

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Нанотехнологии, материаловедение и механика»

(наименование)

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки)

Инжиниринг перспективных материалов и диагностика поведения

материалов в изделиях

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему: Анализ причин дефекта «разрывы по неметаллическим
включениям» при штамповке горячеоцинкованного проката

Студент

И.Ю. Карелина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н, А.В. Святкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| Глава 1 Аналитический обзор..... | 9 |
| 1.1 Состояние вопроса..... | 9 |
| 1.2 Основные причины образования поверхностных дефектов при деформировании листовой стали..... | 13 |
| 1.3 Природа образования и классификация неметаллических включений..... | 20 |
| 1.4 Модифицирование неметаллических включений при раскислении стали..... | 22 |
| 1.5 Технические характеристики поставляемого металлопроката.... | 30 |
| 1.6 Производство холоднокатаного и горячеоцинкованного проката..... | 33 |
| Глава 2 Методы испытаний и исследований, материалы и оборудование..... | 37 |
| 2.1 Механические испытания поставляемого металлопроката, подготовка образцов для испытаний на растяжение..... | 37 |
| 2.2 Металлографические исследования..... | 40 |
| 2.2.1 Металлографические исследования микроструктуры..... | 40 |
| 2.2.2 Электронномикроскопические исследования дефектов..... | 41 |
| 2.2.3 Подготовка образцов для металлографических исследований..... | 44 |
| 2.2.4 Подготовка образцов для электронномикроскопических исследований..... | 45 |
| 2.3 Анализ химического состава металлопроката..... | 47 |
| 2.4 Анализ газонасыщенности в металлопрокате..... | 48 |
| Глава 3 Результаты исследований..... | 51 |
| 3.1 Результаты механических испытаний металлопроката в состоянии поставки..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 3.2 Результаты металлографических исследований металлопроката в состоянии поставки..... | 55 |
| 3.3 Результаты анализа химического состава металлопроката в состоянии поставки..... | 56 |
| 3.4 Анализ дефекта «поверхностные разрывы» после холодной деформации..... | 57 |
| 3.5 Анализ причин увеличения дефектности от производителя металлопроката..... | 67 |
| Глава 4 Результаты исследований опытных партий..... | 71 |
| 4.1 Механические испытания образцов опытных партий..... | 71 |
| 4.2 Металлографические исследования образцов опытных партий | 72 |
| 4.3 Анализ химического состава образцов опытных партий..... | 73 |
| 4.4 Определение и сравнительный анализ газонасыщенности в партиях с дефектами и в образцах опытных партий..... | 74 |
| 4.5 Оценка эффективности внедрения корректирующих действий... | 78 |
| Заключение | 81 |
| Список используемых источников | 84 |
| Приложение А Справка по дефекту поверхности металлопроката после штамповки за период 2019-2020 гг..... | 89 |

Введение

В настоящее время на АО «АВТОВАЗ» существует проблема увеличения дефекта – разрывов (надрывов) по неметаллическим включениям на поверхности деталей из тонколистового холоднокатаного горячеоценкованного металлопроката при обработке металлов давлением (холодной штамповке) в процессе изготовления по действующей технологии лицевых крупногабаритных деталей кузова автомобиля.

Обработка металлов давлением (холодная штамповка) деталей производится в прессовом производстве АО «АВТОВАЗ», которое специализируется на изготовлении крупногабаритных лицевых деталей кузова (панелей боковин, крыш, дверей, капотов, багажников, крыльев) и деталей корпуса кузова (усилителей, балок, кронштейнов, лонжеронов). Продукция прессового производства насчитывает более 1700 наименований изделий, а общее число производимых деталей составляет около 70 млн. единиц в год.

Основными потребителями тонколистового холоднокатаного горячеоценкованного металлопроката являются производственные площадки брендов LADA, RENAULT, NISSAN, КАМАЗ, ДАЙМЛЕР КАМАЗ РУС в России, а также поставляется на Ford, Hyundai, Kia и другим производителям.

Актуальность темы исследования.

Одним из основных дефектов, выявляемых потребителями листового проката, являются разрывы при штамповке. В последние годы одной из наиболее частых проблем при переработке тонколистового проката является образование несплошностей связанных с наличием под поверхностью проката цепочки скоплений неметаллических включений. Проблема проявляется на марках для глубокой и особо глубокой вытяжки – DX54D, DX56D, IF/006 в партиях, соответствующих требованиям нормативной документации.

Объектом исследования являются образцы из тонколистового холоднокатанного горячеоценкованного металлопроката марок сталей для холодной штамповки марок: DX54D – особо глубокой вытяжки и DX56D – для специальной глубокой вытяжки, 006/IF категории вытяжки ВОСВ/ОСВ: особо сложная вытяжка/весьма особо сложная вытяжка производства завода изготовителя ПАО «ММК».

Предметом исследования являются поверхностные разрывы на лицевых деталях кузова автомобиля, химический состав тонколистового металлопроката и заготовок, микроструктура, механические свойства, газонасыщенность, химический состав структурных составляющих.

Цель работы. Снижение уровня дефектности по поверхностным разрывам на низкоуглеродистых сталях для холодной штамповки марок для особо сложной и весьма особо сложной вытяжки.

Решаемые задачи:

- проведение исследований причин возникновения дефекта: исследование образцов тонколистового холоднокатанного горячеоценкованного металлопроката в состоянии поставки, статистический анализ механических свойств, анализ микроструктуры и химического состава «проблемных» марок сталей: DX54D, DX56D, 006/IF ВОСВ/ОСВ;
- проведение сравнительного анализа металлопроката из партий с низким уровнем и партий с высоким уровнем дефектности.
- проведение исследований поверхностных разрывов на фрагментах деталей после холодной штамповки, направленных на определение корневой причины образования дефекта;
- наработка мероприятий, направленных на снижение уровня дефектности;
- оценить эффективность предложенных мероприятий (внедренных корректирующих действий).

Научная новизна:

- показана негативная роль введения кальция в качестве раскислителя в металл с содержанием кислорода на уровне 200 ppm;
- уровень окисленности с содержанием кислорода в пределах 40 ppm является достаточным для исключения дефекта, связанным с разрывами по неметаллическим включениям при холодной штамповке.

Практическая значимость:

- установлено, что разрывы на поверхности листового проката при холодной штамповке сложных кузовных деталей образуются из-за наличия неметаллических включений эндогенного характера, представляющие собой продукты раскисления;
- установлено, что очагом разрывов на поверхности листового проката при холодной штамповке деталей выступают неметаллические включения на основе алюмината кальция (типа $n\text{CaO} \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3$) и оксида кальция в соотношении 1:1 ($n\text{CaO}$), представляющие собой продукты раскисления;
- установлено, что введение кальция при раскислении без снижения общей окисленности приводит к увеличению дефектности. Значимое снижение уровня дефектности достигается снижением содержания кислорода в стали;
- установлена негативная роль кальция, как раскислителя на образование неметаллических включений, которые приводят к поверхностным разрывам при штамповке;
- подтверждена целесообразность контроля общего уровня окисленности (количество активного кислорода в стали).

В условиях ПАО «ММК» произведены опытные партии металлопроката с внедренными корректирующими действиями,

направленными на снижение дефектности и переработаны в прессовом производстве АО «АВТОВАЗ».

Результаты опубликованы в сборнике: Современные проблемы материаловедения. Сборник научных трудов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 65-летию ЛГТУ: Святкин А.В., Карелина И.Ю., Шендерей П.Э. К вопросу о природе дефекта «разрывы по неметаллическим включениям» при штамповке автолиста // Сборник научных трудов. Современные проблемы материаловедения. – 2021. – С. 137-144.

Издание постатейно размещено в научной электронной библиотеке eLibrary.ru: Современные проблемы материаловедения. Липецк, 18 февраля 2021 г.

Также результаты работы докладывались на семинарах кафедры «Нанотехнологии, материаловедения и механика» Тольяттинского государственного университета в 2020-2021 гг.

Этапы выполнения работы:

- анализ научной литературы и технической документации по проблеме исследования.
- подобрать стандартизированные методы, оборудование и материалы для организации комплексных исследований.
- провести сравнительный анализ механических свойств металлопроката в состоянии поставки из партий с низким уровнем и партий с высоким уровнем дефектности.
- привести металлографические исследования микроструктуры и химический анализ металлопроката в состоянии поставки партий с высоким уровнем дефектности.
- провести исследования поверхностных разрывов на фрагментах деталей после холодной штамповки.
- предложить мероприятия, направленные на снижение уровня дефектности.

- провести комплексные исследования параметров микроструктуры, показателей механических свойств и химический анализ металлопроката опытных партий, предоставленных поставщиком с внедренными корректирующими действиями.
- провести сравнительный анализ газонасыщенности в металлопрокате партий с дефектом поверхностные разрывы и в опытных партиях.
- провести подконтрольную переработку опытных партий.

Личный вклад автора заключается:

- в подготовке аналитического обзора, анализе литературных источников по проблеме исследования;
- в проведении металлографических и электронномикроскопических исследований;
- в организации комплексных исследований (анализ химического состава металлопроката, анализ газонасыщенности металлопроката, механические испытания, статистический анализ);
- в подконтрольном сопровождении по переработке опытных партий,
- в участии в обсуждении результатов исследования;
- в подготовке рекомендаций поставщикам, а также участие в написании тезисов и статей по результатам исследований.

Структура и объем работы.

Магистерская диссертация изложена на 92 страницах, содержит 46 рисунков, 15 таблиц, 49 источников, 1 приложение.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых источников и одного приложения.

Глава 1 Аналитический обзор

1.1 Состояние вопроса

Дефект «поверхностные разрывы по неметаллическим включениям» выявлен в большинстве случаев на листовых стальных прокатах толщиной 0,65-0,76 мм низкоуглеродистых марок сталей – 006/IF+Z100/140 ВОВВ/ОВВ, DX54D+Z100/140-МСО, DX56D+Z100/140-МСО, согласно представленной справке в приложении А.

Данные листовые стальные прокаты для холодной штамповки с цинковым покрытием, нанесенным методом непрерывного погружения в расплав, поставляются на АО «АВТОВАЗ» Магнитогорским металлургическим комбинатом ПАО «ММК».

Дефект «поверхностные разрывы по неметаллическим включениям» объединенный с дефектом «плена», имеющим идентичные характерные признаки, но при этом выходящего на поверхность листа, в настоящий момент входит в ТОП-5 дефектов АО «АВТОВАЗ», пример ТОП-дефектов металлопроката при анализе проблем штамповочного производства показан графически на рисунке 1.

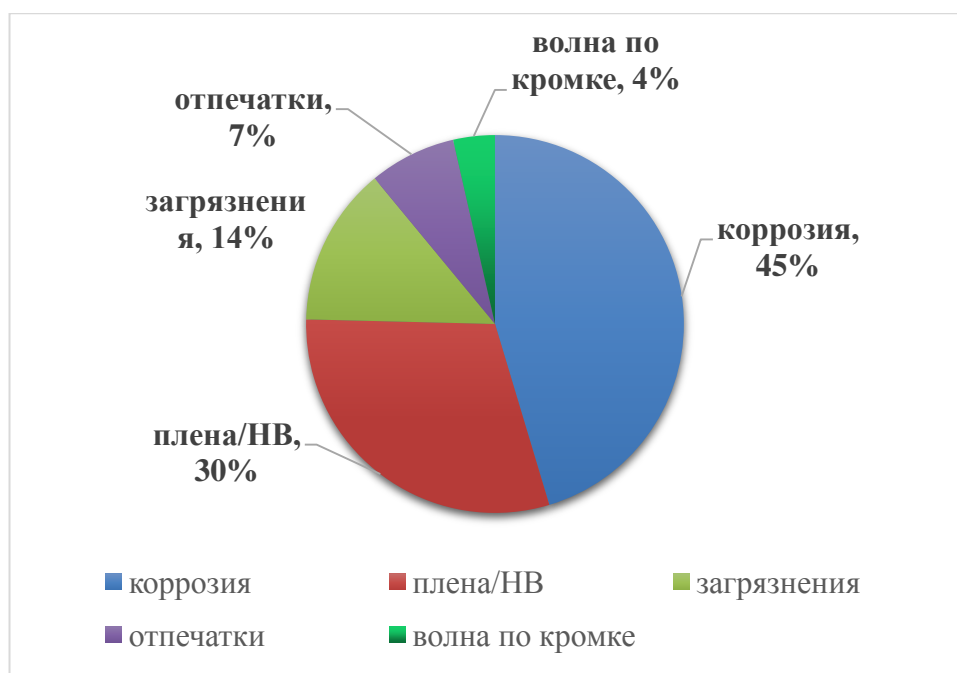


Рисунок 1 – Примеры перечня ТОП-дефектов металлопроката при анализе проблем штамповочного производства

Всплеск дефектности приходится на период с конца 2017 г., как видно по количеству обращений производства по исследованию дефекта «разрывы по неметаллическим включениям» данные представлены в виде графика на рисунке 2.

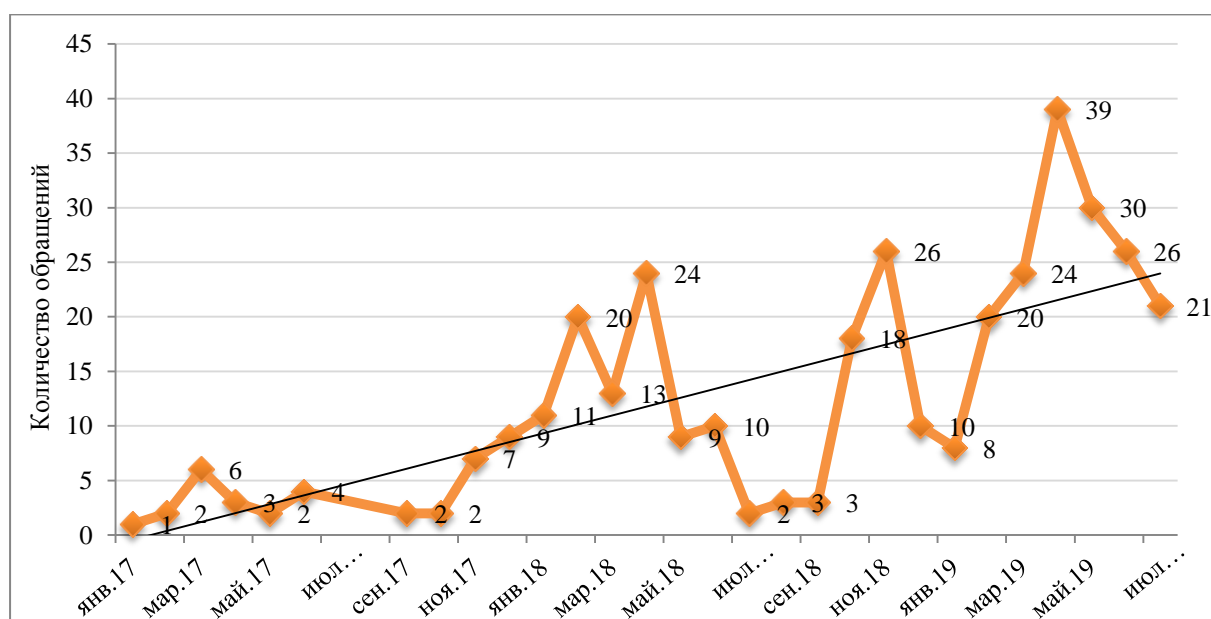
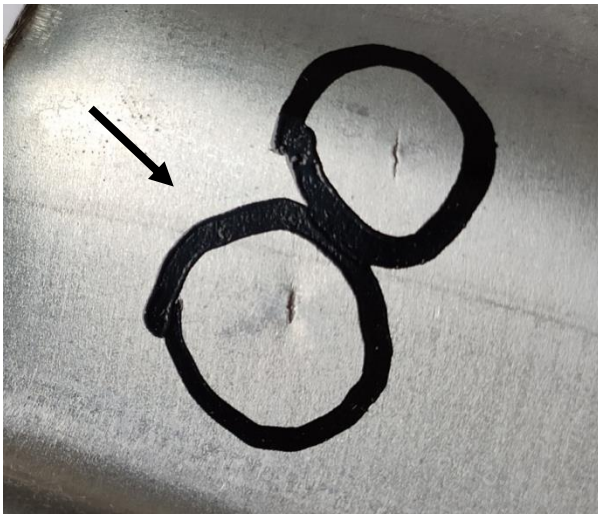


Рисунок 2 – Количество обращений по исследованию разрывов по неметаллическим включениям

Поверхностные разрывы, часто сопровождаются надрывами на поверхности, выявляются после холодной штамповки на сложных кузовных деталях в опасных зонах, что обусловлено близким к предельному, деформационному состоянию металла. На образцах штампованных деталей в области вытяжки поверхностные разрывы идентичного характера, представляют собой микротрещины протяженностью от 0,5 до 3 мм. Внешний вид фрагментов деталей металлопроката производства ПАО «ММК» после холодной штамповки с наличием разрывов на поверхности рассматриваемых марок стали представлены на рисунках 3-5.



Рисунок 3 – Внешний вид фрагментов штампованных горячеоценкованных деталей с разрывами (надрывами) стали 006/IF BOCB MCO

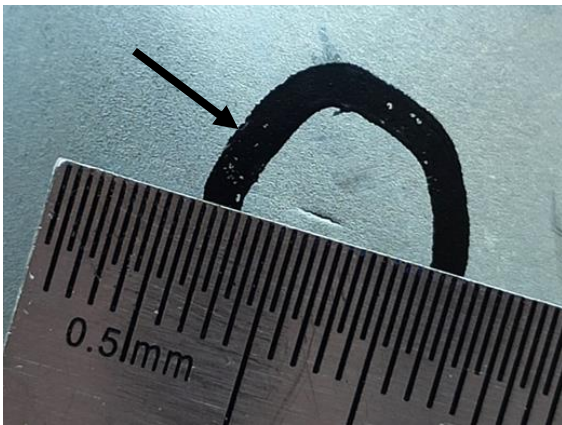


Образец металлопроката
DX54D+Z140

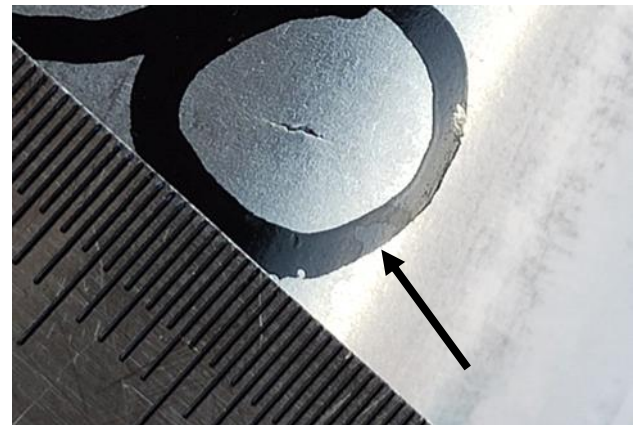


Образец металлопроката
DX56D+Z140

Рисунок 4 – Внешний вид фрагментов штампованных деталей с разрывами (надрывами)



Образец DX54D+ Z140



Образец 006/IF ОСВ+Z140

Рисунок 5 – Внешний вид фрагментов штампованных деталей с разрывами (надрывами)

Прессовое производство несет трудовые затраты при переработке, по выявлению дефекта и по отбраковке отштампованных деталей.

Для исключения попадания деталей с разрывами (трещинами) на сборку необходим 100 % контроль деталей, что экономически нецелесообразно, а иногда и затруднительно из-за высокого темпа штамповки и крупных габаритов отдельных деталей.

1.2 Основные причины образования поверхностных дефектов при деформировании листовой стали

Многие исследователи в работах [41], [43], [48] приложили немало усилий, чтобы объяснить механизм возникновения дефектов на холоднокатаной поверхности листовой стали, и большинство исследователей согласились с тем, что неметаллические включения являются одной из основных причин образования поверхностных трещин в прокатанном листе.

Неметаллические включения снижают пластичность, прочность и усталостную долговечность стали. Размер и количество включений тесно связаны с пределом текучести стали. При рассмотрении влияния включений в стали на свойства стали следует обращать внимание на количество, размер частиц, морфологию и распределение включений. Влияние включений на прочность стали тесно связано с размерами и количеством включений. Предел текучести и предел прочности стали увеличиваются с увеличением количества мелкодисперсных включений в стали, но относительное удлинение несколько уменьшается. Влияние включений на усталостные свойства сплава оказывают включения в зависимости от состава, размера, физических свойств включений, а также морфологии и расстояния от поверхности стального проката. Включения могут значительно снизить усталостную прочность и долговечность стали. Расположение включений также оказывает большое влияние на усталостные характеристики, причем включения вблизи и на поверхности более опасны, чем внутренние неметаллические включения.

Влияние композиционных включений на коррозионную стойкость стали больше, чем у простых оксидных включений. Точечная коррозия часто возникает на включениях, образующих комплекс с сульфидами и оксидами сульфидов, особенно в сложных составах. Определенные оксидные включения в комплексе с сульфидами являются источниками коррозии, возникающей в стали. Распределение включений в непрерывнолитой

заготовке связано с типом непрерывнолитой заготовки (например, непрерывнолитая заготовка, круглая заготовка или сляб), типом машины непрерывного литья заготовки, количеством и размером включений и тому подобное [47].

Большинство дефектов, которые образуются при холодной деформации тонколистового металлопроката, например: прокатке, штамповке, часто связаны с наличием неметаллических включений. Такие дефекты обычно подразделяют на поверхностные и внутренние.

Типичным дефектом при деформировании стали является образование несплошностей в стальной продукции, которые часто распространяются на поверхность в виде расслоений, например, на кромку листового проката. Обычно расслоение образуется в местах концентрации неметаллических включений, например силикатов и оксидов.

Из-за различной пластичности неметаллических включений и металлической матрицы, и хрупкого разрушения включений при деформации стали происходит нарушение сплошности по поверхности раздела включений с металлической матрицей и при строчечном расположении включений в металле образуется вытянутое по направлению деформации расслоение. При горячем деформировании, например при операции сварки, некоторые небольшие несплошности (расслоения) могут исчезать, но присутствие неметаллических включений препятствует свариванию внутренних поверхностей расслоений. В стальном листовом прокате наличие внутренних несплошностей недопустимо, так как они являются готовыми центрами образования разрушений при воздействии на сталь внешних нагрузок. Например, при холодном деформировании листовой стали, с наличием несплошностей, часто происходят поверхностные разрывы [1].

Для получения высококачественного тонколистового проката в первую очередь должна обеспечиваться высокая чистота стали по неметаллическим включениям, газообразным и разного вида вредным примесям. Концентрация, морфологическая структура и характер распределения

неметаллических включений в металлической матрице, осуществляется на этапе процесса раскисления и модифицирования металла при ковшевой обработке. Технологический процесс раскисления стали, включает выбор применяемых раскислителей и модификаторов, а также последовательность и способ их добавления в жидкий металл, технология раскисления должна обеспечивать достаточно полное удаление крупнодисперсных неметаллических включений из расплава. Оставшиеся в металлопродукции мелкие неметаллические включения должны иметь благоприятную морфологическую структуру, а их распределение и концентрация должны быть сведены к минимуму [5].

Многие исследователи [38]-[39], [44], [46], [49] пытались повысить качество поверхности листовой стали путем изменения состава и морфологии включений на основе термодинамических расчетов. В работах авторами [38]-[39] была предпринята попытка модифицировать включения на основе Al_2O_3 в жидкие для улучшения их деформируемости в процессе прокатки при производстве листовой стали но, похоже, этого все еще недостаточно для полного решения проблемы качества поверхности. Например, ряд включений на основе SiO_2-CaO часто обнаруживались в некоторых трещинах листовой стали, как показано на рисунке 6.

