



04.10.20 № 1477/ИЧЛСТ

На №

ОТЗЫВ

на диссертационную работу **Хомича Юрия Владиславовича** на тему
**«Исследование термической обработки поверхностей металлов и
керамик наносекундными импульсами лазерного ультрафиолетового
излучения для диффузионной сварки»**, представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1
(05.16.01) – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

В настоящее время диффузионная сварка является одним из важнейших способов соединения разнородных материалов (металлов и неметаллов) в таких высокотехнологичных отраслях, как авиационная и космическая промышленности, атомная энергетика и др. Она широко используется при изготовлении прецизионных узлов.

На всем протяжении развития технологии диффузионной сварки уделялось особое внимание поискам методов интенсификации образования твердофазного соединения. Это делалось с целью снижения термодиформационного воздействия на свариваемые материалы, расширения их номенклатуры и сокращения технологического цикла сварки.

В диссертационной работе Ю. В. Хомича была поставлена актуальная задача интенсификации образования твердофазного соединения за счет

предварительной поверхностной термообработки свариваемых поверхностей с помощью лазера.

Повышение прочности соединения при диффузионной сварке возможно за счёт формирования на свариваемых поверхностях упорядоченных, микронных и субмикронных структур с заданными параметрами геометрии и направленно изменяющихся физико-химические свойства поверхности.

Обработка поверхности металла лазерным излучением позволяет получить такие преимущества, как увеличение площади контакта, закаливание и повышение износостойкости материала, снижение температуры и давления диффузионной сварки, очистка исходной поверхности от примесей и загрязнений, увеличение прочности и устойчивости сварного шва к окислению.

В главе 1 кратко рассмотрены общие сведения о современных особенностях процесса диффузионной сварки. Проведено сравнение различных методов подготовки свариваемых поверхностей, таких как механическая обработка, нанесение поверхностного наноструктурированного слоя, отжиг, использование промежуточного металлического слоя. Рассмотрено влияние таких факторов, как температура, давление, время сварки и эффекта низкотемпературной сверхпластичности.

Обзор методов лазерной модификации поверхности показал, что наиболее простым и доступным является метод прямого лазерного наноструктурирования с использованием лазеров, генерирующих излучение в наносекундном диапазоне длительностей.

В главе 2 рассмотрены результаты теоретической оценки процессов лазерной термообработки материалов с целью модификации поверхности для последующей диффузионной сварки. Обоснован выбор лазерного источника и его параметров, представлены описание экспериментальной установки и методики исследования.

Показано, что для термической обработки поверхности различных материалов перед сваркой подходят импульсно-периодические

наносекундные лазеры, генерирующие ВУФ и УФ излучение, примененные в работе.

В главе 3 экспериментально исследованы процессы термической обработки поверхностей жаропрочного сплава на никелевой основе марки ЧС 57 (ХН55МВЦ), сталей марок 09Х17Н, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т и Cu-Cr бронзы в режимах неподвижного и сканирующего пятна наносекундными лазерными импульсами. Был использован метод прямого лазерного наноструктурирования с применением наносекундного твердотельного Nd:YAG лазера с длиной волны 355 нм.

Показано, что возникновение микронных, субмикронных и наноструктур структур на поверхности этих материалов возможно при энергиях лазерного излучения 0,5-5 Дж/см², при количестве импульсов равном от 100 до 500 в зависимости от материала. Обнаружены не наблюдавшиеся ранее квазиупорядоченные шарообразные структуры.

В главе 4 изложены экспериментальные результаты исследования влияния предварительной термической обработки поверхностей заготовок на качество и механические свойства шва диффузионно-сварного соединения металлов и сплавов.

Например, при соединении ЧС57 – ЧС57 наблюдалось увеличение предела прочности на 12 % и относительного удлинения на 21 % у деталей с лазерной обработкой при температуре диффузионной сварки 1160 °С. Подобные результаты наблюдались и на других исследовавшихся материалах.

В главе 5 изложены экспериментальные результаты исследования влияния термической обработки поверхности керамических образцов из нитрида кремния и использования прослойки из перфорированной лазером медной фольги на механические свойства диффузионно-сварного соединения «керамика-медь-керамика».

Теоретически обоснованы и экспериментально продемонстрированы перспективы использования наносекундных УФ лазеров для локального нагрева при создании перфорированных микроотверстий, как в

металлических прокладках, так и в поверхностях керамических заготовок для улучшения процесса диффузионной сварки керамических материалов с применением металлических прокладок.

Установлено, что использование перфорированных медных прокладок толщиной 100 мкм с микроотверстиями диаметром 30 мкм и периодом в 125 мкм, а также дополнительное нанесение лазером углублений на свариваемых поверхностях керамики Si_3N_4 позволило интенсифицировать пластическую деформацию перфорированной прокладки. Это существенно повлияло на кинетику образования сварного соединения и сделало распределение деформации по поверхности соединения существенно более равномерным по сравнению со сплошной прослойкой.

В ходе выполнения диссертационной работы автором получены многочисленные новые и важные экспериментальные результаты, представляющие несомненный интерес с научной и прикладной точки зрения:

1. Разработаны научные основы метода лазерной обработки поверхности ряда коррозионностойких, в т. ч. жаропрочных, сталей и сплавов, включая выбор лазерного источника и оптимизацию режимов лазерной термической обработки, обеспечивающих оптимальное качество поверхности перед проведением диффузионной сварки.

