ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТА ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ТИПА “ВКАТАННАЯ ОКАЛИНА”

А. Б. СЫЧКОВ¹, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологий металлургии и литейных процессов, absychkov@mail.ru;
Н. В. КОПЦЕВА¹, д-р техн. наук, профессор кафедры технологий металлургии и литейных процессов;
Ю. Ю. ЕФИМОВА¹, канд. техн. наук, доцент кафедры технологий обработки материалов;
А. В. ЖЛОБА², начальник ЛПЦ № 4, Zhloba@icloud.com;
Г. Я. КАМАЛОВА¹, аспирант кафедры технологий металлургии и литейных процессов
(¹ Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова, Россия, г. Магнитогорск;
² Магнитогорский металлургический комбинат, Россия, г. Магнитогорск)

Аннотация. Дефект “вкатанная окалина” относится к одному из основных поверхностных дефектов листового проката. Он ухудшает товарный вид холоднокатаного листа, адгезию поверхностных покрытий к металлической основе при оцинковании, хромировании, к нанесению полимерных материалов, обуславливает повышенную коррозию металлопроката и т. п.

Внешний вид дефекта “вкатанная окалина” очень похож на целый ряд нарушений поверхности листа, таких как риска, раскатанные загрязнения, шлаковое включение, раскатанный подповерхностный газовый пузырь и т. п. Точная идентификация вышеуказанного дефекта поверхности важна для выработки мер по его устранению и возможна только с применением металлографических методов.

Представлены результаты металлографического исследования дефекта листового холоднокатаного проката, идентифицированного как “вкатанная окалина”. Причиной этого дефекта обычно является технология производства горячекатаного листа, когда образующаяся на поверхности раската печная и/или воздушная окалина частично закатывается в поверхность металлопроката. На поверхности холоднокатаного листа такой дефект, наследуемый с поверхности горячекатаного листа, является браковочным признаком.

Исследованиями на оптическом и растровом электронном микроскопах с применением микрорентгеноспектрального анализа установлена истинная причина предположительного дефекта “вкатанная окалина”. В данном случае она заключается во вкатывании в поверхность горячекатаного листа остатков шлакового поверхностного слоя и шлакообразующей смеси с металлургического передела, в основном непрерывной разливки, а также продуктов травления и щелочной очистки холоднокатаного листового проката.

Ключевые слова: листовой прокат; поверхностный дефект; “вкатанная окалина”; металлографические методы исследования; световая (оптическая) микроскопия; растровый электронный микроскоп; микрорентгеноспектральный анализ.

Ссылка для цитирования. Сычков А.Б., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Жлоба А.В., Камалова Г.Я. Идентификация дефекта поверхности листового проката типа “вкатанная окалина” // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 11. С. 72–76.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-72-76

Значимое влияние на качество холоднокатаного листового проката оказывает дефектность его поверхности, которая, в свою очередь, наследуется от дефектов поверхности непрерывнолитого сляба и повреждения поверхности проката в линии прокатных станов горячей и холодной прокатки [1–8].

К одному из основных поверхностных дефектов листового проката относят дефект “вкатанная окалина”, который образуется преимущественно путем вкатывания остатков печной окалины, формирующейся при нагреве слябов в нагревательной печи перед горячей прокаткой на непрерывных широкополосных станах горячей прокатки (НШПС ГП), в поверхностный слой раскатов. Для удаления такой окалины в линии современных НШПС ГП применяются окатиноло-

матели — клетки с горизонтальной и вертикальной осями вращения валков и гидросбивы окалины с давлением воды до 300 атм. Несмотря на то что печная (газовая) окалина обладает большой толщиной и достаточно низкой адгезией к поверхности стального листа и легко удаляется окатиноломателями и гидросбивом, в ряде случаев на поверхности листового раската, в том числе и при последующих переделах — после холодной прокатки например, наблюдается дефект “вкатанная окалина”. К такому же дефекту приводит и закатанная в поверхность листа вторичная (воздушная) окалина.