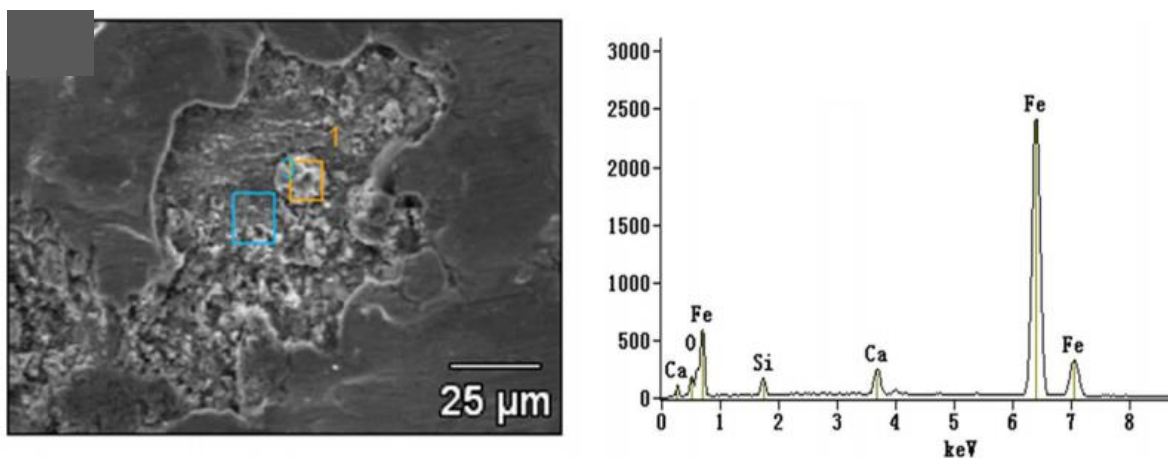


Рисунок 6 – Неметаллическое включение на основе SiO_2-CaO в трещине, обнаруженное в холоднокатанной листовой стали, СЭМ-изображение и EDS-диаграмма

Это очень трудно объяснить современной теорией формирования неметаллических включений, так как в IF-стали очень низкое содержание кремния (обычно менее 0,02%).

Фактически, относительно низкое качество поверхности металлопроката является одной из самых больших проблем при производстве особонизкоуглеродистой IF-стали без фаз внедрения в технологии процессов литья и прокатки тонких листов [40].

Включения, которые занимают значительную часть поперечного сечения материала во время горячей или холодной обработки давлением или находятся в областях высокой деформируемости, могут вызвать разрушение во время обработки. На рисунке 7 показано разрушение проволоки шинного корда, при холодном волочении, вызванное наличием большого включения. Так, например, в случае разрушения проволоки шинного корда, при холодном волочении, вызванного наличием большого включения. Таким образом, важно контролировать объемную долю, размер и распределение неметаллических включений [36].

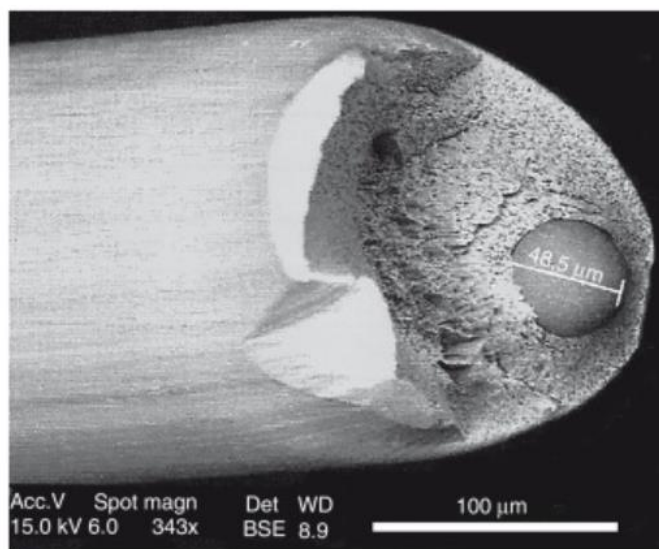


Рисунок 7 – Излом, вызванный крупным неметаллическим включением во время холодного волочения стальной проволоки. Указан приблизительный размер включения. СЭМ-изображение, обратно рассеянные электроны (BSE)

В работе [36] отмечается образование разрывов на поверхности в холоднокатаной листовой стали из-за совокупности относительно крупных неметаллических включений, показанных на рисунках 8 и 9. Разрывы, связанные с неметаллическими включениями, также происходят и во время штамповки в закрытых штампах. В некоторых случаях должен проводиться 100% контроль для устранения участков сортового проката, на которых сконцентрированы эти неметаллические включения. Даже если неметаллические включения не приводят к разрушению металла, они могут создавать полости и концентраторы напряжений, в зависимости от их относительной пластичности.

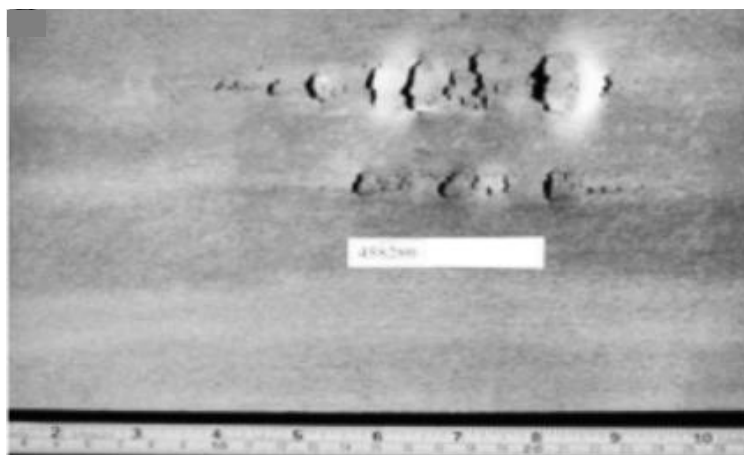


Рисунок 8 – Разрывы на поверхности в холоднокатаной листовой стали, вызванный скоплениями неметаллических включений

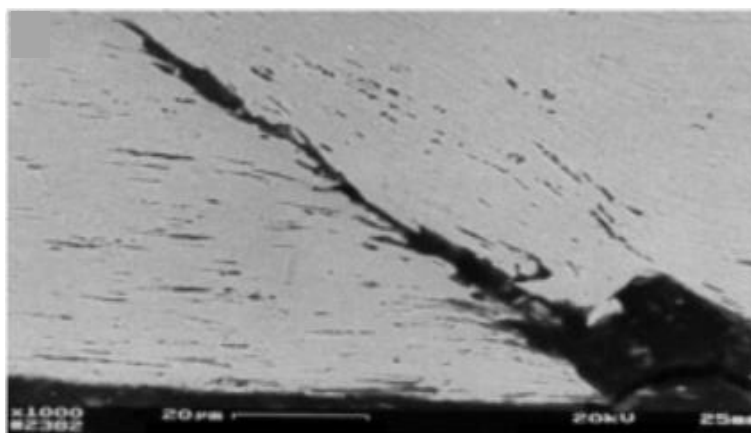


Рисунок 9 – Поперечное сечение области трещины, показывающее скопление включений. СЭМ-изображение, вторичные электроны (SE)

Неметаллические включения, которые могут быть приемлемы в листовой стали для волочения и формования (D&I) при производстве стальных банок, могут вызвать разрывы, если они расположены в сильно деформированной области кромок банок (рисунок 10). Известно, что разрывы кромок в D&I стали для банок были критическими в течение некоторого времени, но все еще требуется надлежащий технологический контроль неметаллических включений, поскольку требования становятся все более строгими [36].

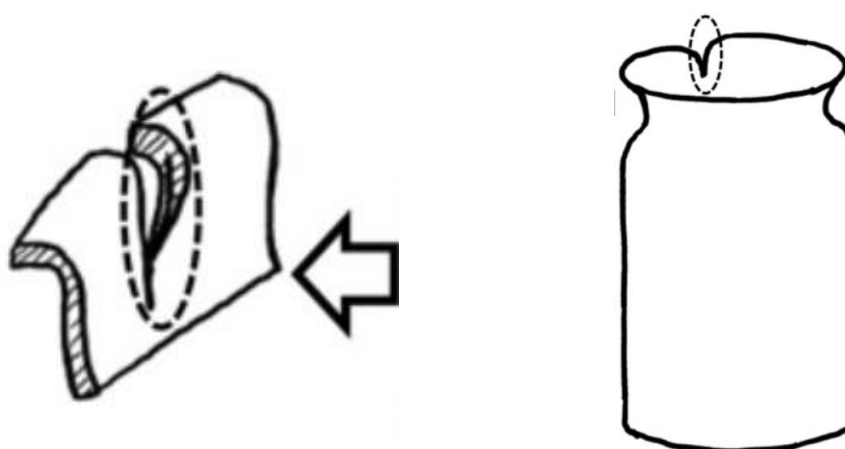


Рисунок 10 – Схематическое изображение трещины на поверхности кромки в банке D&I, связанной с неметаллическим включением

В работах [17]-[18] делается вывод о том, что обрывы проволоки по неметаллическим включениям происходят, в основном, на последнем этапе изготовления металлического корда – его свивке. Количество разрывов при этом может достигать до 80%. Причиной разрушения проволоки при наличии неметаллических включений является развитие полости – первичной трещины при выходе скоплений дислокаций при холодном деформировании катанки-проволоки на границу неметаллических включений – металлическая матрица. Крупные неметаллические включения разрушаются при более низких степенях деформации, чем мелкие, и у крупных неметаллических включений раньше образуются полости. Характер связи неметаллических включений с твердой матрицей определяется характером взаимодействия его

с жидкой сталью. Например, неметаллических включений корунда и шпинели плохо смачиваются, жидкой сталью и это обуславливает их слабую связь и с твердой матрицей. В работе [42] утверждается, что при легировании и эрозии огнеупоров образуются неметаллические включения размером более 20 мкм, что обуславливает при последующей холодной деформации такого металла повышенную способность к разрывам. Тем не менее, и меньшего размера неметаллические включения понижают выносливость металлического корда, особенно если эти неметаллические включения расположены у поверхности проволоки. В работе [36] отмечается образование разрывов на поверхности в холоднокатаной листовой стали из-за совокупности относительно крупных неметаллических включений. Разрывы, связанные с неметаллическими включениями, также происходят и во время штамповки в закрытых штампах. В некоторых случаях должен проводиться 100% контроль для устранения участков сортового проката, на которых сконцентрированы эти неметаллические включения. Даже если неметаллические включения не приводят к разрушению металла, они могут создавать полости и концентраторы напряжений, в зависимости от их относительной пластичности.

Один из наиболее распространенных дефектов холоднокатаного листа связанный с неметаллическими включениями «плена». При исследовании дефекта «плена» в работе [25] отмечено, что причиной дефекта являются обнаруженные оксиды $Al_2O_3 \cdot FeO$ размером 3-10 мкм, содержащие до 3 % Fe и оксиды размером до 25 мкм, содержащие до 20 % Fe. Оба типа оксидов, обнаруженных в дефекте холоднокатаного листа «плена», являются продуктами раскисления, образовавшимися на этапе сталеплавильного передела. Это подтверждается близостью состава этих оксидов и состава неметаллических включений, обнаруженных в образцах, последовательно отобранных по ходу, всего металлургического передела стали, от ее внепечной обработки и разлива до горячей и холодной прокатки листа.

1.3 Природа образования и классификация неметаллических включений

Неметаллическими включениями называют содержащиеся в стали соединения металлов с неметаллами. Количество неметаллических включений, их состав, размеры и характер расположения в готовом изделии оказывают существенное, а иногда решающее влияние на свойства стали. Неметаллические включения ухудшают не только механические (прочность, пластичность) и другие свойства стали (магнитную проницаемость, электропроводность и др.), так как нарушают сплошность металла и образуют полости, в которых концентрируются напряжения в металле.

Существует множество различных методов классификации неметаллических включений в стали: в зависимости от химического состава включений их можно разделить на оксидные включения, сульфидные включения и нитриды. В зависимости от формы включений, включения в стали после деформации будут иметь разную форму, так как при термообработке разные неметаллические включения имеют разную пластичность. Включения могут быть разделены на пластичные включения, хрупкие включения и недеформированные включения [47].

Существует различные формы классификации неметаллических включений: по их химическому составу (оксиды, сульфиды и др.) и по стадии процесса их образования с учетом начала кристаллизации. Включения, образовавшиеся до начала кристаллизации стали, обычно называют первичными, а включения, образовавшиеся после начала кристаллизации, вторичными.

Общий способ классификации неметаллических включений связан с размером включений: таким образом, включения можно классифицировать как макроскопические и микроскопические. При принятии данной классификации, для обеспечения приемлемого соотношения между размерами в работе [37] предлагается использовать такое предложение:

включение представляет собой макровключение, если оно достаточно велико, чтобы вызвать немедленный выход изделия из строя во время переработки или эксплуатации, все остальные включения следует классифицировать как микровключения. Таким образом, хотя это и важно, это сложная для применения классификация. Часто размеры определяются произвольно для разделения макро- и микровключений, и классификация становится достаточно сложной для обоснования.

По источнику включений, в соответствии со способом образования в стали, включения принято классифицировать на два типа: первый тип включения образующиеся в процессе производства стали – это эндогенные включения, образующиеся в процессе реакций металлургического передела (например, неметаллические включения, образующиеся при раскислении и вторичном окислении), при этом можно только уменьшить присутствие этих включений в стали, но содержание их неизбежно; второй тип включения образующиеся из «внешних» источников – экзогенные включения, это в основном композиционные включения, представляют собой частицы загрязнений механически попадающие в сталь и не удалившихся из металла в процессе плавки, обычно имеют глобулярную форму и размер более 50 мкм (например, неметаллические включения, вызванные отслоением шлака или огнеупорных материалов – частицы, попавшие в металл футеровки ковша), причем экзогенных включений можно избежать с помощью соответствующих технологических мер, позволяющих избежать образования экзогенных включений [47].

В редких случаях «экзогенный» объем материала достаточно долго сохраняется в стали, не подвергаясь интенсивной реакции с расплавом, и таким образом, значительно изменяется. В прошлом «экзогенные» источники вносили существенный вклад в формирование совокупности включений, особенно в виде крупных включений из огнеупоров. Однако в современных сталях этот показатель был значительно снижен. Тем не менее, остается проблемой то, что многие авторы [37] приходят к выводу, что

наиболее важными источниками неметаллических включений являются «экзогенные». Взаимодействие между металлом и огнеупорными материалами действительно может оказать значительное влияние на содержание включений в стали. Если определение «экзогенные» включает также, например, включения, возникшие в результате повторного окисления при контакте с воздухом, и включения, возникшие в результате увлечения шлака при взаимодействии с жидким металлом, как рассматривается в работе [45], то диапазон «экзогенных» включений расширяется.

Эндогенные включения непрерывно образуются в металле в процессе плавки, разливки, кристаллизации слитка или отливки. Большая часть образовавшихся включений успевает всплыть и удалиться в шлак, но какая-то часть остается. Если расплавленная сталь вторично окисляется во время процесса разливки, размер неметаллических включений значительно увеличивается. Вторичное окисление приводит к увеличению содержания кислорода в расплавленной стали с образованием новых неметаллических включений, что снижает эффективность раскисления раскислителя, а увеличение количества неметаллических включений.

1.4 Модифицирование неметаллических включений при раскислении стали

В металлургической практике до настоящего времени широко распространено применение алюминия в качестве раскислителя и модификатора стали широкого назначения. В работе [2] еще в 1961 году отмечалось, что алюминий, как раскислитель, должен быть «изгнан из металлургии». В работах [5], [19], [22], [28] отмечается, что раскисление стали алюминием недопустимо в ряде случаев, например для кордовой стали, в связи с образованием остроугольных неметаллических включений, недеформируемых при последующей холодной деформации, например при прокатке, волочении или штамповке. В результате чего происходит

формирование микротрещин возле недеформируемого неметаллического включения при напряжении, соответствующего половине предела текучести металлической матрицы [1], [4]. Кроме раскисления стали, ее деоксидации, важным процессом получения качественной стали является ее модифицирование, заключающееся в достижении изменения свойств и уменьшения размеров неметаллических включений для повышения деформируемости стали при процессах обработки давлением (прокатке, волочении, штамповке). В этих случаях (раскисление и модифицирование стали) весьма эффективно применение кальций-содержащих материалов [33].

В работе [33] описываются раскислительные свойства кальция по сравнению с другими раскислителями, которые существенно выше, чем у других обычно применяемых, включая алюминий. Введенный в металл кальций взаимодействует не только с растворенным кислородом, но и с образующимися в стали продуктами раскисления, включая SiO_2 и Al_2O_3 , восстанавливая их. Наблюдается также восстановление кремния и алюминия из шамотной футеровки разливочного ковша. Убывающий по эффективности ряд химических элементов по их сродству к кислороду при $1600\text{ }^\circ\text{C}$: $\text{Be} \rightarrow \text{Ca} \rightarrow \text{Zr} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Al} \rightarrow \text{Ti} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{Si} \rightarrow \text{V} \rightarrow \text{B} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{Cr} \rightarrow \text{Fe} \rightarrow \text{W} \rightarrow \text{Mo} \rightarrow \text{Co} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{As}$. Из этого ряда видно, кальций является значительно более мощным раскислителем по сравнению с традиционно применяемыми Al, Si и Mn. Эффективен кальций и как модификатор неметаллических включений наряду с редкоземельными элементами.

Тем не менее, при использовании кальция для раскисления следует учитывать его очень низкую температуру испарения около $1490\text{ }^\circ\text{C}$ и его достаточно низкую растворимость в железе до 0,03 %. Добавленный в сталь кальций при испарении взаимодействует с расплавом. Из-за малой скорости и небольшого времени взаимодействия парообразного кальция с компонентами сплава степень полезного действия вводимого в металлический сплав кальция достаточно невелика. Для того чтобы увеличить степень полезного действия, кальций добавляют в виде различных

соединений, например карбида кальция, соединений с кремнием (силикокальций) или с кремнием и алюминием [33].

В работе [40] в процессе производства листовой стали было реализовано два технологических процесса – с Са-обработкой и без Са-обработки для производства особонизкоуглеродистой IF-стали без фаз внедрения. На рисунках 11 и 12 представлены включения, обнаруженные металлографическим методом двух разных вариантов соответственно.

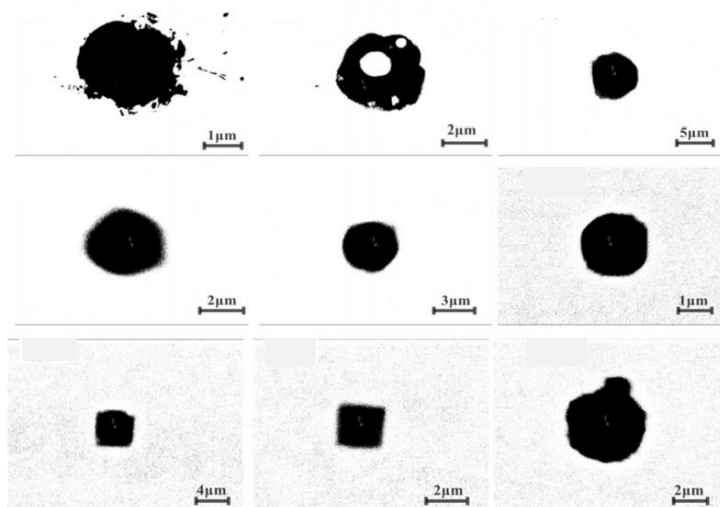


Рисунок 11 – Морфология обнаруженных включений в различном положении литейного сляба в технологическом процессе производства листовой стали – с Са-обработкой

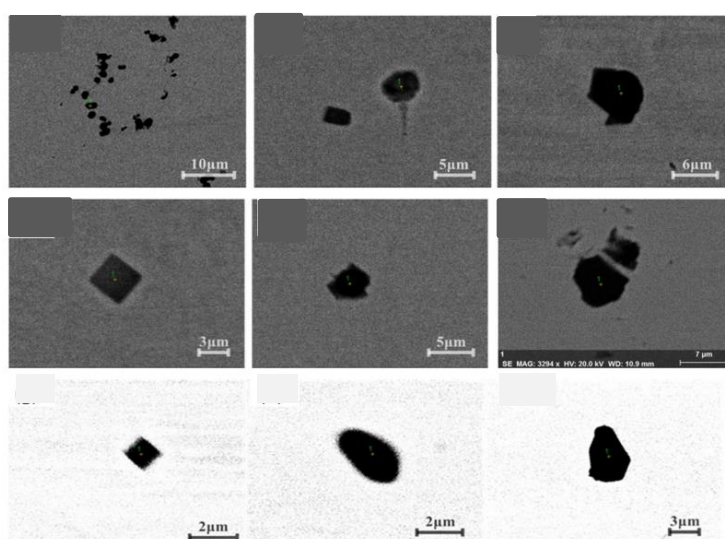


Рисунок 12 – Морфология обнаруженных включений в различном положении литейного сляба в технологическом процессе производства листовой стали – без Са-обработки

На рисунке 11 показана типичная морфология включений образцов для варианта с Ca-обработкой. Существует два основных типа включений: первый тип – сферический или глобулярный по морфологии, это включения на основе CaO-содержащие CaO-Al₂O₃-MgO или включения на основе Al₂O₃, определенные с помощью EDS; второй тип – с кубической морфологией, которая обычно является TiN-типом включения. Диаметры включений составляют несколько микрометров. Кроме того, также обнаруживаются некоторые сложные двойные включения, то есть TiN, выделяющийся вокруг оксидного включения, которое служит в качестве ядра.

На рисунке 12 показаны, некоторые типичные морфологии включений в слябе для варианта без Ca-обработки. В слябе также имеются в основном два типа включений: оксиды и нитриды размером в несколько микрометров. Но оксиды являются преобладающими включениями на основе Al₂O₃, как правило, с неоднородной морфологией, которая сильно отличается от морфологии варианта с Ca-обработкой, как показано на рисунке 11. При этом кубические включения TiN также наблюдались на слябе в основном как включения, сходные с включениями варианта с Ca-обработкой.

В результате раскисления металла с кальций содержащими соединениями образуются сложные продукты раскисления, которые впоследствии обработки удаляются из металла. При взаимодействии кальция с глиноземными включениями в металле образуются алюминаты кальция типа $n\text{CaO} \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3$ с низкой температурой плавления, которые находятся в стали в жидкостном состоянии и впоследствии должны легко удаляться из стали. Тем не менее, некоторое количество все-таки остается в виде небольших и механически прочных включений глобулярной формы, которая не меняется при холодном деформировании, в некоторых случаях положительно влияющие на эксплуатационные свойства стальной продукции. Для наиболее эффективного использования кальция его добавляют в глубоко раскисленный металл уже после ввода алюминия. В результате кальций частично взаимодействует с кислородом, а также

частично с серой, связывая серу в тугоплавкие сульфидные включения CaS , которые практически не влияют на металлические свойства стали.

Вводимый в расплав кальций не распределяется по объему ковша мгновенно и равномерно, поэтому в разных точках расплава могут реализовываться различные соотношения между содержанием алюминия и кальция, что приводит к формированию неметаллических включений самого различного состава в условиях локального равновесия. В работе [23] отмечено, что в непосредственной области ввода модификатора в условиях значительного пересыщения расплава кальцием образуются эндогенные жидкие включения, близкие по составу к $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$.

Процесс раскисления жидкой стали на выпуске из конвертера является одним из ключевых моментов технологии. Согласно проведенным исследованиям и результатам термодинамического моделирования, основным типом включений, образующихся на данном этапе, являются шлаковые соединения системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MnO-SiO}_2\text{-FeO}$. В зависимости от количества вводимого алюминия совместно с жидкими включениями образуются также твердые соединения корунда Al_2O_3 и герцинита $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$. Степень удаления герцинита из расплава значительно ниже из-за высокой адгезии к расплаву. Также отмечено, что наиболее трудноудаляемые включения $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ образуются в условиях раскисления переоxygenного металла алюминием [23].

В работе [23] расчетными методами была определена зависимость минимального содержания алюминия в стали, выше которого будет происходить образование твердых включений, от окисленности металла. Полное исключение из схемы раскисления алюминия обеспечивает нейтрализацию образования герцинитных и корундовых включений.

В работе [23] так же установлено, что наиболее благоприятными с точки зрения морфологии являются соединения системы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$, близкие по составу к моноалюминатам кальция $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ и содержащие до 5-6 % MgO . Эти включения небольшого размера 6-8 мкм образуются в

жидком состоянии, имеют глобулярную форму, которая при пластической обработке практически не претерпевает изменений. Отмечается немаловажный фактор, определяющий преобладание типа неметаллических включений, формирующихся при модифицировании стали, это соотношение между содержанием алюминия и кальция в стали. Как было показано [24], согласно результатам термодинамического моделирования, в текущих производственных условиях при обработке стали кальцием равновесным типом включений является биалюминат кальция $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$. Для улучшения морфологии образующихся включений и увеличения степени их удаления из жидкого расплава, предлагается повысить в два раза количественное отношение вводимого кальция к алюминию.

