

2. *Osnowy proektirovaniya konstrukcii. Ocenka suschestvuyuschih konstrukcii = Asnowy praektavannaya kanstrukcii. Acenka isnuyuchih kanstrukcii : STB ISO 13822-2017 (ISO 13822:2001, IDT). – Vved. 01.10.17. – Minsk : Gosstandart, 2017. – 48 s.*

3. Tur, V. V. Influence of the reinforcing bar corrosion level on the flexural crack's width in the existing structure / V. V. Tur, Y. S. Yalavaya // *Modern Engineering*. – 2019. – Vol. 1. – P. 1–9.

4. Tur, V. V. Assessment of existing reinforced concrete structures with usage of the fuzzy logic – based expert system / V. V. Tur, Y. S. Yalavaya // *Stroitelstvo i rekonstrukciya*. – 2019. – № 5 (85). – S. 74–84.

**УДК 691:75**

## **ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ НА ХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА «UST»**

*А.Э. Юницкий<sup>1</sup>, Ф.А. Верёвка<sup>2</sup>, С.А. Городник<sup>3</sup>, Р.А. Малахов<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь*

<sup>2</sup> *Магистр технических наук, ассистент кафедры «Строительные конструкции имени Тимофея Максимовича Пецоляда», инженер-проектировщик ЗАО «Струнные Технологии», Минск, Беларусь, verevka.fedor@mail.ru*

<sup>3</sup> *Главный инженер ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь*

<sup>4</sup> *Начальник отдела «Конструкции железобетонные» ЗАО «Струнные технологии»  
Минск, Беларусь*

### **Реферат**

Одним из наиболее распространенных и эффективных способов защиты металлических конструкций от коррозии является горячее цинкование, однако в ряде научных работ отмечается, что технологический процесс данного вида антикоррозионной защиты способен негативно влиять на прочностные характеристики металлического изделия.

В статье выполнен обзор литературных источников, отмечающих возможные причины возникновения ряда повреждений внутренней структуры стальных элементов в результате горячего цинкования. Выполнен анализ рекомендаций нормативных документов по выполнению антикоррозионной защиты горячим цинкованием. Приведены примеры и выявлены наиболее вероятные причины хрупкого разрушения стальных элементов в результате горячей оцинковки. Даны рекомендации по возможному предотвращению негативных последствий, связанных с горячим цинкованием, как на этапе изготовления металлоконструкций, так и на этапе производства работ.

**Ключевые слова:** хрупкое разрушение, горячее цинкование, концентрация напряжений, остаточные напряжения, сварочные напряжения.

# INFLUENCE OF HOT-DIP GALVANIZING ON BRITTLE FRACTURE OF STEEL STRUCTURES ON THE EXAMPLE OF THE «UST» TRANSPORTATION COMPLEX

*A.E. Unitsky, F.A. Viarouka, S.A. Gorodnik, R.A. Malakhau*

## **Abstract**

One of the most common and effective ways to protect metal structures from corrosion is hot-dip galvanizing, however, in a number of scientific articles it is noted that the technological process of this type of anti-corrosion protection can negatively affect the strength characteristics of a metal product.

The article reviews the literature sources that indicate the possible causes of a number of failures of the internal structure of steel elements as a result of hot-dip galvanizing. The analysis of the recommendations of normative documents (codes) on the implementation of anti-corrosion protection by hot-dip galvanizing has been carried out. Examples are given and the most probable causes of brittle fracture of steel elements as a result of hot-dip galvanizing are identified. Recommendations are given on the possible prevention of negative consequences associated with hot-dip galvanizing, both at the stage of manufacturing steel structures and at the stage of work on construction site.

**Key words:** brittle fracture, hot dip galvanizing, stress concentration, residual stresses, welding stresses.

## **Введение**

При проектировании строительных конструкций, как правило, особое внимание уделяется расчетам предельных состояний (несущей способности и эксплуатационной пригодности) при рассмотрении конкретных моделей сопротивления (изгиб, сжатие и т.д.), при этом в соответствующих нормативных документах заранее заложена предпосылка качественного изделия, отвечающего всем необходимым производственным стандартам. Однако, несмотря на существенное развитие нормативно-технической базы, как в отечественной, так и в зарубежной практике возникают случаи, когда только что изготовленное в соответствии со всеми необходимыми стандартами и готовое к монтажу изделие при более точном осмотре / обследовании не удовлетворяет требованиям по изготовлению данных конструктивных элементов. На примере стальных элементов при отсутствии приложения эксплуатационных нагрузок в качестве наиболее распространенных дефектов можно назвать глубинные трещины металла в местах концентрации напряжений: околошовная зона; места расположения отличной от круглой формы отверстий и т.д. В качестве одного из значимых/возможных и недостаточно изученных факторов возникновения подобного рода дефектов отечественными и зарубежными исследователями отмечаются технологические особенности антикоррозионного покрытия стальных элементов методом горячего цинкования.