“Вкатанная окалина” ухудшает товарный вид холоднокатаного листа, адгезию поверхностных покрытий к металлооснове при оцинковании, хромировании, нанесении полимерных материа-

лов, обуславливает повышенную коррозию металлопроката и т. п. При этом внешний вид дефекта “вкатанная окалина” очень похож на целый ряд нарушений поверхности листа, таких как риска, раскаты, загрязнения, шлаковое включение, раскаты, подповерхностный газовый пузырь и т. п. Точная идентификация вышеуказанного дефекта поверхности возможна только с применением металлографических методов — световой и растровой электронной микроскопии (РЭМ), микрорентгеноспектрального анализа (МРСА), при помощи которых определяют характер развития дефекта, химический состав вкатанных частиц. После анализа полученных результатов исследования дефект одно-

значно идентифицируется. Исследования проводили на световом микроскопе Olympus GX51 с применением автоматических анализаторов изображений SIAMS 700 и Thixomet и на РЭМ JSM-6490LV Jeol с системой микрорентгеноспектрального анализа INCA Energy 450x-MAX 50 Premium.

Для исследования были представлены два образца холоднокатаного листа толщиной 1 мм из стали 08, на которых имелись дефекты в виде рисок (рис. 1), причины появления которых были не ясны. Предварительно заводская служба контроля качества аттестовала этот дефект как “вкатанная окалина”.

Рис. 1. Внешний вид дефекта поверхности холоднокатаного листа типа “вкатанная окалина” — темная центральная горизонтальная полоса; световой микроскоп с увеличением
а — $\times 7,5$; б — $\times 20$; в — $\times 30$

Fig. 1. External view of “rolled-in scale” type surface defect of cold-rolled sheet – dark central horizontal strip; light microscope, magnification:
а — $\times 7,5$; б — $\times 20$; в — $\times 30$

Результаты исследования внешнего вида дефекта на поверхности листа на РЭМ* с увеличением $\times(200-600)$ представлено на рис. 2.

Рис. 2. Внешний вид дефекта типа “вкатанная окалина” на РЭМ с увеличением:
а — $\times 200$; б — $\times 600$

Fig. 2. External view of “rolled-in scale” type defect, X-ray electron microscope, magnification:
а — $\times 200$; б — $\times 600$

* Работа проводилась в условиях ЦКП НИИ “Наносталей” ФГБОУ ВО “МГТУ им. Г.И. Носова”.

Интересно также стереометрическое исследование (изображение 3D) геометрии рассматриваемых поверхностных дефектов. На рис. 3 представлены внешний вид дефекта и топо-

грамма рельефа этого дефекта (“маленькая риска”). Максимальная глубина дефекта составляет до 80 мкм, длина дефекта — около 600 мкм.

Рис. 3. Дефект на поверхности холоднокатаного листа — разрез по Z — по линии поперек риски: а — внешний вид дефекта; б — изменение рельефа внутренней поверхности дефекта

Fig. 3. Defect on the cold-rolled sheet surface – section by Z – line transverse a scratch: а — external view of the defect; б — defect internal surface shape change

Как видно из рис. 2, углубления дефекта заполнены некоторым веществом, которое нерегулярно распределено по образованной полости. Химический состав этого вещества был неизвестен. Для определения химического состава вещества-заполнителя использовался МРСА совместно с РЭМ.

На рис. 4 в качестве одного из примеров представлены спектры этого анализа для дефекта, изображение которого приведено на рис. 2, а. Спектрограмма участка дефекта (см. рис. 3, а), обозначенного как “спектр 3”, представлена на рис. 4, б.

Рис. 4. Расположение анализируемого участка (а) в поверхностном дефекте и спектрограмма (б) его химического состава

Fig. 4. Location of analyzed area (а) in the surface defect and its chemical composition spectrogram (б)

В таблице представлены результаты МРСА по участку дефекта, обозначенного на рис. 3, а, как “спектр 3”. Анализ данных таблицы показы-

вает, что по стехиометрическим отношениям атомных весов и сродству элементов к кислороду в металле невозможно образование ни од-

ного из оксидов железа (FeO — соотношение Fe к O — 77,8:22,2 %; Fe_2O_3 — 70:30 %; Fe_3O_4 — 72,4:27,6 %, т. е. все отношения более 1), так как на практике, по данным МРСА, в спектрах это отношение менее 1 ($8,61:17,71 = 0,49$).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОСТАТКОВ ВЕЩЕСТВА В ДЕФЕКТЕ ТИПА “ВКАТАННАЯ ОКАЛИНА”

CHEMICAL COMPOSITION OF STUFF RESIDUE IN THE “ROLLED-IN” TYPE DEFECT

Химический элемент	Содержание элемента, %	
	весовое	атомное
C	51,17	71,94
O	16,78	17,71
Al	0,37	0,23
Si	0,27	0,16
S	0,70	0,37
Cl	0,82	0,39
Ca	1,42	0,60
Fe	28,46	8,61
Итого	100	100

В итоге было проведено исследование двух образцов с четырьмя дефектами поверхности и сделан химический анализ (МРСА) 21 спектра. В нескольких спектрах было зафиксировано только наличие углерода и железа, кислород отсутствовал. В других спектрах присутствует, хотя и небольшое количество, калий, хлор, натрий.

