

**2. Астрейко, Л.А.** Экологически безопасная технология цинкования стальных порошковых средах: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01 / Л.А. Астрейко ; БНТУ. – Минск, 2006. – 32 с.

**3. Диффузионное** многокомпонентное цинкование стали 40Х в виброкипящем слое / Ю.А. Баландин [и др.]. – *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2009. – № 1. – С. 46–49.

**4. Диффузионное** комплексное цинкование в виброкипящем слое как способ повышения коррозионной стойкости деталей машин. Ю.А. Баландин [и др.]. – *Автомобильная промышленность*, 2006. – № 11. – С. 31–32.

*УДК 669.58*

**В.М. КОНСТАНТИНОВ**, д-р техн. наук (БНТУ),  
**К.Б. СОРОКИН**,  
**В.А. АНАЦКО** (РДУПП «Конус»)

## **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КЛАССИФИКАТОРА ДЕФЕКТОВ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Долгосрочное использование стальных изделий в определенной степени зависит от возможности предотвратить коррозию, что позволяет продлить срок их службы. Одним из эффективных методов защиты конструкционной стали от коррозии является горячее цинкование, при котором сталь покрывается тонким слоем цинка путем окунания изделия в цинковый расплав. Защитное цинковое покрытие обеспечивает долговременную защиту стальных конструкций, как правило, без дальнейшей обработки (до 50-ти лет). В настоящее время на территории Республики Беларусь услуги по нанесению цинкового покрытия методом горячего цинкования оказывают два предприятия: ГП «Конус» и ОАО «Речицкий метизный завод».

Завод «Конус» осуществляет горячее цинкование изделий на современном оборудовании итальянской фирмы «Gimesco» с 2012 г., при этом постоянно происходит совершенствование производственных и технологических процессов с использованием собственного и зарубежного современного опыта технологии горячего

цинкования металлоконструкций. Цинкование производится в соответствии со стандартами ГОСТ 9.307-89 и СТБ ISO 1461-2009. Строгое соблюдение данных стандартов, а также применяемые технологии для цинкового расплава и предподготовки металлоконструкций позволяет получать конкурентоспособное цинковое покрытие.

Объемы производства изделий с применением технологии горячего цинкования ежегодно возрастают (рисунок 1), при этом немаловажную роль играет качество изделий. Следует отметить, что ГП «Конус» осуществляет цинкование изделий, как для нужд отечественных предприятий, так и для зарубежных (Россия, Латвия, Украина) (рисунок 2). С растущими объемами увеличивается количество вопросов со стороны заказчиков, связанных с дефектами и качеством горячеоцинкованного покрытия.

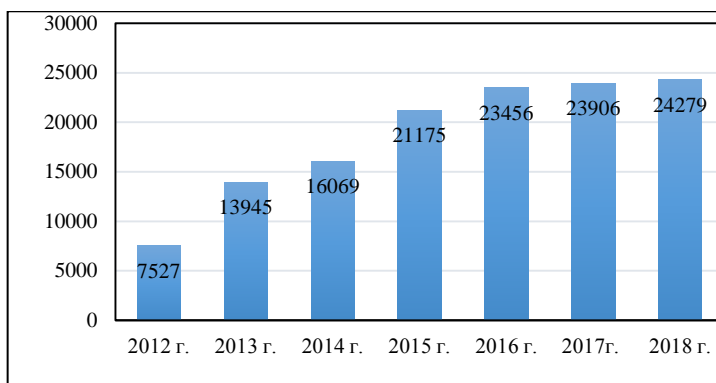


Рисунок 1 – Объем производства оцинкованных изделий ГП «Конус», т

В связи с этим возникла необходимость создания классификатора дефектов горячеоцинкованного покрытия, которая обусловлена повышением качества оцинкованной продукции и ее конкурентоспособности на рынке, а также формированием научно обоснованных требований к качеству горячеоцинкованного покрытия для стальных металлоконструкций [1–3].

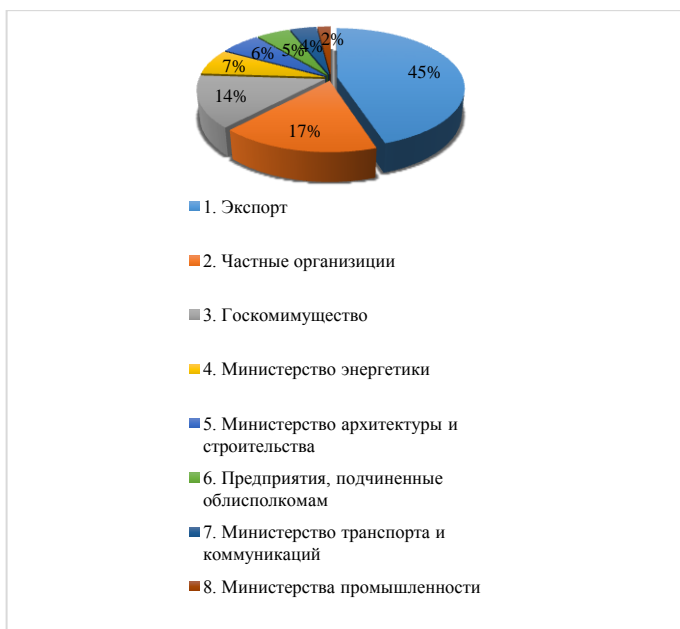


Рисунок 2 – Структура оказываемых услуг в 2019 г. ГП «Конус»

