вюститной окалины [10].

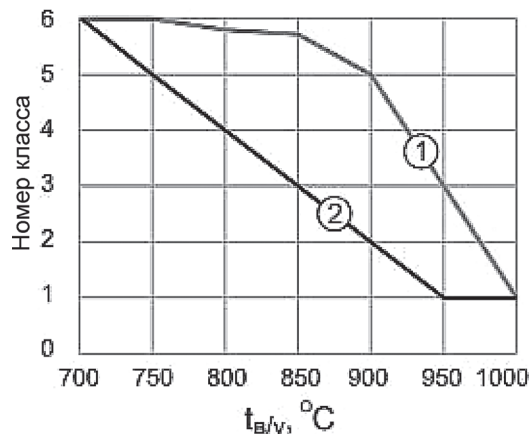


Рис. 10. Зависимость степени поражения поверхности катанки после травления блестящими пятнами от температуры виткообразования для низко- и высокоуглеродистой стали: 1 – низкоуглеродистая катанка; 2 – высокоуглеродистая катанка. Классы блестящих точек после травления: 1 – max по наличию блестящих пятен: крупные и средние пятна в строчку и хаотично, средние редкие; 2 – большое количество средних пятен в сплошную строчку и редкие, единичные крупные пятна в строчку, а также мелкие; 3 – редкие средние, мелкие в строчку и хаотично; 4 – много мелких и средних в строчку и хаотично, редкие крупные; 5 – мелкие в строчку и хаотично или даже в отдельных образцах без пятен; 6 – единичные мелкие пятна, средние, в отдельных образцах (больше, чем в 5), отсутствие пятен – min уровень

Толстая окалина, имея различный со сталью коэффициент теплового расширения, более предрасположена к растрескиванию и слущиванию с поверхности катанки при механических воздействиях. Наиболее критическими с этой точки зрения являются участки катанки в местах разъемов валков последней клетки стана, при формировании витков (внешняя сторона, где возникают растягивающие-скалывающие окалину напряжения), в боковых участках витков на роликовом транспортере (где формируются скопления этих витков и имеется более высокая температура по длине витка и более толстая окалина), а также при отборе проб для испытаний.

После травления степень поражения поверхности катанки «блестящими пятнами» уменьшается (рис. 10), как уже отмечалось, с понижением температуры виткообразования. Так, если при  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  наблюдаются максимально развитые «блестящие пятна» крупных и средних размеров, расположенные в строчку и хаотично, то при  $700\text{ }^\circ\text{C}$  в ряде случаев их вообще нет, а если и встречаются, то единичные, чаще мелкие «пятна».

На рис. 11 приведены отдельные данные по анализируемым плавкам низкоуглеродистой стали (после глубокого травления, что могло сгладить эффект) по уровню «выпотевания» примесей цветных металлов (отношение концентраций элементов в «пятнах» и зонах без «пятен»): эффект для



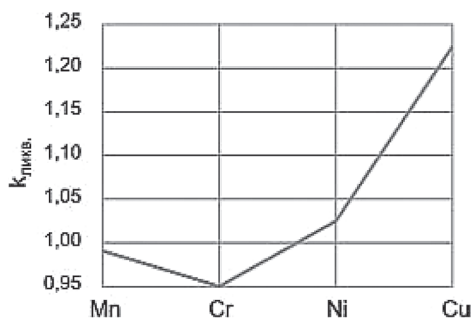


Рис. 11. Уровень ликвации химических элементов в различных участках поверхности катанки.  $k_{ликв.}$  – зона с пятном/зона без пятна

Mn, Cr и Ni незначительный (+3/–5 отн.%), Cu – несколько больший (+27 отн.%).

На основании указанного выше существует оптимизационная задача: необходимо обеспечить наилучшие технологические условия химического удаления окалины при наличии противоречивых требований к ее цвету, рациональной микроструктуре, механическим характеристикам, технологической пластичности катанки при ее волочении.

Наиболее приемлемым решением для химического удаления окалины, по-видимому, является следующее.