Горячее цинкование погружением является очень важным производственным процессом и используется для защиты стали от коррозии уже более 250 лет. Несмотря на то, что согласно п. 8.3.7 СН 2.01.07-2020 [1]:«...Выбор

*конструкций для горячего цинкования осуществляют при технико-экономическом обосновании, исходя из требований обеспечения необходимого их уровня качества и надежности, рационального использования материальных и топливно-энергетических ресурсов»,* в ряде отечественных и зарубежных источниках отмечается, что процесс горячего цинкования считается более экономичным и эффективным в долгосрочной перспективе по сравнению с защитой при помощи лакокрасочных покрытий [2]. Также в ряде стран Персидского залива (ОАЭ, Саудовская Аравия и т.д.) с такой агрессивной наружной средой, как соленые пески, при адаптации проектной документации в местных инспектирующих органах, настоятельно указывают на применение исключительно горячего цинкования, как способа защиты от коррозии.

За время применения горячего цинкования были разработаны отечественные и зарубежные требования и рекомендации, связанные с осуществлением данного технологического процесса. Данные требования призваны гарантировать не только качество цинкового покрытия (отсутствие отшелушивания и растрескивания цинкового покрытия и т.д.), но и сохранение исходных физико-механических характеристик стального изделия (например, требуемые значения предела текучести / предела прочности стали), на которое наносится данный вид покрытия. Стоит отметить, что согласно положениям данных документов, на качество горячеоцинкованного покрытия влияют не только технологические условия (процесс очистки, температурный режим и т.д.), но и химический состав сталей (ограничения по содержанию ряда химических элементов), однако можно отметить, что данные рекомендации не в полной мере способствуют качественному осуществлению процесса горячего цинкования, о чем свидетельствует анализ результатов хрупкого разрушения стальных элементов в момент до приложения эксплуатационных нагрузок.

Таким образом возникает актуальная задача по усовершенствованию рекомендаций, по проведению технологического процесса горячего цинкования; по разработке дополнительных требований, связанных с составом стали и с технологией производства стальных элементов, способствующим снижению концентрации напряжений с целью максимального сокращения дефектообразования при горячем цинковании.

### **1 Обзор основных отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих применение горячего цинкования**

На территории стран ЕС технологические требования к качеству осуществления процесса горячего цинкования указаны в EN ISO 1460 [3], EN ISO 1461 [4]. Требования к конструкциям, подвергающимся горячей оцинковке приведены в EN ISO 14713 [5] (наиболее информативный документ).

Общеизвестным является влияние содержания кремния (Si) и фосфора (P) на качество и толщину цинкового покрытия за счет продолжительной химической реакции между железом и расплавленным цинком. Содержание углерода (C) также является значимым, т.к. содержание данного химического элемента оказывает влияние непосредственно на прочностные характеристики стали, качество свариваемости и т.д. Требования по содержанию как Si и P, так и C указаны в стандартах конструкционных сталей EN 10025 – 1-6 [6].

На территории США для контроля горячеоцинкованных покрытий используют ASTM A123 [7], ASTM A153 [8]. При сравнении двух стандартов, ISO 1461 и ASTM A123 и A153 можно отметить, что различия по основному параметру: минимальной требуемой толщине цинкового покрытия невелико, однако в ASTM приводятся несколько большие значения данного параметра. Таким образом выполнение требований ASTM A123, ASTM A153 автоматически гарантирует выполнение аналогичных требований ISO 1461. Также в ASTM существует градуирование покрытия по маркам [т. 2 ASTM A123], приводится градация значений минимальных толщин цинкового покрытия для различных стальных изделий: для стержней и полос; труб и др., что отсутствует в ISO 1461.

На территории РФ в качестве основных применяются следующие документы: ГОСТ 9.307-89 (ИСО 1461-89) [9], ГОСТ 9.303-84 [10] также в разделе 19 СП 53-101-98 [11] приводятся дополнительные правила при осуществлении антикоррозионной защиты горячим цинкованием.

На территории РБ в соответствии с СН 2.01.07-2020 защиту от коррозии стальных конструкций методом горячего цинкования необходимо осуществлять в соответствии с СТБ ISO 14713 [12-14] и СТБ EN 1090-2 [15]. Также общие требования и методы контроля горячеоцинкованных элементов приведены в ГОСТ 9.307-89. Требования к строительным сталям по химсоставу как на территории РФ, так и на территории РБ приведены в ГОСТ 27772 [16].

