

Библиографический список

1. О роли стали в XXI веке / О.А. Банных // Электromеталлургия. 2005. № 5. С. 6–10.
2. Место коррозионно-стойкой стали в мировой металлургии / А.Е. Семин, Ю.И. Уточкин, Е.А. Родионова // Электromеталлургия. 2006. № 1. С. 2–9.
3. Легирование стали азотом / Свяжин А.Г. // Черная металлургия. Бюл. НТИ. 1990. № 6. С. 23–32.
4. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. М.: Металлургия, 1988. 784 с.
5. Мержанов А. Г. Твердопламенное горение. Черноголовка: Исман, 2000. 224 с.
6. Зиатдинов М.Х. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез азотированного феррованадия: Дис. ... канд. техн. наук. Томск, 1982.
7. Технология получения азотированного ферросилиция и результаты его применения в металлургическом производстве / И.М. Шагохин, М.Х. Зиатдинов // Черная металлургия. Бюл. НТИ. 2007. № 6. С. 23–32.
8. А. с. 589219 СССР, МКл. С21С 7/00. Способ получения литого азотированного ферросплава.
9. Пат. 2797156 США, Н.Кл. 75-28. Nitrogen-bearing ferrochromium.

УДК 621.771

Сычков А.Б.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОКАЛИНЫ И СПОСОБНОСТЬ ЕЕ К УДАЛЕНИЮ ПЕРЕД ВОЛОЧЕНИЕМ КАТАНКИ

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°C), а химического способа – более низкая температура (~850°C). Однако следует иметь в виду погрешность пирметров, которая предопределяет некоторые колебания этих температур как в большую, так и в меньшую стороны. Так, например, в условиях СЗАО ММЗ [4, 5] оптимальной температурой виткообразования для катанки как из низко-, так и высокоуглеродистой марок стали, предназначенной для механического удаления окалины, является температура ~950°C. При этой температуре формируется однородная окалина, практически на 100% состоящая из вюстита (FeO), который имеет минимальную адгезию к поверхности металлоосновы и наилучшим образом (полностью) удаляется механическим способом. Однако, чтобы сохранить в процессе охлаждения металла после виткообразования на линии Stelmog вюститную составляющую и предотвратить ее распад на магнетит (Fe₃O₄), обладающий высокой адгезией к металлооснове и соответственно плохой способностью к удалению с поверхности катанки, внедрена технология ускоренного охлаждения металла вентилятором воздухом в диапазоне температур 570...400°C. И даже для катанки сварочного назначения из низкоуглеродистой легированной кремнемарганцевой стали типа Св-08Г2С [5], для кото-

рой не применяется ускоренное вентиляционное охлаждение в температурном диапазоне распада вюстита (570...400°C), при хорошей системе механического окалиноудаления обеспечивается удовлетворительное удаление окалины с формированием светлой металлической поверхности катанки перед волочением, что обеспечивает блестящий товарный вид поверхности омедненной проволоки из такой катанки.

В то же время вышеуказанный технологический режим двустадийного охлаждения углеродистой катанки (температура виткообразования $t_{в/г} \approx 950^\circ\text{C}$, блоки струйного охлаждения БСО: ~4...6 шт. \times 600...800 мин⁻¹ и до 6×1480 мин⁻¹ для различных диаметров катанки [6]) обеспечивал также и удовлетворительную травимость катанки. Однако, по сообщениям некоторых потребителей, травление такой катанки периодически проходит неудовлетворительно. Так, наблюдается бурление травильной ванны, что можно связать с выделением водорода при перетраве. Возможно и неполное удаление окалины, что предположительно обусловлено разным составом окалины (FeO + Fe₃O₄, 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°C. Это обуславливает разную травимость окалины с элементами пере/недотрава и появлением так называемых «бластеров» – пузы-

ристой 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. Это обуславливает несмачивание поверхности катанки травильным раствором со всеми вытекающими из этого негативными последствиями.

Несмотря на то, что, в целом, у большинства потребителей катанки химическое удаление окалины идет удовлетворительно, необходимо исследовать технологические особенности двустадийного охлаждения, обеспечивающие наилучшую травимость окалины. В основном, по-видимому, это связано с оптимизацией температуры виткообразования, так как просматривается четкая зависимость, что с уменьшением этой температуры снижается толщина окалины и увеличивается ее плотность и адгезия к металлооснове. Это обуславливает формирование плотной окалины без участков с осыпавшейся окалиной и бластерами, а так как обеспечивается быстрое прохождение при охлаждении неблагоприятного температурного диапазона ($570...400^{\circ}\text{C}$), то формируется и окалина оптимального химического состава (вюстит – FeO) без наличия на границе раздела окалина – металлооснова магнетита (Fe_3O_4) и гематита (Fe_2O_3). Последние два окисла железа могут располагаться с внешней стороны от металлоосновы и вюстита. Недостатком более низкой температуры виткообразования является ухудшение товарного вида ка-

танки, так как во внешних поверхностных слоях образуется пылевидный налет ржаво-коричневого цвета, состоящий из гематита (Fe_2O_3). Это явление в ряде случаев настораживает трейдеров и заказчиков, вводя их в заблуждение, что металл якобы прородирован.

Ниже приводятся результаты исследования химического удаления окалины при различных температурах виткообразования как для низко-, так и для 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 обусловить 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 (в основном, серную и/или соляную), ингибиторы, увеличивают время травления. Поэтому происходит перетрав [7] металлической части поверхности катанки, при котором выделяется водород, вызывающий бурление кислотной ванны. При этом увеличивается количество шлама – соляных продуктов травления окалины, а также охрупчивается металл.

