



## ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



**Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины**  
С. В. Максимова (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины) защитила 29 сентября 2011 г. докторскую диссертацию на тему «Физико-механические основы и технология вакуумной пайки жаропрочных

сплавов на основе Ni, Ti, Cu».

Диссертация посвящена изучению особенностей формирования структуры и свойств паяных соединений, созданию научно обоснованных металлургических и технологических мер с целью получения паяных соединений, обеспечивающих высокие механические свойства и длительную прочность паяных соединений жаропрочных дисперсионно-твердеющих никелевых сплавов, перспективных материалов нового поколения на основе алюминидов титана и дисперсно-упрочненных медных материалов.

Изучена структура и интервалы плавления опытных титановых сплавов на основе систем Ti–Zr–Fe и Ti–Zr–Mn, построены поверхности ликвидуса. Определены эвтектические впадины тройных систем, на которых существуют сплавы с приемлемым для пайки алюминидов титана температурным интервалом плавления. Уточнен характер фазовых равновесий в системе Ti–Zr–Mn и построен метастабильный политемпературный разрез  $Ti_{60}Mn_{40}-Zr_{67,5}Mn_{32,5}$ . Установлено, что легирование титана цирконием и марганцем позволяет получать композиции сплавов с относительно низкими температурами солидуса в пределах 1040...1090 °C. Показано влияние скорости охлаждения на структуру и размер составляющих фаз сплавов. Применение способа сверхбыстрой закалки обеспечило получение лент системы Ti–Zr–Fe(Al) с гомогенным распределением химических элементов. На базе результатов рентгенографических исследований установлено, что быстрозакаленная лента состава Ti–27Zr–22Fe–11Al имеет рентгеноаморфную структуру, состава Ti–19Zr–20Fe — аморфно-кристаллическую с образованием твердого раствора  $\beta$ -TiZr и фазы  $Fe(TiZr)_3$ .

Экспериментально установлено, что причиной низких механических свойств при пайке алюминидов титана Ti–45Al–2Nb–2Mn+0,8 об. %  $TiB_2$  промышленным припоем на базе системы Ti–Cu–Zr–Ni служит образование в паяных швах зональной химической неоднородности с кристаллизацией в центральной части шва эвтектики, являющейся источником зарождения дефектов в виде трещин. Определено, что применение для ваку-

умной пайки алюминидов титана припоев систем Ti–Zr–Fe и Ti–Zr–Mn и оптимальных режимов позволяет избежать формирования эвтектической составляющей и получать паяные швы с двухфазной структурой (TiAl и  $Ti_3Al$ ), характерной для основного материала, которая обеспечивает кратковременную прочность 651...693 МПа при комнатной и повышенной температуре 700 °C 284...316 МПа, близкую к прочности основного материала. Испытания на длительную прочность показали, что паяные соединения алюминидов титана не разрушаются не только при заданном напряжении 140 МПа и температуре 700 °C в течение соответственно 483 и 500 ч, но при повышенном — 200 МПа. Установлено, что разработанный термический цикл пайки титанового интерметаллидного сплава Ti–47Al–2Nb–2Cr (48-2-2) обеспечивает формирование lamellarной структуры в основном материале и позволяет исключить дополнительную операцию предварительной термообработки основного материала. Исследована кинетика насыщения металла паяного шва алюминием и предложен двухстадийный механизм формирования паяных швов. Показана также перспективность использования разработанных припоев для ремонта изделий, изготовленных из интерметаллидных сплавов на основе алюминидов титана, что способствует расширению области использования перспективных интерметаллидных сплавов нового поколения.

Установлено, что легирование сплава системы Pd–Ni–Cr германием (до 1 %) приводит к формированию однофазной структуры твердого раствора на основе палладия не только припоя, но и паяных швов жаропрочного дисперсионно-твердеющего никелевого сплава. При проведении термической обработки паяных соединений повышается микротвердость основного металла и металла паяного шва соответственно до 4210...4500 и 4200 МПа. Использование однофазного припоя со структурой твердого раствора обеспечивает повышение длительной прочности паяных соединений более чем в 2 раза по сравнению с промышленным припоем при напряжении 785 МПа и температуре испытаний 550 °C.

Установлено, что при пайке дисперсно-упрочненной меди применение адгезионно-активного припоя Ti–Cu обеспечивает формирование однородных паяных швов с кристаллизацией фаз на основе соединений CuTi и  $CuTi_2$ , выделяющихся в виде дискретных частиц в медной матрице, что более благоприятно по сравнению со сплошной полосой с точки зрения оценки механических свойств паяных соединений. Прочность паяного



шва в основном определяется свойствами матрицы, упрочненной дисперсными выделениями, и близка к прочности паяемого материала. Предварительная термическая обработка паяемого материала перед пайкой способствует повышению прочности на растяжение паяных соединений до 397 МПа (на 8...13 %), что составляет 81...92 % прочности основного металла.

Предложены и реализованы металлургические меры к созданию припойных материалов для пайки жаропрочных дисперсионно-твердеющих никелевых сплавов, а также материалов нового поколения на основе алюминидов титана. Определены пути управления структурообразованием паяных соединений, обусловленные химическим составом, структурой паяемого материала и условиями эксплуатации.

На базе разработанных припойных материалов созданы основы технологии вакуумной высокотемпературной пайки металлоконструкций ответственного назначения. Создана техническая документация на изготовление разработанного припоя для пайки жаропрочного дисперсионно-твердеющего никелевого сплава IN 718. Выполнена опытно-промышленная проверка разработки применительно к практической задаче изготовления узла закрытого центробежного колеса компрессора газотурбинного двигателя из жаропрочного дисперсионно-твердеющего никелевого сплава. По результатам испытаний сделан вывод, что разработанный припой можно рекомендовать для использования при пайке жаропрочных сплавов на основе никеля (например, ЧС 88, Inconel 738 и др.), предназначенных для эксплуатации в условиях высоких температур и повышенных нагрузок.

## **ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА!**

*Приазовским государственным техническим университетом в течение 16 лет разрабатываются и внедряются новые технологии ремонта промышленного оборудования с помощью композитных материалов, которые во многих случаях позволяют резко сократить затраты и сроки выполнения ремонтных работ, выполнять ремонт оборудования непосредственно на месте эксплуатации, а также восстанавливать оборудование, не подлежащее ремонту по старым технологиям. Новые технологии ремонта многократно испытаны и применяются на многих предприятиях Украины.*

*Накопленный опыт университет презентует в рамках недельного семинара, запланированного на **7–11 ноября 2011 г.**, во время которого будет проведено обучение представителей предприятий новым технологиям ремонта. Кроме практических навыков и теоретических знаний, представителям предприятий будут переданы базовые технологии типовых ремонтов оборудования: восстановление гнезд подшипников, дефектного литья, изношенных корпусов, насосов, корпусных деталей с трещинами и т. д.*

*Участие в семинаре позволит предприятию в критических ремонтных ситуациях выбрать и реализовать эффективный метод восстановления работоспособности узлов и машин.*

*Руководитель семинара — заведующий кафедрой механического оборудования заводов черной металлургии, д-р техн. наук, профессор А. А. Ищенко.*

**Контакты:** ПГТУ, ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500  
тел./факс (0629) 34 52 94; E-mail: nauka@pstu.edu