Стоит отметить, что на территории РБ и РФ также встречаются локальные нормативные документы, устанавливающие дополнительные требования как непосредственно к самим конструкциям, так и к подготовке их покрытий до осуществления процесса горячего цинкования. Среди подобных документов можно выделить требования таких предприятий, как ГП «Конус», ОАО «РМЗ», ПАО «Челябинский цинковый завод». Данные «локальные» требования являются одними из наиболее ценных и полезных для проектировщиков в отношении понимания наиболее значимых факторов, которые должен предусмотреть инженер на стадии проектирования изделия с учетом возможности его последующей качественной оцинковки. Так в данных документах приводятся конкретные рекомендации по расположению технологических дренажных отверстий, предназначенных для всестороннего проникновения цинкового раствора с последующим качественным его сливом во время извлечения изделия из цинковой ванны; даны более конкретные требования к сварным соединениям, в том числе и к наличию нахлесточных соединений, недопустимые дефекты сварных соединений и ряд других полезных проектировщику конкретных рекомендаций.

## **2 Механизмы разрушения стальных элементов после горячего цинкования**

Целью этого раздела является получение общего представления о возможных механизмах разрушения, которые наблюдались при горячем цинковании стальных конструкций погружением, путем обзора соответствующей литературы.

Согласно [2, 17] при исследовании разрушения горячеоцинкованных элементов отмечаются три основных механизма охрупчивания:

- Жидкометаллическое охрупчивание (liquid metal embrittlement) — охрупчивание, вызываемое действием на твердое тело жидкого металла, проявляется в виде многократного падения прочности, повышения хрупкости элемента, снижения его долговечности;

- Водородное охрупчивание (hydrogen embrittlement) — в результате операции травления перед флюсованием, а затем и горячим цинкованием высокопрочная сталь может быть склонна к появлению трещин, вызываемых водородом;

- Охрупчивание, связанное со «старением» стали (strain ageing embrittlement)

В работах [2, 17] отмечается, что растрескивание наблюдалось в сталях с пределом текучести более 1000 МПа, также после процесса горячего цинкования наблюдались разрушения крепежных элементов из высокопрочной стали, при этом для крепежных элементов без цинкового слоя подобных разрушений не наблюдалось. Эти данные резонируют с положениями п. 6.5.4 EN 14713-2, где отмечается, что стали с пределом текучести более 650 МПа могут обладать внутренними напряжениями такой величины, что травление и последующая горячая оцинковка могут увеличить риск образования трещин стали. Некоторые дефекты сварных конструкции после горячего цинкования описаны в [6-9].

В качестве основных причин возникновения дефектов указывают такие параметры, как высокие остаточные напряжения, местные пластические деформации и местное охрупчивание, вызванное процессом травления перед горячим цинкованием. Касательно механизма охрупчивания, связанного со «старением» стали, в п. 7.4.1.1 EN 10025 отмечается, что с увеличением толщины изделия возможно появления холодного растрескивания, которое может быть вызвано совокупностью следующих факторов: наличием диффундирующего водорода в металле сварного шва; хрупкостью структуры зоны термического влияния (HAZ — heat affecting zone); значительными концентрациями растягивающих напряжений в сварных швах. Однако, в то же время, согласно данным п 6.5.3 EN 14713-2 твердость как сварного шва, так и зоны термического влияния (HAZ) строительных сталей не превышает значений 340 HV (34 HRC), как следствие данные зоны не должны охрупчиваться при травлении. Также отдельного внимания заслуживает то, что п. 6.5.4 EN 14713-2 говорит о том, что риски, связанные с охрупчиванием стали при старении связаны в большей степени с ее холодной обработкой, как следствие, чтобы снизить данные риски необходимо в первую очередь свести к минимуму локальную холодную деформацию, а также выбирать сталь с большим значением ударной вязкости. При это значение ударной вязкости напрямую связано с толщиной стального элемента, что также позволяет задуматься о необходимости разработки рекомендаций по горячему цинкованию с учетом и этого параметра.

В период 2000-2006 гг. на территории Великобритании был обнаружен ряд случаев возникновения серьезных эксплуатационных трещин в оцинкованных стальных конструкциях. В результате английскими исследователями была принята попытка систематизировать данные анализа 1011458 тонн горячеоцинкованных изделий с различных заводов Великобритании за 5 летний период [17]. Из данной выборки 560000 тонн представляли собой строительные стальные конструктивные элементы: разные виды проката, предназначенные для строительства стальных каркасов зданий различного назначения, крепежные изделия и тд. Авторами исследования [17] отдельно подчеркивается, что все элементы были подвергнуты тщательному визуальному контролю в соответствии с положениями национального документа BCSA-GA, сам цинковый расплав, в кото-

рый были погружены данные элементы также полностью удовлетворял требованиям данного стандарта, что исключало влияние не качественного покрытия. Рассматривались дефекты, которые были зафиксированы после процесса горячей оцинковки и не были выявлены ни одной из проверок непосредственно перед горячим цинкованием. Исследования совпали с этапом активного изготовления крупногабаритных элементов (сегментов ферм и т.д.); разная толщина элементов, соединенных в единую конструкцию; использованием сталей повышенной прочности, а также с применением новых цинковых сплавов и различных методик погружения элементов.