Наиболее высокое усвоение кальция обеспечивается при введении его в жидкий металл в виде порошковой проволоки кальций содержащих материалов (Si-Ca, C-Ca, Fe-Ca и т.п.), усвоение кальция увеличивается до 15...20% [14]-[15], [27], [34]. При этом необходимо выбирать содержания кальция в стали в зависимости от содержания в них серы, алюминия, кислорода. В работе [27] исследован способ внепечного рафинирования стали при вакуумировании с электродуговым ее подогревом в сталеплавильном ковше, усреднением по химическому составу и температуре при помощи продувки жидкой стали аргоном и магнитным перемешиванием, с применением жидких высокоосновных шлаков. Помимо снижения общей газонасыщенности стали (H_2 , N_2 , O_2), снижена и загрязненность стали неметаллическими включениями. Воздействие кальция на сталь заключается в следующем:

- кальций вводится, как правило, после алюминия и обеспечивает снижение кислорода в стали до 1 ppm;
- кальций рафинирует сталь по сере и неметаллические включения, а также модифицирует неметаллические включения: вместо Al_2O_3 образуются жидкие алюминаты кальция, легко удаляемые из расплава; остаточные, глобулярные, дисперсные, равномерно

распределенные неметаллические включения взаимодействуют с глиноземом вторичного окисления и блокируют образование MnS.

В работе [20] отмечается, что управление окисленностью стали на всех технологических операциях – на выпуске стали из дуговой сталеплавильной печи, внепечной обработке и вакуумировании на циркуляционной установке позволит избежать образования неметаллических включений при последующем введении легирующих элементов, для этого необходимо обеспечить содержание FeO в шлаке не более 0,3%.

Из работы [25] следует, что образование крупных включений – продуктов раскисления, обусловлено, вероятно, тем, что раскисители алюминий или кальций вводятся в переокисленный металл.

В работе [25] отмечается, что наряду с ограничениями по содержанию алюминия для предотвращения образования дефекта как «разрыв» по скоплениям неметаллических включений, требуется не допускать повышенной окисленности металла на выпуске из конвертера и исключить из технологии внепечной обработки химический подогрев, так же требуется использовать для продувки в кислородном конвертере очищенный кислород, для снижения газонасыщенности стали. Высокое содержание азота в стали связано с повышенным содержанием азота в кислороде, используемом для продувки металла в конвертере, предполагается, что содержание азота в готовом металле не должно превышать 0,0040 %, чтобы исключить образования твердых нитридных включений.

Повышенная загрязненность сталей неметаллическими включениями, содержащими кальций в виде оксидных соединений на основе алюминатов кальция или сульфидной составляющей, приводит к снижению коррозионной стойкости металлопродукции, что отмечается в работах [26], [29], [30].

В работе [26] выявлено отрицательное влияние на стойкость к коррозии неметаллических включений на основе алюминатов кальция, в некоторых случаях в соединении с оксидами магния и кремния. А также неметаллических включений, которые имеют ядро алюмината кальция в

различных соотношениях оксидов кальция и алюминия, сульфида марганца или включения, окруженного сульфидом кальция по типу оболочки.

В работе [30] выявлена взаимосвязь между наличием в стали неметаллических включений разного состава и скоростью точечной коррозии. Установлено, что главной причиной высоких скоростей коррозии металлопродукции является загрязненность стали неметаллическими включениями определенного вида, вводимыми в сталь в процессе внепечной обработки при неоптимизированных технологических параметрах. В последствии такого вида включения получили название коррозионно-активных неметаллических включений на основе алюминатов кальция типа $m\text{CaO}\cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$.

На данный момент существует способы, относящиеся к черной металлургии, в частности к производству стали с применением методов внепечной обработки, направленные на снижение количества неметаллических включений при производстве холоднокатаного листового проката и повышения качества поверхности холоднокатаного листа. В основном изобретения направлены на снижение отсортировки проката по поверхностным дефектам сталеплавильного происхождения, исключения повторной переработки (переплавки), снижение трудоемкости, повышения и обеспечение стабильности технологического процесса получения стальной продукции, обеспечение стабильности процесса разлива, исключения простоя и выхода технологического оборудования из строя (исключение досрочной замены оборудования, прекращение процесса разлива и др.).

Тем не менее, уделяется недостаточно внимания касательно дальнейшей технологической переработки стальной продукции, мало информации по последующей переработке продукции у потребителя и проблем, связанных с неметаллическими включениями. Потребители, перерабатывающие продукцию, предъявляют высокие требования к качеству поверхности холоднокатаных листов, особенно для лицевых панелей автомобилей, и даже требуют «нулевого дефекта». Однако неметаллические

включения в листовом прокате, такие как алюминат кальция, оксид кальция, оксид алюминия, являются основной причиной этих поверхностных и внутренних дефектов, образующихся при холодной штамповке в процессе изготовления лицевых крупногабаритных деталей кузова автомобиля.

1.5 Технические характеристики поставляемого металлопроката

Технические условия на поставку металлопроката низкоуглеродистых сталей для холодной штамповки марок 006/IF+Z100/140 В0СВ/ОСВ, DX54D+Z100/140-MCO, DX56D+Z100/140-MCO представлены в таблицах 1 и 2, предназначены для производства штампованных лицевых и нелицевых деталей автомобилей сложной формы, глубокой вытяжки и устойчивых к коррозии.

Таблица 1 – Химический состав сталей

| Марка стали | НД на прокат | Массовая доля элементов, % | | | | | | | | |
|-------------|---------------|----------------------------|--------|-----------|---------|---------|------------|-------------|-----------|------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Ti | Nb | Al | Fe |
| DX54D+Z | EN 10346 | < 0,12 | < 0,5 | < 0,6 | < 0,1 | < 0,045 | < 0,3 | – | – | ост. |
| DX56D+Z | EN 10346 | < 0,12 | < 0,5 | < 0,6 | < 0,1 | < 0,045 | < 0,3 | – | – | ост. |
| 006/IF+Z | ТУ 14-101-497 | < 0,007 | < 0,02 | 0,10-0,18 | < 0,012 | < 0,01 | 0,022-0,11 | 0,020-0,074 | 0,03-0,06 | ост. |

Таблица 2 – Механические свойства сталей

| Марка стали | НД на прокат | Предел текучести Re, МПа | Временное сопротивление разрыву Rm, МПа | Относительное удлинение A ₈₀ , %, min | Коэффициент пластической деформации, min | Коэффициент деформационного упрочнения, min |
|-------------|---------------|--------------------------|---|--|--|---|
| DX54D+Z | EN 10346 | 120-220 | 260-350 | 36 | 1,6 | 0,18 |
| DX56D+Z | EN 10346 | 120-180 | 260-350 | 39 | 1,9 | 0,21 |
| 006/IF В0СВ | ТУ 14-101-497 | 120-185 | 270-350 | 40 | 2,0 | 0,21 |
| 006/IF ОСВ | ТУ 14-101-497 | 140-195 | 270-350 | 36 | 1,6 | 0,20 |

Прокат тонколистовой холоднокатаный горячеоцинкованный стальной прокат для холодного деформирования из низкоуглеродистых сталей DX54D,

DX56D с цинковым покрытием Z100/Z140, нанесенным методом погружения полосы в расплав цинка (Z), поставляется по стандарту EN 10346:2015 [16].

Главные свойства для этих низкоуглеродистых сталей пригодность к холодному деформированию (штамповке), высокая прочность, определенный минимальный предел текучести и стойкость к коррозии, обеспечиваемая посредством покрытия. Низкоуглеродистые стали для холодной штамповки DX54D+Z, DX56D+Z по увеличению пригодности к холодной штамповке классифицируются: DX54D – для особо глубокой вытяжки; DX56D – для специальной глубокой вытяжки.

Прокат тонколистовой холоднокатаный горячеоцинкованный из стали марки 006/IF, категории вытяжки ВОСВ/ОСВ: особо сложная вытяжка/весьма особо сложная вытяжка, с типом покрытия Z100/Z140 поставляется по ТУ 14-101-497-2014 [35].

Марка 006/IF относится к стальному прокату высокого качества типа IF (Interstitial Free, без фаз внедрения). IF-стали с повышенными пластичными свойствами микроструктура, которых стабилизирована микролегированием элементами титана и ниобия, содержат очень низкий процент углерода, который в соединении с азотом имеет полностью связанную структуру карбидов и нитридов. IF-сталь – это металл, имеющий чисто ферритную микроструктуру. Такая стабилизированная микроструктура способна обеспечивать глубокую вытяжку и достаточное перераспределение напряжений в металле, что гарантированно обеспечивает равномерность толщины листа и прочностные свойства штампованных лицевых деталей автомобиля. Применение IF-сталей взамен обычно используемых ранее низкоуглеродистых сталей, например 08Ю, обеспечивает существенное снижение массы деталей, пропорциональное глубине вытяжки металла. IF-стали часто используются для изготовления различного вида лицевых деталей: дверей, капотов и др. Дополнительное микролегирование фосфором, кремнием, марганцем и бором повышает прочностные свойства IF-сталей.

Обрабатываемость тонколистового металлопроката пластической деформацией при штамповке, зависит от его технологических свойств. Технологические свойства листового металла определяются частью его механических, физических и других свойств и характеристик: точностью формы (листа, полосы, ленты, рулона и др.), микрогеометрией и физико-химическим состоянием поверхности, равномерностью распределения в материале и стабильностью во времени некоторых из этих свойств и характеристик.

Из листового проката марок сталей – 006/IF В0СВ/ОСВ, DX54D+Z100/140-МСО, DX56D+Z100/140-МСО осуществляется холодная штамповка лицевых крупногабаритных деталей кузова автомобиля (панелей боковин, крыш, дверей, капотов, багажников, крыльев) в прессовом производстве АО «АВТОВАЗ», по действующей технологии. В производстве площадью 217000 м² задействовано более 200 единиц оборудования, в основное оборудование входит:

- автоматическая линия штамповки крупногабаритных кузовных деталей фирмы «Komatsu», состоящая из главного прессы мощностью 2000 тонн и четырех прессов мощностью 1000 тонн;
- трех-координированная автоматическая линия штамповки крупногабаритных кузовных деталей фирмы «Erfurt» мощностью 3200 тонн;
- автоматическая линия вырубки заготовок фирмы «AIDA» с механическими ножницами, которые устанавливаются на стол прессы и позволяют осуществлять угловыерезы с мощностью – 630 тонн;
- автоматическая линия штамповки кузовных деталей фирм «AIDA&ABB», состоящая из главного прессы мощностью 2000 тонн и четырех прессов мощностью 1000 тонн.

1.6 Производство холоднокатаного и горячеоцинкованного проката

Тонколистовой холоднокатаный стальной прокат из марок 006/IF+Z100/140 В0СВ/0СВ, DX54D+Z100/140-МСО, DX56D+Z100/140-МСО производится в ПАО «ММК», на мощностях листового прокатного цеха ЛПЦ 11. Назначение данного цеха ЛПЦ-11 – производство тонколистового холоднокатаного и горячеоцинкованного проката высокого качества для производства лицевых и внутренних деталей автомобилей, основное оборудование листового прокатного цеха ЛПЦ-11:

- непрерывная травильная линия турбулентного травления в соляной кислоте;
- пяти-клетевой стан-танDEM холодной прокатки 2000 фирмы SMSDemagAG производственной мощностью 2,0 млн. тонн холоднокатаного проката шириной от 850 до 1880 мм и толщиной от 0,28 до 3,0 мм;
- агрегат непрерывного горячего цинкования (АНГЦ) производственной мощностью 450 тыс. тонн в год;
- комбинированный агрегат непрерывного отжига/горячего цинкования производственной мощностью 250 тыс. тонн.

Цех покрытий выпускает горячеоцинкованный прокат и прокат с полимерным покрытием, а также электролуженую жель. Основное оборудование:

- агрегат электролитического лужения (АЭЛ);
- агрегаты поперечной резки (АПР-1, 2);
- два агрегата непрерывного горячего цинкования (АНГЦ № 1, 2);
- агрегат поперечной резки оцинкованного проката и проката с полимерным покрытием (АПР-3);
- два агрегата полимерных покрытий (АПП № 1, 2).

Выплавка стали для тонколистового холоднокатаного проката осуществляется в кислородных конвертерах с последующей разливкой

металла на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) криволинейного типа в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ), с производственной мощностью – 11,1 млн. тонн стальной продукции в год, все оборудование соединено в одну технологическую линию, основное оборудование:

- установка десульфурации чугуна в сталеразливочном ковше;
- три кислородных конвертера объемом по 370 тонн и производством 3,7 млн. тонн стали в год каждый;
- две установки вакуумной обработки стали;
- три агрегата внепечной обработки стали в сталеразливочном ковше;
- двухпозиционный агрегат комплекс «печь-ковш»;
- двухпозиционная установка электродугового нагрева металла в сталеразливочном ковше;
- четыре слябовых двухручьевых/четырёхручьевых радиально-криволинейных МНЛЗ общей производственной мощностью 7,0 млн. тонн;
- вертикальная одноручьевая слябовая МНЛЗ №6.

Агрегат комплекс «печь-ковш» предназначен для переработки жидкого металла в сталеразливочном ковше с использованием установки для вакуумной обработки, или без нее.

Технологические операции на комплексе агрегата «печь-ковш»:

- нагрев металла электрической дугой;
- продувка металла аргоном для усреднения химического состава металла и его температуры по объему сталеразливочного ковша;
- коррекция химического состава металла;
- десульфурация металла белым основным шлаком;
- измерение температуры и отбор проб металла и шлака;
- микролегирование или получение металла с узкими пределами содержания элементов путем ввода порошковой проволоки с различными видами наполнителей.

Контроль за процессом ковшевой обработки производится путем замера температуры, отбора проб металла, измерения расхода и давления аргона для продувки, измерения веса добавок, присаживаемых в ковш, измерения тока и напряжения дуги и других электрических параметров, а также измерения вспомогательных параметров (температура и давление охлаждающей воды, отходящих газов).

В кислородно-конвертерном цехе выплавка стали производится по технологии одно-шлакового процесса с верхней подачей кислорода. При выпуске металла в ковш его раскисляют добавками марганца, алюминия или кальция. Окончательная доработка металла по химическому составу и корректировка по температуре производится на агрегате доводки стали (АДС), после чего ковш с жидким металлом перемещается на операцию непрерывной разливки.

Выводы

По результатам аналитического обзора сделаны следующие выводы:

- тонколистовой металлопрокат из низкоуглеродистых сталей, предназначенный для холодной штамповки лицевых деталей автомобиля, должен иметь определенные механические свойства, химический состав и микроструктуру с пластичными свойствами, которая способна обеспечивать глубокую вытяжку и достаточное перераспределение напряжений в металле, и чистота стали по неметаллическим включениям;
- факторами, влияющими на возникновение разрывов при холодном деформировании тонколистового металлопроката, являются: недостаток механических свойств, несоответствующий химический состав, структурная неоднородность и наличие неметаллических включений.

По литературным данным неметаллические включения ухудшают механические свойства стали – уменьшают прочность и пластичность, а также охрупчивают, понижают сопротивление коррозии, ухудшают технологические свойства, так как нарушают сплошность металла и образуют полости, в которых концентрируются напряжения в металле.

Для получения высококачественного тонколистового проката в первую очередь должна обеспечиваться высокая чистота стали по неметаллическим включениям, газообразным и разного вида вредным примесям. Концентрация, структура и характер распределения неметаллических включений в металлической матрице, осуществляется на этапе процесса раскисления и модифицирования металла при ковшевой обработке.

Для эффективного раскисления и модифицирования стали предлагается применение кальций-содержащих материалов. Описано положительное влияние кальция, как раскислителя на форму и размеры неметаллических включений для повышения деформируемости низкоуглеродистых сталей при процессах обработки давлением (прокатке, волочении, штамповке).

Глава 2 Методы испытаний и исследований, материалы и оборудование

Для определения причин возникновения дефекта необходимо провести комплексные исследования, показателей механических свойств, металлографические исследования микроструктуры и химический анализ металлопроката. Провести исследования поверхностных разрывов на фрагментах деталей после холодной штамповки, и провести анализ газонасыщенности в металлопрокате партий с дефектом поверхностные разрывы и в опытных партиях. Для организации комплексных исследований необходимо подобрать стандартизированные методы, оборудование и материалы.

2.1 Механические испытания поставляемого металлопроката, подготовка образцов для испытаний на растяжение

Механические испытания образцов металлопроката производства ПАО «ММК» в состоянии поставки и опытной партии проводились в заводской исследовательской лаборатории обработки металлов давлением и механических испытаний (ЗИЛ ОМДиМИ) АО «АВТОВАЗ», лаборатория специализируется на проведении механических испытаний при контроле качества металлопроката (в состоянии поставки) и комплектующих изделий.

Проведены механические испытания тонколистового металлопроката в состоянии поставки и опытных партий на соответствие требованиям EN 10346:2015 [16] и ТУ 14-101-497-2014 [35] НД поставляемой продукции:

- предел текучести R_e , МПа по ГОСТ 11701 [11], ГОСТ 1497 [6];
- временное сопротивление R_m , МПа по ГОСТ 11701 [10], ГОСТ 1497 [6];
- относительное удлинение A_{80} , % по ГОСТ 11701 [10], ГОСТ 1497 [6];
- коэффициент пластической деформации по ГОСТ 11701 [10];

– коэффициент деформационного упрочнения по ГОСТ 11701 [10].

Испытание на растяжение выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 11701 [10] и ГОСТ 1497 [6]. Количество образцов для испытаний устанавливается в соответствии с требованиями НД на предмет испытания.

Испытания на растяжение для тонколистового проката проводили на универсальной испытательной машине «FPZ 100/1» (рисунок 13) с программным обеспечением «Test.Navigator» фирмы «Tinius Olsen».

Образцы для механических испытаний листового проката изготавливали согласно ГОСТ 11701 [10] – пропорциональные плоские с головками как показано на рисунке 14.



Рисунок 13 – Испытательная машина «FPZ 100/1»



Рисунок 14 – Образец для механических испытаний листового проката

Места вырезки заготовок для образцов, количество их, направление продольной оси образцов по отношению к заготовке, величины припусков при вырезке указаны в НД на металлопродукцию.

Для вырезки заготовок из листового проката при изготовлении образцов используют металлорежущие ножницы, предусматривая при этом припуски на область металла с измененными свойствами при нагреве и наклепе. Заусенцы на торцах образцов удаляются механически без повреждения поверхности образца с помощью шлифовальной шкурки или на шлифовальном круге.

Испытания проводят не менее чем на двух образцах, если иное количество не предусмотрено в НД на металлопродукцию.

Предварительно перед испытанием проводятся измерения размеров сечения рабочей части с применением штангенциркуля, не менее чем в трех местах – в средней части и на границах рабочей длины образца с погрешностью до 0,1 мм. Затем проводят нанесение меток на образцах с помощью делительной машины РГА или вручную металлической линейкой.

За начальную площадь поперечного сечения образца в его рабочей части принимают наименьшее из полученных значений. Для проведения испытаний листового металлопроката используют типовую для разрывных машин функциональную оснастку или оправку. Затем помещают испытуемый образец в сборе с оснасткой в захваты и производят силовое нагружение.

Определение предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения после разрыва проводят на образцах по ГОСТ 1497 (раздел 4) [6]. Округление вычисленных результатов испытаний проводят в соответствии с таблицей 3 ГОСТ 11701 [10].

Определение коэффициента пластической анизотропии, показателя деформационного упрочнения проводят в соответствии с ГОСТ 11701 [10]. Результаты механических свойств обеспечиваются автоматически программным обеспечением «Test.Navigator».

2.2 Металлографические исследования

Исследования образцов металлопроката в состоянии поставки и опытных партий производства ПАО «ММК» на соответствие требованиям НД и металлографические исследования поперечного сечения фрагментов деталей после холодной штамповки в области поверхностных разрывов проводились в заводской исследовательской лаборатории металловедения и технической диагностики (ЗИЛ МиТД) АО «АВТОВАЗ», лаборатория специализируется на проведении металлографических анализов при контроле качества сортового металлопроката и рекламационном исследовании материала автокомпонентов и оснастки.

2.2.1 Металлографические исследования микроструктуры

Металлографические исследования поперечного сечения тонколистового металлопроката состояния поставки и опытных партий на соответствие требованиям НД поставляемой продукции проводили на оптическом микроскопе «OLYMPUS-GX51» (рисунок 15) с программным обеспечением SIAMS 800.

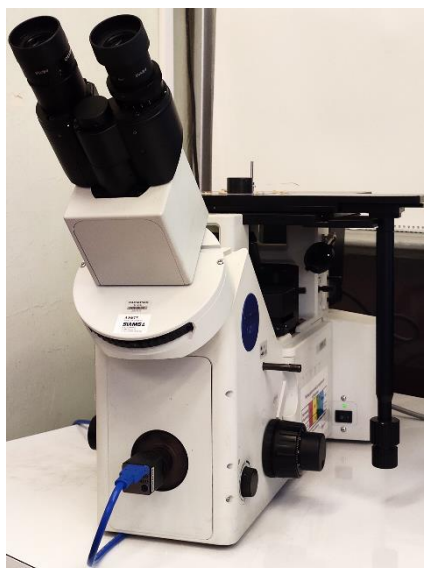


Рисунок 15 – Микроскоп «OLYMPUS-GX51»

Оценку структурно-свободного цементита проводили при увеличении $\times 400$ путем сопоставления микроструктуры по эталонной шкале 1 ГОСТ 5640 [8].

Величину зерна определяли методом сравнения с эталонными шкалами при увеличении $\times 100$ по шкале 1 ГОСТ 5639 [7]. После просмотра всей площади микрошлифа, отмечали несколько типичных мест и сравнивали с эталонными шкалами приложения 2 ГОСТ 5639 [7], для определения балла зерна путем сравнения с эталонами использовали программное обеспечение SIAMS 800.

Измерение толщины цинкового покрытия, в поперечном сечении металлопроката, проводили на нетравленном микрошлифе металлографическим методом при увеличении $\times 500$ (для покрытий толщиной до 20 мкм) по ГОСТ 9.302 [13]. С помощью программного обеспечения SIAMS 800 проводили не менее пяти измерений на отрезке длиной 5 мм, за результат измерения принимали среднее арифметическое значение пяти результатов единичных измерений (пяти параллельных измерений).

2.2.2 Электронномикроскопические исследования дефектов

Металлографические исследования поперечного сечения фрагментов деталей после холодной штамповки в области разрывов и локальные исследования разрывов, в том числе неметаллических включений проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Zeiss SEM «EVO 18» с SE детектором, диапазон увеличений от $\times 50$ до $\times 10000$, с программным обеспечением SmartSEM, укомплектованного приставкой для микрорентгеноспектрального анализа, позволяющими производить качественный и количественный элементный анализ энергетическим дисперсионным спектрометром EDS – детектором с программным обеспечением Bruker (рисунок 16).



Рисунок 16 – Сканирующий электронный микроскоп Zeiss SEM «EVO 18»

Микроскоп состоит из камеры для образца, электронно-оптической колонны EVO, статического демпфера, насоса предварительного вакуумирования и персонального компьютера, с помощью которого осуществляется управление микроскопом. Микроскоп укомплектован SE, BSE детекторами, позволяющими получать электронно-микроскопические изображения: детектора вторичных электронов, детектором отраженных электронов. Микроскоп оснащен вспомогательной телекамерой инфракрасного диапазона, с помощью которой контролируется в реальном времени и с увеличением около 1,5 раз перемещения и повороты объекта на предметном столике.

В основе СЭМ лежит сканирование поверхности образца электронным зондом (сфокусированным пучком электронов) в условиях высокого вакуума и детектирование (распознавание) возникающего при этом широкого спектра излучений. Для получения изображения используются сигналы, произведенные вторичными электронами (SE) и обратно отраженными электронами (BSE).

Встроенный компьютер с программным обеспечением SmartSEM используется для управления микроскопом, создания и хранения полученных изображений. Для анализа химического состава материала используется спектр рентгеновского излучения, возникающего в результате торможения электронов, энерго-дисперсионным (EDS) спектрометром. Рентгеновский спектрометр является в СЭМ дополнительным оборудованием, с программным обеспечением Bruker, которое позволяет выполнять качественный и количественный элементный анализ с высокой степенью локальности с выбором определенной области для анализа или конкретной исследуемой точки, получать и распечатывать полученные изображения, редактировать пики, получать картирование распределений элементов по площади и получать анализ профиля вдоль линии сканирования [21].