2. Экспериментально показано, что предварительная термическая обработка сканирующим пучком наносекундного лазера с длиной волны $\lambda = 355$ нм при плотностях энергии излучения в диапазоне $2 \div 3$ Дж/см² и скорости сканирования луча 1 мм/с поверхности образцов, изготовленных из жаропрочного сплава на никелевой основе ЧС 57, приводит к улучшению механических свойств сварных соединений: увеличению прочности на растяжение и деформации растяжения более чем на 10 и 20 %, соответственно, по сравнению с необработанными образцами – при оптимальной температуре (1160 °С) диффузионной сварки в условиях горячего изостатического прессования.

3. Установлено, что предварительная лазерная термическая обработка поверхности образцов, изготовленных из жаропрочного сплава на никелевой основе ЧС 57, при пониженной температуре сварки в 1000 °С приводит к увеличению прочности на растяжение до 30 % и деформации растяжения до 150 % по сравнению с необработанными образцами, что позволяет снизить температуру процесса горячего изостатического прессования на ≈ 160 °С при сохранении механических характеристик сварного соединения.

4. Впервые экспериментально обнаружены и исследованы не наблюдавшиеся ранее квазиупорядоченные структуры шарообразной формы диаметром ≈ 500 нм, расположенные на ножках высотой ≈ 1 мкм на поверхности Cu-Cr бронзы при её облучении сканирующим пучком Nd:YAG лазера с длиной волны излучения $\lambda = 355$ нм в диапазонах плотностей энергии излучения $0,1 \div 2$ Дж/см² и скоростей сканирования $0,5 \div 1$ мм/с. Установлено, что при скорости сканирования луча 1 мм/с плотность распределения шарообразных структур по поверхности составляет около 20 структур на 100 мкм², а при скорости сканирования до 0,5 мм/с их количество на единицу поверхности увеличивается приблизительно в два раза.

5. Перфорация микроотверстий в металлических прокладках и термообработка поверхности керамических заготовок с применением наносекундного Nd:YAG лазера перед осуществлением диффузионной сварки позволили повысить прочность сварных соединений из керамики Si₃N₄ с применением перфорированной лазером медной прокладки в 1,45 раза при одновременном увеличении значений относительного удлинения до 50 % по сравнению с применением сплошной прокладки.

Достоверность полученных результатов базируется на использовании диссертантом экспериментальных средств и технологических методов, адекватных изучаемым объектам, а также, по ряду исследований, на соответствии результатов диссертации данным других исследовательских групп, представленных в научной периодике.

Практическая значимость работы выражается в том, что эксперименты проводились в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации, поэтому полученные результаты могут быть уже использованы при разработке реальных конструкций.

Результаты, полученные в диссертационной работе, были подтверждены рядом публикаций в ведущих научных журналах из списка ВАК и тремя патентами на изобретение. Они использованы в ФГБУН Институте электрофизики и электроэнергетики РАН, АО «Научно-исследовательском и конструкторском институте энерготехники имени Н.А. Доллежала», ФГАОУ ВО «Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева», а также в АО «Российские космические системы». Созданные экспериментальные установки и разработанные методики применены для совершенствования технологий лазерной обработки керамических изделий и металлических заготовок под диффузионную сварку.

Предложения по практическому внедрению результатов работы. Помимо выше названных предприятий, полученные данные могут быть внедрены на предприятиях Роскосмоса и Росатома, а также других предприятиях, где используется диффузионная сварка.

Необходимо отметить ряд замечаний по диссертационной работе:

1. В тексте диссертации очень часто употребляется термин «термическая обработка поверхности». Возможно, если было бы применено сокращение «ТОП», то текст был бы несколько компактнее.
2. В работе часто применяется термин «лазерное сверление». На мой взгляд, это неудачный дословный перевод английского термина «laser drilling». Считаю, что было бы уместней употреблять: «лазерная прошивка отверстий».
3. Недостаточно подробно изложены данные о применении деталей после диффузионной сварки с применением лазерной подготовки поверхностей.

Указанные недостатки не носят принципиального характера и, естественно, не снижают ценности диссертации, а её автор продемонстрировал понимание сущности стоящих на пути проведенного исследования проблем, хорошее знание техники эксперимента. Результаты работы однозначно представляют определенный прикладной интерес, её характер отвечает основным пунктам положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Хомич Юрий Владиславович, **заслуживает** присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 (05.16.01) – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Заместитель главного технолога

– начальник научно-исследовательской
лаборатории сварочных технологий АО «Раменское
приборостроительное конструкторское бюро»,
доктор технических наук,
Лауреат Государственной премии РФ,
Лауреат премии Правительства РФ



Люшинский А.В.

Почтовый адрес: 140103 г. Раменское Московской области, ул. Гурьева, 2
Телефон: +7(916)330-23-90
эл. Почта: nilsvarka@yandex.ru

11.10.21



С П Е Ц И А Л И С Т
П О П Е Р С О Н А Л У
СУРАВЕЧКОВА Н.Ф.

Шинкева А.В.