В результате анализа были получены следующие данные: общий тоннаж треснувших стальных элементов как строительного, так и иного назначения составил 0,033%. Процент дефектных строительных стальных конструкций составил 0,026%, а не строительных — 0,043%. Таким образом риск хрупкого разрушения вследствие применения технологии горячей оцинковки у конструкционных (строительных) сталей на 40% ниже, чем у машиностроительных. Также было отмечено, что риск трещинообразования сталей S275 не имеет существенных отличий в сравнении со сталью S355, однако авторами не приводятся данные по относительной частоте применения указанных сталей.

Основная информация вышеупомянутого исследования [17] — анализ выборки дефектных элементов показал, что подавляющее большинство дефектов было выявлено в непосредственной зоне сварных швов (78%), а также в других местах концентрации напряжений: в местах выколов и острых отверстий — 12%; в местах с изгибными локальными дефектами и с учетом некачественного материала — 10%.

Таким образом в исследовании [17] подчеркивается, что жидкометаллическое охрупчивание нельзя однозначно назвать первопричиной хрупкого разрушения стальных элементов во время горячей оцинковки, но, в большей степени, жидкометаллическое охрупчивание является фактором дальнейшего распространения трещины, когда в стальной конструкции, подлежащей цинкованию, уже существует зарождающийся трещиноподобный дефект или область, подверженная трещинообразованию. Также приводятся данные о том, что общий процент

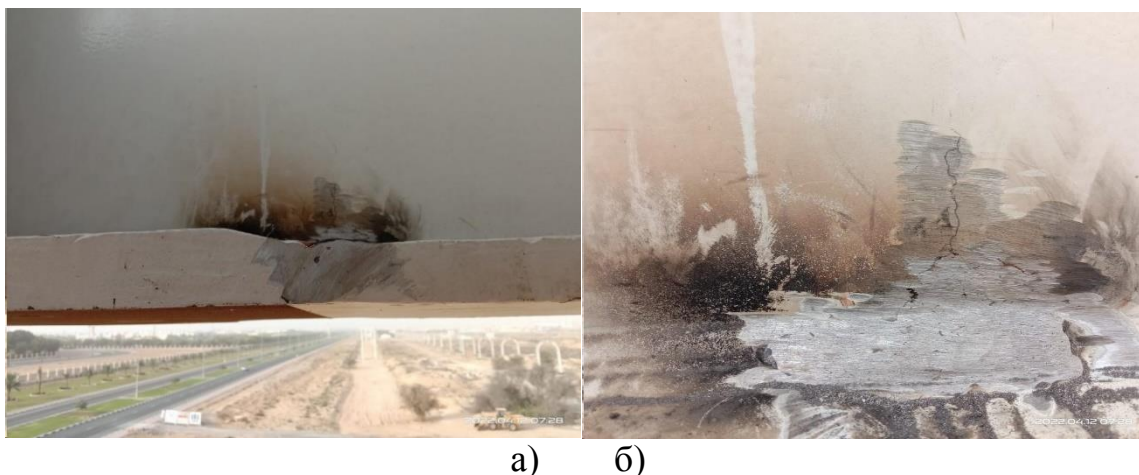
### **3 Описание некоторых дефектов, обнаруженных после горячей оцинковки, из опыта проектирования компании UST**

В данном разделе приведен практический пример хрупкого разрушения балочного элемента транспортной инфраструктуры, инициированного горячим цинкованием, с которым столкнулась компания UST при строительстве своих объектов на Ближнем Востоке.

Балочные элементы изготовлены из профилей HE B 600 стали S355JR, имеют длину 8200 мм с толщиной полки 30 мм. К полке в середине пролета методом полуавтоматической сварки в стык с v-образной разделкой кромки была приварена пластина толщиной 40 мм.

В результате приемочного осмотра на строительной площадке были обнаружены трещины, расположенные вблизи указанных сварных швов. При последующем контроле в аналогичных элементах и в аналогичных местах: в местах

сварного заводского соединения закладного элемента в виде плиты толщиной 40 мм с полкой балки толщиной 30 мм также были обнаружены трещины схожей структуры (в некоторых элементах требовалось дополнительное снятие цинкового покрытия для обнаружения данных дефектов, т.к. глубинные трещины визуально не просматривались).



