

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОСТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ МАРКИ 08ЮР С ОЦЕНКОЙ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА НАВОДОРАЖИВАНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКЛОННОСТИ К ОБРАЗОВАНИЮ ДЕФЕКТА «РЫБЬЯ ЧЕШУЯ» НА ЭМАЛИРОВАННОМ ПРОКАТЕ»

Д.Н. Чикишев<sup>1</sup>, Э.М. Голубчик<sup>1</sup>, А.А. Авраменко<sup>1</sup>, О.А. Никитенко<sup>1</sup>,  
Д.М. Потапцев<sup>1</sup>, М.Ю. Фомин<sup>1</sup>, С.С. Стругов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск, Россия,

<sup>2</sup> ООО ТД «Уралремдеталь», г. Челябинск, Россия

Настоящая статья рассматривает причины образования и факторы, влияющие на развитие такого дефекта, как «рыбья чешуя». Указанный эффект является основной проблемой эмалированных изделий, нашедших широкое применение в бытовой среде. Дефект «рыбья чешуя» представляет собой отслоение эмали от металлопроката. Появление отслоения ведет к появлению углублений в эмалевом слое в форме полумесяца, которые остаются в местах отскока эмали. Места отскока (или как их называют – выколки) достигают 1–10 мм по ширине и могут нарушать как поверхностную целостность эмалевого слоя, так и металл. На основании исследований Клердинга, Хоффа и др. было определено, что «рыбья чешуя» зарождается за счет давления газообразного водорода, который выделяется из металла. Причина образования скоплений водорода обусловлена технологическими параметрами подготовки материала, состава эмали и т. д. В рамках настоящей работы были проведены исследования по определению степени зависимости между показателями наводороживания и химическим составом образцов, подготовленных для испытаний. Исследования проводились на эмалированных образцах стали марки 08ЮР с отличными друг от друга показателями водородного охрупчивания. После проведения металлографических испытаний исследуемых образцов при помощи металлографического инвертированного микроскопа, микрорентгеноспектрального анализа было установлено, что при увеличении процентного содержания углерода и марганца растет показатель склонности стали к наводороживанию, что повышает стойкость к образованию дефекта «рыбья чешуя». Между содержанием никеля, молибдена, ниобия и склонности металла к наводороживанию зависимость обратная, то есть склонность к наводороживанию снижается с повышением содержания указанных элементов.

*Ключевые слова:* марка 08ЮР, «рыбья чешуя», эмалированный прокат, дефект, склонность к наводороживанию.

### Введение

Повседневно-бытовая жизнь человека на сегодняшний день неразрывно связана с применением изделий из эмалированной стали. Эмалированная сталь широко используется для производств сантехнических изделий, посуды, комплектующих для бытовой техники и др. Основная проблема вышеуказанных металлоизделий – дефект под названием «рыбья чешуя». Дефект «рыбья чешуя» представляет собой отслоение эмали (сколы), образующие углубления в эмалевом слое в форме полумесяца, которые остаются в местах отскока эма-

ли [1–3]. Поэтому их иногда называют выколками. Величина этих выколов варьируется в довольно широком диапазоне (например, от 1 до 10 мм по ширине): иногда они невелики и нарушают только поверхность эмалевого слоя, а иногда доходят до металла. Базируясь на исследовании Клердинга, Хоффа, Клердинга Цапффе и др., установили, что «рыбья чешуя» зарождается за счет давления газообразного водорода, выделяющегося из металла. Установлено, что давление водорода, при котором образуется «рыбья чешуя», составляет 110 ат. Значительное скопление водорода образуются по различ-

## Металловедение и термическая обработка

ным причинам, зависящим как от самого металла, его подготовки, так и от состава эмали, процессов варки, помола и обжига. Водород образуется во время травления изделий [4, 5].