В общем, пятнообразование на поверхности катанки может быть обусловлено следующими причинами:

1. Разложение вюстита (FeO) при медленном охлаждении в диапазоне температур $570...400^{\circ}\text{C}$ на магнетит (Fe_3O_4) и железо (Fe): $4\text{FeO}=\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{Fe}$.

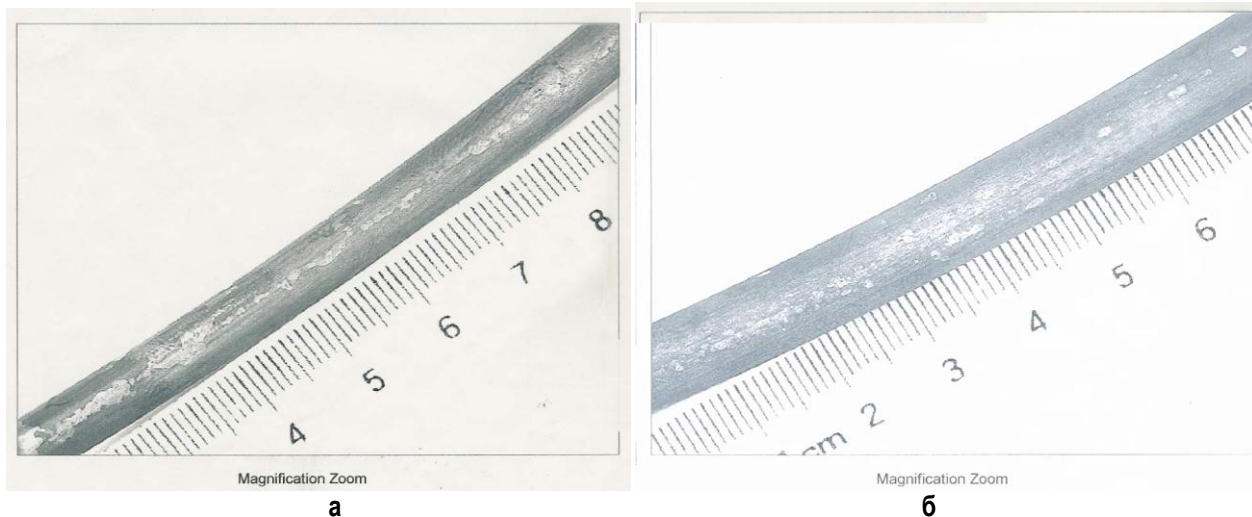


Рис. 1. Внешний вид после травления «пятна» на поверхности катанки диаметром 7.0 мм (а) и 9.0 мм (б):
 а – $t_{\text{в/л}} \approx 900^{\circ}\text{C}$; БСО $4 \times 600 \text{ мин}^{-1}$; $V_{\text{тр}} = 0.2...0.3 \text{ м/с}$; крышки над БСО открыты;
 б – $t_{\text{в/л}} \approx 850^{\circ}\text{C}$; БСО $4 \times 800 \text{ мин}^{-1}$; $V_{\text{тр}} = 0.2...0.3 \text{ м/с}$; крышки над БСО открыты

В этом случае Fe_3O_4 выделяется попеременно с FeO на границе раздела металлосонова – окалина и имеет большую адгезию к поверхности катанки, чем вюстит. Поэтому способность к стравливанию у магнетита значительно хуже, чем у вюстита. Это доказывается иллюстрациями (рис. 2–4), на которых ясно видно, что участки металла имеют разное время травления окалины и поэтому наблюда-

ется неполное удаление окалины.

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. 5). Это явление повышает шероховатость поверхности катанки и спо-

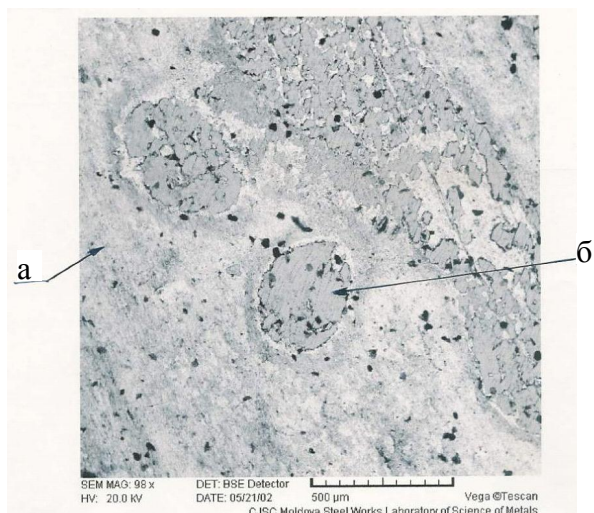


Рис. 2. Поверхность низкоуглеродистой катанки (исследование на РЭМ в отраженных электронах) с участками разной травимости:

а – участок со стравленной окалиной (полностью);
б – рельефно возвышающийся участок с Fe_3O_4 – не травленный



Рис. 3. То же, что и на рис. 2, только слой Fe_3O_4 частично стравлен (РЭМ – исследование во вторичных электронах)

