



УДК 621.77

Э.А. Гарбер, Д.З. Гатиятуллин  
ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»  
г. Череповец, Россия  
E-mail: mamz2011@mail.ru  
Дата поступления 30.10.2017

## ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ СТАЛЬНЫХ ШИРОКИХ ПОЛОС ДЕФЕКТА «ОСТАТОЧНАЯ ОКАЛИНА» И МЕТОДЫ ЕГО УСТРАНЕНИЯ

### Аннотация

В статье изложены методика и результаты анализа факторов технологии и оборудования горячей прокатки широких полос, выполненного с целью выявления, какие из этих факторов оказывают существенное влияние на появление дефекта поверхности полос «остаточная окалина», обнаруживаемого только у заказчиков после дробеструйной обработки перед окончательной покраской поверхности.

**Ключевые слова:** горячекатаный листовой прокат; остаточная окалина; гидросбив окалины.

### Введение

При использовании горячекатаных стальных широких полос для машиностроительных конструкций иногда обнаруживается дефект «остаточная окалина», который выявляется только после дробеструйной обработки готового изделия перед окончательной покраской. Металлурги, в частности прокатчики ПАО «Северсталь», производят горячекатаный лист по стандарту EN 10025-2-04, в котором этот дефект не описан.

В данной работе выполнен анализ факторов технологии листопрокатного цеха, которые могут быть причиной образования остаточной окалины; предложены мероприятия для устранения этих причин.

### Основная часть

Чаще всего остаточная окалина обнаруживается на поверхности горячекатаных листов толщиной 10-25 мм, шириной 1000-1250 мм, изготовленных из низколегированной кремнемарганцовистой стали марки S355J2. Эти листы используют для изготовления сварных металлоконструкций. Например, компания «КАТЕРПИЛЛАР» изготавливает из них лицевые детали экскаваторов, для чего подвергает их дробес-

труйной очистке, грунтовке и лакокрасочному покрытию. Если после очистки на поверхности листа выявляется остаточная окалина, краска ложится на поверхность неравномерно, что в итоге ухудшает товарный вид изделия.

Поскольку технологией листопрокатного производства ранее не были предусмотрены контроль, выявление и устранение данного дефекта, мы выполнили литературный обзор, чтобы выяснить, как специалисты и исследователи листопрокатных цехов разных металлургических предприятий решают этот вопрос. В результате установили, что в монографиях, справочниках и учебниках по теории и технологии прокатки, опубликованных, начиная с 90-х годов 20 века [1 - 3], проблема выявления и устранения на поверхности горячекатаных листов остаточной окалины не рассматривалась.

В связи с этим мы начали исследование с того, что проанализировали, какие факторы могут повлиять на образование остаточной окалины на поверхности листов.

На первом этапе для решения этой задачи был использован один из методов системного анализа: «дерево факторов» (рисунки 1).

Применив этот метод, собрали с использованием АСУТП статистические данные за один календарный год по каждому дефектному листу, включающие номера плавков и партий.

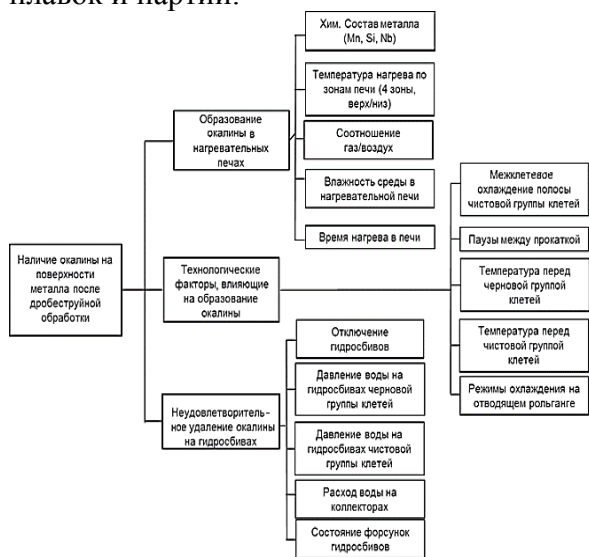


Рисунок 1. Дерево факторов, которые могут повлиять на образование дефекта «остаточная окисла» в процессе производства горячекатаных листов

С помощью программного комплекса MINITAB<sup>1</sup> построили регрессионную модель, по которой определили, что факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на появление остаточной окислы это - температура нагрева слябов, время нагрева и эффективность системы гидросбива.

Дальнейший анализ показал, что полученные результаты недостаточны для их практического применения, т.к. не все факторы, указанные на рисунке 1, фиксируются в цеховой АСУ ТП, поскольку до 2015 года не было обращений от заказчиков, связанных с появлением на поверхности листов остаточной окислы.

Учитывая это, было решено использовать в дальнейшей работе другой метод анализа – экспертную оценку с помощью, так называемого *приоритетного числа риска* (ПЧР).

Этот метод описан в российском стандарте ГОСТ 51184.2-2001. Он предусматривает расчет ПЧР для каждого из факторов,

которые, по мнению экспертов, могут повлиять на появление остаточной окислы, по следующей формуле:

$$ПЧР = S \cdot D \cdot O,$$

где S – оценка значимости фактора;

D – вероятность того, что в технологическом процессе будут обнаружены отклонения по вине рассматриваемого фактора, которые вызовут появление остаточной окислы;

O – частота, с которой ожидается появление этих отклонений.

Чтобы получить значения показателей S, D, O экспертной оценкой, необходимо сформировать экспертный совет, включив в него компетентных специалистов.