### Методы

В рамках исследования особенностей микроструктуры дефекта «рыбья чешуя» были подготовлены образцы из стального металлопроката марки 08ЮР (ТУ 14-101-321-2008). Также с целью определения степени влияния технологических факторов, оказывающих воздействие на склонность к образованию дефекта «рыбья чешуя» на эмалированном прокате, провели комплексное металлографическое исследование. В качестве объектов исследования были использованы 4 образца марки стали 08ЮР с отличными друг от друга показателями водородного охрупчивания.

Для определения размеров зерна применялся металлографический инвертированный микроскоп Zeiss Axio Observer (рис. 1).

Определение размеров зерна проводили в автоматическом режиме при помощи адаптированных настроек программного продукта Thixomet PRO в соответствии с ГОСТ 5639–82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна» (рис. 2) [6].

Изучение особенностей морфологии микроструктурных составляющих, а также определение состава неметаллических включений осуществляли на сканирующем микроскопе JSM 6490 LV во вторичных электронах с ускоряющим напряжением 20 кВ, оснащенный системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 450 x-MAX 50 Premium при увеличениях более 1000 крат (рис. 3).



Рис. 1. Металлографический инвертированный микроскоп Zeiss Axio Observer

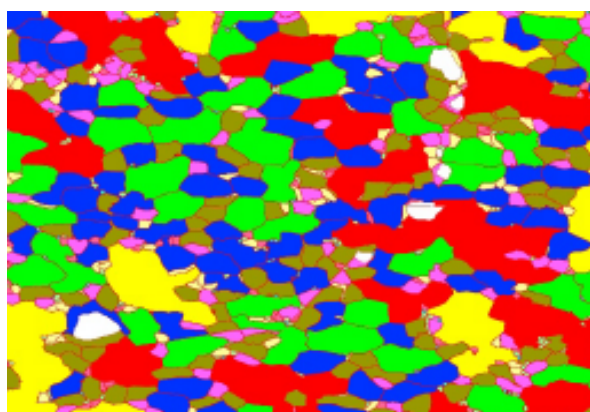
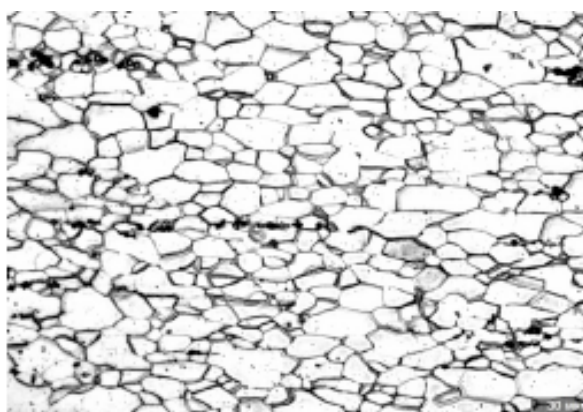


Рис. 2. Пример определения величины зерна в стали с помощью программного продукта Thixomet PRO (в автоматическом режиме)



Рис 3. Растровый электронный микроскоп JSM-6490LV JEOL с системой микроанализа INCA Energy 450 x-MAX 50 Premium

Ниже представлены результаты металлографического исследования опытных образцов из металлопроката.

#### Результаты

Микрофотографии поверхности шлифов исследуемых образцов в нетравленном виде представлены на рис. 4.

В микроструктуре нетравленных образцов № 1 и № 3, имеющих неудовлетворительные значения показателя склонности стали к наводороживанию (32–36 %), наблюдается точечная (мелкоглобулярная) сыпь из цементитных частиц, имеющая тенденцию к образованию слойных цепочек (см. рис. 4а, б), что соответ-

ствует 0 баллу по шкале Б (согласно ГОСТ 5640–68) [7]. Объемная доля цементитных частиц в этих образцах не превышает 2 %, средний размер составляет около 1,5–2,0 мкм.

В микроструктуре образцов № 2, № 4, имеющих удовлетворительные значения показателя склонности стали к наводороживанию, наблюдается явное строчечное расположение структурно-свободного цементита, представляющего одно- или двухслойные цепочки (см. рис. 4в, г), что согласно ГОСТ 5640–68 соответствует 2 баллу по шкале Б. Объемная доля цементитных частиц в этих образцах достигает 3 %, средний размер частиц 1,5–2,5 мкм.