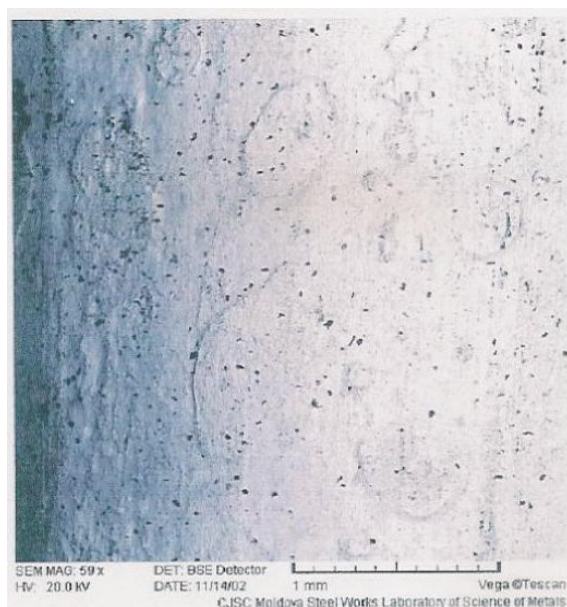


Рис. 4. Полностью вытравленная окалина на поверхности катанки: выпуклые участки (Fe_3O_4) имеют большее время травления:

а – РЭМ - исследование в отраженных электронах; **б** – РЭМ – во вторичных электронах

способствует улучшению окалиноудаления с нее.

3. Атмосферная или иная (от остатков селитры в вагонах, например) неравномерно распределенная по периметру поперечного сечения катанки коррозия, в том числе питтинговая.

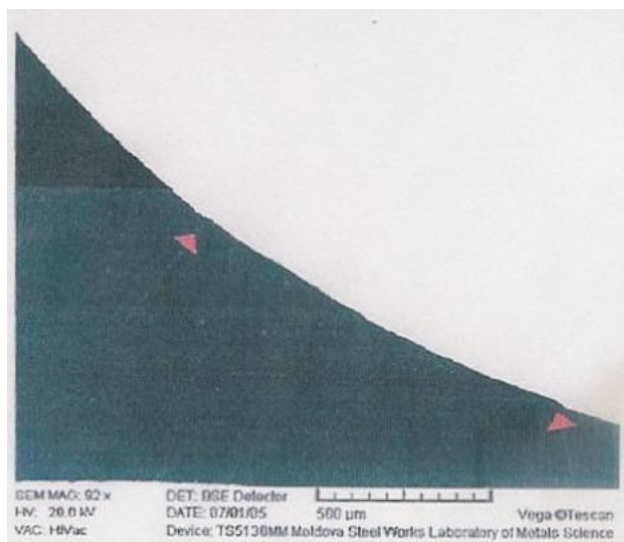
4. Наличие в поверхностных внешних слоях окалины гематита (Fe_2O_3) в виде тончайшей мелкодисперсной пудры рыже-ржавого цвета, которая неравномерно распределяется на поверхности катанки, но легко удаляется.

Зачастую наблюдаются «пятна» и до, и после

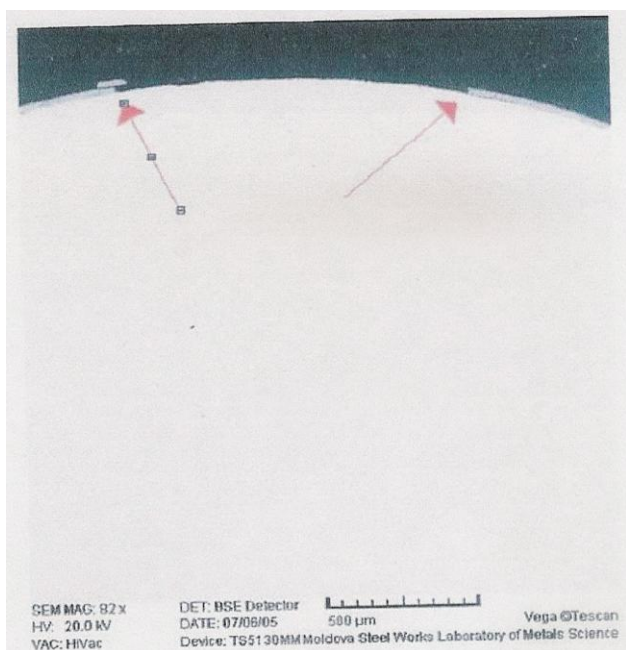
травления окалины, особенно при высоких значениях температуры виткообразования ($t_{в/л}$). До удаления окалины «пятна» образуют участки осыпавшейся окалины. «Пятна» иногда образуют пленку, в ряде случаев из «выпотевших» Cu, Ni, Cr (иногда Si), которая механически хорошо разрушается (на **рис. 6** видно на концах образцов в местах реза более светлые участки, свободные от пассивирующей пленки), но плохо удаляется при травлении (30 минут в стандартном HCl-растворе по ГОСТ 30136). Так как в металлографических



а



б



в

Рис. 5. «Пятна» на поверхности катанки после травления, РЭМ, во вторичных электронах (а) и отраженных электронах (б, в):

а – катанка диаметром 5.5 мм, марка 1008;

б – катанка диаметром 7.0 мм, марка 1008;

в – катанка диаметром 6.5 мм, марка 1006

исследованиях применяется достаточно сильное травление, то, зачастую, «выпотевание» примесей цветных металлов не обнаруживают. Однако на внутренней поверхности окалины эти элементы присутствуют, что вполне объяснимо – «выпотевание» наблюдается на границе раздела окалина – металлооснова. В ряде случаев локальное повышение этих элементов на катанке достигает ~ 10% Cu, ~ 5% Ni, ~ 2% 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 × 1000 мин⁻¹) и время термостатирования под теплоизолирующими крышками при скорости роликового транспортера в диапазоне 0.2/0.3...0.3/0.4 м/с с последующей оценкой окалиноудаления с поверхности катанки в лабораторных условиях. Кроме оценки удаляемости окалины химическим методом проведено также подобное оценивание и механическим способом, в том числе и по методике фирмы Векаерт. Дополнительно исследованы зависимости изменения механических свойств, структурных параметров, внешнего вида поверхности катанки от температуры раскладки витков на роликовый транспортер линии Stelmor. Ниже приводятся результаты исследований.

