

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу  
Душиной Алены Юрьевны «Послойная плазменная наплавка сталей  
аустенитного класса типа 308LSi для аддитивного производства»,  
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности  
2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии

### 1. Актуальность темы диссертации

Технологии аддитивного формирования изделий в последние десятилетия получили ускоренное развитие. Среди различных способов послойного формирования изделий широко распространён метод наплавки проволокой. Одной из проблемных особенностей аддитивного получения изделий методом послойной наплавки является неоднородность и анизотропия механических характеристик.

Диссертационная работа Душиной А.Ю., связанная с повышением однородности механических и эксплуатационных свойств изделий из аустенитных сталей при послойной плазменной наплавке посредством технологических воздействий, является *актуальной* для науки и практики.

### 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Анализ содержания работы

В первом разделе диссертации проведен критический анализ научно-технической литературы (список литературы содержит 141 наименование) по проблемам, возникающим при послойной плазменной наплавке. Рассмотрены технологии аддитивного формирования изделий с использованием концентрированных источников энергии, а также приемы, позволяющие получать дисперсную структуру. Основное внимание уделено кристаллизации сталей аустенитного класса, особенностям образования феррита, влиянию структуры на механические свойства и коррозионную стойкость изделий. В

этом же разделе автор обосновывает методики проведения диссертационного исследования, выбор оборудования и требуемые характеристики материала.

На основании анализа источников А.Ю Душина *заключила*, о возможности и целесообразности повышения механических и эксплуатационных характеристик изделий, полученных методом послойной плазменной наплавки из сталей аустенитного класса, за счет изменения режимов и внешних технологических воздействий. Автором определены перспективные направления совершенствования действующих технологий. С учетом этого *обоснованно* сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Второй раздел посвящен исследованию влияния термического цикла наплавки на процессы кристаллизации слоя из стали аустенитного класса. Автором выбраны схема, граничные условия, проведены расчеты распространения теплоты, с учетом особенностей её передачи в изделие при двух исследуемых способах плазменной наплавки. Для оценки влияния термического цикла на структуру предложен количественный критерий – градиент температур по фронту кристаллизации. Установлено пороговое значение градиента температур, при котором происходит смена механизма кристаллизации. Особый *интерес и новизну* имеют данные, показывающие, что применение более концентрированных источников тепла при послойной плазменной наплавке способствует уменьшению степени транскристаллитного роста зерен, повышению дисперсности и однородности структуры по высоте наплавленных слоев.

Третий раздел А.Ю Душина посвятила экспериментальным исследованиям влияния модуляции частоты тока на формирование структуры и свойств при плазменной наплавке. На основании комплекса проведенных исследований автор *заключила*, что применение модуляции тока при послойной плазменной наплавке сталей аустенитного класса приводит к частичному подавлению транскристаллизации наплавленного металла. Были определены частоты при наплавке с модуляцией тока, обеспечивающие стабильные геометрические характеристики наплаваемых слоев ( $>5$  кГц), высокую однородность и твердость наплавленного слоя (15 кГц).

Четвертый раздел посвящен исследованию влияния послойной проковки на микроструктуру, фазовый состав и свойства заготовок при плазменной наплавке плавящимся электродом. Показано, что применение послойной холодной проковки при плазменной наплавке плавящимся электродом



позволяет устранить транскристаллизацию наплавленного металла, приводит к повышению дисперсности структуры и увеличению микротвердости в среднем на 50 HV. Выводы и рекомендации обоснованы результатами исследований.

Пятый раздел содержит исследования механических и коррозионных свойств наплавленного металла. Применение модуляции тока дуги плазменной наплавке приводит к снижению анизотропии прочностных характеристик (Бв, Бт). Наибольшую коррозионную стойкость имеет металл, полученный при послойной плазменной наплавке с модуляцией тока с частотой 5 кГц. Применение послойной холодной проковки приводит к значительному повышению прочностных характеристик, способствует снижению их анизотропии, замедляет скорость и меняет характер коррозионного разрушения.

Таким образом, *А.Ю Душиной* доказано, что механические и коррозионные свойства заготовок, аддитивно выращенных методами послойной плазменной наплавки из стали аустенитного класса, превосходят характеристики изделий, получаемых традиционными методами. *Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций в диссертации не вызывает сомнения*, они являются прямым следствием расчетных моделей, подтвержденных лабораторными исследованиями.

### 3. Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа изложена на 148 страницах текста, состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов по работе, списка литературы из 141 наименования, 1 приложения. Работа содержит 84 рисунка и 31 таблицу. Следует отметить хорошее оформление работы.

Анализируя тексты диссертации, автореферата и сопоставляя их с работами соискателя, опубликованными по теме диссертации, можно заключить, что *общие выводы и положения, сформулированные диссертантом, правомерны, логичны и вытекают из полученных экспериментальных данных*. Все основные результаты, отраженные в диссертации, опубликованы автором в периодической (рецензируемой) печати и материалах конференций. Содержание автореферата в полной мере соответствует основному содержанию диссертации.

#### **4. Новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Диссертационная работа А.Ю Душиной обладает новизной:

в части исследования механизма кристаллизации найдено пороговое значение градиента температур по фронту кристаллизации (более  $550^{\circ}\text{C}/\text{мм}$ ), при котором происходит его изменение, особо значимое для послойной плазменной наплавки сталей исследуемого класса;

в части устранения анизотропии механических свойств и снижения транскристаллизации выявлено влияние термического цикла плазменного нагрева, модуляции тока дуги, послойной холодной пластической деформации;

в части повышения коррозионной стойкости исследуемых материалов установлено, что она напрямую зависит от механизма кристаллизации и объемной доли металла, кристаллизующегося по аустенито-ферритному механизму. Доказано, чем меньше объемная доля металла, кристаллизующегося по аустенито-ферритному механизму, тем выше коррозионная стойкость.