В состав электронно-оптической колонны входит: электронная пушка, которая является стабильным источником электронов; несколько электромагнитных фокусирующих линз отклоняющей системы, для формирования сфокусированного электронного пучка; набор апертур. Источником электронов в СЭМ является катод «A054L», изогнутая вольфрамовая нить диаметром 100 мкм в форме буквы V, который использует термоэлектронную эмиссию [21].

Ускоряющее напряжение, рабочее расстояние (WD), зондовый ток и размер апертуры – это необходимые параметры СЭМ для формирования изображения и анализа содержащейся в изображении информации.

Ускоряющее напряжение между катодом и анодом задает энергию для первичных электронов, сканирующих поверхность образца, для исследований принималось в диапазоне от 15 до 20 кВ.

Рабочее (фокусное) расстояние (WD) – расстояние между сфокусированной поверхностью образца и краем объективной линзы, имеет решающее значение для разрешения, соотношения сигнал/шум, глубины резкости и результирующего увеличения, для исследований принималось в диапазоне от 8 до 10 мм.

Размер апертуры в основном определяет глубину резкости и отношение сигнал/шум. В качестве апертур используются две диафрагмы 20 и 30 мкм, которые в зависимости от задачи могут быть введены в траекторию пучка с помощью устройства привода диафрагмы.

Увеличение сканируемого изображения соответствует отношению размера изображения на экране монитора компьютера к размеру сканируемой исследуемой области. При исследовании поверхности для полного описания объекта используются разные комбинации изображений с малым и большим увеличением.

2.2.3 Подготовка образцов для металлографических исследований

Место вырезки образца тонколистового металлопроката указано в технических условиях: ГОСТ, чертеж. Место вырезки для исследования причин образования дефектов на деталях определяется целью исследования.

Вырезка образца металлопроката, производится холодным механическим способом абразивным кругом (200×1,2×32) на настольном отрезном станке «Diskotom», при непрерывной подаче охлаждающей жидкости на место реза во избежание перегрева образца и изменения структуры металла. При необходимости на вырезанном образце выравнивание поверхности, снятие заусенцев достигается обдиркой на шлифовальном станке с применением крупнозернистой шкурки P80.

При изготовлении микрошлифов 30×30 мм для металлографического исследования на оптическом микроскопе применяется ПК/АБС карбопласт Л-3 графитовый. Вырезанный образец запрессовывается в карбопласт на автоматическом прессе с системой водяного охлаждения «SimpliMet-1000» для горячей запрессовки образцов. Температура запрессовки не должна превышать температуры, при которой могут происходить структурные изменения в исследуемом материале.

Поверхность подготовленных образцов шлифуют на двухдисковых шлифовальных станках «Metasineх», используя шлифовальную бумагу разной зернистости, с последовательно уменьшающейся зернистостью (P80,

P280, P800, P1200, P2000). Во избежание изменения микроструктуры вследствие перегрева образца, эта операция выполняется при непрерывной подаче воды.

Механическое полирование проводят на однодисковом полировальном станке «Buehler 67» на шерстяном сукне с применением алмазной пасты АСМ 1/0. Увлажнение полировального сукна (драпа) осуществляется спиртосодержащей жидкостью, для улучшения скольжения на бархатистых носителях. Полирование проводят до полного исчезновения рисок и получения зеркальной поверхности образца, затем для получения более четкой структуры металла образец просушивают струей теплого воздуха. Продолжительность полировки с использованием алмазной пасты – от 2 до 15 минут.

Для выявления микроструктуры используется химическое травление микрошлифа реактивом «Ниталь» – 4% раствор азотной кислоты в этиловом спирте (ГОСТ 5640, ГОСТ 5639). Предварительную обработку перед травлением и окончательную обработку микрошлифа (образца) после травления проводят чистым этиловым спиртом.

2.2.4 Подготовка образцов для электронномикроскопических исследований

Для исследования дефектов на электронном микроскопе образцы подготавливаются аналогично, как металлографические микрошлифы. При этом максимальный размер микрошлифа должен быть диаметром до 30 мм, а высота не должна быть более 15 мм, для запрессовки используется токопроводящая фенольная смола с графитовым наполнением.

Поверхность исследуемых образцов должна быть ровной и абсолютно чистой, не должна иметь каких либо дефектов шлифовки, которые могут привести к искажению результатов определения концентрации анализируемых элементов, поэтому полировка образца должна проводиться исключительно механическим способом с использованием алмазных паст.

Одно из важных требований к образцу, является отсутствие электростатического заряда поверхности, поверхность образца должна быть электропроводящей. Изменение поверхностного заряда изменяет выход вторичных электронов, снижает разрешающую способность и искажает изображение.

Поверхность непроводящих образцов напыляют электропроводящими материалами, например тонким слоем из золота/палладия на вакуумной напылительной установке «Quorum» (рисунки 17, 18), которая предназначена для напыления сверхтонких покрытий на образцы в условиях среднего и высокого вакуума.



Рисунок 17 – Вакуумная напылительная установка «Quorum»



Рисунок 18 – Напыление поверхности образца

Также исследуемый образец должен быть устойчив в условиях вакуума и под действием электронного пучка. Для обеспечения хорошего электрического контакта образца с предметным столиком и для его фиксации при передвижении стола в камере используют специальный проводящий углеродный скотч 12 мм×20 м.

2.3 Анализ химического состава металлопроката

Определение химического состава образцов тонколистового металлопроката в состоянии поставки и опытной партии производства ПАО «ММК» на соответствие требованиям НД проводились в заводской исследовательской лаборатории неорганической химии (ЗИЛ НХиЗП) АО «АВТОВАЗ».

Определение химического состава металлопроката проводили по ГОСТ 18895 [12] на автоматическом анализаторе металлов спектрометре OBLF QSN750-11 (рисунок 19).



Рисунок 19 – Спектрометр OBLF QSN750-11

Для определения химического состава металлопроката, вырезка образцов, производилась холодным механическим способом абразивным кругом (200×1,2×32) на настольном отрезном станке «Diskotom», образцы вырезались размером 40×40 мм по ГОСТ 7565 [9]. Цинковое покрытие удаляли с помощью концентрированной соляной кислоты HCl,

стравливанием от 30 до 60 с и затем зачищали поверхность на плоскость абразивом, при подготовке для спектрального анализа на OBLF QSN750-11 по ГОСТ 18895 [12]. За результат принимают среднее арифметическое значение двух параллельных результатов единичных определений. Для стабильности результатов анализов использовались государственные стандартные образцы.

Автоматический анализатор фирмы OBLF представляет собой высоковольтный искровой вакуумный эмиссионный спектрометр для обнаружения и количественного определения химических элементов или их соединений в образцах металлов. Перед обыскриванием образцы должны быть отшлифованы, рекомендуется сухая шлифовка соответствующей шлифовальной бумагой для спектрометрических проб, для стали крупность зерен Р60 или Р80. Шлифовальная бумага не должна быть загрязнена предыдущими пробами с высоким содержанием легирующих элементов, поверхность образца должна быть чистой и равномерной (без следов прижога от предыдущего обыскривания), поверхность образца не полируется (используемую шлифовальную бумагу своевременно заменяют). При шлифовании должен быть исключен перегрев поверхности образца (время контакта со шлифовальной бумагой должно быть минимальным, в случае необходимости шлифуемый образец охлаждают водой и высушивают, и в заключении в еще раз отшлифовывают всухую) [31].

2.4 Анализ газонасыщенности в металлопрокате

Определение содержания газов в металлопрокате проводилось в заводской исследовательской лаборатории термической обработки (ЗИЛ ТО) АО «АВТОВАЗ».

Определение содержания газов в образцах металлопроката опытных партий и в образцах партий с дефектом «поверхностные разрывы» проводили на анализаторе LECO TC-300 (рисунок 20) для определения

массовой доли кислорода (в диапазоне от 0,0005 до 0,2%) и массовой доли азота (в диапазоне от 0,0005 до 0,8%) по ГОСТ 17745 [11].



Рисунок 20 – Анализатор азота и кислорода LECO TC-300

Принцип работы анализатора LECO TC-300 основан на восстановительном плавлении пробы в импульсной печи сопротивления в токе инертного газа. Концентрация кислорода определяют по количеству образовавшегося диоксида углерода методом инфракрасного поглощения, а выделившегося азота детектором по теплопроводности.

Анализ кислорода и азота выполняется при помощи программного обеспечения встроенного компьютера. Программа включает операции фиксирования массы пробы и запоминания ее, перемещения пробы в камеру [32].

Для анализа газов с образцов металлопроката снималась стружка массой 0,05 г на токарно-винторезном станке 1П611. Для проведения анализа изготовлялось не менее трех проб в виде стружки (навесок) по 0,05 г с каждого образца. Взвешивание навесок для анализа по 0,05 г производилось на автоматических электронных весах CPA 224S с пределом допускаемой погрешности, не превышающий 0,001 г. Перед проведением анализа пробы в виде стружки, пробы обезжиривались промывкой в этиловом спирте.

Контроль правильности результатов осуществлялся градуировкой по стандартным образцам с аттестованной массовой долей газов.

Выводы

Для организации комплексных исследований предложены основные стандартизированные методы:

- определения механических свойств металлопроката с описанием подготовки образцов для проведения испытаний;
- определения микроструктуры и толщины покрытия с описанием подготовки микрошлифов и метода металлографического анализа с использованием системы анализа изображений;
- определение химического состава металлопроката с описанием подготовки образцов для анализа;
- определение содержания газов для анализа газонасыщенности в металлопрокате с описанием приготовления проб.

Предложены и описаны специальные электронномикроскопические исследования с использованием микрорентгеноспектрального анализа для локального качественного и количественного определения химических элементов с использованием программного обеспечения, с описанием метода, оборудования и подготовки микрошлифов.

Показано основное оборудование, применяемое при проведении комплексных исследований.

Глава 3 Результаты исследований

Для определения причин возникновения дефекта проведены металлографические исследования поверхностных разрывов на фрагментах деталей после холодной деформации в поперечном сечении.

Проведены металлографические исследования микроструктуры и химический анализ образцов тонколистового холоднокатаного горячеоцинкованного металлопроката толщиной 0,65-0,76 мм из низкоуглеродистой стали с цинковым покрытием марок DX54D+Z, DX56D+Z, 006/IF+Z ВООСВ/ОСВ производства ПАО «ММК» в состоянии поставки в период высокого уровня дефектности 2019-2020 гг., проведен сравнительный анализ механических свойств марок DX54D+Z, DX56D+Z, 006/IF+Z ВООСВ, 006/IF+Z ОСВ за период низкого уровня и высокого уровня дефектности 2017-2020 гг.

Проведены металлографические исследования микроструктуры, механические испытания и проведен химический анализ образцов опытных партий холоднокатаного тонколистового горячеоцинкованного металлопроката толщиной 0,65 мм и 0,76 мм из низкоуглеродистой стали с цинковым покрытием марок DX54D+Z100 и DX56D+Z100 произведенных по скорректированной технологии раскисления и предоставленных заводом изготовителем ПАО «ММК».

Произведен анализ газонасыщенности в образцах фрагментов деталей после холодной деформации с дефектом «поверхностные разрывы» и с дефектом «плена» в разное время поставки и опытных партий марок DX54D+Z100, DX56D+Z100.

3.1 Результаты механических испытаний металлопроката

в состоянии поставки

Результаты механических испытаний металлопроката в состоянии поставки при периодическом контроле на соответствие требованиям EN 10346 [16] и ТУ 14-101-497 [35] за период с 2017 г. по 2020 гг. представлены в таблице 3.

За исследуемый период проконтролировано: DX54D+Z-MCO – 230 партий; DX56D+Z-MCO – 225 партий; 006/IF+Z-BOCB – 185 партий; 006/IF+Z-OCB – 28 партий.

Таблица 3 – Фактические результаты механических испытаний партий за исследуемый период

| Марка стали (толщина проката) | Предел текучести Re, МПа | Временное сопротивление разрыву Rm, МПа | Относительное удлинение A ₈₀ , %. | Коэффициент пластической деформации, r ₉₀ | Коэффициент деформационного упрочнения, p ₉₀ |
|----------------------------------|-----------------------------|--|--|---|--|
| DX54D (0,65-0,76 мм) | 139-203 | 278-326 | 38-46,5 | 1,7-3,0 | 0,19-0,27 |
| EN 10346 | 120-220 | 260-350 | ≥ 36 | ≥ 1,6 | ≥ 0,18 |
| DX56D (0,65-0,76 мм) | 134-179 | 288-329 | 37-49 | 1,9-3,2 | 0,21-0,26 |
| EN 10346 | 120-180 | 260-350 | ≥ 39 | ≥ 1,9 | ≥ 0,21 |
| 006/IF BOCB (0,65-0,76 мм) | 130-185 | 270-326 | 40-47 | 2,0-2,6 | 0,21-0,28 |
| ТУ 14-101-497 | 120-185 | 270-350 | ≥40 | ≥2,0 | ≥0,21 |
| 006/IF OCB (0,65-0,76 мм) | 130-185 | 270-326 | 39-48 | 2,0-2,9 | 0,21-0,28 |
| ТУ 14-101-497 | 140-195 | 270-350 | ≥36 | ≥1,6 | ≥0,20 |

Для сравнительного анализа механических свойств в период низкого уровня дефектности 2017 г. и в период резкого увеличения дефектности по поверхностным разрывам с 2018 по 2020 гг. распределение значений временного сопротивления разрыву Rm и предела текучести Re представлены в виде графиков на рисунках 21-24.

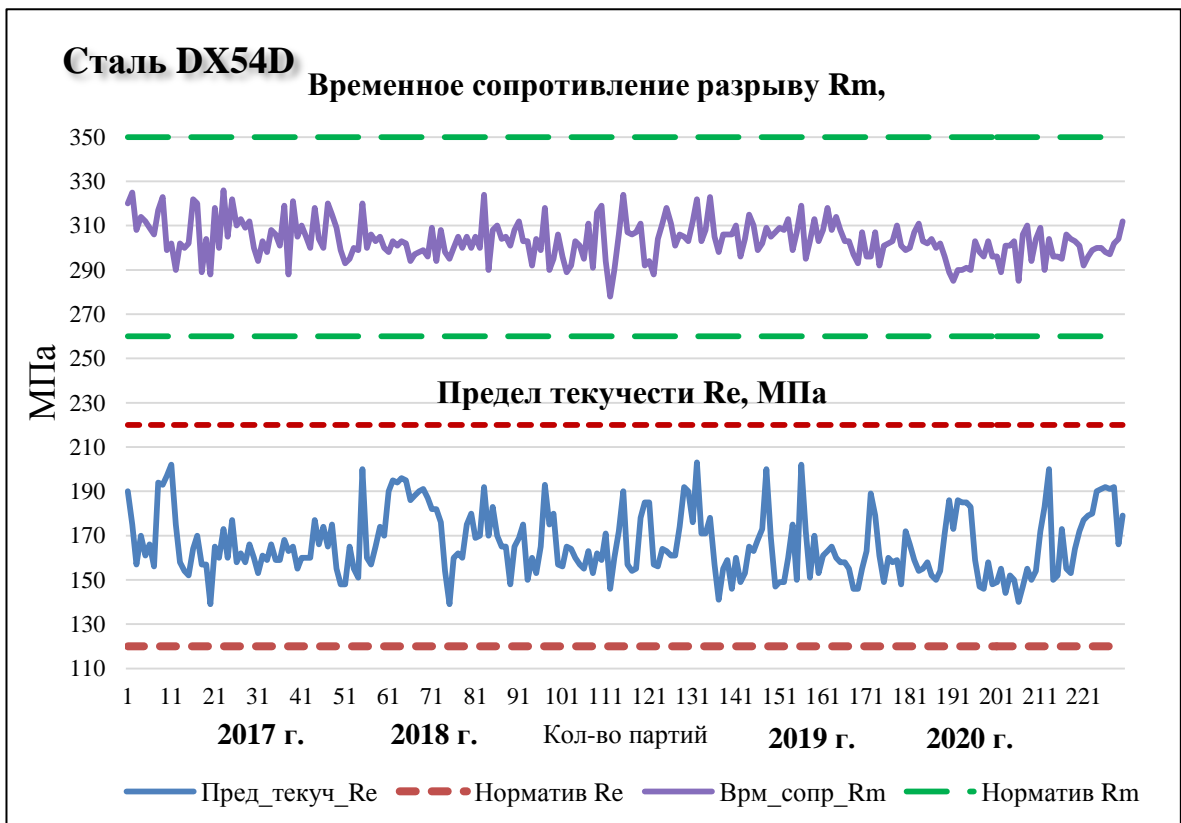


Рисунок 21 – Графики R_m и R_e за исследуемый период для стали DX54D

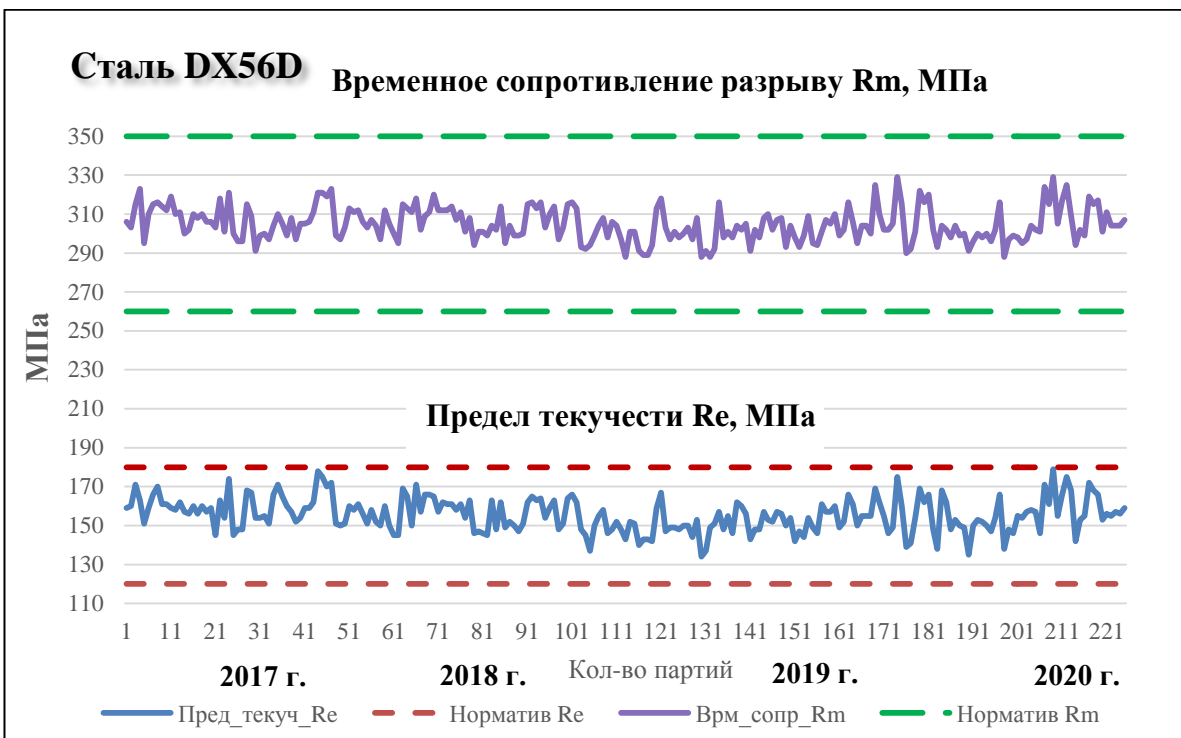


Рисунок 22 – Графики R_m и R_e за исследуемый период для стали DX56D

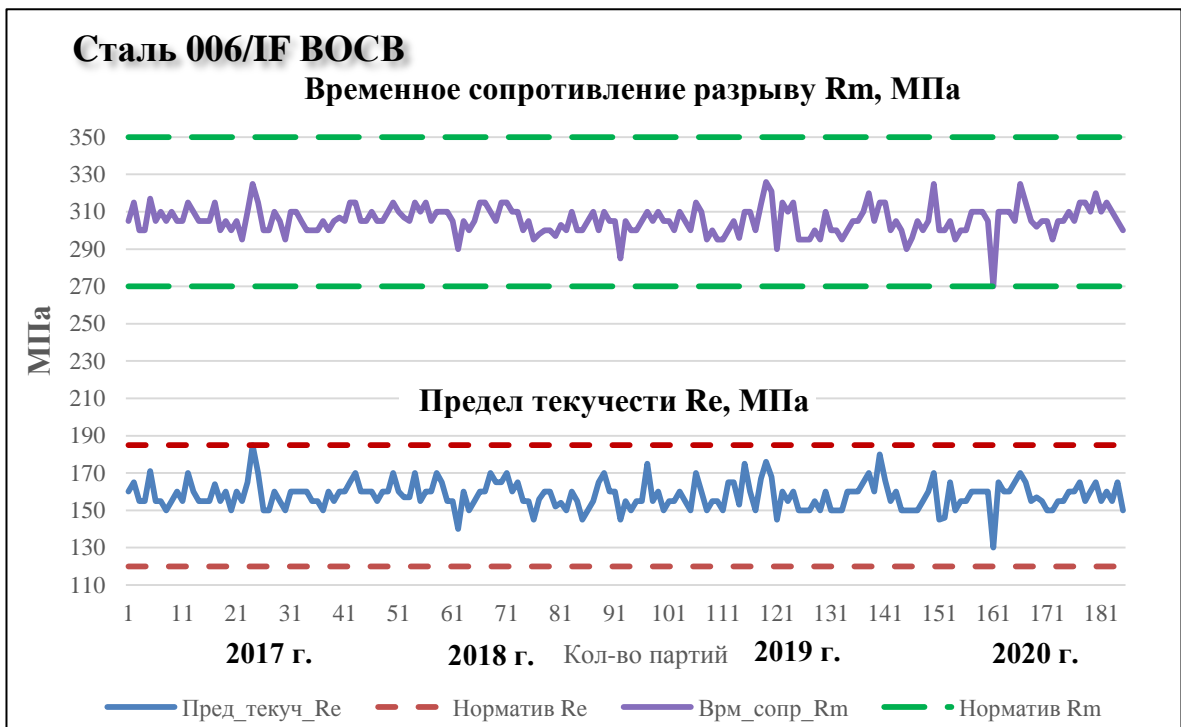


Рисунок 23 – Графики R_m и R_e за исследуемый период для стали 006/IF ВОВСВ

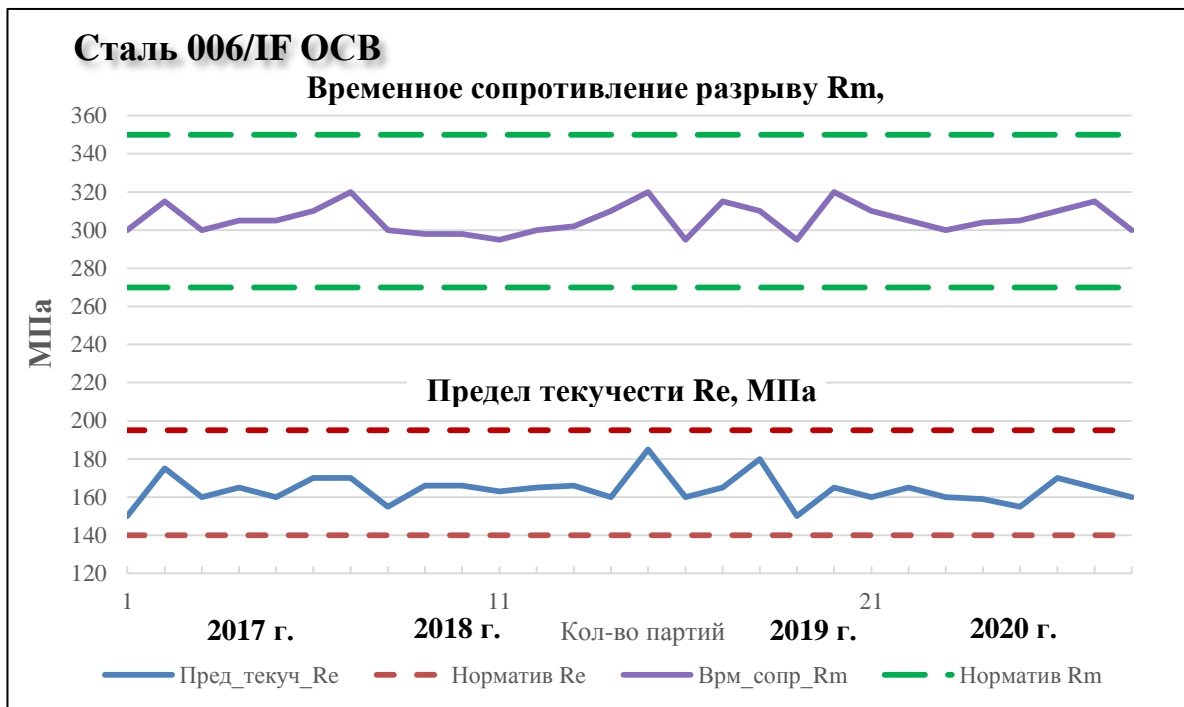


Рисунок 24 – Графики R_m и R_e за исследуемый период для стали 006/IF ОСВ

Механические свойства тонколистового проката, поставляемого поставщиком согласно таблице 3 и представленным графикам на рисунках 21-24 за исследуемый период соответствует нормативным требованиям, по значениям находятся в среднем диапазоне, что свидетельствует о стабильности поставляемого проката.