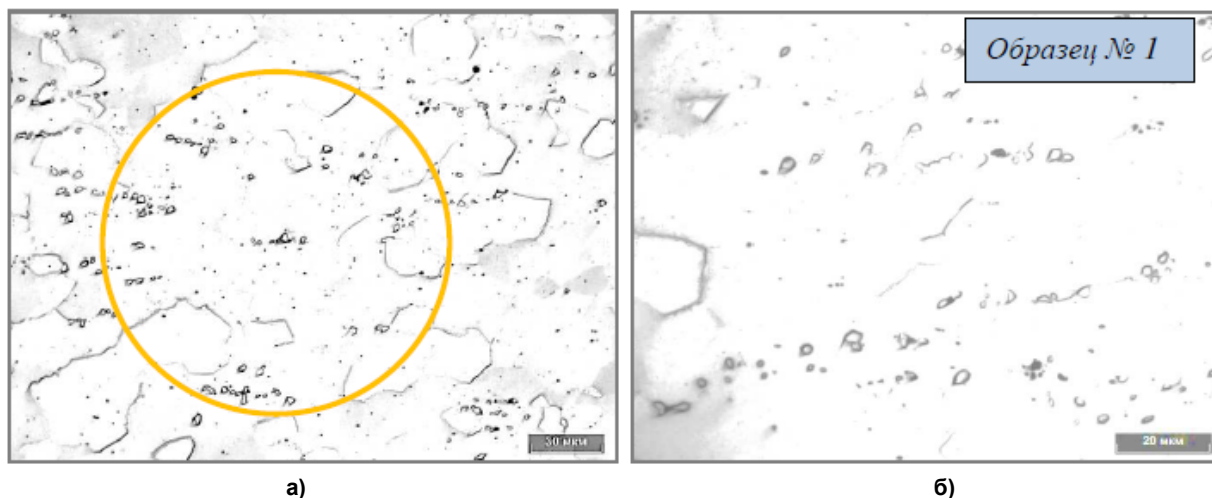


Рис. 4. Микроструктура исследуемых образцов в нетравленном виде: образец № 1 (а, б); образец № 2 (в, г); образец № 3 (д, е); образец № 4 (ж, з) (см. также с. 34)