На **рис. 7** представлена окалина на поверхности низкоуглеродистой катанки с «пятнами» оголившегося металла с ферритной структурой. Это участки металла со слущенной окалиной. Технологический процесс двустадийного охлаждения этого металла на линии Stelmor стандартный ($t_{в/у} \approx 950^\circ\text{C}$; БСО 4 × 600 мин⁻¹; $V_{тр} = 0.2...0.3$ м/с; теплоизолирующие крышки открыты над БСО).

В рамках изменения параметров технологии, которые в конечном итоге свелись к варьированию температуры виткообразования при стабилизации условий работы БСО (4...6 × 600...800 мин⁻¹ для низкоуглеродистой катанки), скорости транспортирования ($V_{тр} = 0.2...0.3$ м/с для низко- и 0.5 м/с для высокоуглеродистой катанки), положения теплоизолирующих крышек (открыты над БСО), отмечено следующее поведение прочности катанки (**рис. 8**). Для низкоуглеродистой катанки с увеличением $t_{в/у}$ однозначно понижаются прочностные свойства (σ_b), причем, чем больше диаметр катанки, тем более значимо это снижение, то есть наблюдается повышение пластичности металла. Для высокоуглеродистой катанки имеет место экстремальная зависимость: в диапазоне 850...900°C наблюдается минимум, а менее 800°C и более 900°C – повышающий тренд. При-



Рис. 6. Внешний вид поверхности катанки диаметром 9 мм из низкоуглеродистой стали 1008 после травления; $t_{в/у} \approx 1000^\circ\text{C}$

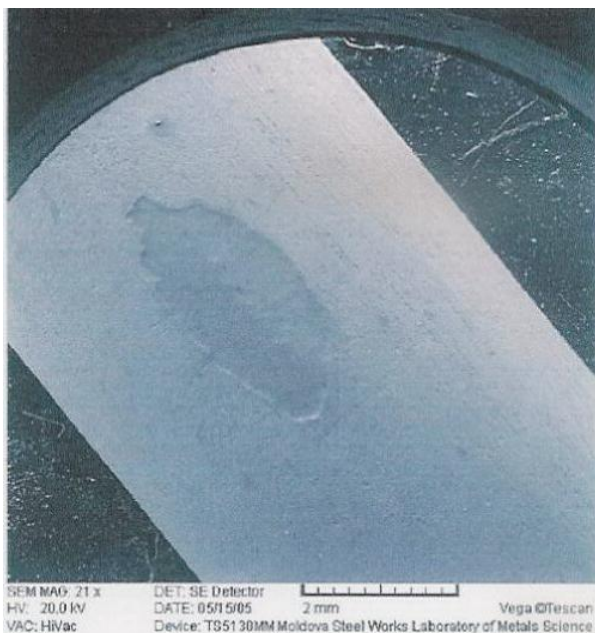
чем в области более высоких температур этот тренд выражен более существенно. Это объясняется преимущественным формированием тонкодисперсного перлита при этих температурных диапазонах [9]. Однако в низкотемпературной области (750 и 700°C) в поверхностных слоях наблюдается сорбит отпуска. Причем, чем ниже 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 номеров (ГОСТ 5639) при 700...800°C до № 9 при 900°C и № 7, 6 при 1000°C. Это может положительно повлиять 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 дисперсности перлита в зависимости от $t_{в/у}$, как уже указывалось, носит экстремальный характер с минимумом в области $t_{в/у} = 800...900^\circ\text{C}$ (абсолютный минимум при 850°C – соответственно П 1 б. = 55 и 53.3%) и увеличением, в среднем, количества перлита 1 балла при 700°C до 61.7% и при 1000°C до 71.7%.

Способность к стравливанию окалины как с поверхности низко-, так и высокоуглеродистой катанки (**рис. 9**) практически однозначно улучшается с уменьшением $t_{в/у}$ и соответственно ухудшается с увеличением этой температуры. То

есть 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 (по сравнению с другими окислами железа) вюстит обуславливает при кислотном травлении достаточно быстрое проникновение кислоты по микротрещинам в слой окалины и ее растворение. Плотный, но равномерный по толщине и химическому составу (вюстит на границе металл-окалина, образованный

благодаря высокой скорости охлаждения катанки в интервале температур распада вюстита) слой окалины при минимальных $t_{в/у}$ обеспечивает и однородное стравливание окалины по периметру и длине катанки. Однородность распределения окалины на поверхности катанки при этом обеспечивается также достаточно высокой скоростью транспортирования витков по роликовому транспортеру линии Stelmor. Этот вывод подтверждается также и условиями «пятнообразования» на поверхности катанки (рис. 10, 11).