Сравнительный анализ механических свойств металлопроката в период низкого уровня дефектности и в период резкого увеличения дефектности показал, что механические свойства соответствуют нормативным требованиям поставляемого проката, и не связаны с образованием разрывов.

3.2 Результаты металлографических анализов металлопроката

в состоянии поставки

Металлографический анализ периодического контроля образцов металлопроката DX54D+Z100/140, DX56D+ Z100/140, 006/IF+ Z100/140 ОСВ, 006/IF+ Z100/140 ВОСВ в состоянии поставки в период увеличения дефектности по поверхностным разрывам с 2018 по 2020 гг. представлены в таблицах 4-5.

Таблица 4 – Металлографический анализ металлопроката марок DX54D+ Z100/140 и DX56D+ Z100/140

| Параметр (НД на метод) | Требования НД (EN 10346:2015) | Фактические результаты | |
|--|--|------------------------|----------------------|
| | | DX54D | DX56D |
| Структурно-свободный цементит (ГОСТ 5640 шкала 1) | Не более 2 балла | ряд А балл 1 | ряд А балл 1 |
| Величина зерна, (ГОСТ 5639 шкала 1) | Прокат должен быть с вытянутым зерном. При равноосной микроструктуре номер зерна – 6, 7, 8, 9 | G7, G8, G9 | G7, G8 |
| Толщина цинкового покрытия (ГОСТ 9.302) | Диапазон Z100: 5-12 мкм Диапазон Z140: 7-15 мкм | 6-10 мкм 9-13 мкм | 7-10 мкм 8-12 мкм |

Таблица 5 – Металлографический анализ металлопроката марок 006/IF+Z100/140 ОСВ и 006/IF+Z100/140 ВОСВ

| Параметр (НД на метод) | Требования НД (ТУ 14-101-497) | Фактические результаты | |
|--|---|------------------------|---------------------|
| | | 006/IF ОСВ | 006/IF ВОСВ |
| Структурно-свободный цементит (ГОСТ 5640 шкала 1) | Не более 2 балла | ряд А балл 1 | ряд А балл 1 |
| Величина зерна, (ГОСТ 5639 шкала 1) | Зерно металлоосновы должно иметь вытянутую или равноосную форму. При равноосной форме зерно должно иметь номер – 6, 7, 8, 9 | G7, G8 | G7, G8 |
| Толщина цинкового покрытия (ГОСТ 9.302) | Диапазон Z100: 5-9 мкм Диапазон Z140: 7-15 мкм | 6-9 мкм 8-12 мкм | 6-8 мкм 9-11 мкм |

Металлопрокат в состоянии поставки по микроструктуре, толщине цинкового покрытия в период увеличения дефектности соответствует нормативным требованиям поставляемого проката, что свидетельствует об отсутствии связи металлографических характеристик с образованием поверхностных разрывов при штамповке.

3.3 Результаты анализа химического состава металлопроката в состоянии поставки

Химический состав периодического контроля образцов металлопроката низкоуглеродистых сталей для холодной штамповки марок DX54D, DX56D, 006/IF ОСВ, 006/IF ВОСВ в состоянии поставки в период увеличения дефектности по поверхностным разрывам с 2018 по 2020 гг. представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Химический состав образцов металлопроката марок DX54D+Z, DX56D+Z

| Марка стали | Массовая доля элементов, % | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Ti | Fe |
| DX54D+Z | 0,003± 0,001 | 0,013± 0,006 | 0,13± 0,01 | 0,007± 0,003 | 0,005± 0,002 | 0,045± 0,007 | ост. |
| DX56D+Z | 0,004 ±0,001 | 0,016± 0,006 | 0,13± 0,01 | 0,008± 0,002 | 0,005± 0,002 | 0,041± 0,008 | ост. |
| Содержание по НД (EN 10346:2015) | <0,12 | <0,5 | <0,6 | <0,1 | <0,045 | <0,3 | ост. |

Таблица 7 – Химический состав образцов металлопроката марок 006/IF+Z ОСВ, 006/IF+Z ВОСВ

| Марка стали | Массовая доля элементов, % | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Ti | Fe |
| 006/IF+Z ОСВ | 0,003± 0,001 | 0,009± 0,005 | 0,16± 0,01 | 0,007± 0,001 | 0,007± 0,002 | 0,064± 0,008 | ост. |
| 006/IF+Z ВОСВ | 0,004± 0,001 | 0,012±0, 004 | 0,14± 0,01 | 0,007± 0,001 | 0,006± 0,002 | 0,075± 0,009 | ост. |
| Содержание по НД (ТУ 14-101-497) | <0,007 | <0,02 | 0,10-0,18 | <0,012 | <0,01 | 0,022-0,11 | ост. |

Химический состав металлопроката рассматриваемых марок сталей в состоянии поставки в период увеличения дефектности соответствует нормативным требованиям, связи по химическому составу с образованием поверхностных разрывов при штамповке не выявлено.

3.4 Анализ дефекта «поверхностные разрывы» после холодной деформации

Для определения причин возникновения дефекта проведены электронномикроскопическое исследования поверхностных разрывов на фрагментах деталей после холодной деформации, проведен микрорентгеноспектральный анализ неметаллических включений, обнаруженных в области дефекта, что позволило определить природу возникновения неметаллических включений.

Металлографические исследования поперечного сечения фрагментов деталей с поверхностными разрывами приведены на рисунках 25-35, микрорентгеноспектральный анализ неметаллических включений в таблицах 8-11.

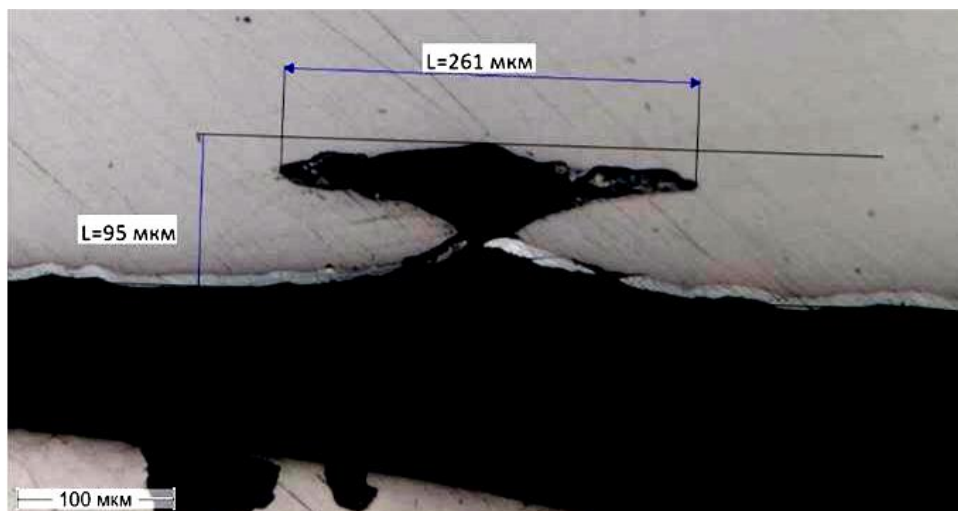


Рисунок 25 – Внешний вид образца металлопроката с дефектом в поперечном сечении, увеличение $\times 200$

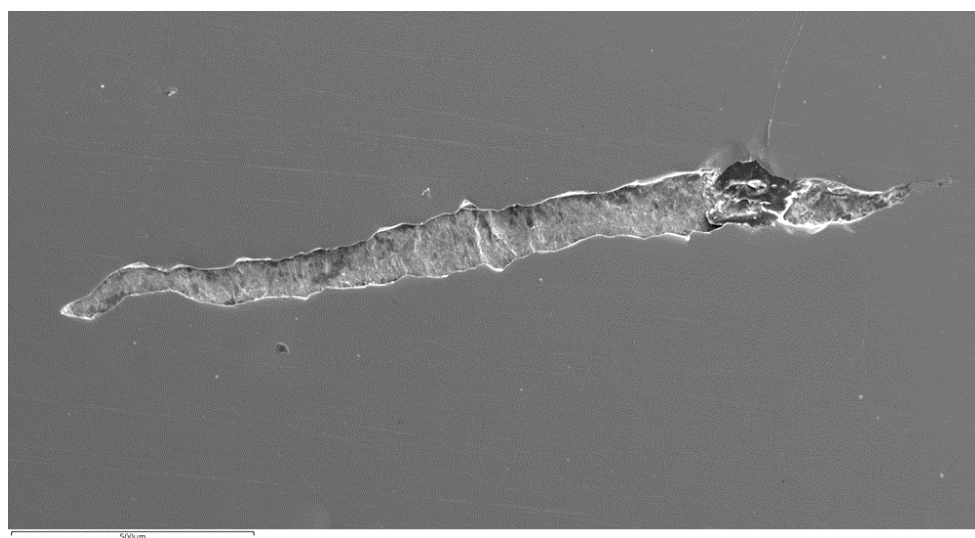


Рисунок 26 – Электронномикроскопическое изображение внешнего вид образца металлопроката с дефектом

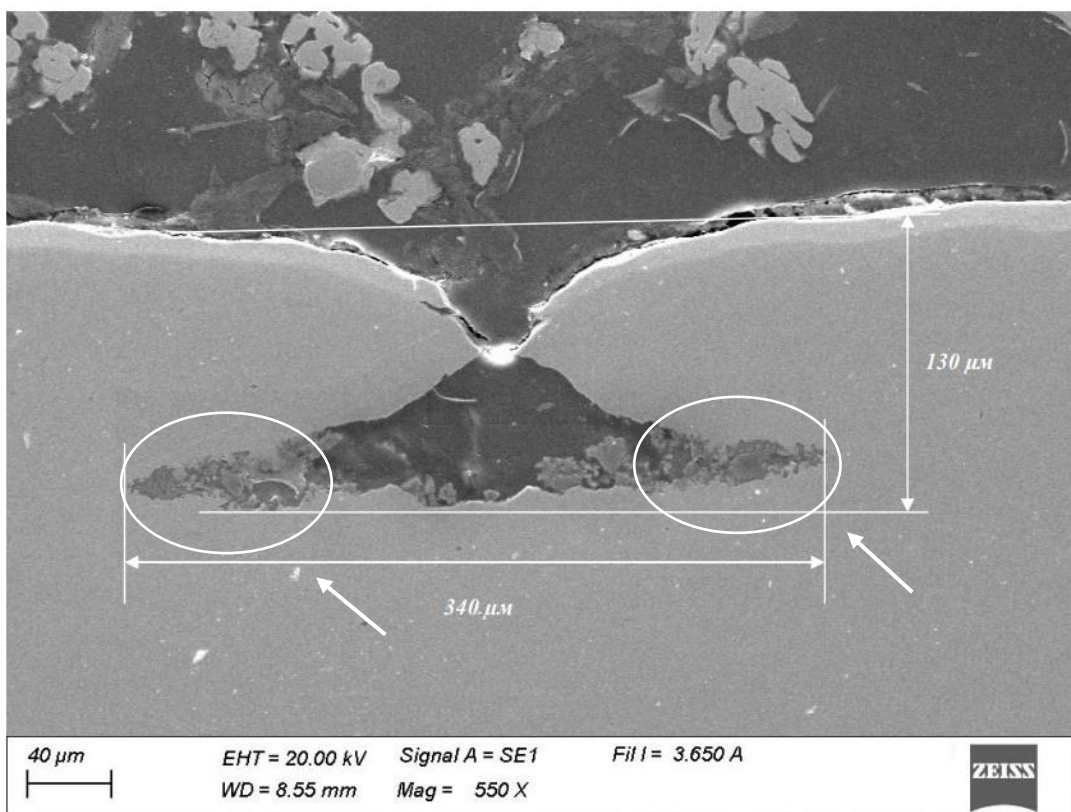


Рисунок 27 – Электронномикроскопическое изображение образца DX54D с дефектом в поперечном сечении, стрелками указаны скопления проанализированных включений (рисунки 28-29), увеличение $\times 550$

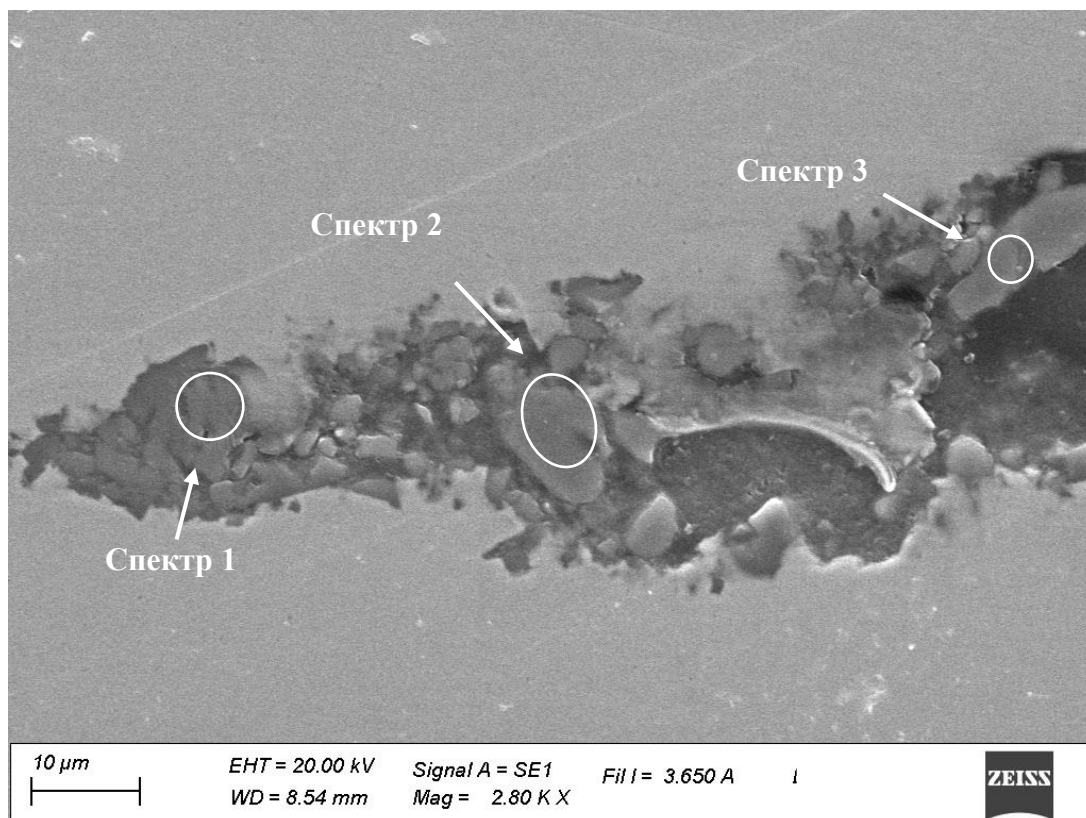


Рисунок 28 – Неметаллические включения, стрелками указаны проанализированные включения, таблица 8, увеличение $\times 2800$

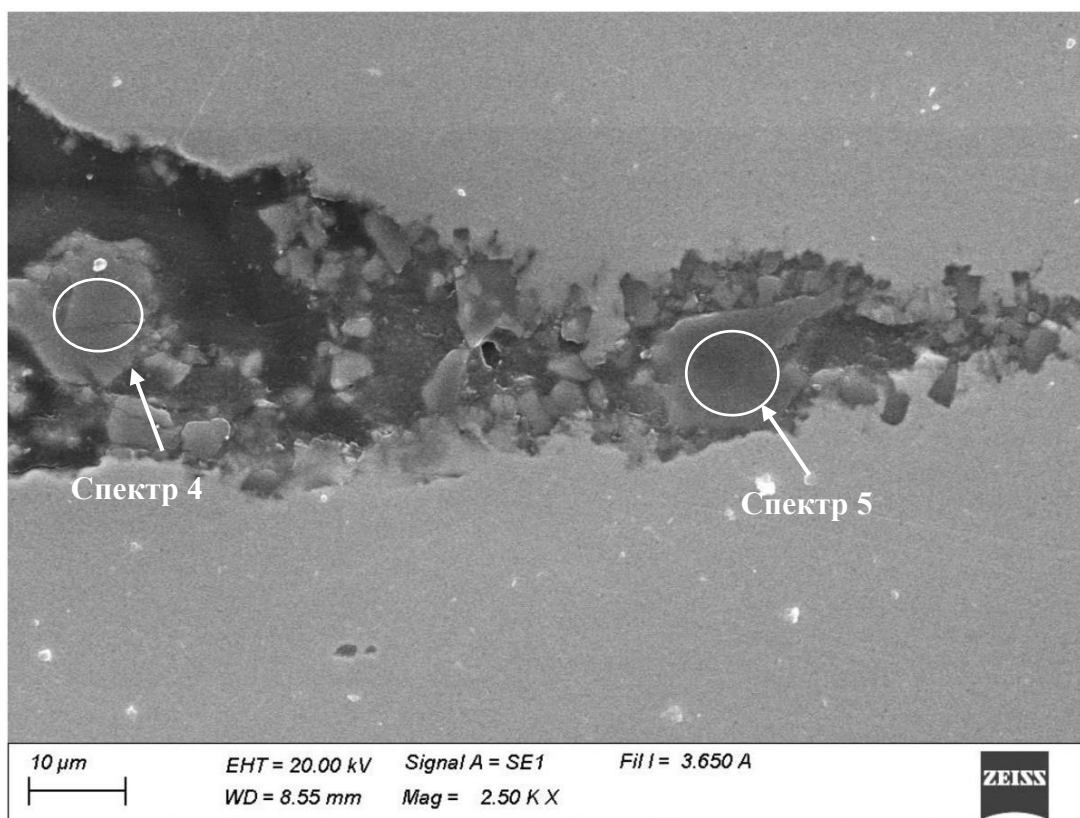


Рисунок 29 – Неметаллические включения, стрелками указаны проанализированные включения, таблица 8, увеличение $\times 2500$

Локальный химический состав проанализированных неметаллических включений показанных на рисунках 28-29 представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Химический состав включений

| Спектр | Массовая доля элементов, % | | | | | |
|--------|----------------------------|-------|------|-------|-------|------|
| | C | O | Mg | Al | Ca | Fe |
| 1 | 8,27 | 34,90 | 1,12 | 30,17 | 24,23 | 1,32 |
| 2 | 8,91 | 34,63 | 0,35 | 30,36 | 25,05 | 0,69 |
| 3 | 9,60 | 33,34 | 0,61 | 27,72 | 27,30 | 0,77 |
| 4 | 27,32 | 24,73 | 0,48 | 21,72 | 24,12 | 1,24 |
| 5 | 7,53 | 36,26 | 0,22 | 29,98 | 17,85 | 0,74 |

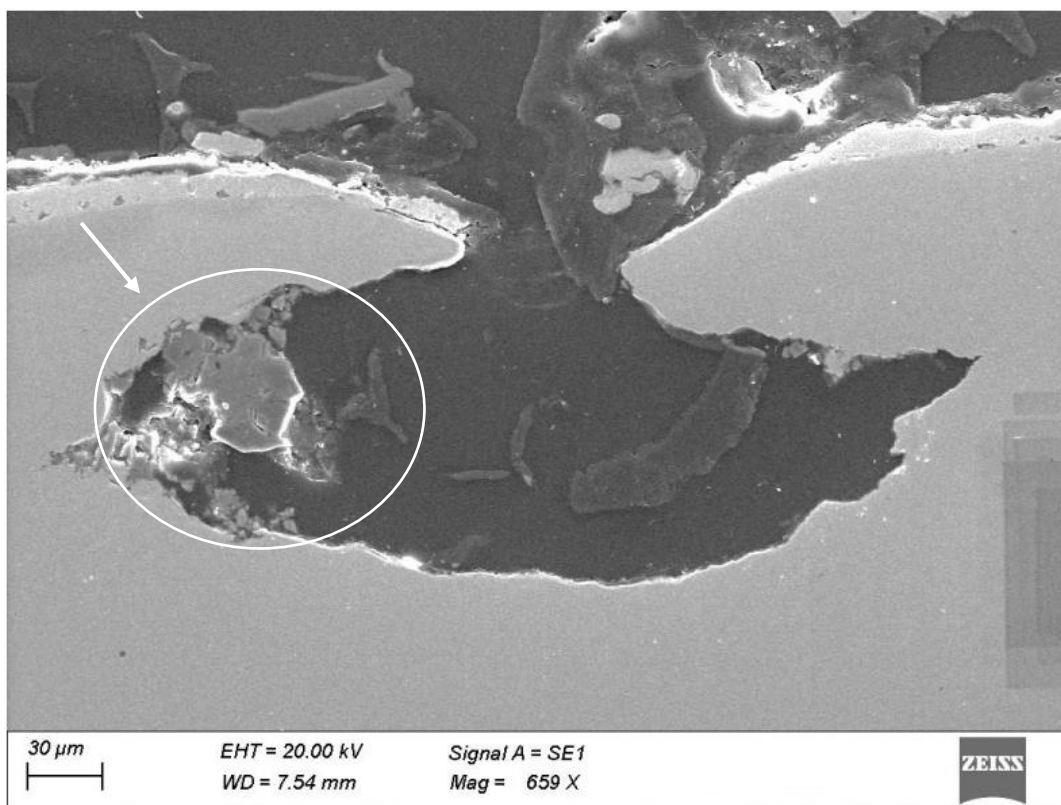


Рисунок 30 – Электронномикроскопическое изображение образца DX56D с дефектом в поперечном сечении, стрелкой указано скопление проанализированных включений (рисунок 31), увеличение $\times 660$

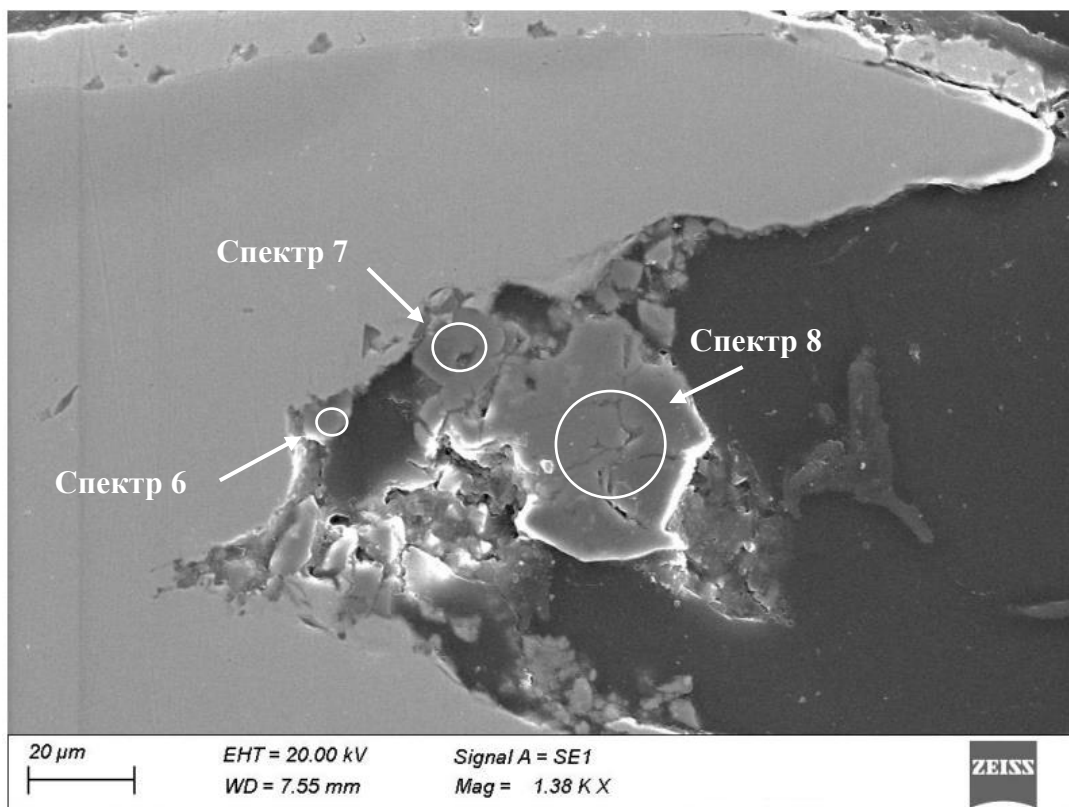


Рисунок 31 – Неметаллические включения, стрелками указаны проанализированные включения, таблица 9, увеличение $\times 1380$