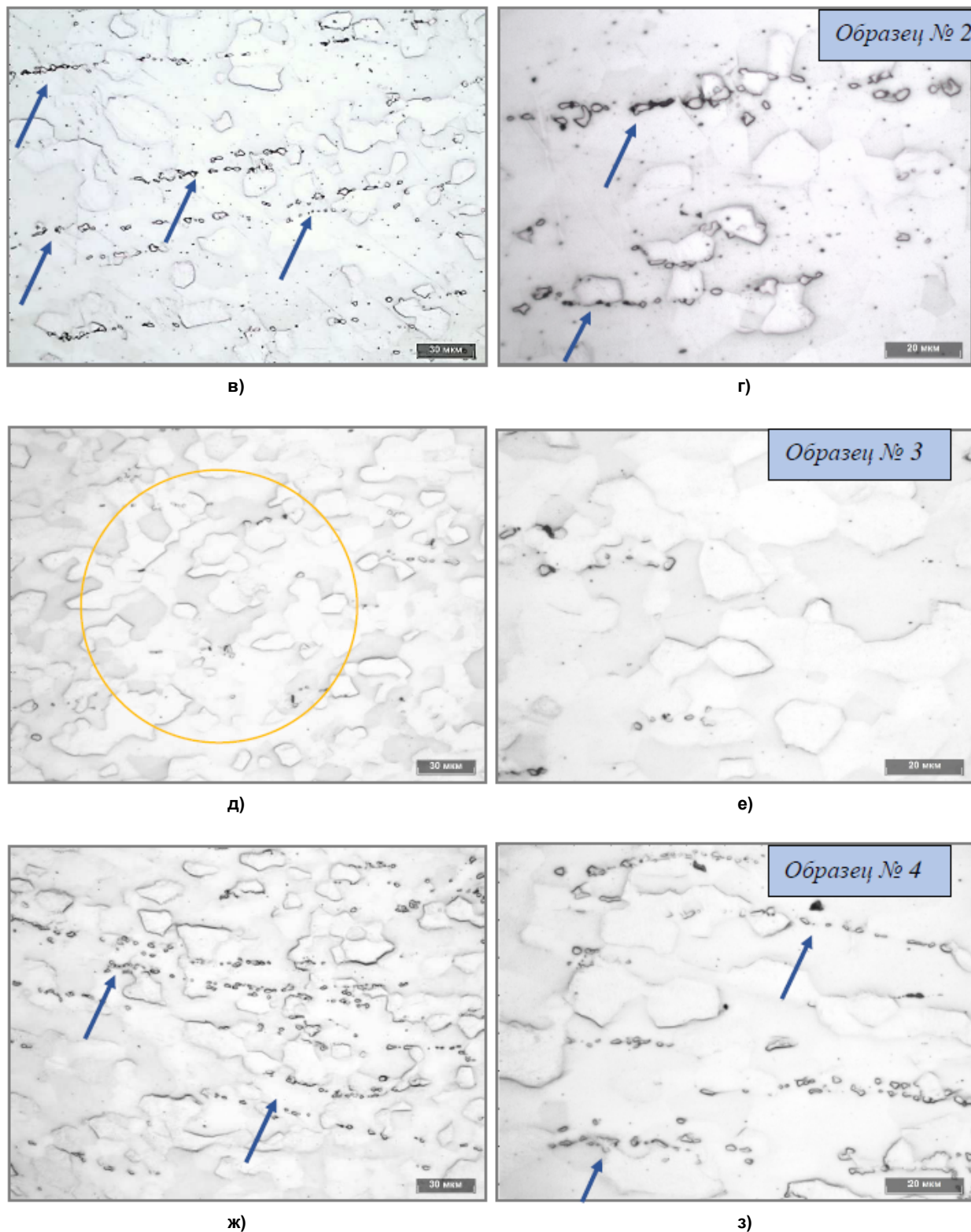


Рис. 4. Окончание

Исследование частиц, находящихся на поверхности микрошлифов исследуемой стали, с помощью МРСА (микрорентгеноспектральный анализ) показало присутствие в их составе помимо углерода и железа частиц

алюминия, марганца и хрома. В мелких частицах размером 300–500 нм наблюдается присутствие серы (рис. 5) [8–12].

Результаты количественного анализа исследуемых образцов (№ 1–4) приведены в таблице.