1. Для низкоуглеродистой катанки –  $t_{в/у} = 900–850$  °C с корректировкой химического состава в сторону уменьшения упрочняющих элементов (C, Mn, Si, P, Cr, Ni, Cu и др.), эффективным микролегированием стали бором и заключением с заказчиками компромиссного соглашения о допустимости на поверхности катанки красномедного оттенка, при этом количество окалины можно ограничить на уровне 8–6 кг/т (0,8–0,6%).

Проведенные исследования позволили установить однозначную зависимость цвета окалины на поверхности катанки от  $t_{в/у}$ .

2. Для высокоуглеродистой катанки –  $t_{в/у} \approx 950–900$  °C, при этом следует учитывать, что воз-

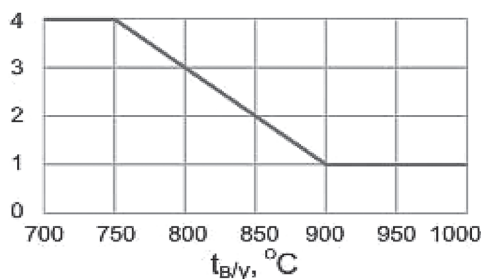


Рис. 13. Цветообразование окалины до ее механического удаления в зависимости от температуры виткообразования по Векаерт: 1 – 1000 °C – серый металл с частично опавшей окалиной; 2 – 900 °C – серый металл с частично опавшей окалиной; 3 – 850 °C – с коричневым оттенком; 4 – 800 °C – темно-красно-рыжий оттенок (медный); 5 – 750 °C – темно-красно-рыжий оттенок (медный) + темно-серый с синевой; 6 – 700 °C – темно-красно-рыжий оттенок (медный) + темно-серый с синевой

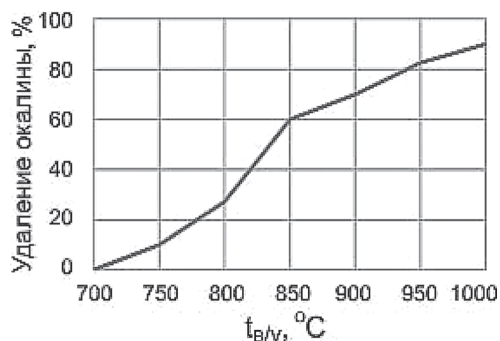


Рис. 12. Уровень ликвации химических элементов в различных участках поверхности катанки: 1000 °C – адгезия очень слабая, 5% оставшейся окалины в «ямках» поверхности; 900 °C – адгезия слабая, 30% оставшейся окалины, легко может быть удалена механическим воздействием; 850 °C – адгезия средняя, 40% оставшейся окалины, менее легко может быть удалена механическим воздействием; 800 °C – адгезия выше средней, затруднено механическое удаление окалины, 70–75% оставшейся окалины; 750 °C – адгезия сильная, оставшаяся окалинка – игольчатая в строчку, 90% оставшейся окалины; 700 °C – высокая степень адгезии, 99–95% оставшейся окалины

можно увеличить  $t_{в/у}$  более 950 °C для улучшения в комплексе дисперсности перлита, механических свойств и деформационной пластичности катанки; при  $t_{в/у} \approx 950–900$  °C количество окалины не более 8 кг/т (0,8%),  $t_{в/у} > 950$  °C – не более 10 кг/т (1,0%). При этом не следует обращать внимания на наличие «блестящих пятен». В отличие от химического метода окалиноудаления способность к удалению окалины механическим способом (рис. 12–15) ухудшается с понижением  $t_{в/у}$  от 1000 до 700 °C.