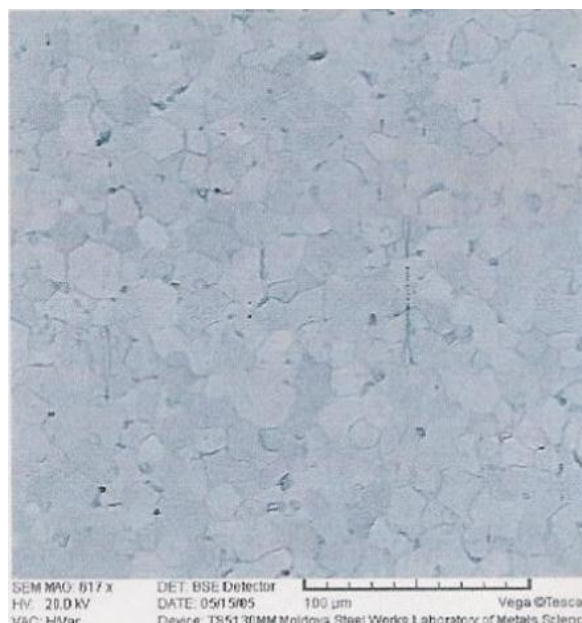
а



б



в



г

Рис. 7. Внешний вид «пятен» (а, б), окалины (в) и структуры (г) на поверхности катанки, РЭМ: а, в – во вторичных электронах; б, г – в отраженных электронах

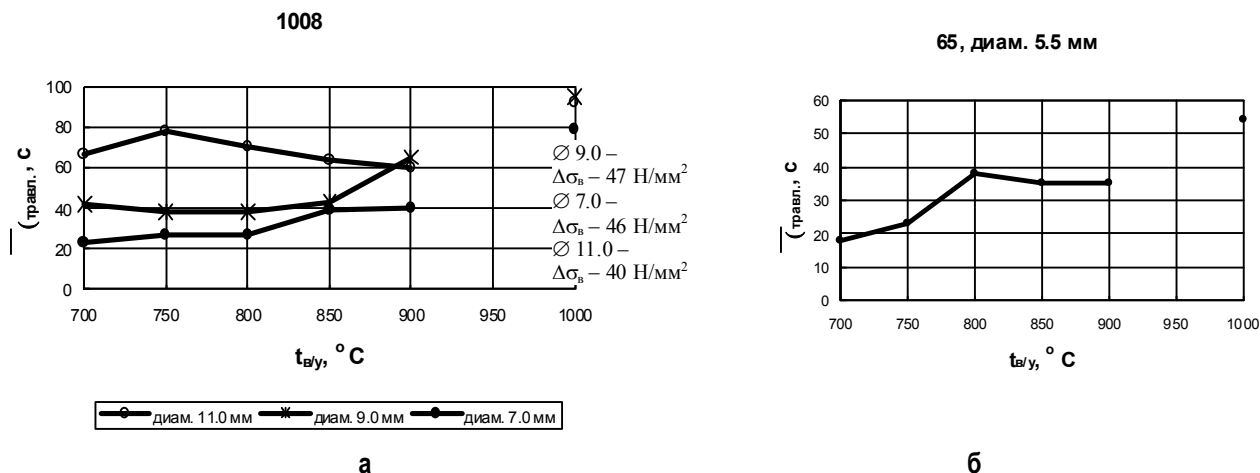


Рис. 8. Зависимость предела прочности низкоуглеродистой (а) и высокоуглеродистой (б) катанки от температуры виткообразования

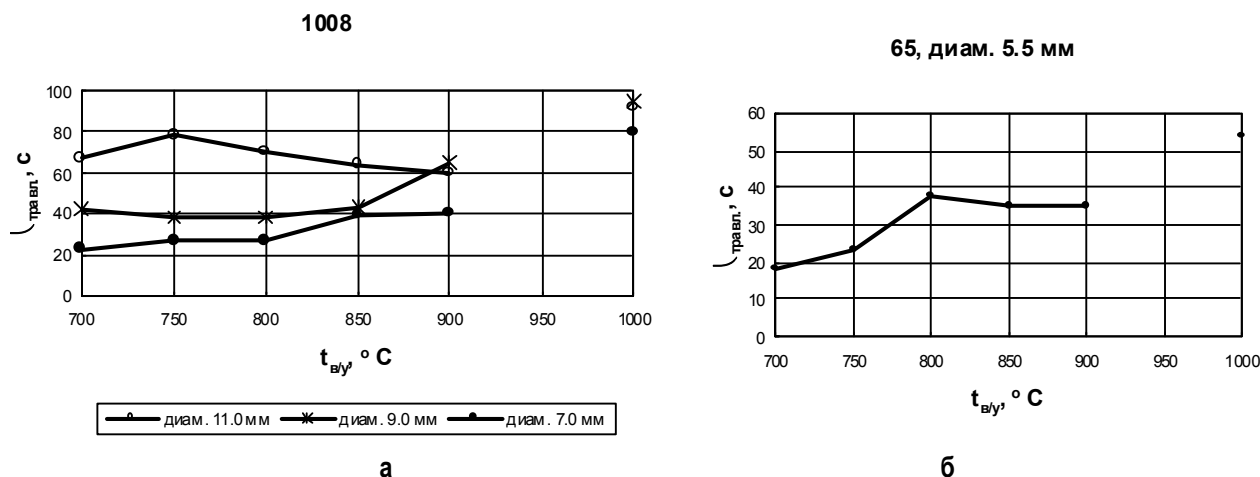


Рис. 9. Зависимость времени травления катанки из низкоуглеродистой (а) и высокоуглеродистой (б) стали от температуры виткообразования