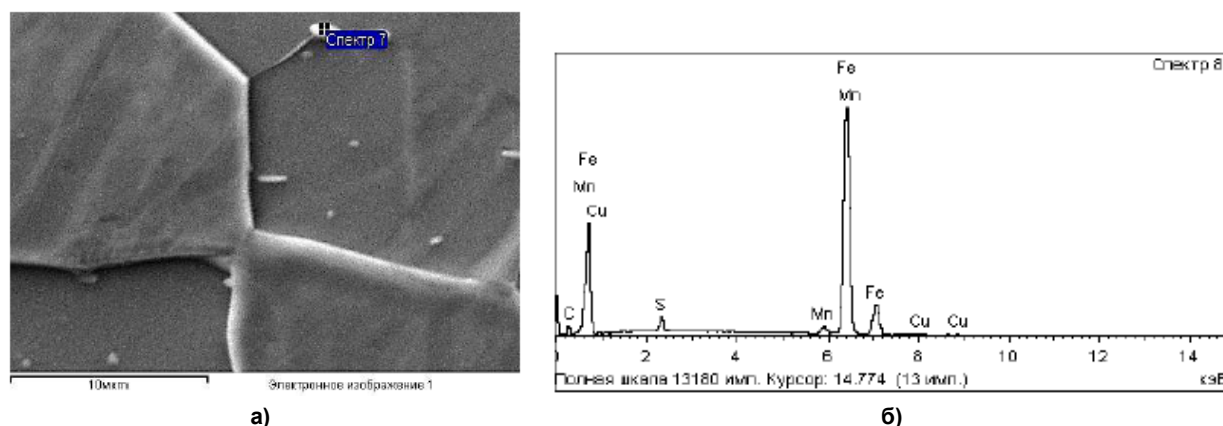


Рис. 5. Анализируемые частицы (а) и характерный микрорентгеновский спектр (б) в микроструктуре исследуемых образцов (РЭМ)

Количественный анализ микроструктуры исследуемых образцов (№ 1–4)

№ образца	Склонность к наводороживанию	Размер зерна, мкм	Номер зерна	Размер цементитных частиц, мкм	Объемная доля цементитных частиц, %	Балл цементит. сетки
1	Неудовлетворительная	14,5	9–10	2,27	2,13	0Б
2	Удовлетворительная	13,7	9	2,1	3,2	2Б
3	Неудовлетворительная	12,82	10–11	2,07	2,06	0Б
4	Удовлетворительная	12,51	10–11	1,48	3,04	2Б

**Обсуждение**

На основании статистического анализа установлено, что между показателем склонности стали к наводороживанию и такими химическими элементами, как углерод и марганец существует зависимость: при увеличении их процентного содержания в стали (марка 08ЮР) растет показатель склонности стали к наводороживанию и, следовательно, стойкость к образованию дефекта «рыбья чешуя». Между содержанием никеля, молибдена и ниобия, а также показателем склонности стали к наводороживанию существует слабо выраженная отрицательная (обратная) зависимость, то есть с увеличением их содержания в стали марки 08ЮР показатель склонности стали к наводороживанию снижается, а, следовательно, уменьшается стойкость эмалированных изделий к образованию дефекта «рыбья чешуя».

На основании количественного химического анализа проб металлопроката из стали марки 08ЮР на содержание водорода установлено, что взаимосвязь между значениями показателя склонности стали к наводороживанию и содержанием водорода в стали отсутствует. Прямой связи между значениями не наблюдается [13–16].

**Выводы**

С использованием современных методов оптической и электронной микроскопии проведен комплексный качественный и количественный металлографический анализ представленных образцов металлопроката из стали марки 08ЮР.

Установлено, что существенное влияние на склонность стали к наводороживанию оказывает расположение и объемная доля структурно-свободного цементита. Так, образцы, прошедшие испытание (№ 2, № 4), имеют явное строчечное расположение цементита, представляющего одну или двухслойные цепочки, что согласно ГОСТ 5640–68 соответствует 2 баллу по шкале Б. Объемная доля цементитных частиц в этих образцах достигает примерно 3 %, средний размер 1,5–2,5 мкм. В микроструктуре образцов, не прошедших испытание на склонность стали к наводороживанию (№ 1, № 3), наблюдается точечная сыпь из цементитных частиц, имеющая только тенденцию к образованию однослойных цепочек, что соответствует 0 баллу по шкале Б. Объемная доля цементитных частиц в этих образцах не превышает 2 %, средний размер составляет около 1,5–2 мкм.

Исследование частиц рассматриваемой стали с помощью МРСА показало присутст-

вие в их составе помимо углерода и железа также алюминия, марганца, хрома и серы.

Таким образом, на показатель склонности стали к наводороживанию, являющийся ключевым показателем свойств металлопроката для эмалирования, оказывает наибольшее влияние температурный режим горячей про-

катки (температура конца прокатки и смотки), а также содержание химических элементов в стали, поскольку именно эти факторы определяют морфологию и количество цементита и других карбидов в ферритной матрице проката, являющихся основными ловушками свободного водорода.