Локальный химический состав проанализированных неметаллических включений показанных на рисунке 31 представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Химический состав включений

| Спектр | Массовая доля элементов, % | | | | | |
|--------|----------------------------|-------|----|------|-------|-------|
| | C | O | Mg | Al | Ca | Fe |
| 6 | - | 49,22 | - | 0,93 | 46,53 | 3,32 |
| 7 | - | 64,44 | - | 0,46 | 21,08 | 14,02 |
| 8 | - | 48,64 | - | 0,98 | 48,87 | 1,51 |

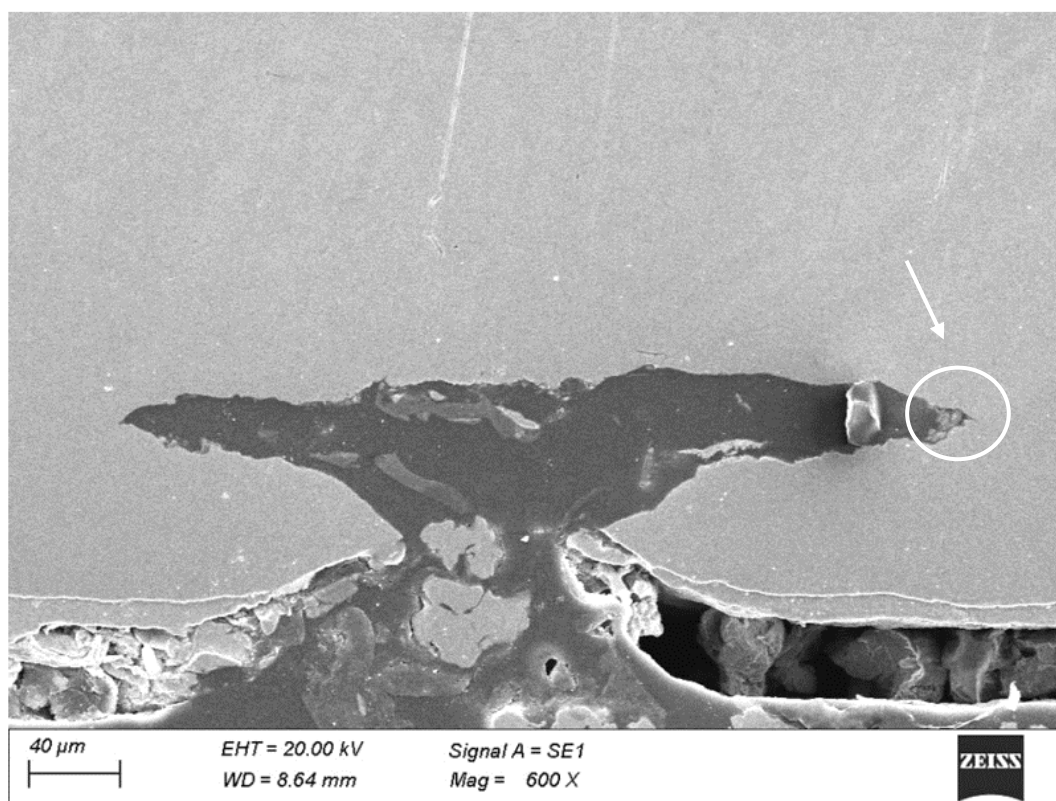


Рисунок 32 – Электронномикроскопическое изображение образца DX56D с дефектом в поперечном сечении, стрелкой указано скопление проанализированных включений (рисунок 33), увеличение $\times 600$

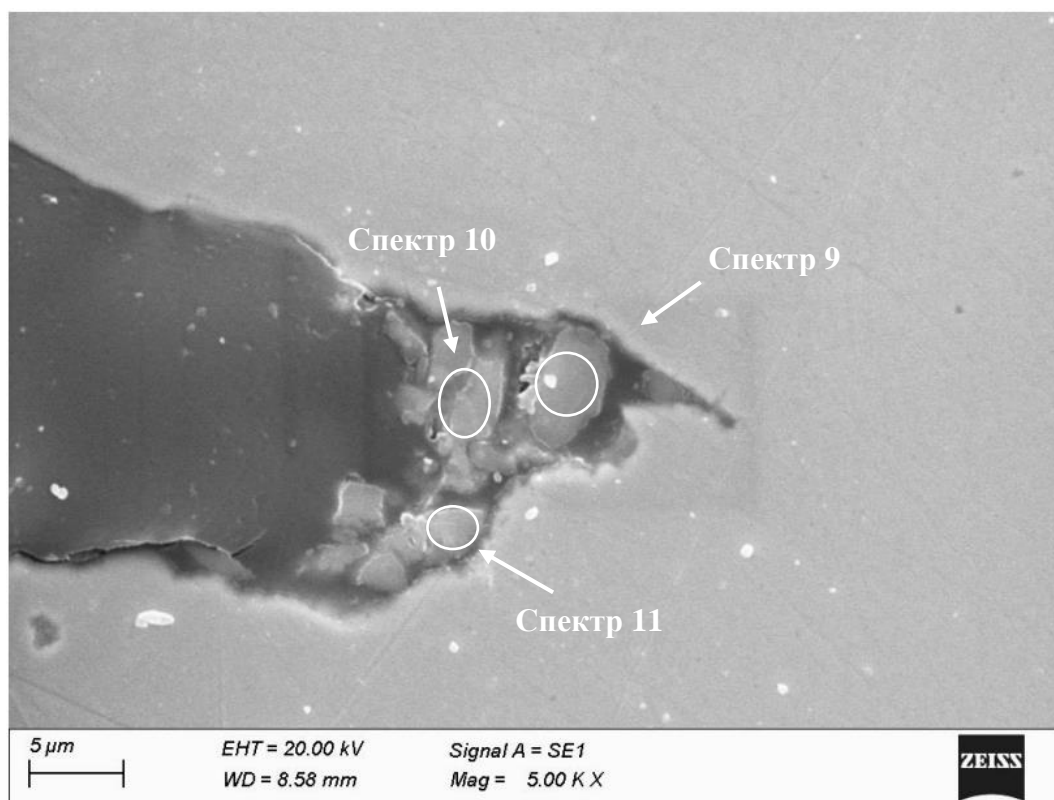


Рисунок 33 – Неметаллические включения, стрелками указаны проанализированные включения, таблица 10, увеличение $\times 5000$

Локальный химический состав проанализированных неметаллических включений показанных на рисунке 33 представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Химический состав включений

| Спектр | Массовая доля элементов, % | | | | | |
|--------|----------------------------|-------|----|------|-------|-------|
| | C | O | Mg | Al | Ca | Fe |
| 9 | - | 44,08 | - | 0,63 | 41,45 | 13,84 |
| 10 | - | 51,87 | - | 0,76 | 44,06 | 3,31 |
| 11 | - | 54,22 | - | 0,78 | 39,77 | 5,23 |

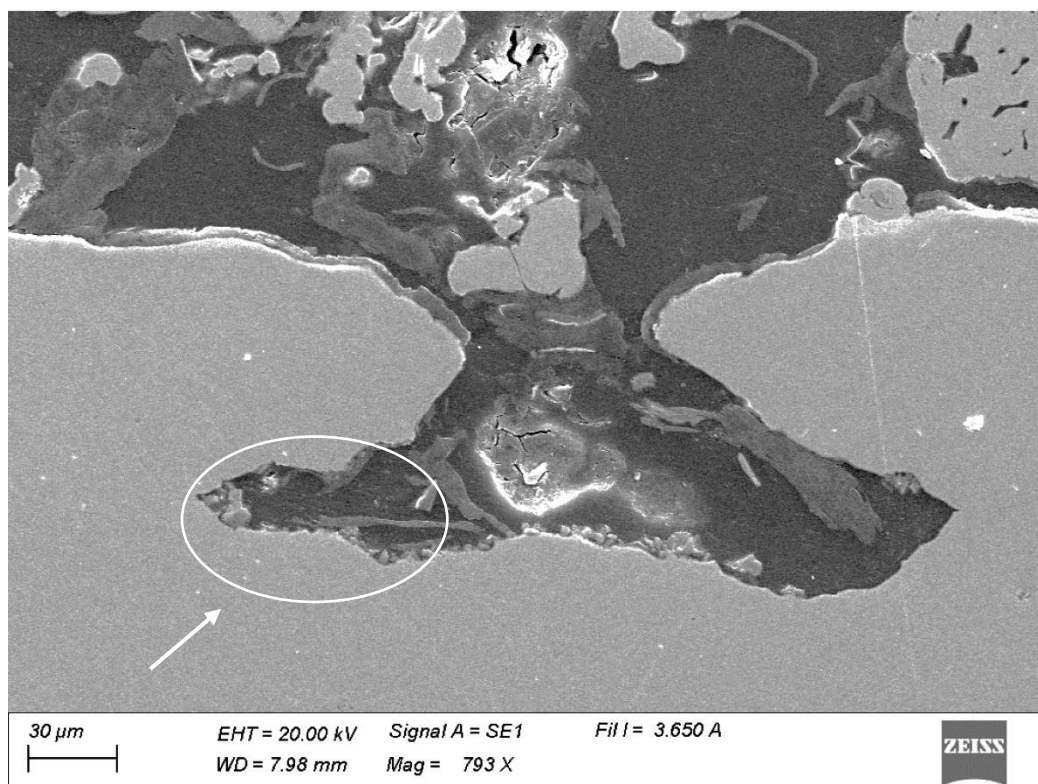


Рисунок 34 – Электронномикроскопическое изображение образца DX56D с дефектом в поперечном сечении, стрелкой указано скопление проанализированных включений (рисунок 35), увеличение $\times 793$

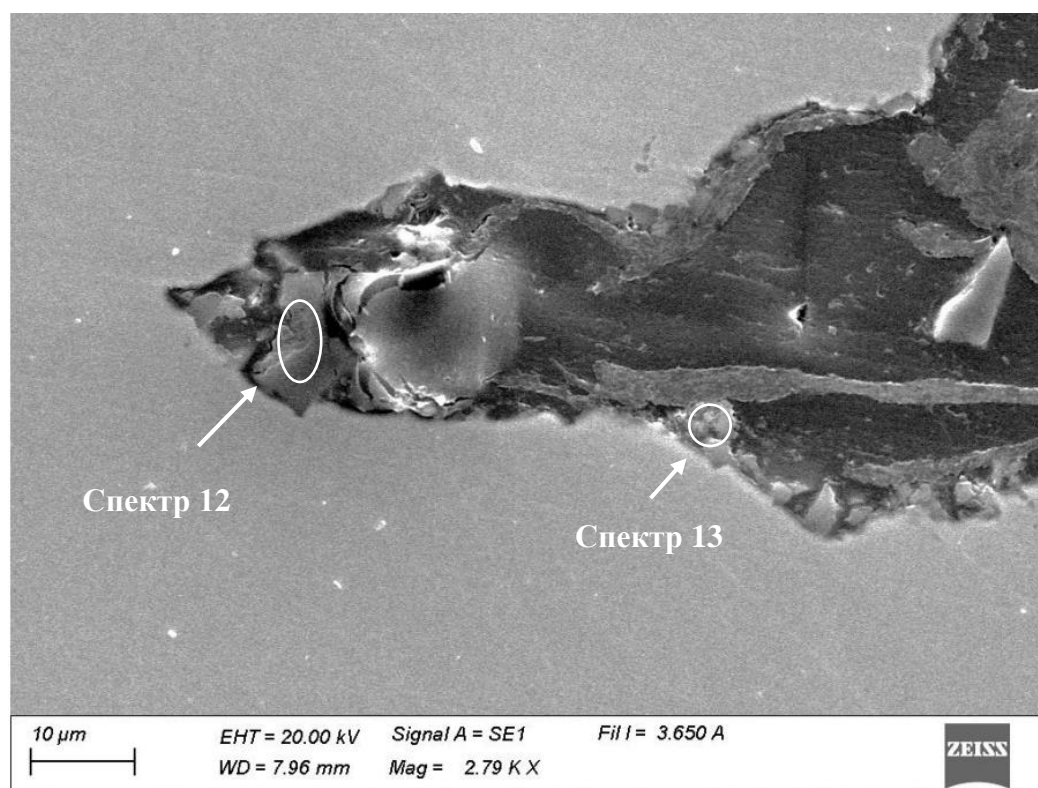


Рисунок 35 – Неметаллические включения, стрелками указаны проанализированные включения, таблица 11, увеличение $\times 2800$

Локальный химический состав проанализированных неметаллических включений показанных на рисунке 35 представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Химический состав включений

| Спектр | Массовая доля элементов, % | | | | | |
|--------|----------------------------|-------|------|-------|-------|------|
| | C | O | Mg | Al | Ca | Fe |
| 12 | 15,30 | 32,58 | 0,6 | 27,09 | 23,00 | 0,90 |
| 13 | 15,97 | 37,49 | 0,47 | 20,56 | 21,72 | 3,21 |

Металлографический анализ показывает, что дефект представляет собой разрыв поверхностного слоя металла на глубину до 0,13 мм, имеет таврообразный вид, развивается параллельно поверхности, располагается в областях максимального утонения образцов. Дно дефекта покрыто многочисленными включениями инородного, частично представляющими собой отслоения основного металла (рисунки 27, 30, 32, 34). Химический состав проанализированных включений происхождения (рисунки 28, 29, 31, 33, 35) соответствует алюминату кальция (таблицы 8, 11) и оксиду кальция (таблицы 9, 10).

Отсюда следует, что очагом разрывов на поверхности листового проката при холодной штамповке деталей выступают неметаллические включения эндогенного характера на основе алюмината кальция (типа $nCaO \cdot mAl_2O_3$) и оксида кальция в соотношении 1:1 ($nCaO$) (в разный период времени), представляющие собой продукты раскисления не всплывшие в шлак, что указывает на дефект сталеплавильного производства завода изготовителя.

При этом в период наибольшего количества обращений по исследованию причин разрывов, анализ показал, что очагом разрывов на поверхности листового проката являются неметаллические включения на основе оксида кальция CaO , что было связано с дополнительным раскислением кальцием.

Существует множество литературных данных [1]-[4], [15]-[16], [19], [27]-[28], [23]-[24], [33]-[34], где отмечается положительный эффект при применении Са-содержащих материалов для раскисления и модифицирования стали, так как раскислительная способность кальция намного выше, чем у прочих раскислителей, включая алюминий. Тем не менее, после дополнительного раскисления кальцием общий уровень отклонений по поверхностным разрывам только увеличился как видно на рисунке 36.

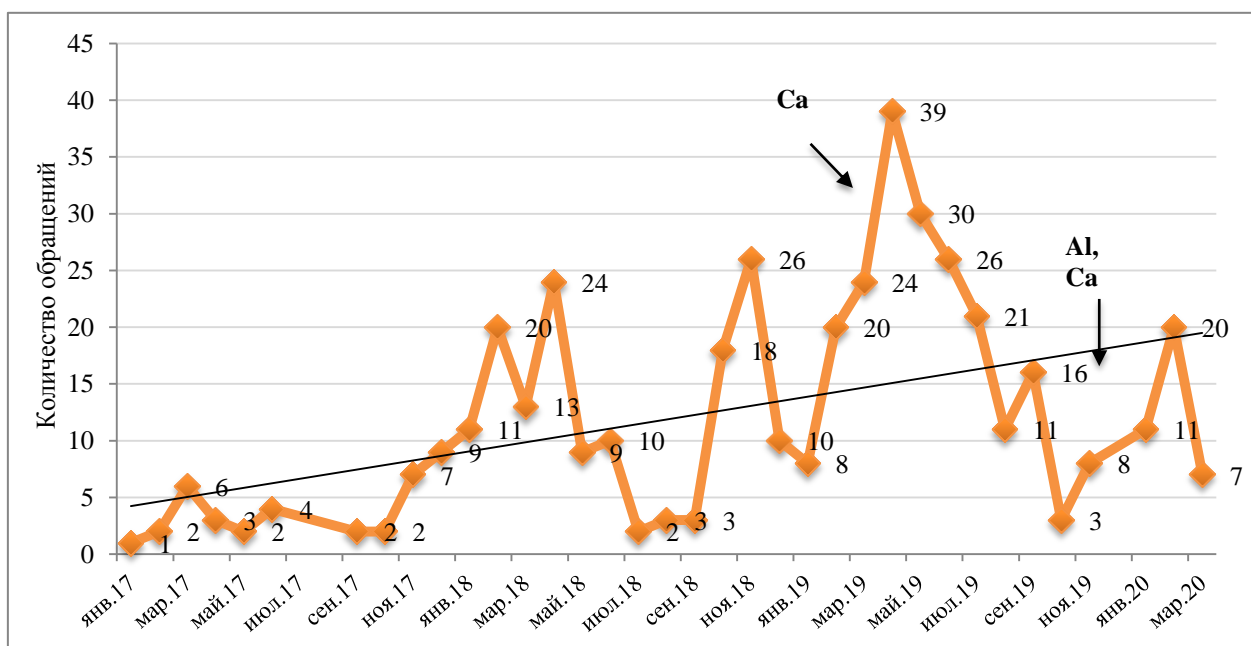


Рисунок 36 – Количество обращений по исследованию разрывов по неметаллическим включениям

На рисунке 37 показано процентное содержание кальция в металлопрокате в период низкого уровня дефектности – 2017 г. и в период резкого увеличения дефектности – 2019 г.

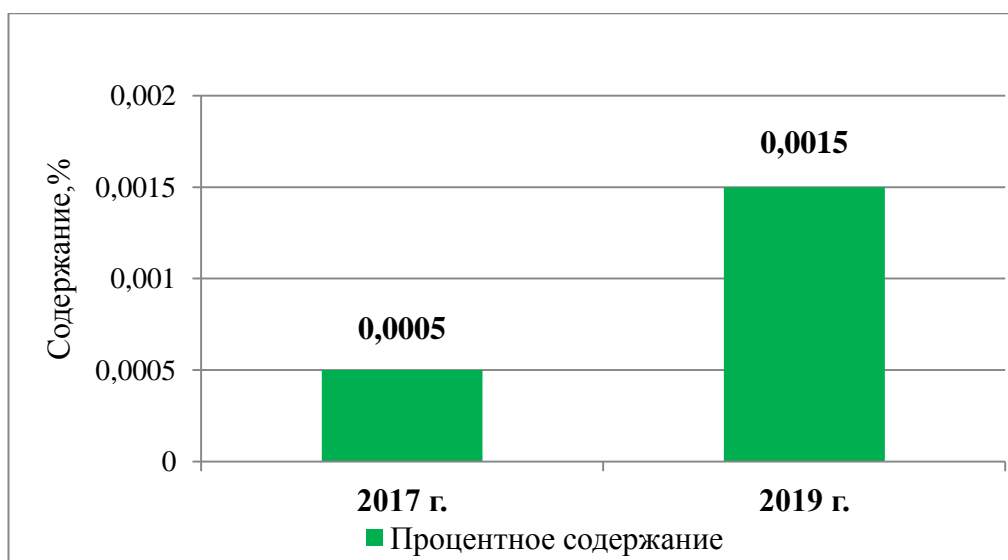


Рисунок 37 – Процентное содержание кальция в металлопрокате в 2017 г. в сравнении с 2019 г.

Действительно процентное содержание кальция на примере стали DX56D в период высокого уровня дефектности в 3 раза превышает содержание кальция в металлопрокате до всплеска дефектности по поверхностным разрывам.

До настоящего времени в специализированной литературе недостаточно внимания уделено оценкам рисков, связанных с раскислением и модифицированием кальцием.

3.5 Анализ причин увеличения дефектности от производителя металлопроката

Анализ причин увеличения дефектности из-за наличия неметаллических включений на поставляемом металлопрокате, подготовленный научно-техническим центром поставщика.

С конца 2017 г. на АО «АВТОВАЗ» были выявлены плавки с наличием дефекта «неметаллические включения». С целью определения причин образования данного дефекта были произведены лабораторные исследования

проб металла, в том числе с использованием спектрального анализа для определения химических элементов в составе неметаллических включений.

Результаты лабораторных исследований, характерные для изученных проб представлены на рисунках 38 и 39.

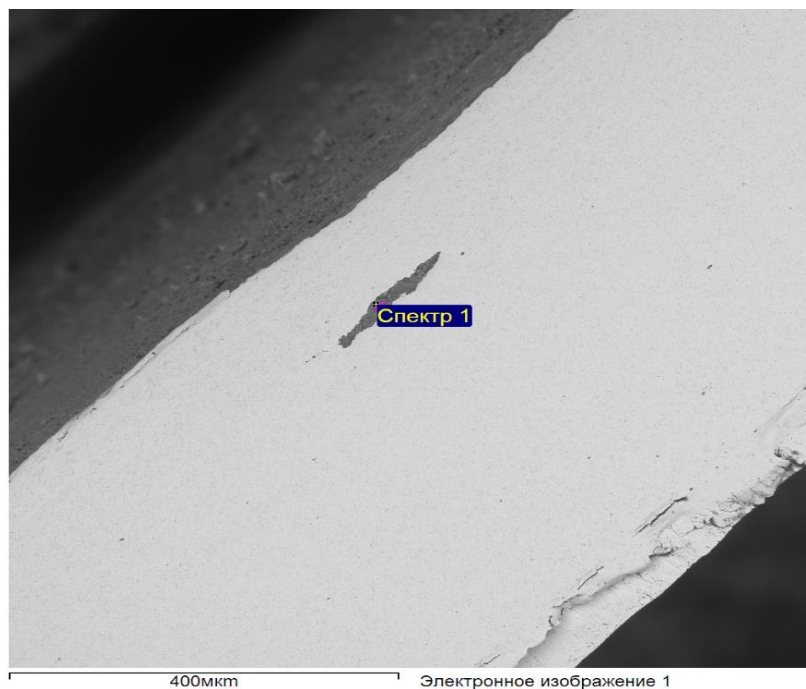


Рисунок 38 – Электронномикроскопическое изображение внешнего вид образца металлопроката с дефектом

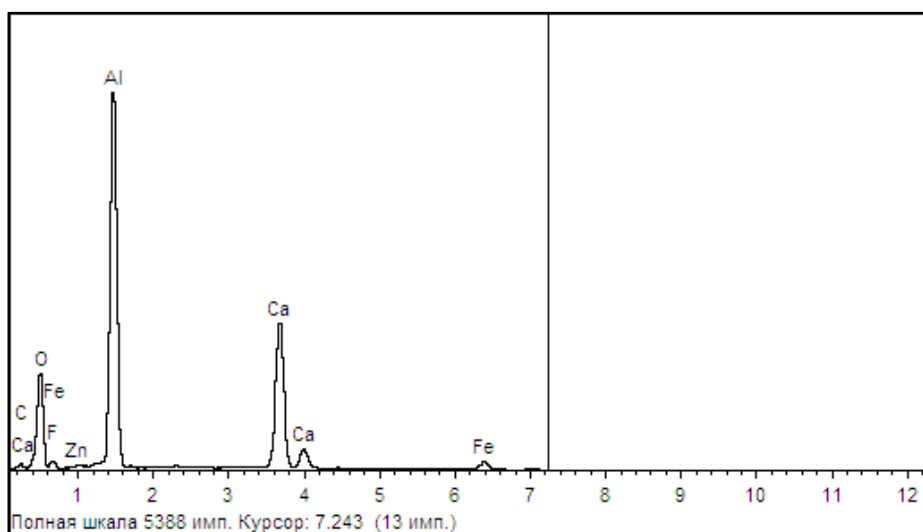


Рисунок 39 – Спектральный анализ определения химических элементов в составе неметаллических включений

Научно-техническим центром поставщика установлено, что основными элементами, входящими в состав неметаллических включений, являются оксиды алюминия и оксиды кальция, то есть продукты раскисления стали, образующиеся в процессе ее производства.