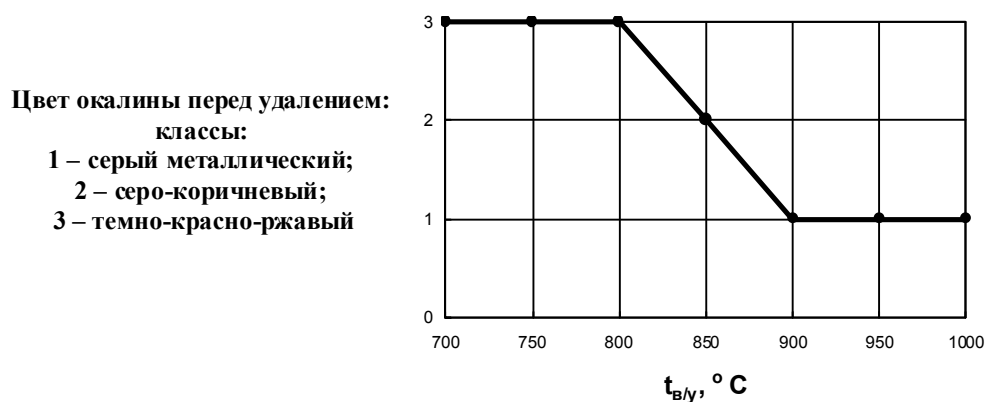


Рис. 10. Зависимость цвета окалины перед ее удалением с поверхности катанки от температуры виткообразования

Классы блестящих точек после травления:

- 1 – тах 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

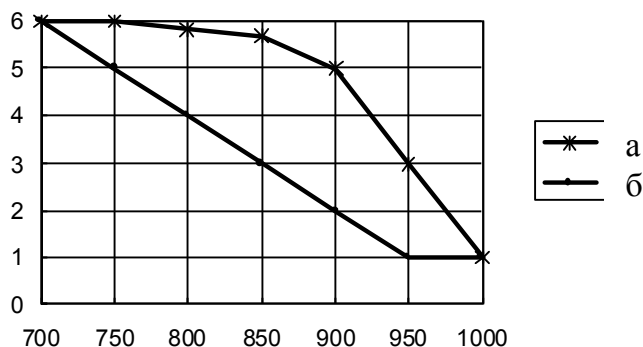


Рис. 11. Зависимость степени поражения поверхности катанки после травления блестящими пятнами от температуры виткообразования для низкоуглеродистой (а) и высокоуглеродистой (б) стали

Проведенные исследования позволили установить однозначную зависимость цвета окалины на поверхности катанки от $t_{в/у}$. Наиболее оптимальным с точки зрения товарного вида катанки является диапазон $t_{в/у} = 1000...900^{\circ}\text{C}$, когда поверхность катанки имеет серый (с просинью) металлический цвет. Со снижением $t_{в/у}$ этот цвет сменяется сначала на серо-коричневый при 850°C , а затем и на темно-красно-ржавый при $800...700^{\circ}\text{C}$. Как уже указывалось в настоящей статье, цвет корродированного металла обусловлен легко удаляемой пылью гематита (Fe_2O_3). Физическое обоснование этого процесса заключается в том, что при высокой $t_{в/у}$ на поверхности катанки образуется FeO – вюстит преимущественно черного цвета, над ним – Fe_3O_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 Fe_2O_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 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 неудаленной окалины или продукты распада вюстита – 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]. 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 окалины 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» (см. рис. 11) уменьшается, как уже указывалось, с понижением температуры виткообразования. Так, если при 1000°C наблюдаются максимально развитые «блестящие пятна» крупных и средних размеров, расположенные в строчку и хаотично, то при 700°C в ряде случаев их вообще нет, а если и встречаются, то единичные, чаще мелкие пятна.

На рис. 12 представлены отдельные данные по анализируемым плавкам низкоуглеродистой стали (после глубокого травления, что могло сгладить

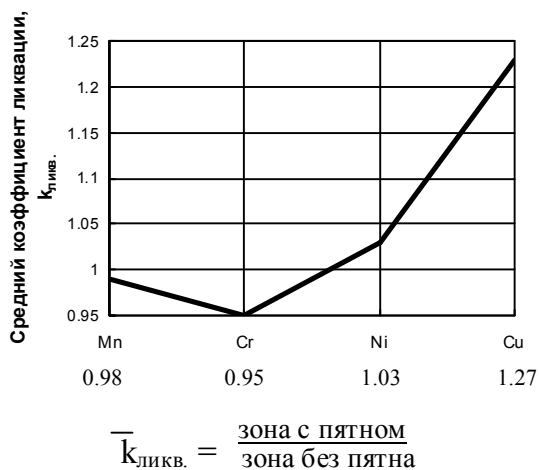


Рис. 12. Уровень ликвации химических элементов в разнородных участках поверхности катанки

эффект) по уровню «выпотевания» примесей цветных металлов (отношение концентраций элементов в «пятнах» и зонах без «пятен»): эффект для Mn, Cr и Ni незначительный (+3/-5% отн.), Cu – несколько больший (+27% отн.).

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

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

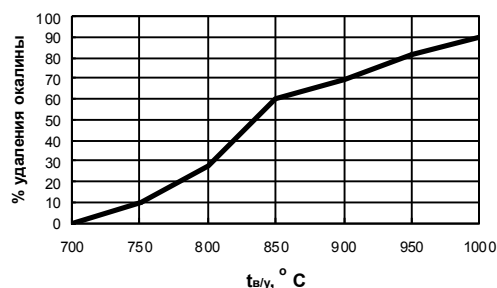
а) для низкоуглеродистой катанки $t_{в/у} \approx 900 \dots 850^\circ\text{C}$ с корректировкой химического состава в сторону уменьшения упрочняющих элементов (C, Mn, Si, P, Cr, Ni, Cu и др.) эффективным микролегированием стали бором и заключением с заказчиками компромиссного соглашения о допустимости поверхности катанки с красно-медным оттенком; при этом количество окалины можно ограничить на уровне 8...6 кг/т (0.8... 0.6%);

б) для высокоуглеродистой катанки $t_{в/у} \approx 950 \dots 900^\circ\text{C}$, при этом следует учитывать, что возможно увеличить $t_{в/у} \geq 950^\circ\text{C}$ для улучшения в комплексе дисперсности перлита, механических свойств и деформационной пластичности катанки-проволоки; при $t_{в/у} \approx 950 \dots 900^\circ\text{C}$ количество окалины не более 8 кг/т (0.8%), $t_{в/у} \geq 950^\circ\text{C}$ – не более 10 кг/т (1.0%); при этом не следует обращать внимание на наличие «блестящих пятен».