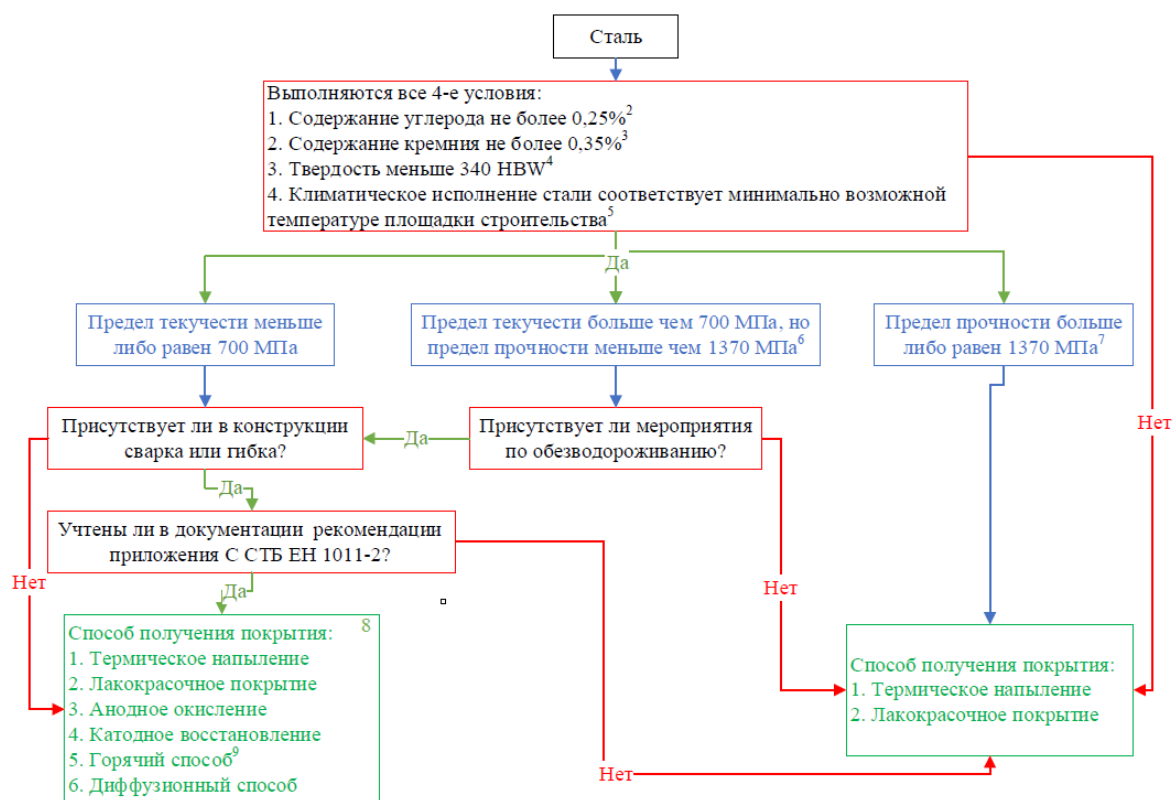
*Рисунок 1 — Примеры дефектов сварных швов и стенки стального балочного элемента, выявленных после горячего цинкования (а) –дефект сварного шва; б) – дефект стенки балки)*

Анализ химсостава и физико-механических характеристик образцов, вырезанных из стальных балок, показал отсутствие каких-либо нарушений качества стали по химсоставу, а также отсутствие недопустимых отклонений по прочностным характеристикам.

Принимая во внимание данные химанализа и физико-механических испытаний образцов, вырезанных из балочных элементов, в качестве наиболее вероятной причины возникновения указанных дефектов можно назвать нарушение технологии сварки: последовательность сварки, количество проходов; предварительный прогрев металла перед сваркой (при необходимости) особенно при сварке «толстых» элементов, игнорирование выводных планок, надлежащее закрепление в стапелях/прихватках/зажимах, и т.д.. Нарушение технологии сварки могло стать причиной возникновения остаточных напряжений, что в свою очередь сказалось при дальнейшем осуществлении процесса горячего цинкования. Стоит отметить, что в местах обнаружения трещин, эстетические характеристики поверхности изделий были удовлетворительными., т.е. отсутствовали подтеки, наплывы и прочие неравномерности толщины антикоррозионной защиты.

#### **4. Рекомендации по осуществлению антикоррозионного покрытия для стальных элементов**

Ниже в виде блок-схемы представлена инструкция по выбору способа получения покрытия, устанавливающая требования к выбору способа получения покрытия, предназначенного для использования на стальных элементах рельсовых транспортных средств, рельсо-струнных эстакад и других стальных элементах струнных транспортных систем, разрабатываемых компанией UST.



**Рисунок 2** —Блок-схема по выбору способа получения покрытия, рекомендуемая к применению в компании «UST»

Разъяснения верхних индексов блок-схемы, изображенной на рисунке 2 представлены ниже:

1 Рекомендации по выбору способа получения покрытия разработаны на основе статьи «Problems with reliability and safety of hot dip galvanized steel structures» [1].