Описание и различные рекомендации по устранению дефектов цинкового покрытия можно встретить в различных научно-технических источниках, но подобная информация, к сожалению, зачастую носит бессистемный характер и не является полной. В связи с этим является актуальной разработка классификатора дефектов горячеоцинкованного покрытия. Однако, простого механического перечисления дефектов недостаточно. Накопленный опыт свидетельствует, что систематизация дефектов горячеоцинкованного покрытия должна сопровождаться технологическим анализом причин возникновения дефекта и рекомендациями по возможному устранению описываемого дефекта.

В настоящее время в условиях ГП «Конус» заканчивается разработка классификатора дефектов горячеоцинкованного покрытия. Под дефектом в анализируемой ситуации понимают каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Основными классификационными признаками этих дефектов предложено считать следующие (рисунок 3):

### 1. Степень значимости дефекта:

а) критический дефект – это дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо;

б) значительный дефект – это дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность, но не является критическим;

в) малозначительный дефект – это дефект, который существенно не влияет на использование продукции по назначению и ее долговечность.

### 2. Причина возникновения дефекта:

а) дефекты, обусловленные химическим составом цинкуемой стали, т.е. дефекты, возникающие в основном от различного содержания в сталях кремния (Si, %) и фосфора (P, %), при условии, что сама сталь пригодна к процессу горячего цинкования [4, 5];

б) дефекты, образующиеся от неправильной подготовки металлоконструкций перед горячим цинкованием, т.е. дефекты, возникающие при неправильном проектировании и подготовки металлоконструкций вследствие несоблюдения требований подготовки изделий к процессу горячего цинкования в соответствии с ГОСТ 9.307–89 и СТБ ISO 1461–2009;

в) дефекты, образующиеся от некачественной предобработки стали перед оцинкованием на ГП «Конус» – дефекты, вызванные нарушением технологического процесса на предприятии.

### 3) Место расположения дефекта:

а) наружный дефект – дефект, находящийся на наружной (внешней) стороне изделия (выявляется простым осмотром горячеоцинкованного изделия);

б) внутренний дефект – дефект, находящийся на внутренней стороне изделия, например, внутренние полости труб, профилей и т.д., в большинстве случаев данный вид дефектов не обнаруживается в связи с невозможностью провести осмотр внутренних поверхностей изделия.

### 4) Возможность исправления дефекта:

а) устранимый дефект – дефект, устранение которого технически возможно и экономически целесообразно;

б) неустраняемый дефект – дефект, устранение которого технически невозможно и экономически нецелесообразно.



Рисунок 3 – Систематизация дефектов горячего цинкования (опыт ГП «Конус»)

К настоящему времени выделено 16 основных групп дефектов стальных горячеоцинкованных изделий (таблица). Можно отметить, что этот перечень далее будет расширяться. По каждому дефекту предполагается выполнение детального анализа причин возникновения и разработка технологических рекомендаций по устранению.

Таблица – Классификатор дефектов стальных горячеоцинкованных изделий

Дефект	Классификационные признаки дефектов									
	по степени значимости			по причинам возникновения			по месту расположения		по возможности исправления	
	Критический	Значительный	Малозначительный	От хим. состава стали	От неправильной подготовки м/к	От неправильной пред-обработки на ГП «конус»	Наружный	Внутренний	Устранимый	Не устранимый
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Безупречное горячеоцинкованное покрытие				+			+	+		
Тусклое, серое, пятнистое покрытие				+			+	+		
Грубое покрытие, обусловленное исходной поверхностью стали			+	+			+	+		+
Грубое покрытие, обусловленное химическим составом стали			+	+			+	+		+
Брызги металла в зоне сварного шва			+		+		+		+	
Изгарь на поверхности цинкового покрытия			+		+	+	+	+	+	
Сварка реактивных и неактивных сталей			+	+			+	+		+
Травильные и флюсовые выделения			+		+		+	+	+	
Запльвишие цинком отверстия			+		+	+	+	+		
Непроцинковка изделия в зоне сварного шва		+			+		+		+	
Непроцинковка, вызванная загрязнениями поверхности		+			+	+	+	+	+	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Оксидные линии			+			+	+			+
Крупинки или пузырьки гартцинка			+			+	+	+	+	
Непроцинковка, вызванная неправильным конструированием металлоконструкции для нанесения горячеоцинкованного покрытия		+			+		+	+		+
Образование трещин	+			+	+		+	+		+
Заплывшая цинком резьба		+		+			+		+	
Приливы и комки цинка на сопрягаемых поверхностях конструкции		+			+	+	+	+		+
Белая ржавчина		+					+	+		+
Коробление металлоконструкции		+			+		+	+		+
Дефекты от соприкосновения деталей с элементами подвески			+		+		+		+	
Наплывы и капли цинка			+		+	+	+		+	