В отличие от химического метода окалиноудаления, способность к удалению окалины механическим способом (рис. 13–16) ухудшается с понижением $t_{в/у}$ от 1000 до 700°C. 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 $t_{в/у} \approx 950^\circ\text{C}$.

Выпотевание меди [8] на поверхности катанки должно привести к так называемой «поверхност-

ной краснеломкости», 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. Краснеломкость, в свою очередь, ухудшает окалиноудаление. Отмечается также, что для того, чтобы явление краснеломкости не проявлялось, необходимо обеспечить отношение Cu/Ni не более 1.5 ($\text{Cu/Ni} \leq 1.5$). Анализ показывает, что это отношение в углеродистых сталях находится в диапазоне



1000 °С – адгезия очень слабая, ~5 % оставшейся окалины в «ямках» поверхности;

900 °С – адгезия слабая, ~30 % оставшейся окалины, легко может быть удалена механическим воздействием;

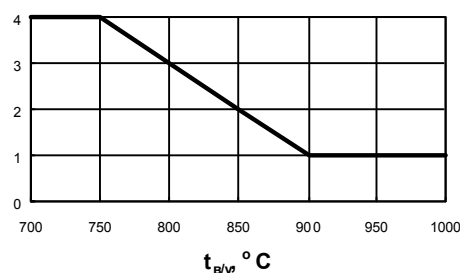
850 °С – адгезия средняя, ~40 % оставшейся окалины, менее легко может быть удалена механическим воздействием;

800 °С – адгезия выше средней, затруднено механическое удаление окалины, ~70...75 % оставшейся окалины;

750 °С – адгезия сильная, оставшаяся окалина – игольчатая в строчку, ~90 % оставшейся окалины;

700 °С – высокая степень адгезии, ~99...95 % оставшейся окалины

Рис. 13. Механическое удаление окалины – визуальная оценка (%) в зависимости от $t_{в/у}$ (°C)



До:

1 - 1000 °С – серый металл с частично опавшей окалиной;

1 - 900 °С – серый металл с частично опавшей окалиной;

2 - 850 °С – с коричневым оттенком;

3 - 800 °С – темно-красно-рыжий оттенок (медный);

4 - 750 °С – темно-красно-рыжий оттенок (медный) + темно-серый с синевой;

4 - 700 °С – темно-красно-рыжий оттенок (медный) + темно-серый с синевой

Рис. 14. Цветообразование окалины до ее механического удаления в зависимости от температуры виткообразования по Векаерт

1 - 1000 °С – редкие и широкие разрывы под углом 45 и 90 °, крупные хлопья равномерно или полосками серого цвета;
 2 - 900 °С – редкие разрывы под углом 45 и 90 ° крупными хлопьями или полосками неравномерно, менее интенсивно, чем при 1000 °С, серые;
 3 - 850 °С – равномерное растрескивание под углом 45° - крупные чешуйки и серые полоски;
 4 - 800 °С – равномерное растрескивание под углом 45° - мелкие чешуйки и темно-серые полоски;
 5 - 750 °С – равномерное растрескивание под углом 45° - мелкие и средние чешуйки и серая пыль;
 6 - 700 °С – практически не растрескивается и не осыпается или серая пыль

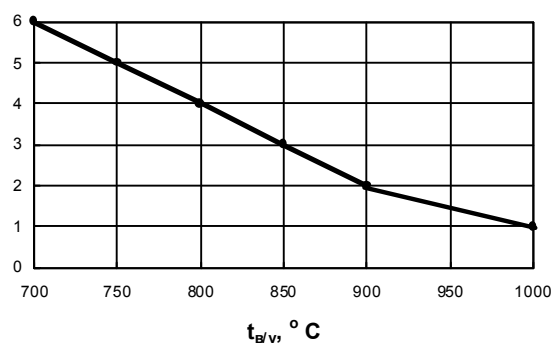


Рис. 15. Характеристика (механизм) механического удаления окалины по методике фирмы Векаерт в зависимости от температуры виткообразования