2 Содержание углерода меньше 0,25% является границей малоуглеродистых сталей. Данная предпосылка может быть обсуждаемой, но в соответствии с опытом производителей цинкуются удовлетворительно стали с таким содержанием углерода.

3 Максимальное содержание кремния для определения классов пригодности к горячему цинкованию согласно EN 10025.

4 При большем значении твердости возможны явления растрескивания согласно EN ISO 14713-2.

5 Для катодного восстановления, горячих и диффузионных покрытий рекомендуется принимать климатическое исполнение с более жесткими условиями по EN 10025. Например, при температуре эксплуатации минус 10°С следовало бы принять значение ударной вязкости при минус 20°С, но согласно данной методике необходимо принять значение ударной вязкости при минус 40°С.

6 По опыту производителей изделия с пределом прочности выше 1000 МПа, что приблизительно соответствует пределу текучести в 700 МПа, цинковать (кроме диффузионного покрытия) запрещено без специальных мероприятий. Так согласно п 6.5.2 EN ISO 14713-2: «...*(стали с пределом текучести более*



650 МПа) могут содержать внутренние напряжения такой величины, что травление и горячее цинкование могут увеличить риск образования трещин стали в ванне горячего цинкования.....Необходима консультация специалиста-гальваника, когда проводится горячее цинкование таких сталей».

7 Согласно данным п 1.5 приложения 3 ГОСТ 9.303 стали с пределом прочности выше 1380 МПа цинкованию не подлежат.

8 Классификация способов получения покрытия соответствует ГОСТ 9.306.

9 Состояние сталей при поставках согласно СТБ EN 10025-6 или EN 10025-6. Например, для стали S690 состояние поставки должны быть согласно п.7.4.3 EN 10025-6.

## **Заключение**

На основании анализа ряда отечественных и зарубежных источников основными механизмами разрушения горячеоцинкованных изделий можно назвать: жидкометаллическое охрупчивание, водородное охрупчивание вследствие старения стали.

Стоит отметить, что данные механизмы разрушения в значительной степени возникают вследствие других более значимых факторов, в роли которых выступают:

- неуравновешенные остаточные напряжения возникающие в результате сварки, холодной гибки, термической и механической резки стальных изделий;
- наличие таких концентраторов напряжений, как острые вырезы, разная толщина элементов (с отношением толщин более 2).
- наличием своевременно не выявленных дефектов сварных соединений.

Таким образом можно сказать, что во многом благодаря особенностям своей технологической реализации (химическое воздействие на стальной элемент при операции травления, температурное воздействие при непосредственном погружении в цинковый раствор) процесс горячего цинкования является своеобразным катализатором, в большей степени способствующим выявлению нарушений технологии изготовления стальных элементов, нежели самостоятельным фактором возникновения дефектов, связанных с хрупким разрушением стальных конструкций. Однако положительным является тот факт, что учет опыта возникновения данных дефектов после процесса горячего цинкования может послужить хорошей основой для усовершенствования технологий изготовления стальных конструкций: усовершенствование методик наложения сложных сварных швов, ужесточение требований к контролю, повышение качества обработки кромок после термической резки и т.д.

В статье приведена блок-схема по выбору способа получения покрытия, по возможности, учитывающая большинство факторов, влияющих на качественный результат, связанный с нанесением антикоррозионного покрытия и рекомендуемая к применению в компании «UST»,

Для проектировщиков авторами статьи приводятся следующие краткие рекомендации, которые способны повлиять на более качественное производство процесса горячего цинкования:

1. Для ответственных конструкций, в качестве первичной меры, рекомендуется указывать марку стали исходя из ее ударной вязкости (должна быть одина-

кова для всей конструкции). Наиболее предпочтительными являются стали J0, J2 и выше. Данная рекомендация не гарантирует полное исключение проблем при горячем цинковании, но может значительно снизить шанс появления дефектов.

2. Необходимо руководствоваться «локальными» требованиями профильных предприятий по горячему цинкованию, с четким соблюдением их рекомендаций по конструированию.

3. Для исключения либо уменьшения напряжений в местах возможных концентраторов обязательным является разработка технологической карты на сварку металлоконструкций, с обязательным указанием последовательности формирования сварных швов, дополнительном прогреве и др.

4. При производственных возможностях предприятия и наличии квалифицированных специалистов рекомендуется произвести расчет с использованием специализированных КЭ программных комплексов по учету остаточных напряжений и их влияния на результат горячего цинкования.

5. При крупносерийном производстве и/или реализации сложных конструктивных решений необходимо изготовить ряд экспериментальных образцов, горячая оцинковка которых позволит дать более объективную оценку о возможности применения данных решений с позиции дальнейшей горячей оцинковки.