### Литература

1. Яценко, В.А. Рынок проволоки России: анализ текущей ситуации, краткосрочные прогнозы / В.А. Яценко // XII ежегодная конференция «Рынки сортового проката», Батуми, 13–14 октября, 2016. – С. 35–40.
2. Дальский, А.М. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов / А.М. Дальский, В.С. Гаврилюк, Л.Н. Бухаркин и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
3. ГОСТ 15467–79. «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» с последними изменениями от 19.04.2010.
4. Петцольд, А. Эмаль и эмалирование / А. Петцольд, Г. Пеиманн. – М.: Металлургия, 1990. – 573 с.
5. Исследование и разработка технологии производства стали для эмалирования с целью снижения склонности к образованию дефекта «рыбья чешуя»: отчет о научно-исследовательской работе / ОАО «ИСПАТ КАРМЕТ». – Темиртау, 1996.
6. ГОСТ 5639–82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна от 26 августа 1982 г. № 3394-ст: дата введения 1983-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 16 с.
7. ГОСТ 5640–68. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты от 31 октября 1968 г. № 63-ст: дата введения 1970-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 8 с.
8. Литвинова, Е.И. Металл для эмалирования / Е.И. Литвинова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1975. – 207 с.
9. Ясногородская, С.В. О генезисе дефекта типа «пузырь» при эмалировании стальной посуды / С.В. Ясногородская, Е.Ф. Жирнова, М.З. Бутовский // Известия вузов. Черная металлургия. – 1998. – № 2. – С. 49–51.
10. Захарова, В.П. Совершенствование технологии подготовки поверхности посуды с целью устранения дефекта эмалевого покрытия «точечные выгорания» / В.П. Захарова, Т.А. Нимвицкая // Тематический отраслевой сборник Уральского НИИЧМ. – Свердловск, 1985. – С. 10–15.
11. Калегов, В.В. Тонколистовая холоднокатаная сталь для эмалирования / В.В. Калегов, Н.А. Шулика, Г.Г. Евдокимов // Производство проката. – 2001. – № 10. – С. 25–26.
12. Оптимизация технологии производства холоднокатаного листа из стали 08ЮР для эмалирования / А.П. Буданов, В.Л. Корнилов, В.Е. Злов и др. // Черная металлургия. Бюллетень НТИ. – 2002. – № 6. – С. 20–24.
13. Патент RU.2159820.С1. Способ производства низкоуглеродистой холоднокатаной стали для штамповки и последующего эмалирования / М.Б. Цырлин, М.Л. Лобанов, В.А. Шабанов и др. – 2000, Бюл. № 33. – 16 с.
14. Квалиметрия – наука об измерении качества продукции / Г.Г. Азгальдов, А.В. Гличев и др. // Стандарты и качество. – 1968. – № 1. – С. 34–35.
15. Андреев, И.Д. Теория как форма организации научного знания / И.Д. Андреев. – М.: Наука, 1979. – 303 с.
16. Блауберг, И.В. Проблема целостности и системный подход / И.В. Блауберг. – М.: Эдиториал УРСС, 1997. – 448 с.

**Чикишев Денис Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; chikishev\_denis@mail.ru.

**Голубчик Эдуард Михайлович**, д-р техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; golub66@mail.ru.

**Авраменко Алексей Андреевич**, магистрант, кафедра технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; avramenko\_aleksei@mail.ru.

**Никитенко Ольга Александровна**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; olganikitenko@list.ru.

**Потапцев Денис Михайлович**, магистрант, кафедра технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; 89827618942d@gmail.com.

**Фомин Михаил Юрьевич**, магистрант, кафедра технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; mihail\_fomin\_95@mail.ru.

**Стругов Сергей Сергеевич**, инженер по комплектации оборудования, ООО ТД «Уралрем-деталь», г. Челябинск; strugov\_s174@mail.ru.