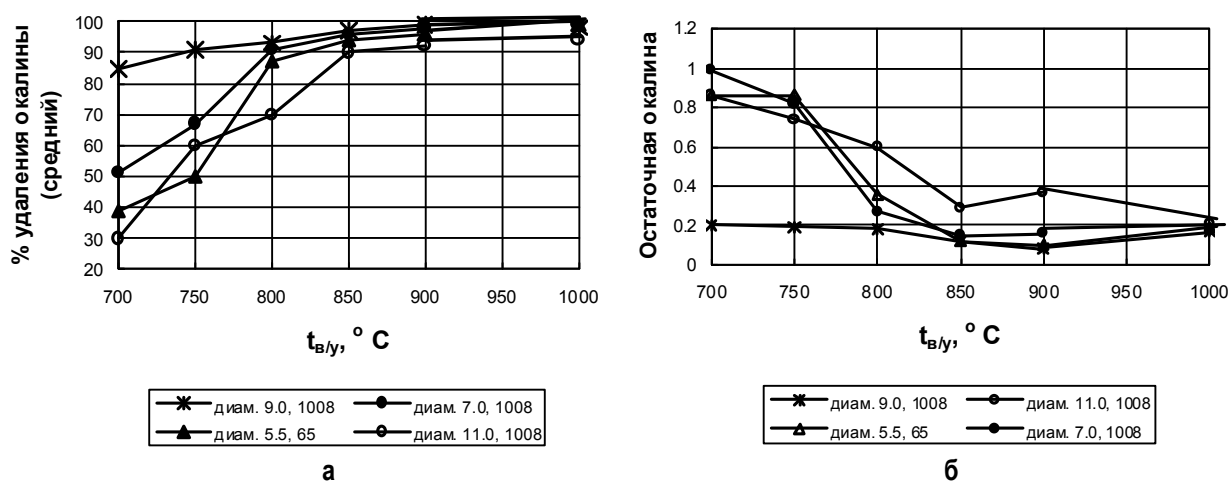


Рис. 16. Удаляемость окалины (а) и ее остаточное количество (б) в зависимости от температуры виткообразования (методика фирмы Векаерт)

1.31...2.70, что однако, в целом, не оказывает отрицательного влияния на удаление окалины. Наиболее значимо влияние $t_{в/у}$ – при быстром прохождении температурного диапазона 570...400°С.

ВЫВОДЫ

1. Исследования позволили выяснить природу пятнистой поверхности катанки. Темные «пятна» могут быть остатками неудаленной 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 предупреждает поверхностную краснотелость.

3. Оптимальная воститная окалина и способности ее к удалению перед волочением опреде-

ляются температурой виткообразования. Для химического удаления окалины наиболее благоприятны низкие температуры $t_{в/у}$ (~850°С), когда формируется тонкая и плотная окалина без слущивания окалины, «пятен» и бластеров, удаляемая за минимальное время. При этом для низкоуглеродистой катанки наблюдается 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 °С) 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 поверхность с очень высокой адгезией окислы к металлу, которая практически не удаляется механическим методом.

5. При высоких температурах $t_{в/у}$ образуется вюститная окисла, премокающая к металлооснове черного цвета, над которой с внешней сто-

роны расположен магнетит серо-металлического цвета. При понижении $t_{в/у}$ формируется гематит красно-рыже-ржавого цвета, который за счет тепла сердцевины катанки восстанавливается до магнетита или вюстита. Остатки гематита в виде тончайшего пудровидного налета на поверхности катанки ошибочно принимают за ржавчину.

Библиографический список

1. Функе П. мл., Хайнриц М. Влияние условий охлаждения на стане на структуру окислы и травимость стальной катанки // Черные металлы. 1970. № 3. С. 12–20.
2. Особенности окислыобразования и травления проката высокоуглеродистых сталей / В.П. Лященко, В.Н. Климов, А.Н. Мороз, В.Н. Ковалев, Н.А. Сивоконь. (Информация из Internet).
3. Лестани М. Введение в систему управления структурой фирмы Даниели – DSC. Бутрио. 1995. 81 с.
4. Исследование возможности наиболее полного удаления окислы с поверхности катанки перед волочением / В.В. Парусов, А.Н. Савьюк, А.Б. Сычков, А.М. Нестеренко, А.А. Олейник, М.А. Жигарев, А.В. Перчаткин // Металлург. 2004. № 6. С. 69–72.
5. Исследование способности к удалению окислы с поверхности катанки из стали Св-08Г2С / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, С.Ю. Жукова, О.В. Парусов, А.В. Перегудов // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 5. С. 70–72.
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. С. 306–313.
7. Коковихин Ю.И. Технология сталепроволочного производства: Учебник для вузов. Киев: Віпол, 1998. 608 с.
8. Медь в черных металлах / Под ред. И.Ле Мэя и Л.М. -Д. Шетки. М.: Металлургия, 1988. 312 с.
9. Формирование оптимальной микроструктуры в высокоуглеродистой катанке / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.В. Перчаткин // Сталь. 2005. № 1. С. 82–85.
10. Взаимосвязь толщины и удельной массы окислы на поверхности высокоуглеродистой катанки / В.В. Парусов, Э.В. Парусов, И.Н. Чуйко, А.Б. Сычков, И.В. Деревянченко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. 2004. Ч. 2. Вып. 27. С. 26–29.

УДК 621.771

Шмаков В.И., Салганик В.М., Песин А.М., Жлудов В.В.

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РОКИРОВКИ» НА ЛИСТОВЫХ СТАНАХ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ОАО «ММК»

Одной из актуальных научно-практических проблем прокатного производства является проблема выбора оптимальных технологических потоков для выпуска продукции в условиях наличия разветвляющихся (альтернативных) технологических маршрутов изготовления металлопродукции.

На основе накопленного за ряд последних лет теоретического и практического опыта исследований в данной сфере [1, 2] был проведен анализ приоритетности товарных позиций металлопродукции ЦГП-1, ЦГП-2 и стана ЦХП-1, проходящих через листовые станы горячей прокатки ЦГП-1 и ЦГП-2 (см. рисунок).

Спецификой выбранного объекта исследования явилось наличие альтернативных маршрутов

производства как для позиций товарного проката цехов горячей прокатки (Т.1.3 и Т.2.3, см. рису-