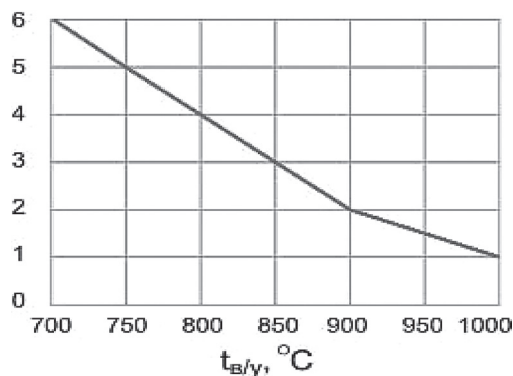


Рис. 14. Характеристика (механизм) механического удаления окалины по методике фирмы «Векаерт» в зависимости от температуры виткообразования: 1 – 1000 °C – редкие и широкие разрывы под углом 45 и 90°, крупные хлопья равномерно или полосками серого цвета; 2 – 900 °C – редкие разрывы под углом 45 и 90°, крупными хлопьями или полосками неравномерно, менее интенсивно, чем при 1000 °C, серые; 3 – 850 °C – равномерное растрескивание под углом 45°, крупные чешуйки и серые полоски; 4 – 800 °C – равномерное растрескивание под углом 45°, мелкие чешуйки и темно-серые полоски; 5 – 750 °C – равномерное растрескивание под углом 45°, мелкие и средние чешуйки и серая пыль; 6 – 700 °C – практически не растрескивается и не осыпается или серая пыль

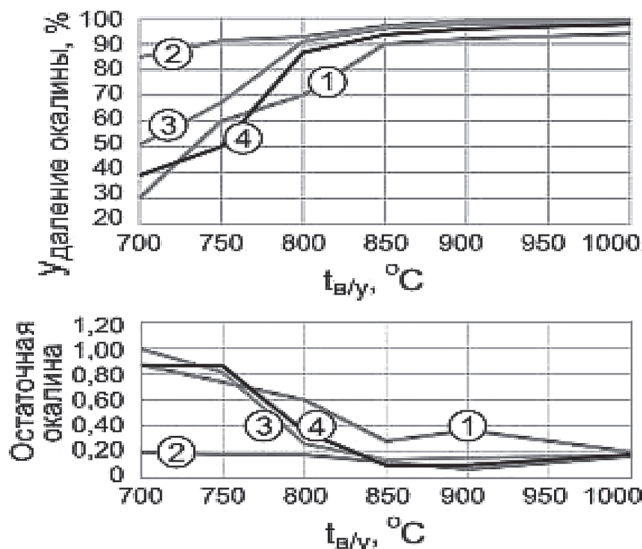


Рис. 15 Удаление окалины и ее остаточное количество в зависимости от температуры виткообразования (методика фирмы «Beckaert»): 1 – низкоуглеродистая катанка диаметром 11 мм, марка 1008; 2 – низкоуглеродистая катанка диаметром 9 мм, марка 1008; 3 – низкоуглеродистая катанка диаметром 7 мм, марка 1008; 4 – высокоуглеродистая катанка диаметром 5,5 мм, марка 65

Количество остаточной окалины минимально в основном при 1000 °C (~0,15 кг/т) и максимально при 700 °C (0,98–0,86 кг/т).

Таким образом, максимальная  $t_{в/у}$  улучшает механическое удаление окалины. Однако при этом на поверхности катанки наблюдаются участки опавшей окалины за счет даже минимальных механических воздействий вследствие очень слабой адгезии такой окалины к металлооснове. Поэтому оголенная, без окалины поверхность катанки при хранении и длительных перевозках может быть прокорродирована в местах расположения «блестящих пятен» и «бластеров» – вздутой окалины. Тем не менее для механического удаления окалины оптимальна  $t_{в/у}$  ~950 °C.

«Выпотевание» меди [8] на поверхности катанки должно привести к так называемой поверхностной красноломкости, так как чистая медь имеет температуру плавления 1083 °C и в жидком состоянии распространяется в межзеренных границах, ослабляет связь между зернами и охрупчивает металл.

Однако на практике этого не наблюдается. Красноломкость, в свою очередь, ухудшает окалиноудаление. Отмечается также, что для того, чтобы явление красноломкости не проявлялось, необходимо обеспечить отношение Cu/Ni не более 1,5 ( $Cu/Ni \leq 1,5$ ). Анализ показывает, что это отношение в углеродистых сталях находится в диапазоне 1,31–2,70, что однако в целом не оказывает отрицательного влияния на удаление окалины. Наибо-

лее значимо влияние  $t_{в/у}$  при быстром прохождении температурного диапазона 570–400 °C.