*Поступила в редакцию 6 апреля 2021 г.*

DOI: 10.14529/met210304

## RESEARCH OF THE MICROSTRUCTURE FEATURES OF ROLLED SPECIMENS MADE OF 08YuR STEEL WITH AN ESTIMATE OF ITS EFFECT ON HYDROGEN ACCUMULATING FOR DETERMINING THE “FISH SCALE” DEFECT TENDENCY WHICH IS FORMED ON ENAMELED ROLLED PRODUCTS

**D.N. Chikishev**<sup>1</sup>, chikishev\_denis@mail.ru,  
**E.M. Golubchik**<sup>1</sup>, golub66@mail.ru,  
**A.A. Avramenko**<sup>1</sup>, avramenko\_aleksei@mail.ru,  
**O.A. Nikitenko**<sup>1</sup>, olganikitenko@list.ru,  
**D.M. Potapcev**<sup>1</sup>, 89827618942d@gmail.com,  
**M.Yu. Fomin**<sup>1</sup>, mihail\_fomin\_95@mail.ru,  
**S.S. Strugov**<sup>2</sup>, strugov\_s174@mail.ru

<sup>1</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation,

<sup>2</sup> Trading House “Uralremdetal” LLC, Chelyabinsk, Russian Federation

This article examines the reasons for the formation and factors influencing the development of such a defect as “fish scales”. This effect is the main problem of enameled products that have found wide application in the domestic environment. The defect “fish scales” is a detachment of enamel from rolled metal. The appearance of delamination leads to the appearance of crescent-shaped depressions in the enamel layer, which remain in the places of enamel rebound. Rebound points (or as they are called: gouges) reach 1–10 mm in width and can violate both the surface integrity of the enamel layer and the metal. On the basis of research by Klerding, Hoff and others, it was determined that “fish scales” originate due to the pressure of hydrogen gas, which is released from the metal. The reason for the formation of hydrogen accumulations is due to the technological

parameters of the preparation of the material, the composition of the enamel, etc. Within the framework of this work, studies were carried out to determine the degree of dependence between the indicators of hydrogen absorption and the chemical composition of samples prepared for testing. The studies were carried out on enamelled samples of 08YuR (chemical composition: 0,04–0,07% C; 0,32% Mn; 0,04% Si; 0,020% S; 0,015% P; 0,02% Cr; 0,02% Ni; 0,050% Cu; 0,049% Al; 0,0063% B) grade steel with different hydrogen embrittlement indices. After carrying out metallographic tests of the samples under study using a metallographic inverted microscope, X-ray microscopic analysis, it was found that with an increase in the percentage of carbon and manganese, the indicator of the tendency of steel to hydrogenation increases, which increases the resistance to the formation of a “fish scales”. There is an inverse relationship between the content of nickel, molybdenum, niobium and the propensity of the metal to hydrogen saturation, that is, the propensity to hydrogen saturation decreases with an increase in the content of these elements.

*Keywords:* steel grade 08YuR, fishscaling, enameled rolled sheets, defect, hydrogen accumulating tendency.