По результатам исследования всего массива плавок/проб, первоначально классифицированных, как с наличием дефектов неметаллические включения получено 53,5 % – причина дефекта подтвердилась – скопление неметаллических включений.

В результате по данным научно-технического центра поставщика сделаны следующие выводы:

- основной причиной получения дефектной продукции, классифицированной, как наличие «неметаллических включений» является скопление продуктов раскисления стали в составе алюминия и кальция.

Выводы

По результатам комплексных исследований сделаны следующие выводы:

- сравнительный анализ механических свойств металлопроката в период низкого уровня дефектности и в период резкого увеличения дефектности показал, что механические свойства соответствуют нормативным требованиям поставляемого проката, и не связаны с образованием разрывов;
- химический состав, микроструктура, толщина цинкового покрытия металлопроката рассматриваемых марок сталей в состоянии поставки в период увеличения дефектности соответствуют нормативным требованиям, и не связаны с образованием поверхностных разрывов при штамповке.

В результате электронномикроскопических исследований поверхностных разрывов на фрагментах деталей, выявлены неметаллические включения инородного происхождения, локальный химический анализ

показал, что химический состав включений соответствует алюминату кальция (типа $n\text{CaO}m\text{Al}_2\text{O}_3$) и оксиду кальция ($n\text{CaO}$).

В результате сделаны выводы, что очагом разрывов на поверхности листового проката при холодной штамповке деталей выступают неметаллические включения эндогенного характера на основе алюмината кальция и оксида кальция, представляющие собой продукты раскисления, дефект сталеплавильного производства завода изготовителя.

При этом отмечено, что в период высокого уровня дефектности очагом разрывов на поверхности листового проката после штамповки выступают неметаллические включения на основе оксида кальция CaO , что было связано с дополнительным раскислением кальцием.

Процентное содержание кальция в металлопрокате в период высокого уровня дефектности в 3 раза превышало процентное содержание кальция в металлопрокате до всплеска дефектности по поверхностным разрывам.

Глава 4 Результаты исследований опытных партий

Для снижения уровня дефектности по поверхностным разрывам по неметаллическим включениям со стороны АО «АВТОВАЗ» было обращение к заводу изготовителю с рекомендациями по снижению общей окисленности металла и проведению корректировки технологии раскисления со снижением расхода кальция, при производстве тонколистовой стали.

В течение 2020 г. в условиях ПАО «ММК» были произведены и предоставлены опытные партии холоднокатаного горячеоцинкованного металлопроката из низкоуглеродистой стали внедренными корректирующими действиями, направленными на снижение дефектности по поверхностным разрывам: плавка № В311118, партия №106994 толщиной 0,76 мм марки DX56D+Z100; плавка №В110267, партия 106926, прокат толщиной 0,65 мм марки DX54D+Z100.

Проведены механические испытания, металлографические исследования микроструктуры и химический анализ образцов опытных партий.

Проведен сравнительный анализ по газонасыщенности в образцах фрагментов деталей после холодной штамповки с поверхностными разрывами и с дефектом «плена» в разное время поставки и опытных партий DX54D+Z100, DX56D+Z100 произведенных по скорректированной технологии раскисления и предоставленной заводом изготовителем ПАО «ММК».

4.1 Механические испытания опытных партий

Результаты механических испытаний образцов опытных партий металлопроката низкоуглеродистых сталей для холодной штамповки марок DX54D+Z100 и DX56D+Z100 представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Фактические результаты механических испытаний

| Марка стали (толщина проката) | Партия/ Плавка | Предел текучести Re, МПа | Временное сопротивление R _m , МПа | Относительное удлинение A ₈₀ , % | Коэффициент пластической деформации Γ_{90} | Коэффициент деформационного упрочнения, ρ_{90} |
|-------------------------------|-----------------|--------------------------|--|---|---|---|
| DX54D (0,65 мм) | 106926/ В110267 | 144 | 290 | 44 | 2,6 | 0,24 |
| по НД EN 10346 | - | 120-220 | 260-350 | ≥36 | ≥1,6 | ≥0,18 |
| DX56D (0,76 мм) | 106994/ В311118 | 153 | 286 | 46 | 2,5 | 0,24 |
| по НД EN 10346 | - | 120-180 | 260-350 | ≥39 | ≥1,9 | ≥0,21 |

По механическим свойствам представленные образцы металлопроката опытных партий DX54D+Z100 и DX56D+Z100 для холодной штамповки соответствуют нормативным требованиям EN 10346:2015 [16] поставляемого проката.

4.2 Металлографические исследования опытных партий

Металлографические исследования микроструктуры образцов металлопроката DX54D+Z100 и DX56D+Z100 опытных партий представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Металлографический анализ металлопроката опытных партий DX54D+Z100 и DX56D+Z100

| Параметр (НД на метод) | Требования НД (EN 10346:2015) | Фактические результаты | |
|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | DX54D+Z100 | DX56D+Z100 |
| Структурно-свободный цементит (ГОСТ 5640 шкала 1) | Не более 2 балла | ряд А балл 1 | ряд А балл 1 |
| Величина зерна, (ГОСТ 5639 шкала 1) | Прокат должен быть с вытянутым зерном. При равноосной микроструктуре номер зерна – 6, 7, 8, 9 | Зерно равноосное – G7, единичные G8 | Зерно равноосное – G7, единичные G8 |
| Толщина цинкового покрытия (ГОСТ 9.302) | Диапазон: 5-12 мкм | 8 мкм | 7-8 мкм |

Образцы тонколистового металлопроката опытных партий по микроструктуре, по толщине цинкового покрытия соответствует нормативным требованиям EN 10346:2015 [16] поставляемого проката.

4.3 Анализ химического состава опытных партий

Химический состав образцов металлопроката опытных партий DX54D+Z100 и DX56D+Z100, а также химический состав образцов с поверхностными разрывами DX54D и DX56D для сравнения представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Химический состав металлопроката образцов опытных партий и образцов с поверхностными разрывами

| Марка стали, образец | Массовая доля элементов, % | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Ti | Ca | Al | Fe |
| DX54D+Z «опытной партии» | 0,003 | 0,011 | 0,14 | 0,011 | 0,007 | 0,047 | 0,0001 | 0,044 | ост. |
| DX56D+Z «опытной партии» | 0,004 | 0,020 | 0,13 | 0,009 | 0,003 | 0,065 | 0,0001 | 0,039 | ост. |
| DX54D+Z партия с разрывом | 0,006 | 0,035 | 0,14 | 0,008 | 0,005 | 0,053 | 0,0006 | 0,053 | ост. |
| DX56D+Z партия с разрывом | 0,004 | 0,017 | 0,22 | 0,008 | 0,014 | 0,050 | 0,0008 | 0,054 | ост. |
| Содержание по НД (EN 10346) | < 0,12 | < 0,50 | < 0,60 | < 0,10 | < 0,045 | < 0,30 | – | – | ост. |

Образцы тонколистового металлопроката опытных партий и образцы с поверхностными разрывами по химическому составу соответствует нормативным требованиям EN 10346:2015 [16] поставляемого проката.

Процентное содержание кальция в металлопрокате не регламентируется, при этом в опытных партиях содержание кальция существенно снижено, практически в 6-8 раз, по сравнению с образцами с наличием дефекта «поверхностные разрывы».

4.4 Определение и сравнительный анализ газонасыщенности в партиях с дефектами и в образцах опытных партий

Газонасыщенность в металлопрокате определялась содержанием кислорода и азота. Результаты определения массовой доли кислорода и азота в образцах партий с дефектом «поверхностные разрывы» и с дефектом «плена» в разное время поставки и в опытных партиях представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты анализа массовой доли кислорода и азота стали в металлопрокате

| Наименование образца | Массовая доля, % (ГОСТ 17745) | |
|---|-------------------------------|--------|
| | кислорода | азота |
| Сталь DX56D «опытная партия» №106994 | 0,0039 | 0,0025 |
| Сталь DX54D «опытная партия» №110267 | 0,0043 | 0,0025 |
| Партия с дефектом «поверхностные разрывы» | 0,0192 | 0,0052 |
| Партия с дефектом «поверхностные разрывы» | 0,0241 | 0,0044 |
| Партия с дефектом «поверхностные разрывы» | 0,0184 | 0,0050 |
| Партия с дефектом «поверхностные разрывы» | 0,0169 | 0,0039 |
| Партия с дефектом «плена» | 0,0282 | 0,0037 |

Нормативные требования по содержанию газов в металлопрокате не регламентируются. В опытных партиях содержание массовой доли кислорода 0,0039 % и 0,0043 % (в среднем на уровне 40 ppm), а азота 0,0025 % (25 ppm) существенно снижено по сравнению с серийными партиями с дефектом «поверхностные разрывы» и «плена». Содержание массовой доли кислорода в партиях с разрывами составило $0,0197 \pm 0,0031$ %, что в среднем на уровне 200 ppm, азота $0,0046 \pm 0,0006$ % (в среднем 50 ppm), таким образом, концентрация кислорода снижена практически в 5 раз, а концентрация азота в 1,5-2 раза, что свидетельствует о снижении в опытных партиях

газонасыщенности. Сравнительные данные по снижению концентрации кислорода и азота наглядно продемонстрированы на рисунке 40.

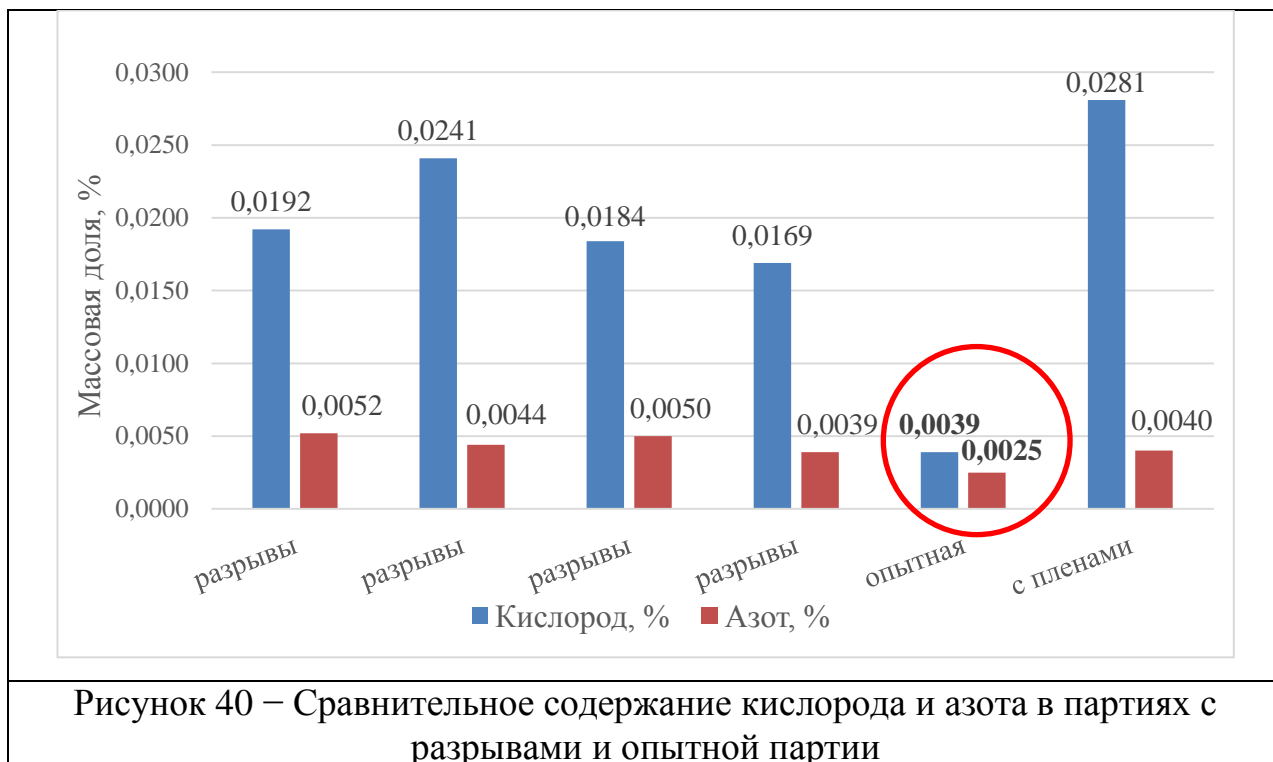


Рисунок 40 – Сравнительное содержание кислорода и азота в партиях с разрывами и опытной партии

В течение 2020 г. при переработке в прессовом производстве АО «АВТОВАЗ» по действующей технологии опытных партий предоставленных ПАО «ММК», отбраковка по дефектам «поверхностные разрывы» и «плен» не отмечалась.

При этом в ряде случаев при переработке уже последующих серийных партий было зафиксировано, локальное утонение при холодной штамповке в области вытяжки без образования разрыва как показано на рисунке 41.

При электронномикроскопическом исследовании поперечного сечения в месте утонения, выявлены скопления неметаллических включений (рисунки 42-44) на основе оксидов алюминия, согласно результатам локального химического анализа, представленного в таблице 15.



Рисунок 41 – Внешний вид фрагмента с утонением на заготовке после вытяжки

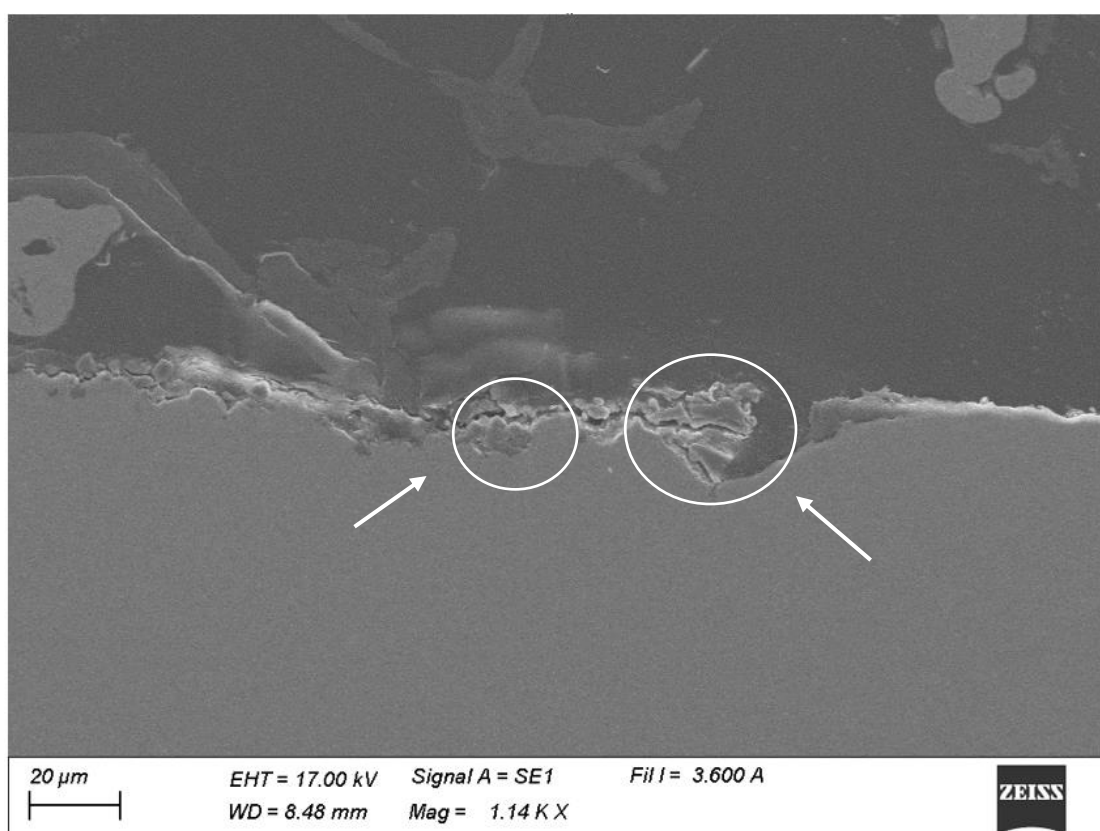


Рисунок 42 – Электронномикроскопическое изображение утонения в поперечном сечении, стрелками указаны скопления проанализированных включений (рисунок 43, 44), увеличение $\times 1100$

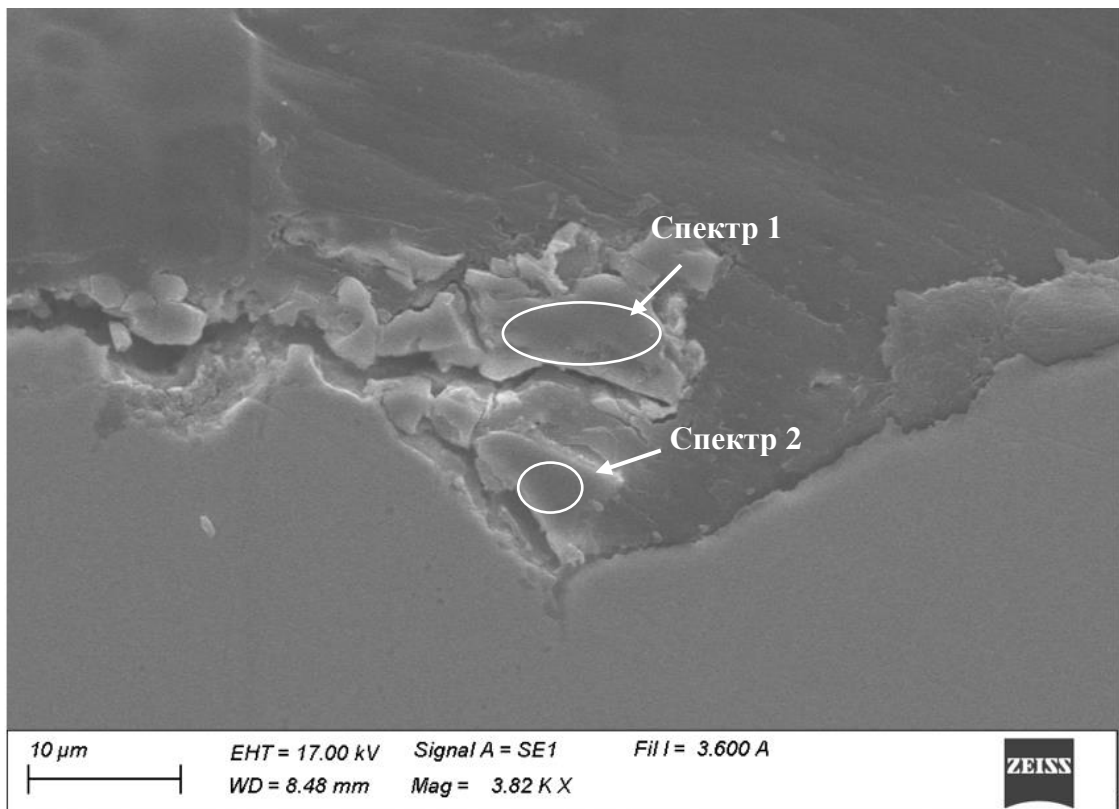


Рисунок 43 – Неметаллические включения дефекта на рисунке 42, стрелками указаны проанализированные включения, таблица 12, увеличение $\times 3820$

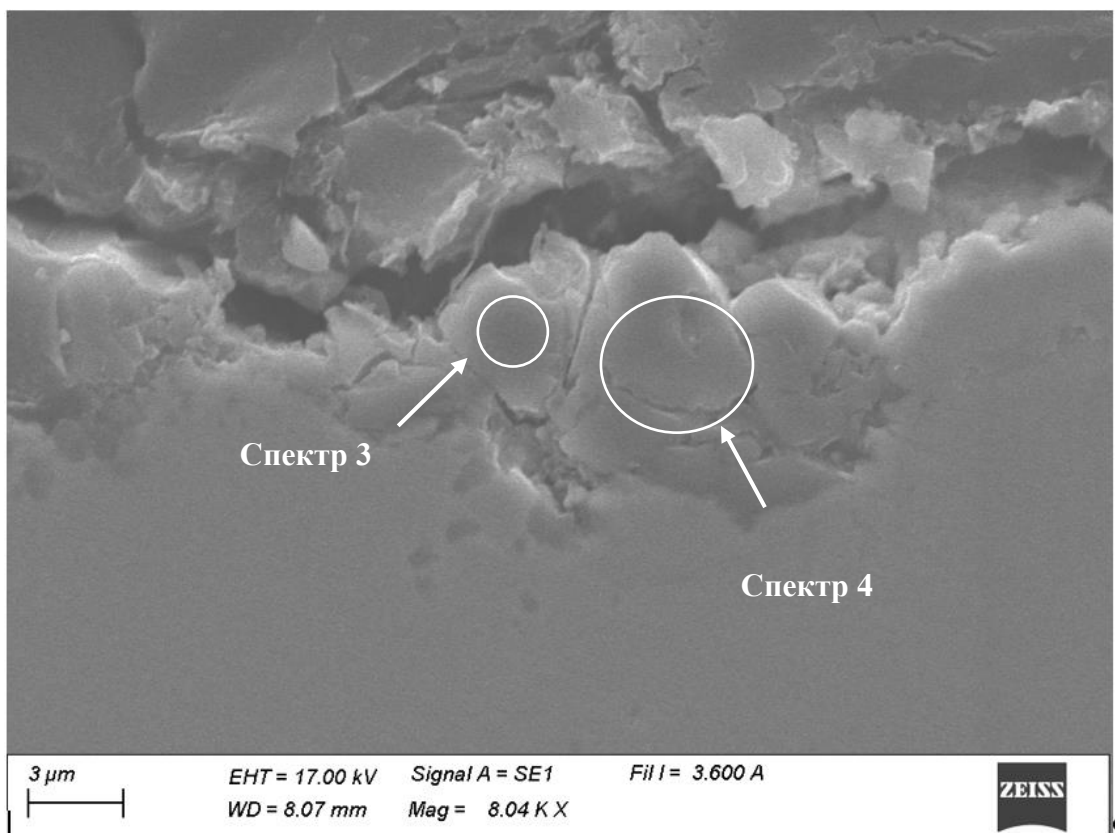


Рисунок 44 – Неметаллические включения дефекта на рисунке 42, стрелками указаны проанализированные включения, таблица 15, увеличение $\times 8000$

Таблица 15 – Химический состав включений, выявленных в месте утонения

| Спектр | Массовая доля элементов, % | | | |
|--------|----------------------------|-------|-------|------|
| | C | O | Al | Fe |
| 1 | 12,59 | 42,69 | 42,81 | 1,60 |
| 2 | 35,41 | 36,62 | 26,73 | 2,23 |
| 3 | 26,67 | 40,66 | 30,90 | 1,67 |
| 4 | 12,55 | 42,53 | 42,64 | 2,29 |

В результате электронномикроскопического исследования поперечного сечения в месте утонения, установлено что причиной образования утонения являются неметаллические включения на основе оксидов алюминия, что свидетельствует о проведённой корректировке технологии раскисления.

При определении газонасыщенности образца с «утонением» на заготовке после вытяжки, содержание массовой доли кислорода составило 0,0076% (76 ppm), азота 0,0069% (69 ppm). Анализ газонасыщенности показал, что в стали концентрация кислорода практически в 2 раза, а азота в 3 раза выше по сравнению с опытными партиями, в результате причиной появления таких единичных случаев появления дефекта является переокисленность металла, в связи с этим возникает целесообразность контролировать общий уровень окисленности.

4.5 Оценка эффективности внедрения корректирующих действий

В результате проведенной корректировки технологии раскисления – за счет снижения расхода кальция и снижения общей окисленности металла достигнуто снижение уровня дефектности по поверхностным разрывам при холодной штамповке согласно количеству обращений по исследованию разрывов по неметаллическим включениям за период с 2020 г. и за первое полугодие 2021 г., что показано графически на рисунке 45.