### Выводы

1. Исследования позволили выяснить природу пятнистой поверхности катанки. Темные «пятна» могут быть остатками не удаленной окалины или выделений металлической меди и никеля (явление «выпотевания»). Блестящие «пятна» – это участки металлоосновы, оголенные в результате слущивания окалины с поверхности катанки из-за механического воздействия и/или температурного воздействия за счет разности коэффициентов теплового расширения окалины и стали.

2. «Выпотевание» цветных металлов (Cu и Ni в основном) носит приграничный характер. Увеличение концентрации Cu и Ni (иногда Cr и P) наблюдается на внутренней поверхности окалины, что вызывает поверхностную красноломкость.

3. Оптимальная вюститная окалина и способности ее к удалению перед волочением определяются температурой виткообразования. При этом благоприятны низкие температуры  $t_{в/у}$  (~850 °C), когда формируется тонкая и плотная окалина.

Для низкоуглеродистой катанки наблюдаются монотонное падение пластичности и рост прочности, а для высокоуглеродистой катанки – неудовлетворительная микроструктура: сорбит отпуска, бейнит и перлит пониженной дисперсности.

4. С повышением  $t_{в/у}$  (оптимальное значение 950–1000 °C) удаление окалины механическим способом улучшается вследствие разности теплового расширения окалины и металла. Это обуславливает растрескивание окалины, ее низкую адгезию к металлооснове и легкость удаления при механическом воздействии. Низкая адгезия приводит даже при незначительном механическом усилии к местному сколу окалины или ее вздутию. Бластеры и участки без окалины при хранении и длительной транспортировке приводят к коррозии, а при травлении – к перетраву металла. При низких значениях  $t_{в/у}$  образуется тонкая плотная с очень высокой адгезией к металлу окалина, которая практически не удаляется механическим методом.

5. При высоких температурах  $t_{в/у}$  образуется вюститная окалина черного цвета, примыкающая к металлооснове, над которой с внешней стороны расположен магнетит серо-металлического цвета. При понижении  $t_{в/у}$  формируется гематит красно-рыже-ржавого цвета, который за счет тепла сердцевин катанки восстанавливается до магнетита или вюстита. Остатки гематита в виде тончайшего пудровидного налета на поверхности катанки ошибочно принимают за ржавчину.



## Литература

1. Ф у н к е П., м.л., Х а й н р и т ц М. Влияние условий охлаждения на стане на структуру окалины и травимость стальной катанки // Черные металлы. 1970. № 3.
2. Особенности окалинообразования и травления проката высокоуглеродистых сталей / В. П. Лященко, В. Н. Климов, А. Н. Мороз, В. Н. Ковалев, Н. А. Сивоконь // Информация из Internet.
3. Л е с т а н и М. Введение в систему управления структурой фирмы Даниели – DSC. – Бутрио. 1995.
4. Исследование возможности наиболее полного удаления окалины с поверхности катанки перед волочением / В. В. Парусов, А. Н. Савьюк, А. Б. Сычков и др. // Металлург. 2004. № 6.
5. Исследование способности к удалению окалины с поверхности катанки из стали Св08Г2С / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, М. А. Жигарев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 5.
6. Модернизация оборудования и совершенствование технологии для производства качественного проката в условиях Молдавского металлургического завода (ММЗ) / А. Б. Сычков, Н. А. Богданов, В. В. Парусов, О. В. Парусов, М. А. Жигарев // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. № 8–9.
7. К о к о в и х и н Ю. И. Технология сталепроволочного производства: Учеб. для вузов. Киев: Віпол.
8. Медь в черных металлах / Под ред. И. Ле Мэя и Л. М. Д. Шетки: Пер. с англ. И. Д. Марчуковой и А. Н. Штейнберга. М.: Металлургия, 1988.
9. Формирование оптимальной микроструктуры в высокоуглеродистой катанке / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. В. Перчаткин // Сталь. 2005. № 1.
10. Взаимосвязь толщины и удельной массы окалины на поверхности высокоуглеродистой катанки / В. В. Парусов, Э. В. Парусов, И. Н. Чуйко, А. Б. Сычков, И. В. Деревянченко // Сб. науч. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение». Вып. 27. Ч. 2. 2004.