В листопрокатном цехе № 2 (ЛПЦ-2) ПАО «Северсталь» в экспертный совет вошли: старший менеджер по технологии, старшие операторы черновой и чистой групп клеток стана 2000 и менеджер службы развития цеха. Ими было принято решение рассчитать ПЧР отдельно для факторов технологии и оборудования. Результаты этого расчета приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из таблицы 1, наиболее значимыми из девяти факторов технологии оказались три: время нагрева слябов в печи (значимость 37%), температура нагрева по зонам печи (значимость 21,1%) и влажность среды в нагревательной печи (значимость 17,6%).

Как видно из таблицы 2, наиболее значимыми из пяти факторов оборудования также оказались три: засорение форсунок гидросбива (значимость 37,3%), отключения гидросбива (значимость 24%) и снижения давления воды на гидросбивах чистой группы (значимость 21,3%).

Сопоставив результаты предварительного анализа и расчета ПЧР, установили, что они не противоречат друг другу, но расчет ПЧР дал более конкретные результаты, которые можно использовать для выработки рекомендаций, сводящих к минимуму появление на листах остаточной окислы.

<sup>1</sup> Bass Issa. Six Sigma Statistics with EXCEL and MINITAB. ISBN-13: 978-0071489690

Таблица 1

Факторы технологии, которые по расчету ПЧР могут влиять на образование остаточной окалины на поверхности листов из стали S355J2

№	Параметр	S (значимость)	O (возникновение)	D (обнаружение)	ПЧР	Значимость, %
1	Химический состав металла	2	2	8	32	3,5
2	Температура нагрева по зонам	8	6	4	192	21,1
3	Соотношение газ/воздух	8	3	5	120	13,2
4	Влажность среды в нагревательных печах	8	4	5	160	17,6
5	Время нагрева в печи	7	6	8	336	37
6	Межклетевое охлаждение полосы в чистовой группе клетей	2	1	10	20	2,2
7	Паузы между прокаткой	1	1	7	7	0,8
8	Температура перед чистовой группой клетей	1	2	6	12	1,3
9	Режимы охлаждения на отводящем рольганге	1	3	10	30	3,3
Итого					909	100

Таблица 2

Факторы оборудования, которые по расчету ПЧР могут влиять на образование остаточной окалины на поверхности листов из стали S355J2

№	Параметр	S (значимость)	O (возникновение)	D (обнаружение)	ПЧР	Значимость, %
1	Отключение гидросбива	4	6	3	216	24
2	Снижение давления воды на гидросбивах черновой группы	8	3	5	120	13,3
3	Снижение давления воды на гидросбивах чистовой группы	8	6	4	192	21,3
4	Расход воды на коллекторах	2	2	8	36	4,01
5	Засорение форсунок гидросбива	7	6	8	336	37,3
Итого					900	100

При этом было учтено, что изменить режимы работы нагревательных печей практически невозможно, т.к. главная их задача – придать слябам необходимую для прокатки пластичность. Поэтому мы выполнили углубленный анализ данных производства, цель которого была выяснить, будет ли появляться остаточная окалина, если, не меняя режимы нагревательных печей, устранить главные недостатки оборудования – некачественную работу систем гидросбыва окалины, особенно в чистовой группе клетей.

В результате было установлено, что при исключении засорений форсунок гидросбыва, колебаний давления в системе гидросбыва и его отключений во время прокатки остаточная окалина на листах не проявляется.

### Заключение

Анализ факторов технологии и оборудования горячей прокатки широких полос, выполненный по специально разработанной методике, показал, что наиболее значимые факторы, влияющие на появление дефекта поверхности листов «остаточная окалина» - недостатки работы оборудования системы гидросбыва окалины. Жесткий контроль засорения форсунок и колебаний давления в системе, в том числе его отключения, гарантирует исключение данного дефекта.

### Библиографический список

1. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. М.: Теплотехник, 2008. 640 с.

2. Мазур В.Л., Ноговицын А.В. Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения). Днепропетровск: РВА «ДніпроVAL», 2010. 500 с.
3. Коцарь С.Л., Белянский А.Д., Мухин Ю.А. Технология листопрокатного производства. М.: Металлургия, 1997. 272 с.
4. Качество листов / Дурнев В.Д., Иводитов В.А., Казаков А.А. и др. М.: Наука и технологии, 2008. 336 с.
5. Современные методы повышения эффективности листопрокатного производства / Иводитов В.А., Трайно А.И., Вольшонов И.З., Русаков А.Д. М.: Издательский Дом МИСиС, 2013. 288 с.
6. Беньковский М.А., Масленников В.А. Автомобильная сталь и тонкий лист. Череповец: Издательский дом «Череповец», 2007. 636 с.
7. Технология листопрокатного производства: справочник в 2-х книгах. Книга 2 / Беньковский М.А., Богоявленский К.Н., Виткин А.И. и др. М.: Металлургия, 1991. 423 с.
8. Николаев В.А. Теория и практика процессов прокатки. Запорожье: Запорожская государственная инженерная академия, 2002. 232 с.
9. Дурнев В.Д., Настич В.П., Дурнев Н.В. Механика и физика листовой прокатки. М.: Наука и технологии, 2002. 224 с.

---

*Information about the paper in English*

**E.A. Garber, D.Z. Gatiyatullin**  
Cherepovets State University  
Cherepovets, Russian Federation  
E-mail: mamz2011@mail.ru  
Received 30.10.2017

FACTORS THAT CAUSE RESIDUAL SCALE SURFACE DEFECTS IN HOT-ROLLED WIDE STRIPS AND METHODS OF THEIR ELIMINATION

### Abstract

This article describes the methods and the results of an analysis of factors inherent in hot rolling of wide strips and the relevant equipment. The purpose of such analysis was to identify which of those factors can cause the residual scale defect, which is only detectable by customers after bead blasting and before final coating.

**Keywords:** hot-rolled flat products; residual scale; water descaling.