На основании вышесказанного и анализа сквозной технологии производства стали, непрерывнолитого сляба, горячей и холодной прокатки листа можно сделать вывод о том, что причиной дефектности поверхности листового холоднокатаного проката могут являться наследственно переданные от непрерывнолитого сляба, раскатанные в процессе горячей и холодной прокатки остатки разливочной шлакообразующей смеси (ШОС), различного типа загрязнений, а также продукты травления окислы перед холодной прокаткой в соляной кислоте и, возможно, очистки поверхности проката, например, в щелочных растворах. Подтверждения наличия дефекта “вкатанная окалина” не получено.

Вывод

Методами оптической и растровой электронной микроскопии с применением МРСА проведена идентификация дефекта поверхности низкоуглеродистого холоднокатаного листового проката, аттестованного как “вкатанная окалина”. Показано, что этот дефект является частично продуктом раскатки загрязнений металла, полу-

ченных в процессе насыщения поверхности непрерывнолитого металла ШОС, частично — остатков травильного процесса при удалении окислы с поверхности горячекатаного листа или щелочных остатков при очистке поверхности проката. “Вкатанной окислы” в дефектах поверхности не обнаружено.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дефекты стали: справ. изд. / Под ред. С.М. Новокщеновой, М.И. Виноград. — М.: Металлургия, 1984. — 199 с.
2. Правосудович В.В., Сокурено В.П., Данченко В.Н., Кондратьев С.В. Дефекты стальных слитков и проката: справочник. — М.: Интермет Инжиниринг, 2006. — 384 с.
3. Сычков А.Б., Жигарев М.А., Перчаткин А.В. и др. Трансформация дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхностные дефекты проката // *Металлург*. 2006. № 2. С. 60–63.
4. Sychkov A.B., Zhigarev M.A., Perchatkin A.V. etc. The transformation of defects in continuous-cast semifinished products into surface defects on rolled products // *Metallurgist*. 2006. Vol. 50. № 1–2. P. 83–90.
5. Дефекты стальных заготовок и металлопродукции Белорусского металлургического завода. Справочник-атлас / Составитель В.В. Грицаенко; под общ. ред. А.Н. Савенка. — Жлобин: ОАО БМЗ, 2013. — 326 с.
6. Сычков А.Б., Парусов Э.В., Камалова Г.Я. Расчет допустимой глубины поверхностных дефектов непрерывнолитой заготовки // *Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. научн. тр.*; под ред. О.Н. Тулупова. — Магнитогорск: изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2017. Вып. 23. С. 7–14.
7. Салганик В.М., Артамонова М.О. Преобразование и возможность компенсации поверхностных дефектов толстолистового проката в процессе деформации // *Моделирование и развитие процессов ОМД*. Сб. научн. тр.; под ред. В.М. Салганика. — Магнитогорск: изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. С. 9–16.
8. Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Ержанов А.С. Моделирование процесса выкатываемости поверхностных дефектов полос типа “накал” при холодной прокатке с применением ЭВМ // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2013. № 2. С. 44–47.

IDENTIFICATION OF THE “ROLLED-IN SCALE” TYPE SHEET SURFACE DEFECT

A. B. SYCHKOV¹, HD (Tech), Associate Professor, Dpt Technologies of metallurgy and foundry processes, absyckov@mail.ru;

N. V. KOPTSEVA¹, HD (Tech), Professor, Dpt Technologies of metallurgy and foundry processes;

YU. YU. EFIMOVA¹, PhD (Tech), Associate Professor, Dpt Technologies of materials processing;

A. V. ZHLOBA², Head of LPZ No. 4, Zhloba@icloud.com;

G. YU. KAMALOVA¹, postgraduate, Dpt Technologies of metallurgy and foundry processes

(¹ Magnitogorsk State University after G.I. Nosov, Russia, Magnitogorsk;

² Magnitogorsk steel-works, Russia, Magnitogorsk)

Abstract. “Rolled-in scale” defect is put down to one of main surface defects of sheet rolled products. It deteriorates salable condition of cold-rolled sheet, adhesion of surface coatings to metal base during galvanizing, chrome plating, applying of polymer materials, stipulates increased corrosion of metal rolled products etc.