#### **Список цитируемых источников**

1. СН 2.01.07-2020 Защита строительных конструкций от коррозии. – Введ. 31.12.2020. – М: Минстройархитектуры, 2020. - 69 с.

2. Problems with reliability and safety of hot dip galvanized steel structures. Mraz, L. and Lesay, J.. Soldag. Insp. (Impr.) 2009, vol.14, n.2, pp.184-190. ISSN 0104-9224 [Electronic resource] – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/245406517\\_Problems\\_with\\_reliability\\_and\\_safety\\_of\\_hot\\_dip\\_galvanized\\_steel\\_structures/link/552fa0760cf21cb2faf00854/download](https://www.researchgate.net/publication/245406517_Problems_with_reliability_and_safety_of_hot_dip_galvanized_steel_structures/link/552fa0760cf21cb2faf00854/download). – Date of access: 20.04.2022.

3. EN ISO 1460 Metallic coatings - Hot dip galvanized coatings on ferrous materials - Gravimetric determination of the mass per unit area [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.en-standard.eu/une-en-iso-1460-2021-metallic-coatings-hot-dip-galvanized-coatings-on-ferrous-materials-gravimetric-determination-of-the-mass-per-unit-area-iso-1460-2020/> – Date of access: 20.04.2022.

4. EN ISO 1461 Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles – Specifications and test methods [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1461:ed-4:v1:en> – Date of access: 20.04.2022.

5. EN ISO 14713 Zinc coatings — Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures (Seria of standarts) [Electronic resource] – Mode of access: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71135/055c153383854f9a9e2312714c82bcff/ISO-14713-1-2017.pdf> – Date of access: 18.03.2022.

6. EN 10025 - 1 to 6 Hot rolled products of structural steels, Part 1 to Part 6

7. ASTM A123 Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products [Electronic resource] – Mode of access: <http://dezh.co/download/ASTM-A123.pdf> – Date of access: 20.04.2022.

8. ASTM A153 Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware [Electronic resource] – Mode of access: [http://www.shahab-](http://www.shahab-250)

galvanize.com/public/user\_data/pdf/ASTM%20A153.pdf – Date of access: 20.04.2022.

9. ГОСТ 9.307 – 89. Покрyтия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля. - Введ. 01.07.1990. - М.: Издательство стандартов, 2010. - 27 с.

10. ГОСТ 9.303-84 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрyтия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования к выбору.– Введ. 01.01.1985. - М.: Госстандарт, 2011. - 46 с.

11. СП 53-101-98 Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций - Введ. 1999-01-01. - М.: ГУП ЦПП, 2017. - 33 с.

12. СТБ ISO 14713-1-2012 Покрyтия цинковые. Руководство и рекомендации по защите от коррозии чугунных и стальных конструкций. Часть 1 Общие принципы разработки и обеспечения коррозионной стойкости. - Введ. 01.09.2013. - М.: Госстандарт, 2013. - 23 с.

13. СТБ ISO 14713-2-2012 Покрyтия цинковые. Руководство и рекомендации по защите от коррозии чугунных и стальных конструкций. Часть 2 Горячее цинкование. - Введ. 01.09.2013. - М.: Госстандарт, 2013. - 20 с.

14. СТБ ISO 14713-3-2012 Покрyтия цинковые. Руководство и рекомендации по защите от коррозии чугунных и стальных конструкций. Часть 3 Диффузионное цинкование. - Введ. 01.09.2013. - М.: Госстандарт, 2013. - 13 с.

15. СТБ EN 1090-2-2012 Возведение стальных и алюминиевых конструкций. Часть 2. Технические требования к стальным конструкциям. - Введ. 01.03.2014. - М.: Госстандарт, 2014. - 205 с.

16. ГОСТ 27772-2015. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. - Введ. 01.05.2017. - М.: Стандартинформ, 2016. - 35 с.

17. Leighfield, C The conclusion from one million tonnes of experience in galvanizing steel – LMAC is not a primary instigator of cracking August 2019 Engineering Failure Analysis 106(4):104151 DOI:10.1016/j.engfailanal.2019.104151 [Electronic resource] – Mode of access:<https://pearl.plymouth.ac.uk/bitstream/handle/10026.1/15099/Revised%20Paper%20July%202019.pdf?sequence=2> – Date of access: 20.04.2022.

18. СТБ EN 1011-2-2006 Сварка. Рекомендации по сварке металлических материалов. Часть 2. Дуговая сварка ферритных сталей - Введ. 01.05.2006. - М.: БелГИСС, 2006. - 53 с.

## References

1. SN 2.01.07-2020 Zashchita stroitel'nyh konstrukcij ot korrozii. – Vved. 31.12.2020. – М: Minstrojarhitektury, 2020. - 69 s.

