

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертационной работе Высоцкого Игоря Васильевича «Разработка научных основ оптимизации процесса сварки трением с перемешиванием алюминиевого сплава АД33», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01-Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Высоцкий Игорь Васильевич окончил аспирантуру при ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ БелГУ) в 2018 году по специальности «Нанотехнологии и наноматериалы». С 2014 года он работает в лаборатории «Механические свойства наноструктурных и жаропрочных материалов» при НИУ БелГУ в должности инженера.

В процессе обучения в аспирантуре и в ходе своей трудовой деятельности Высоцкий И.В. занимался изучением микроструктурных аспектов сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов. При проведении этих исследований он успешно освоил методы микроструктурного анализа и механических испытаний. Кроме владения техническими навыками, Высоцкий И.В. также способен к анализу экспериментальных данных, что позволяет ему оформлять их в виде научных публикаций. В настоящее время он является соавтором 22 научных работ, опубликованных в рецензируемых журналах, которые индексируются базой данных Scopus. Девять из этих статей входят в первый квартиль согласно рейтингу Scimago Journal Rank. Также Высоцкий И.В. является автором пяти патентов, а его научные результаты были представлены на шести международных конференциях.

На основании вышеизложенного, я считаю, что диссертант вполне сформировался как квалифицированный научный работник в области материаловедения, который способен к самостоятельной исследовательской деятельности.

Диссертационная работа Высоцкого И.В. является итогом его многолетней работы по изучению особенностей структурообразования в ходе сварки трением с перемешиванием (СТП) термически упрочняемых алюминиевых сплавов. СТП представляет собой инновационную технологию получения сварных соединений в твердом виде, т.е. без перевода свариваемых материалов в расплав. Это позволяет избежать образования нежелательной литой структуры и сопутствующих ей разнообразных дефектов в зоне сварного шва. Более того, вследствие специфических особенностей процесса СТП, свариваемый материал подвергается большим пластическим деформациям при повышенной температуре, что обычно ведет к формированию в нем мелкозернистой рекристаллизованной микроструктуры. Соответственно, эта технология позволяет получать высококачественные сварные соединения даже в материалах, которые ранее считались непригодными для сваривания (в частности, авиационных алюминиевых сплавах). Как следствие, данная технология имеет огромный практический потенциал, и поэтому активно внедряется в

производство таким признанными лидерами тяжелой индустрии как Boeing, Airbus, Lockheed-Martin, Mitsubishi, Hitachi, Kawasaki Heavy Industries и другими. В Российской Федерации СТП изучается в ГКНПЦ им. Хруничева, Санкт-Петербургском политехническом университете им. Петра Великого, Московском авиационном университете и некоторых других научных центрах и промышленных компаниях.

Следует отметить, что процессу СТП свойственен очень большой температурный градиент, а пиковая температура обычно превышает $\sim 0,5T_{пл}$. В авиационных термически упрочняемых алюминиевых сплавах это обычно ведет к сложным микроструктурным преобразованиям, связанным с дисперсными частицами вторичных фаз. В частности, в микроструктурных областях, подвергнутых относительно низкотемпературному воздействию (так называемой, зоне термического влияния), имеет место коагуляция частиц, которая обычно сопровождается срывом когерентности на межфазных границах. С другой стороны, в зоне высокотемпературного воздействия (так называемой, зоне перемешивания) наблюдается растворение дисперсоидов. Оба этих нежелательных эффекта ведут к существенному разупрочнению материала. Важно подчеркнуть, что, вследствие неоднородности формируемой микроструктуры, механические свойства сварных соединений, полученных СТП, не могут быть полностью восстановлены посредством стандартной термической обработки на старение. В этом случае в зоне термического воздействия продолжится рост частиц, в результате которого разупрочняющий эффект только усилится. Как следствие, прочность подобных швов составляет только 60-75% от прочности основного материала. В этой связи весьма актуальной является проблема оптимизации СТП процесса термически упрочняемых алюминиевых сплавов с целью получения сварных соединений, близких к равнопрочным.

В диссертационной работе Высоцкого И.В. были разработаны и успешно апробированы два различных подхода для решения этой важной задачи.

Во-первых, был оптимизирован сам процесс сварки. Идея оптимизации была основана на допущении, что для получения высокопрочных сварных соединений необходимо интенсифицировать процесс растворения частиц упрочняющих фаз в зоне перемешивания при одновременном подавлении их коагуляции в зоне термического влияния. В этом случае термический цикл СТП становится подобен обычной обработке на пересыщенный твердый раствор, и, таким образом, равнопрочный сварной шов может быть получен посредством обычного послесварочного старения.

Во-вторых, был оптимизирован процесс послесварочной обработки. Альтернативным способом достижения необходимого уровня механических характеристик сварных швов является их перезакалка с последующим старением. Однако при использовании подобной термической

обработки в зоне перемешивания нередко имеет место аномальный рост зерен, который способствует существенной деградации служебных свойств. Для подавления этого нежелательно феномена, послесварочную термическую обработку швов было предложено предварять холодной прокаткой на небольшие степени обжатия. Это позволило активизировать процесс статической рекристаллизации вместо аномального роста зерен в ходе перезакалки и, таким образом, способствовало существенному улучшению механических характеристик сварных соединений.

Использование двух этих подходов позволило обеспечить получение равнопрочных (или близких к ним) СТП-соединений термически упрочняемых алюминиевых сплавов. В этой связи актуальность данного исследования не вызывает у меня сомнений.

В целом, диссертация Высоцкого И.В. является законченным научным исследованием, обладает внутренним единством, содержит оригинальные научные результаты и отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на степень кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, а её автор заслуживает присуждения ему этой ученой степени.

Научный руководитель, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории механических свойств наноструктурных и жаропрочных материалов при ФГАУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Тел.: +74722585456
Email: mironov@bsu.edu.ru

Миронов Сергей Юрьевич