External view of “rolled-in scale” defect is very similar to the whole number of sheet surface failures, as scratch, rolled impurities, slag inclusions, rolled undersurface gas bubble etc. Exact identification of the abovementioned defect is important for elaboration of measures for its elimination and is possible only by application of metallographic methods.

Results of metallographic study of cold-rolled sheet defect, identified as “rolled-in scale” presented. Technology of hot-rolled sheet production usually is the reason for this defect, when formed on the billet surface furnace and/or air scale is partially rolled into the rolled product surface. Such a defect on the cold-rolled sheet surface, inherited from the hot-rolled sheet surface is considered as a rejected feature.

Studies by optical and raster electron microscopes using X-ray spectral microscopy analysis results in determining real reason of the presumable “rolled-in scale” defect. In this case the rolling-in of residuals of slag surface layer and slag-making mixtures into the hot-rolled sheet surface is the reason. The residuals are inherited from metallurgical stage, mainly continuous casting, as well as pickling process and cold-rolled sheet alkaline cleaning.

Key words: sheet rolled product; surface defect; “rolled-in scale”; metallographic methods of study, light (optical) microscopy; raster electron microscope; X-ray spectral microscopy analysis.

For citation: Sychkov A.B., Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Zhloba A.V., Kamalova G.Ya. Identification of the “rolled-in scale” type sheet surface defect. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 11, pp. 72–76. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-72-76

REFERENCES

1. *Defekty stali* [Defects of steel]. Novokshchenova S.M., Vinograd M.I. ed. Moscow: Metallurgiya, 1984, 199 p. (In Russ.).
2. Pravosudovich V.V., Sokurenko V.P., Danchenko V.N., Kondrat'ev S.V. *Defekty stal'nykh slitkov i prokata* [Defects of steel ingots and rolled products]. Moscow: Intermet Inzhiniring, 2006, 384 p. (In Russ.).
3. Sychkov A.B., Zhigarev M.A., Perchatkin A.V. etc. Transformation of defects of continuously-casted billet into surface defects of rolled products. *Metallurg*, 2006, no. 2, pp. 60–63. (In Russ.).
4. Sychkov A.B., Zhigarev M.A., Perchatkin A.V. etc. The transformation of defects in continuous-cast semifinished products into surface defects on rolled products. *Metallurgist*, 2006, vol. 50, no. 1–2, pp. 83–90.
5. Gritsaenko V.V. *Defekty stal'nykh zagotovok i metalloproduktov Belorusskogo metallurgicheskogo zavoda* [Defects of steel billets and metal products of Belorussky steel-works]. Savenk A.N. ed. Zhlobin: OAO BMZ, 2013, 326 p. (In Russ.).
6. Sychkov A.B., Parusov E.V., Kamalova G.Ya. *Raschet dopustimoi glubiny poverkhnostnykh defektov nepreryvnolitoi zagotovki* [Calculation of admissible depth of continuously casted billet surface defects]. *Trudy MGTU im. G.I. Nosova “Modelirovanie i razvitie protsessov obrabotki metallov davleniem”* [Proc. of MGTU. G.I. Nosov “Simulation and development of metals forming processes”]. Tulupov O.N. ed. Magnitogorsk, 2017, vol. 23, pp. 7–14. (In Russ.).
7. Salganik V.M., Artamonova M.O. *Preobrazovanie i vozmozhnost' kompensatsii poverkhnostnykh defektov tololistovogo prokata v protsesse deformatsii* [Transformation and possibility of plates surface defects compensation in the process of deformation]. *Trudy MGTU im. G.I. Nosova “Modelirovanie i razvitie protsessov OMD”* [Proc. of MGTU. G.I. Nosov “Simulation and development of processes of metals forming”]. Salganik V.M. ed. Magnitogorsk, 2012, pp. 9–16. (In Russ.).
8. Naizabekov A.B., Talmazan V.A., Erzhanov A.S. Simulation of the rolling-out process of “glow” type strip surface defects by computer application. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 2013, no. 2, pp. 44–47. (In Russ.).