### References

1. Yatsenko V.A. [Wire market in Russia: analysis of the current situation, short-term forecasts]. *XII Annual Conference “Long Products Markets”, Batumi, October 13–14, 2016*, pp. 35–40. (in Russ.)
2. Dal'skiy A.M., Gavriyuk V.S., Bukharkin L.N. et al. *Tekhnologiya konstruksionnykh materialov: ucheb. posobiye dlya vuzov* [Technology of structural materials]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1990. 352 p.
3. GOST 15467–79. “Upravleniye kachestvom produkcii. Osnovnyye ponyatiya. Terminy i opredeleniya” s poslednimi izmeneniyami ot 19.04.2010 [State Standard 15467–79. “Product quality management. Basic concepts. Terms and definitions” with the last amendments from 19.04.2010.]
4. Petzold A., Pöschmann H. *Email und Emailiertechnik*. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1987. 435 p.
5. *Issledovaniye i razrabotka tekhnologii proizvodstva stali dlya emalirovaniya s tsel'yu snizheniya sklonnosti k obrazovaniyu defekta “ryb'ya cheshuya”*: otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote [Report on research work. Research and development of a technology for the production of steel for enameling in order to reduce the tendency to form a defect “fish scales”]. OJSC “ISPAT KARMET”. Temirtau, 1996.
6. GOST 5639–82. *Stali i splavy. Metody vyyavleniya i opredeleniya velichiny zerna ot 26 avgusta 1982 g. № 3394-st: data vvedeniya 1983-01-01* [State Standard 5639–82. Steels and alloys. Methods for detecting and determining the size of grain from August 26, 1982. No. 3394-st: date of introduction 1983-01-01]. Moscow, Publishing house of standards, 2003. 16 p.
7. GOST 5640–68. *Stal'. Metallograficheskiy metod otsenki mikrostruktury listov i lenty ot 31 oktyabrya 1968 g. № 63-st: data vvedeniya 1970-01-01* [State Standard 5640–68. Steel. Metallographic method for assessing the micro-structure of sheets and strips dated October 31, 1968. No. 63-st: introduction date 1970-01-01]. Moscow. Publishing house of standards, 1988. 8 p.
8. Litvinova E.I. *Metall dlya emalirovaniya* [Metal for enameling]. 2nd ed. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 207 p.
9. Yasnogorodskaya S.V., Zhirnova E.F., Butovsky M.Z. [About the genesis of the “bubble” type defect when enameling steel dishes]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*, 1998, no. 2, pp. 49–51. (in Russ.)
10. Zakharova V.P., Nimvitskaya T.A. [Improvement of the technology for preparing the surface of the dishes in order to eliminate the defect of the enamel coating “Point burnout”]. *Thematic industry collection of the Ural Research Institute of Ferrous Metals*. Sverdlovsk, 1985, pp. 10–15.
11. Kalegov V.V., Shulika N.A., Evdokimov G.G. [Thin sheet cold-rolled steel for enameling]. *Proizvodstvo prokata*, 2001, no. 10, pp. 25–26. (in Russ.)
12. Budanov A.P., Kornilov V.L., Zlov V.E. et al. [Optimization of production technology of cold-rolled sheet from steel 08YuR for enameling]. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economical Information*, 2002, no. 6, pp. 20–24. (in Russ.)
13. Tsyrlin M.B., Lobanov M.L., Shabanov V.A. et al. *Sposob proizvodstva nizkouglerodistoy kholodnokatanoy stali dlya shtampovki i posleduyushchego emalirovaniya* [Method for the production of low-carbon cold-rolled steel for stamping and subsequent enameling]. Patent RU.2159820.C1, 2000.



14. Azgaldov G.G., Glichev A.V. et al. [Qualimetry – the science of measuring product quality]. *Standards and quality*, 1968, no. 1, pp. 34–35. (in Russ.)

15. Andreev I.D. *Teoriya kak forma organizatsii nauchnogo znaniya* [Theory as a form of organization of scientific knowledge]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 303 p.

16. Blauberger I.V. *Problema tselostnosti i sistemnyy podkhod* [Integrity problem and systems approach]. Moscow, Editorial URSS, 1997. 448 p.

*Received 6 April 2021*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Исследование особенностей микроструктуры образцов проката из стали марки 08ЮР с оценкой ее влияния на наводороживание для определения склонности к образованию дефекта «рыбья чешуя» на эмалированном прокате / Д.Н. Чикишев, Э.М. Голубчик, А.А. Авраменко и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 31–39. DOI: 10.14529/met210304

**FOR CITATION**

Chikishev D.N., Golubchik E.M., Avramenko A.A., Nikitenko O.A., Potapcev D.M., Fomin M.Yu., Strugov S.S. Research of the Microstructure Features of Rolled Specimens Made of 08YuR Steel with an Estimate of Its Effect on Hydrogen Accumulating for Determining the “Fish Scale” Defect Tendency Which is Formed on Enamelled Rolled Products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 31–39. (in Russ.) DOI: 10.14529/met210304