Ниже представлен пример подобной детализации для одного из дефектов. В качестве примера рассмотрена сварка реактивных и неактивных сталей, которая приводит к разной толщине цинкового покрытия на разных элементах металлоконструкции. На рисунке 4 с левой стороны показан элемент изделия с более толстым покрытием, полученным на реактивной стали, с правой – гладкое блестящее покрытие, образованное на неактивной стали.

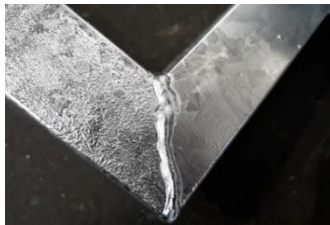


Рисунок 4 – Горячеоцинкованный сварной шов реактивных и неактивных строительных сталей

Основной причиной возникновения этого дефекта является использование во время изготовления металлоконструкции сталей разных марок (с различным химическим составом). Различие в толщине покрытия обусловлено более высоким содержанием кремния и/или фосфора в реактивной стали, что приводит к более толстому горячеоцинкованному покрытию, при этом в неактивных сталях, раскисленных алюминием, бывает сложно получить толщину покрытия, требуемую заказчиком [4, 5]. Попытки увеличить толщину покрытия на менее реактивной стали может привести к образованию толстого, хрупкого, склонного к отслаиванию покрытия на более реактивной стали. Во избежание данного дефекта необходимо выбирать сталь близкого химического состава для изготовления конструкции.

Таким образом, представленный классификатор дефектов является для технолога справочным материалом, который позволяет четко определять дефекты и разрабатывать рекомендации по их устранению (если это возможно) и недопущению в технологическом процессе. Это позволяет снизить затраты на анализ причин брака и в целом повысить конкурентоспособность горячеоцинкованной стальной продукции. Информация такого рода будет полезна не только предприятиям, осуществляющим технологию горячего цинкования изделий, но и заказчикам горячеоцинкованной продукции.

### Список литературы

**1. Некоторые пути** повышения эксплуатационных свойств защитных слоев при цинковании в расплавах / В.М. Константинов [и др.] // Литейное производство и металлургия 2018 Беларусь: Тр. 26-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17, 18 октября 2018 г. / БНТУ. – Минск, 2018. – С. 137–141.

**2. Константинов, В.М.** Исследование состава продуктов коррозии цинковых покрытий в условиях атмосферной коррозии / В.М. Константинов, И.А. Булойчик // Металлургия : Республ. межвед. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38. – С. 112–118.

**3. Константинов, В.М.** Исследование свойств горячеоцинковых покрытий, сформированных с использованием ванн, дополнительно легированных оловом / В.М. Константинов, А.А. Конон, И.А. Бу-



лойчик // *Металлургия* : Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2018. – Вып. 39. – С. 124–133.

4. **Бондарева О.С.** Структура и свойства горячих цинковых покрытий на сталях с различным содержанием кремния: маг. дис.: 05.16.09 / О.С. Бондарева. – Самара, 2017. – 192 с.

5. **Конон А.А.** Исследование процесса нанесения и качества цинковых покрытий, полученных методом горячего цинкования в условиях ГП «Конус»: маг. дис.: 1-42 80 01 / А.А. Конон. – Минск, 2013. – 65 с.

*УДК 621.785.53*

**Г.А. ТКАЧЕНКО**, канд. техн. наук,  
**А.В. КОВАЛЬЧУК**,  
**Н.А. ВЕРЕЩАК**,  
**Е.К. ПАЦЕКО** (БНТУ)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРЕВА ПРИ АЗОТИРОВАНИИ ЛЕГИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ**

**Введение.** Широко используемые процессы химико-термической обработки металлов и сплавов, основанные на однократном нагреве и охлаждении являются наиболее распространенными и отработанными в промышленном производстве, однако зачастую не обеспечивают требуемые окончательные свойства сплавов. Недостатком стационарных процессов является их ограниченное влияние на микро- и субструктуру сплава, а, следовательно, на комплекс эксплуатационных свойств готового изделия. Термоциклирование может быть применено для железоуглеродистых сплавов и осуществляться в температурном диапазоне без полиморфных превращений, что соответствует традиционным температурам азотирования сталей. Температурный градиент, получаемый в процессе термоциклирования, создает значительные растягивающие растяжения, способствующие интенсификации процессов диффузии и, следовательно, скорости формирования и роста диффузионного слоя.