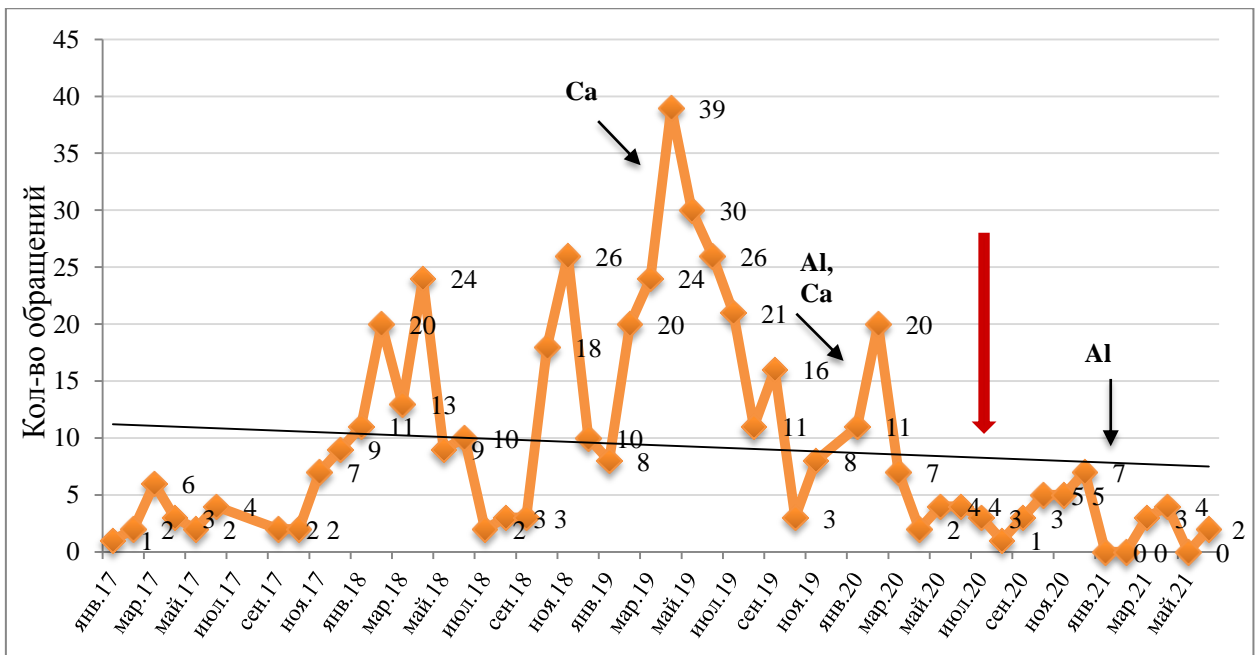


Рисунок 45 – Количество обращений по исследованию разрывов по неметаллическим включениям

Как видно из графика на рисунке 45 дефект «поверхностные разрывы» полностью не устранён, причиной появления единичных случаев является переработка остатков прошлых серийных партий, до внедрения корректирующих действий.

Сравнительные данные по количеству отбракованного металлопроката по неметаллическим включениям продемонстрированы на рисунке 46.

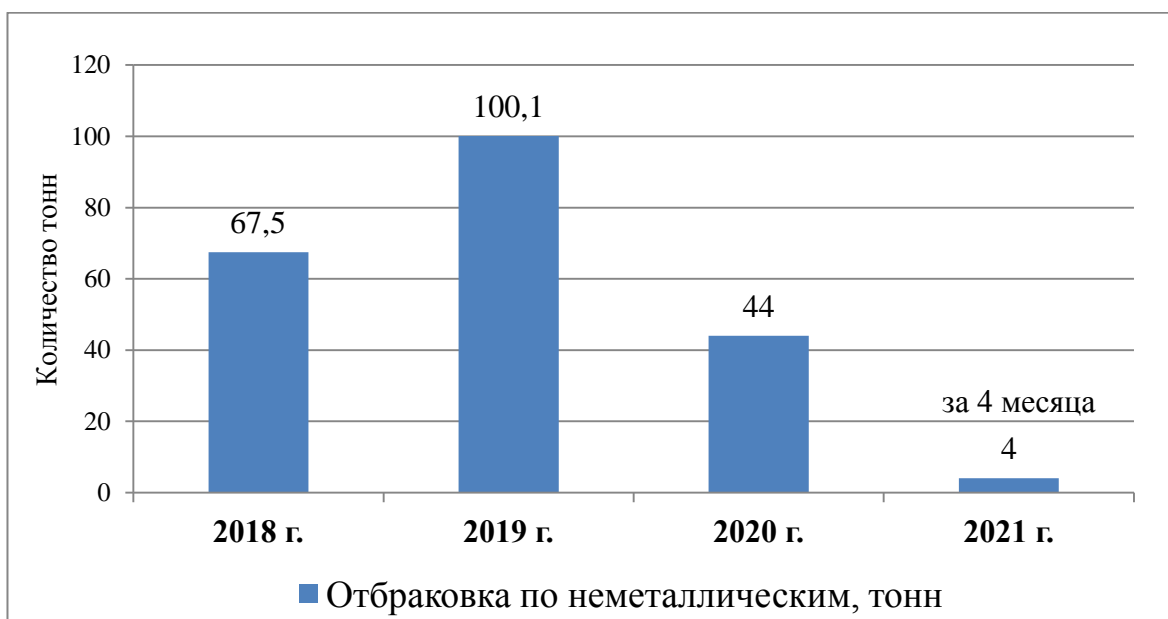


Рисунок 46 – Отбраковка металлопроката по неметаллическим включениям

Отбраковка металлопроката по неметаллическим включениям при одинаковой поставке в тоннах за 2020 г. и начало 2021 г. существенно снизилась по сравнению с 2018 г. и 2019 г. в период высокого уровня дефектности.

Выводы

Опытные партии, предоставленные поставщиком с внедренными корректирующими действиями по механическим свойствам, по химическому составу, микроструктуре соответствуют нормативным требованиям.

В опытных партиях по сравнению с серийными партиями с дефектом «поверхностные разрывы», существенно снижены газонасыщенность и процентное содержание кальция.

В течение 2020 г. при переработке в прессовом производстве АО «АВТОВАЗ» по действующей технологии опытных партий, предоставленных поставщиком, отбраковка по дефектам «поверхностные разрывы» и «плена» не отмечалась.

В результате внедренным корректирующим действиям достигнуто снижение уровня дефектности по поверхностным разрывам при холодной штамповке.

Заключение

По литературным данным неметаллические включения ухудшают механические свойства стали – уменьшают прочность и пластичность, а также охрупчивают, понижают сопротивление коррозии, ухудшают технологические свойства, так как нарушают сплошность металла и образуют полости, в которых концентрируются напряжения в металле. Также отмечается положительный эффект при применении кальций–содержащих материалов для раскисления и модифицирования стали, так как раскислительная способность кальция намного выше, чем у прочих раскислителей, включая алюминий, при этом образующиеся продукты раскисления находящиеся в стали в жидком состоянии, должны легко удалиться из металла. Некоторое количество таких включений остается в виде сравнительно мелких механически прочных включений глобулярной формы, не меняющих форму при холодной деформации, предполагается что в ряде случаев положительно влияет на эксплуатационные свойства стали.

К сожалению, среди большого количества литературных данных, посвящённых положительному влиянию кальция как раскислителя на форму и размеры неметаллических включений и свойства низкоуглеродистых сталей не удалось найти рассмотрения рисков, связанных с раскислением и модифицированием кальцием.

Тем не мене по результатам исследований разрывы на поверхности листового проката при холодной штамповке сложных кузовных деталей в прессовом производстве АО «АВТОВАЗ» образуются из-за наличия неметаллических включений. В результате микроанализа подтверждено, что данные неметаллические включения эндогенного характера на основе алюмината кальция и оксида кальция, представляющие собой продукты раскисления, дефект производства завода изготовителя ПАО «ММК».

Помимо этого, после дополнительного раскисления кальцием общий уровень отклонений по дефекту «разрыв по неметаллическим включениям»

только увеличился. Анализ в период наибольшего количества обращений по причине разрывов показал, что включения, выступающие концентраторами напряжений, представляют собой главным образом неметаллические включения на основе оксида кальция – CaO.

Сравнительный анализ механических свойств металлопроката в состоянии поставки в период низкого уровня дефектности и в период резкого увеличения дефектности показал, что механические свойства соответствуют нормативным требованиям поставляемого проката, и не связаны с образованием разрывов. Так же по металлографическим характеристикам и по химическому составу в поставляемом металлопрокате, в период увеличения дефектности, связи с образованием поверхностных разрывов при штамповке не выявлено.

Для снижения уровня дефектности по поверхностным разрывам по неметаллическим включениям со стороны АО «АВТОВАЗ» было обращение к заводу изготовителю с рекомендациями по снижению общей окисленности металла и проведению корректировки технологии раскисления со снижением расхода кальция.

В 2020 г. в условиях ПАО «ММК» произведены и предоставлены опытные партии, со снижением общей окисленности металла и с корректировкой технологии раскисления – за счет снижения расхода кальция.

В течение 2020 г. при переработке в прессовом производстве АО «АВТОВАЗ» по действующей технологии опытных партий предоставленных ПАО «ММК», отбраковка по дефектам «поверхностные разрывы» и «плена» не отмечалась.

Анализ газонасыщенности опытных партий показал, что в стали резко снизилась концентрация кислорода и азота. Концентрация кислорода на уровне 40 ppm, снижена практически в 5 раз, азота в 1,5-2 раза по отношению к партиям с дефектом «поверхностные разрывы» и «плена», где концентрация кислорода была на уровне 200 ppm. При этом в ряде случаев

при переработке последующих серийных партий было зафиксировано, локальное утонение при холодной штамповке в области вытяжки без образования разрыва, установлено, что причиной образования утонения являются неметаллические включения на основе без кальциевых оксидов.

Тем не менее, при определении газонасыщенности образца с «утонением» на заготовке после вытяжки, содержание массовой доли кислорода составило 76 ppm. Анализ газонасыщенности показал, что в стали концентрация кислорода практически в 2 раза, а азота в 3 раза выше по сравнению с опытными партиями, в результате причиной появления таких единичных случаев дефекта является переокисленность металла.

Содержание кислорода в низкоуглеродистой стали на уровне 200 ppm чревато образованием трудноудаляемых скоплением оксидов, при уровне в 40 ppm, как отмечено при переработке опытных партий, дефектность резко снижается.

В результате внедренным корректирующим действиям достигнуто снижение уровня дефектности по поверхностным разрывам при холодной штамповке.

Список используемых источников

1. Бельченко Г. И., Губенко С. И. Неметаллические включения и качество стали. – Киев: «Техника», 1980. – 168 с.
2. Байков А. А. Избранные труды. – М.: «Металлургиздат», 1961. – 328 с.
3. Голомазов В. А., Соколов Н. В., Голомазов В. А. Влияние качества металла на процесс волочения, механические свойства проволоки, металлокорда и ходимость автошин. – Магнитогорск: МГМИ им. Г.И. Носова, 1976. – 28 с.
4. Губенко С. И. Трансформация неметаллических включений в стали. – М.: «Металлургия», 1991. – 224 с.
5. Голубцов В. А., Роцин В. Е. Происхождение неметаллических включений и пути снижения загрязненности ими металла. /Зинченко С. Д., Воронин А. А. – М.: «Металлург», 2005. – С. 73-77.
6. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – М.: Издательство стандартов, 1986.
7. ГОСТ 5639–82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. М.: Издательство стандартов, 1983.
8. ГОСТ 5640–68. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты. – М.: Издательство стандартов, 1970.
9. ГОСТ 7565–81. Чугун, сталь и сплавы. Метод отбора проб для определения химического состава. М.: Издательство стандартов, 1982.
10. ГОСТ 11701–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент. М.: Издательство стандартов, 1986.
11. ГОСТ 17745–90. Стали и сплавы. методы определения газов. – М.: Издательство стандартов, 1991.
12. ГОСТ 18895–97. Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа. М.: Издательство стандартов, 1998.
13. ГОСТ 9.302–88. Покрyтия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля. – М.: Издательство стандартов, 1990.

14. Долженков Ф. Е. Оптимальное содержание кальция в стали.: «Сталь», 1981. № 8. – С. 62-65.

15. Дюдкин Д. А. Особенности комплексного воздействия кальция на свойства жидкой и твердой стали.: «Сталь», 1999. № 1. – С. 20-25.

16. EN 10346:2015. Прокат листовой стальной для холодной штамповки с покрытием, нанесенным методом непрерывного погружения в расплав. Технические условия поставки. – М.: РОССТАНДАРТ, 2015.

17. Исаков С. А., Кудрявцева Т. М., Бердикулова Л. А. Исследование неметаллических включений в обрывах проволоки, возникающих при свивке металлокорда.: «Литье и металлургия», 1999. № 3. – С. 47-54.

18. Исаков С. А. Кудрявцева Т. М., Бердикулова Л. А. Влияние неметаллических включений на обрывность проволоки при свивке металлокорда.: «Сталь». 2002. № 10. – С. 82-86.

19. Иванов Э. В., Гуляев М. П. Проблемы качества кордовой стали и пути их решения: «Сталь», 2002. № 10. – С. 33-36.

20. Иванов Э. В. Якшук Д. С., Паршиков А. Н. Разработка технологии дифференцированного раскисления кордовой стали.: «Сталь», 2001. № 12. – С. 4-5.

21. Инструкция. Сканирующие (растровые) электронные микроскопы серии EVO. – М.: 2012. – 200 с.

22. Кувалдин Н. А. Совершенствование технологии выплавки стали для металлокорда. Отчет по НИР.– Орел: ОСПАЗ, 1986. – 62 с.

23. Казаков А. А., Ковалев П. В. Управление процессами образования неметаллических включений при производстве конвертерной стали. – Санкт-Петербург: «Цветные металлы-Черные металлы», Специальный выпуск 2014. № 12. – С. 91-96.

24. Казаков А. А., Ковалев П. В. Исследование термовременной природы неметаллических включений с целью повышения металлургического качества высокопрочных трубных сталей /

Рябошук С. В., Милейковский А. Б., Малахов Н. В. – Санкт-Петербург: «Черные металлы». 2009. № 12. – С. 5-11.

25. Казаков А. А. Металлургическая экспертиза как основа определения природы дефектов // Казаков А. А., Ковалев П. В., Рябошук С. В. и др. Черные металлы. 2007. №7-8. – С. 17-23.

26. Казанков А. Ю. Влияние структурных особенностей углеродистых и низколегированных сталей на их коррозионную стойкость в водных средах. – М.: ФГУП «ЦНИИ Черной металлургии им. И.П. Бардина», 2016.

27. Мазуров Е. Ф. Рафинирование стали при вакуумировании в ковше с электродуговым подогревом.: «Сталь», 1983. № 4. – С. 34-37.

28. Парусов В. В., Сычков А. Б. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2012. – 376 с.

29. Родионова И. Г., Зайцев А. И., Бакланова О. Н., Голованов А. В., Эндель Н. И., Шаповалов Э. Т., Семернин Г. В. Современные подходы к повышению коррозионной стойкости и эксплуатационной надежности сталей для нефтепромысловых трубопроводов. – М.: «Металлургиздат», 2012. – 172 с.

30. Родионова И. Г., Зайцева А. И., Бакланова О. Н. Коррозионно-активные неметаллические включения в углеродистых и низкоуглеродистых сталях. – М.: «Металлургиздат», 2005. – 184 с.

31. Руководство по эксплуатации. Анализатор металлов OBLF QSG/QSN750-II. – М.: 2015. – 120 с.

32. Руководство по эксплуатации. Анализаторы азота, кислорода модели ТС, RO, TN фирмы LECO для экспресс-анализа содержания кислорода и азота в металлах и сплавах. – М.: 2001. – 30 с.

33. Сычков А. Б., Бигеев В. А., Потапова М. В., Выбор способа раскисления и модифицирования стали – Магнитогорск: МГМИ им. Г. И. Носова.: «Металлургия», 2018. – С. 585-592.

34. Степашин А. М. Рациональная технологическая схема производства стали с нормированным уровнем неметаллических включений. – М.: «Металлург», 2000. № 2. – С. 23-25.

35. ТУ 14-101-497–2014. Прокат стальной тонколистовой холоднокатаный горячеоцинкованный с непрерывных линий. Технические условия. – Магнитогорск.: ОАО «ММК», 2014.

36. A. Costa e Silva. The effects of non-metallic inclusions on properties relevant to the performance of steel in structural and mechanical applications. *J Mater Res Technol*, Volume 8, Issue 2, 2019. – pp. 2408-2422.

37. A. Costa e Silva. Non-metallic inclusions in steels – origin and control. *J Mater Res Technol* Volume 7, Issue 3, 2018. – pp. 283-299.

38. Guo, J. et al. Mechanism of Non-metallic Inclusion Formation and Modification and Their Deformation during CSP Process for Aluminum-Killed Steel. *ISIJ. int.* 53, 2013. – pp. 2142-2151.

39. Guo, J. et al. Thermodynamics for Precipitation of CaS Bearing Inclusion and Their Deformation During Rolling Process for Al-killed Ca-treated Steel. *Steel Res. Int.* 84, 2013. – pp. 545–553.

40. Guo Jing, Cheng, Shu-sen, Guo Hanjie, Mei, Yaguang. Determination of non-metallic inclusions in a continuous casting slab of ultra-low carbon interstitial free steel by applying of metallographic method, electrolytic method and RTO technique. *SCIENTIFIC REPORTS* Vol. 9, No.2929, 2019. – pp. 1-11.

41. Kondo, Y. et al. Blistering Behavior during Oxide Scale Formation on Steel Surface. *ISIJ International* 51, 2011. – pp. 1696-1702.

42. Lombaerts J. Rod requirements for steel cord filaments/J. Lombaerts. – *Wire Industry*. 1994. Vol. 61. № 727. – pp. 471-472.

43. Moir, S. et al. Surface defects – evolution and behaviour from cast slab to coated strip. *Journal of Materials Processing Tech* s125–126, 2002. – pp. 720-724.

44. Matsuura, H. et al. The Transient Stages of Inclusion Evolution During Al and/or Ti Additions to Molten Iron. *ISIJ International* 47, 2007. – pp. 1265-1274.

45. Song, X. et al. Numerical Computation for Metallurgical Behavior of Primary Inclusion in Compact Strip Production Mold. *ISIJ International* 52, 2012. – pp. 1824-1831.

46. Seo, C. W. et al. Modification and Minimization of Spinel ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$) Inclusions Formed in Ti-Added Steel Melts. *Mater. Trans.B* 41B, 2012. – pp. 790-797.

47. Yang Chunjie, Ma Chao, Ge Yuanyuan. Distribution of Non-metallic Inclusions in Steel under Microscope-Optical Microscopy.: *Acta Microscopica* Vol. 29, No.1, 2020. – pp. 464-473.

48. Záhumenský, P. et al. Evolution of artificial defects from slab to rolled products. *Journal of Materials Processing Tech* 196, 2008. – pp 266-278.

49. Wang, M. et al. Te Composition and Morphology Evolution of Oide Inclusions in Ti-bearing Ultra Low-carbon Steel Melt Refined in the RH Process. *ISIJ International* 50, 2010. – pp. 1606-1611.

Приложение А

Справка по дефекту поверхности металлопроката после штамповки за период 2019-2020гг.

Справка ЗИЛ ОМДиМП* за период 2019-2020гг.

"Отклонения по дефекту поверхности металлопроката от поставщика ПАО "ММК"

| Дата | № детали | Толщина | Размер | Марка | Покрытие | Партия | Наименование дефекта |
|------------|-----------------|---------|--------|--------------|----------|------------|---------------------------------------|
| 09.01.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 112176-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 15.01.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 112689-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 23.01.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 112477-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 30.01.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100922-52 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 31.01.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100921-8 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 04.02.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | 006/IFBOCB C | Z100 | 112466-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 05.02.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100916-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 06.02.2019 | 2190-8404015 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 100409-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 06.02.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100916-51 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 07.02.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100938-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 08.02.2019 | XRAY 760229256R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z140 | 111151 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 13.02.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100918-56 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 14.02.2019 | XRAY 760236786R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z140 | 1111240-53 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 15.02.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100933-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 16.02.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 112477-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 18.02.2019 | 2190-8404015 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 100402-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 19.02.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100931-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 19.02.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100937-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 21.02.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100912-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 25.02.2019 | XRAY 76022956R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z140 | 111240-52 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 26.02.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 100381-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 27.02.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 100387-51 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 27.02.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 101484-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 27.02.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 101484-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 28.02.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100936-52 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 01.03.2019 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 101923-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 05.03.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 101499-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 05.03.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 101505-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 06.03.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 101410-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 11.03.2019 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 101917-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 13.03.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 101409-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 13.03.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 101410-54 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 14.03.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 101506-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 15.03.2019 | L52 821123854R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z140 | 101506-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 18.03.2019 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 101921 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 20.03.2019 | XRAY 760236786R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z140 | 101679-53 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 21.03.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102151-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 22.03.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 101416-51 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 22.03.2019 | 2190-8404015 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 102166-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 26.03.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102152-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 26.03.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 102863-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 26.03.2019 | XRAY 760236786R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z140 | 102111-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 26.03.2019 | XRAY 760236786R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z140 | 102207-4 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 27.03.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102152-52 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 27.03.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102155-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 27.03.2019 | L52 821123854R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 102869-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 27.03.2019 | XRAY 760236786R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z140 | 102111-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 27.03.2019 | L52 821123854R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 101499-52 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 29.03.2019 | XRAY 760229256R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z140 | 102207-51 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 01.04.2019 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 102748-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 02.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102143-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 02.04.2019 | L52 821131753R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 100381-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 03.04.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102144-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 04.04.2019 | L52 82113854R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 102863-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 05.04.2019 | B52 821134791 | 0,65 | 1425 | DX54D MCO | Z100 | 102856-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 08.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102150-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 08.04.2019 | XRAY 760236786R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z100 | 103233-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 10.04.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102150-54 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 11.04.2019 | 2190-8404015 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 103507-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 11.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103084-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 11.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103051-5 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 11.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103051-4 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 11.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103050-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 11.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103039-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 12.04.2019 | 2192-8404014 | 0,76 | 1535 | 006/IFBOCB C | Z100 | 100927-52 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 16.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103289-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 16.04.2019 | V8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103084-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 17.04.2019 | 2194-8404014 | 0,76 | 1535 | 006/IFBOCB C | Z100 | 103506-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 17.04.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103302-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 17.04.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103292-1 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 18.04.2019 | V8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 103294-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 18.04.2019 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 103989-3 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 18.04.2019 | 2190-8404015 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 103989-2 | разрывы по немагнитическим включениям |
| 18.04.2019 | XRAY 760229256R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z100 | 103238-3 | разрывы по немагнитическим включениям |

| | | | | | | | |
|------------|-----------------|------|------|-----------|------|---------------------|---------------------------------------|
| 18.02.2020 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 100005-51 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 18.02.2020 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 100004-1 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 18.02.2020 | V 8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100315-2 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 20.02.2020 | L52 821123854R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 100248-2 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 26.02.2020 | V 8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100309-52 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 28.02.2020 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 100605-2 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 28.02.2020 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 113454-2 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 02.03.2020 | XRAY 760236786R | 0,65 | 1632 | DX56D MCO | Z100 | 112043-3 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 03.03.2020 | V 8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100316-2 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 04.03.2020 | V 8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100315-52 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 10.03.2020 | V 8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 100311-1 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 20.03.2020 | V 8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102027-2 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 26.03.2020 | V 8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102028-2 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 26.03.2020 | XRAY 821138709R | 0,65 | 1410 | DX54D MBO | Z100 | 110768-55 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 14.04.2020 | V 8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102012-1 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 15.04.2020 | V 8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102012-3 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 20.05.2020 | V 8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102282-1 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 21.05.2020 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 103318-1 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 21.05.2020 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 102882-3 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 25.05.2020 | V 8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102281-52 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 11.06.2020 | L52 821123854R | 0,65 | 1390 | DX54D MBO | Z100 | 101841-1 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 12.06.2020 | 2190-8404014 | 0,75 | 1505 | DX54D MCO | Z100 | 102615-52,103130-54 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 17.06.2020 | V 8450007484 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102867-2 | разрывы по неметаллическим включениям |
| 17.06.2020 | V 8450007483 | 0,70 | 1535 | DX56D MCO | Z140 | 102864-1 | разрывы по неметаллическим включениям |

*ЗИЛ ОмДМиИ –Заводская исследовательская лаборатория обработки металлов давлением и механических испытаний АО "АВТОВАЗ"