Таким образом, *все положения и выводы, представленные в работе, являются новыми, достоверными*, заслуживающими внимания, как с научной, так и с практической точек зрения. *Достоверность научных результатов*, полученных в работе, обеспечена корректным выбором современных методов исследования, согласованностью базовых положений диссертации с концепциями материаловедения и теории процессов сварки, а также подтверждением расчетных данных в лабораторных экспериментах.

#### **5. Значимость результатов диссертации для науки и практики**

*В научном плане* А.Ю Душина в диссертационной работе расширила представления о процессах кристаллизации сталей аустенитного класса с пороговым ферритным числом FN 8 при послойной плазменной наплавке и плазменной наплавке плавящимся электродом.

Применение А.Ю Душиной обобщенной функции желательности правомерно и может быть распространено на другие процессы и группы сталей.

*В практическом плане* показано повышение механических свойств сталей аустенитного класса при послойной плазменной наплавке посредством



модуляции тока, а также за счет холодной пластической деформации при плазменной наплавке плавящимся электродом.

Концептуальные подходы исследований применены на АО «Пермский завод «Машиностроитель» при наплавке опытных заготовок из хромоникелевой стали детали проточной части перспективного авиационного двигателя.

По результатам исследований опубликовано 15 печатных работ (по данным *elibrary.ru*) в автореферате указано 6 статей (одна из которых переводная), в том числе 3 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, 4 – в иностранных журналах, индексируемых в базах данных *Scopus* и *Web of Science*.

## 6. Замечания

1. На рис 2.7 показано расчетное распределение градиента температур и изотермы при наплавке. Однако, реальные валики имеют усиление шва и исследуемые точки, судя по рис 2.1,в, 2.2 б,в частично находятся в этом усилении. Насколько значимо влияние усиления шва на градиент температур по его высоте и как это повлияет на механизм кристаллизации?

2. Насколько адекватно расчетная модель описывает распределение теплоты в реальной пластине? Судя по данным расчёта (рис.2.8) и фотографиям поперечных сечений валиков (рис. 2.1 и 3.3 а) различия есть.

3. Как произведена идентификация (см. таблицы 2.6, 3.11, 4.5)  $\delta$ -феррита и карбидной фазы (при отсутствии полного набора линий, их малой интенсивности, наложении на интерференционные пики аустенита)? Как в этих условиях проводилась количественная оценка содержания  $\delta$ -феррита и карбидной фазы (таблицы 3.11, 4.5) ?

4. Вывод 3 по главе 4 требует дополнительной аргументации. На стр.111 сказано: «применение ... холодной проковки при наплавке ... приводит к повышению микротвердости ... за счет измельчения микроструктуры и увеличения карбидных частиц». Однако, данных по изменению размеров карбидов в диссертации не представлено.

5. Как проведенные исследования коррозионных (в т.ч. испытания в соляной кислоте) и механических свойств (глава 5) связаны с

эксплуатационными свойствами с детали проточной части авиационного двигателя (Приложение А, стр 148)?

6. Ряд замечаний связан с ошибками структурного, терминологического и редакционного характера.

- Дословное повторение целей и задач диссертационной работы стр.6...7 (Введение) и стр.26 (Глава 1), считаю нецелесообразным. Имеются и другие повторения. Таблицы 1.4 и 2.5 полностью одинаковы. Дублирование текста при описании методик исследования (напр. стр.30 последние 2 абзаца и стр.56 первые два абзаца; стр.31 третий абзац и стр.112 третий абзац и др.) излишне, достаточно одного раза.
- Фактически в работе сравниваются два способа плазменной наплавки, отличающиеся по способу подачи проволоки и количеству дуг. Один способ автор называет «плазменной наплавкой», второй «плазма-МИГ» наплавкой - это некорректно, т.к. оба способа входят в понятие плазменная наплавка.
- Химические формулы карбидов следовало бы писать в принятом виде  $Cr_{23}C_6$  вместо « $C_6Cr_{23}$ ». Карбидов марганца « $C_6Mn_{23}$ » (стр.57) в данной стали образоваться не может. Это, вероятно, опечатка.
- Термин «площадь кристаллитов» (стр.67 и далее) не удачен, т.к. речь идет о площади их сечения плоскостью шлифа и т.д.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы, научную и практическую значимость результатов, полученных автором.

### **Заключение**

По объему, актуальности исследований, новизне результатов, их достоверности, научной и практической значимости диссертация А.Ю Душиной является законченной научно-квалификационной работой. Она содержит новые научно-обоснованные технические и технологические решения развития аддитивного производства деталей из стали аустенитного класса, посредством послойной плазменной наплавки. Внедрение изложенных решений вносит значительный вклад в развитие страны.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени



кандидата наук, а ее автор Душина Алена Юрьевна заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, доцент (специальность 05.02.01 – Материаловедение в машиностроении), заведующий кафедрой металлургических технологий Нижнетагильского технологического института (филиала) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Шевченко Олег Игоревич

16.03.23

Выражаю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Душиной Алены Юрьевны и их дальнейшую обработку.

Подпись О.И.Шевченко удостоверяю:



ЕД УДИОВ  
А.А.А.

Нижнетагильский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

622031 г. Нижний Тагил, Свердловская область, ул. Красногвардейская, д.59.

Телефон: +7(3435)256500,

E-mail: oleg.shevchenko@urfu.ru shevchenko\_oleg@mail.ru