

## ОТЗЫВ

### на автореферат кандидатской диссертации О.С. Бондаревой «Структура и свойства горячих цинковых покрытий на сталях с различным содержанием кремния»

Защитные горячие цинковые покрытия, получаемые на стальных изделиях методом погружения их в расплав цинка, нашли широкое применение в промышленности благодаря высокой производительности процесса, возможности применения для широкого круга изделий, сравнительно низкой стоимости и долгому сроку службы получаемых покрытий. Но на производстве не всегда удается обеспечить качество цинкового покрытия на сталях с различным содержанием кремния, что обуславливает актуальность диссертации О.С. Бондаревой.

К наиболее важным результатам диссертационного исследования следует отнести следующие. Определены и описаны основные закономерности влияния температуры на толщину цинкового покрытия на сталях с различным содержанием кремния. Показано, что на сталях с содержанием кремния до 0,227% во всем изученном интервале температур и времени изотермической выдержки 4 минуты образуются покрытия постоянной толщины не более 100 мкм. На Ст3сп (Si=0,085%, относящейся к «санделиновой») образуются покрытия неравномерной толщины от 40 до 180 мкм, степень разнотолщинности которых увеличивается с ростом температуры цинкования. На стали 09Г2С с содержанием кремния 0,767% толщина покрытия резко увеличивается с ростом температуры и достигает 200 мкм при 468°C.

Для изделий с низким содержанием кремния (Ст235 Si=0,005%) требуемая толщина покрытия 80-100 мкм достигается при  $T=450^{\circ}\text{C}$  в течение 4-8 минут и далее растет не значительно. На стали Ст3 (Si=0,22%) и 09Г2С (Si=0,51%) требуемая толщина достигается при выдержке не более 2 минут.

Показано влияние кремния на формирование ультрадисперсных структурных составляющих покрытия. Установлено, что в системе Fe-Zn-Si в результате эвтектических реакций распада жидкости образуются частицы FeSi, которые участвуют в растворении фаз  $\Gamma$  и  $\delta$ . Поэтому при содержании кремния около 0,1% (санделиновые стали) и 0,6-1% (высококремнистые стали) возникает прямой контакт расплава и стальной основы, что сопровождается интенсивным образованием  $\zeta$ -фазы, вызывающим быстрый рост толщины покрытия.

Выявлена неоднородность распределения Al, Ni и Si в различных фазах цинкового покрытия. Показано, что в результате встраивания никеля в  $\zeta$ -фазу образуется интерметаллид (Fe,Ni)Zn<sub>13</sub>, кроме того Ni образует четырехкомпонентное соединение Fe-Zn-Ni-Si, которое замедляет рост всего покрытия. Атомы алюминия замещают атомы кремния на поверхности детали, образуют соединения Fe<sub>3</sub>Al и FeAl и частично блокируют влияние кремния на рост покрытия.

Определены основные причины образования дефектов цинкового покрытия и предложены рекомендации по их устранению. Обоснованы рациональные технологические

режимы горячего цинкования для профилей и метизов из сталей с различным содержанием кремния.

По содержанию автореферата возникли следующие замечания.

1. На странице 12 отмечается, что в фазе  $\delta$  цинкового покрытия обнаружены усадочные трещины шириной от 350-500 нм (на Ст3) до 0,5-2 мкм (на 09Г2С) (рис. 2). Наличие трещин в покрытии является его дефектом, однако наличие таких усадочных трещин в автореферате не уделяется внимание. Не понятно, они есть всегда в цинковом покрытии, или их нет.
2. На странице 13 пишется, что в структуре краевой зоны  $\zeta$ -фазы обнаружены нанопоры размерами 100-250 нм. Но обычно к наноразмерным относят объекты с размером от 1 до 100 нм, поэтому обнаруженные поры более точно надо было назвать ультрадисперсными.
3. На странице 16 отмечается образование четырехкомпонентного соединения Fe-Zn-Ni-Si, которое не идентифицировано в качестве какой-то фазы.

Однако эти замечания не имеют существенного значения. В целом работа выполнена на высоком научном уровне с привлечением современной техники экспериментальных исследований. Учитывая актуальность выполненных исследований, имеющуюся научную новизну и практическую значимость результатов, считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор О.С. Бондарева, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 -Материаловедение (машиностроение).

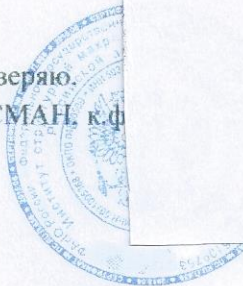
Зав. лабораторией жидкофазных СВС-процессов  
и литых материалов ФГБУН «Институт структурной  
макрокинетики и проблем материаловедения»,  
доктор технических наук, профессор

Телефон 8 (496-52) 46-396. E-mail: yukh

142432, Московская обл., г. Черноголов

Подпись В.И. Юхвида удостоверяю.  
Ученый секретарь ФГБУН ИСМАН, к.ф.н.

15.05.2017



*ow*

Юхвид Владимир  
Исаакович

Дсипьяна, д. 8.

О.К. Камынина