2. Problems with reliability and safety of hot dip galvanized steel structures. Mraz, L. and Lesay, J.. Soldag. Insp. (Impr.) 2009, vol.14, n.2, pp.184-190. ISSN 0104-9224 [Electronic resource] – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/245406517\\_Problems\\_with\\_reliability\\_and\\_safety\\_of\\_hot\\_dip\\_galvanized\\_steel\\_structures/link/552fa0760cf21cb2faf00854/download](https://www.researchgate.net/publication/245406517_Problems_with_reliability_and_safety_of_hot_dip_galvanized_steel_structures/link/552fa0760cf21cb2faf00854/download). – Date of access: 20.04.2022.

3. EN ISO 1460 Metallic coatings - Hot dip galvanized coatings on ferrous materials - Gravimetric determination of the mass per unit area [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.en-standard.eu/une-en-iso-1460-2021-metallic-coatings-hot-dip-galvanized-coatings-on-ferrous-materials-gravimetric-determination-of-the-mass-per-unit-area-iso-1460-2020/>– Date of access: 20.04.2022.

4. EN ISO 1461 Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles – Specifications and test methods [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1461:ed-4:v1:en> – Date of access: 20.04.2022.
5. EN ISO 14713 Zinc coatings — Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures (Seria of standarts) [Electronic resource] – Mode of access: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71135/055c153383854f9a9e2312714c82bcff/ISO-14713-1-2017.pdf> – Date of access: 18.03.2022.
6. EN 10025 - 1 to 6 Hot rolled products of structural steels, Part 1 to Part 6
7. ASTM A123 Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products [Electronic resource] – Mode of access: <http://dezh.co/download/ASTM-A123.pdf> – Date of access: 20.04.2022.
8. ASTM A153 Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware [Electronic resource] – Mode of access: [http://www.shahab-galvanize.com/public/user\\_data/pdf/ASTM%20A153.pdf](http://www.shahab-galvanize.com/public/user_data/pdf/ASTM%20A153.pdf) – Date of access: 20.04.2022.
9. GOST 9.307 – 89. Pokrytiya cinkovye goryachie. Obshchie trebovaniya i metody
10. GOST 9.303-84 Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Pokrytiya metallicheskie i nemetallicheskie neorganicheskie. Obshchie trebovaniya k vyboru.– Vved. 01.01.1985. - M.: Gosstandart, 2011. - 46 s.
11. SP 53-101-98 Izgotovlenie i kontrol' kachestva stal'nyh stroitel'nyh konstrukcij - Vved. 1999-01-01. - M.: GUP CPP, 2017. - 33 s.
12. STB ISO 14713-1-2012 Pokrytiya cinkovye. Rukovodstvo i rekomendacii po zashchite ot korrozii chugunnyh i stal'nyh konstrukcij. CHast' 1 Obshchie principy razrabotki i obespecheniya korroziionnoj stojkosti. - Vved. 01.09.2013. - M.: Gosstandart, 2013. - 23 s.
13. STB ISO 14713-2-2012 Pokrytiya cinkovye. Rukovodstvo i rekomendacii po zashchite ot korrozii chugunnyh i stal'nyh konstrukcij. CHast' 2 Goryachee cinkovanie. - Vved. 01.09.2013. - M.: Gosstandart, 2013. - 20 s.
14. STB ISO 14713-3-2012 Pokrytiya cinkovye. Rukovodstvo i rekomendacii po zashchite ot korrozii chugunnyh i stal'nyh konstrukcij. CHast' 3 Diffuzionnoe cinkovanie. - Vved. 01.09.2013. - M.: Gosstandart, 2013. - 13 s.
15. STB EN 1090-2-2012 Vozvedenie stal'nyh i alyuminievyh konstrukcij. CHast' 2. Tekhnicheskie trebovaniya k stal'nym konstrukciyam. - Vved. 01.03.2014. - M.: Gosstandart, 2014. - 205 s.
16. GOST 27772-2015. Prokat dlya stroitel'nyh stal'nyh konstrukcij. Obshchie tekhnicheskie usloviya. - Vved. 01.05.2017. - M.: Standartinform, 2016. - 35 s.
17. Leighfield, C The conclusion from one million tonnes of experience in galvanizing steel – LMAC is not a primary instigator of cracking August 2019 Engineering Failure Analysis 106(4):104151 DOI:10.1016/j.engfailanal.2019.104151 [Electronic resource] – Mode of access: <https://pearl.plymouth.ac.uk/bitstream/handle/10026.1/15099/Revised%20Paper%20July%202019.pdf?sequence=2> – Date of access: 20.04.2022.
18. STB EN 1011-2-2006 Svarka. Rekomendacii po svarke metallicheskih materialov. CHast' 2. Dugovaya svarka ferritnyh stalej - Vved. 01.05.2006. - M.: BelGISS, 2006. - 53 s.