



ванных за последние 20 лет систем напыления и направление этого роста. Например, начиная с 1986 г. снижался выпуск оборудования для газопламенного напыления, вероятнее всего, из-за пересыщения рынка этим товаром, но устойчиво увеличивался выпуск систем, использующих технологии распыления проволоки, что объясняется совершенствованием оборудования, разработкой новых сопловых насадок и использованием других газов для распыления металла вместо воздуха. Выпуск оборудования для плазменного напыления и HVOF характеризуется наибольшим ростом (оба способа по 300 ед.). С 2002 г. начались продажи оборудования для холодного напыления как для исследовательских целей, так и для использования в технологических процессах (уже 45 ед.).

В настоящее время можно уверенно говорить о том, что процессы термического напыления применяются почти повсеместно, включая автомобильную, машиностроительную, авиакосмическую

промышленность, а также при изготовлении медицинской аппаратуры.

Анализируя проведенные экономические исследования, можно констатировать, что пока задействовано не более 50 % потенциала технологического напыления, но в будущем (особенно из-за постоянного роста цен на металлы) увеличится спрос на технологии нанесения покрытий, что будет способствовать постоянному расширению их использования в различных областях промышленности.

Дальнейшее развитие новых технологий, например, способа плазменного напыления при пониженном давлении или способа холодного напыления, разработка новых модифицированных распыляемых материалов, аппаратуры термического напыления позволяют прогнозировать увеличение роста суммарного оборота мирового рынка термического напыления в 2012 г. до уровня 10 млрд евро.

Материал подготовил В. М. Кислицын

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Воронов В. В. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины) защитил 26 июня 2013 г. кандидатскую диссертацию на тему «Разработка и исследование припоев для пайки титановых сплавов».

Диссертация посвящена созданию нового припоя для пайки титановых сплавов различных классов с пониженной температурой плавления (ниже 900 °С) на базе новой трехкомпонентной системы Ti-Zr-Co и изучению особенностей формирования структуры и свойств соединений, паяных исследуемым припоем. Выбрана перспективная система для изготовления экспериментальных припоев. Разработана технология выплавки исследуемых сплавов, изучена структура экспериментальных припоев, их температуры солидуса и ликвидуса. Установлено, что в данной системе имеется область сплавов с пониженной температурой ликвидуса, наиболее перспективная с точки зрения разработки припоев. Установлены составы с приемлемым для пайки температурным интервалом плавления (860...880 °С).

Исследована растекаемость припоев систем Ti-Zr-Co и Ti-Zr-Fe по подложкам из титановых сплавов различных классов.

Изучены особенности формирования структуры паяных швов соединений из титановых сплавов разных классов. Показано, что при вакуумной

пайке титановых сплавов, паяный шов, как таковой отсутствует, а наблюдается зона общих зерен паяемых материалов, где имеется повышенное количество циркония и незначительные количества других составляющих припоя. Установлено практическое отсутствие влияния вида припоя (литой или аморфный) на структуру и свойства паяных соединений из титановых сплавов. Определены оптимальные металлургические и технологические параметры вакуумной пайки припоями системы Zr-Ti-Co и Ti-Zr-Fe, обеспечивающие высокие эксплуатационные свойства паяных соединений.

Механические свойства соединений, паянных припоями системы Zr-Ti-Co, не уступают свойствам соединений, паянных известными припоями, несмотря на пониженную температуру пайки. Прочность соединений, паянных припоем системы Ti-Zr-Co, находится на уровне: $\sigma_B = 660$ МПа, $\tau_B = 420$ МПа (OT4); $\sigma_B = 770$ МПа, $\tau_B = 510$ МПа (BT6). Таким образом, высокие показатели прочности соединений, выполненных припоями систем Ti-Zr-Co и Ti-Zr-Fe, как в литом, так и в аморфном состоянии позволяют рекомендовать их для изготовления конструкций из титановых сплавов различного назначения.

Получены данные относительно преимуществ и недостатков алюминиевых припоев различного состава для пайки титана. Показано, что для получения качественных паяных соединений из титановых сплавов можно использовать алюминиевые припои



без кремния (в частности Al–Mg). Исследовано влияние степени легирования алюминиевых припоев магнием на толщину интерметаллидной прослойки на границе «титан–алюминий» при пайке припоями системы Al–Mg. Установлено, что наличие магния способствует снижению толщины интерметаллидной прослойки. В среднем увеличение количества магния на 1 % снижает толщину интерметаллидной прослойки Ti_3Al на 10...15 %. Данные цифры остаются справедливы до содержания магния в припое около 5...6 %.

Исследовано влияние температурно-временных циклов пайки и на толщину интерметаллидной прослойки на границе «титан–алюминий». В результате установлено, что температурный интервал пайки 680...700 °C является оптимальным для выбранных припойных материалов. Время выдержки при пайке титана данными припоями должно быть минимально возможным для предотвращения образования хрупких интерметаллидных прослоек. На базе проведенных исследований созданы основы технологии вакуумной высокотемпературной пайки тонкостенных сотовых и ячеистых конструкций из титановых сплавов различных классов.



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

Т. А. Алексеенко (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины) 25 июня 2013 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему «Структура и механические свойства металла зоны термического влияния сварных соединений высокопрочных низколегированных сталей».

Диссертационная работа посвящена исследованию изменения структурного состава металла сварных соединений, формирующегося в зоне термического влияния (ЗТВ) при различных технологических режимах сварки: изменении скорости охлаждения ($w_{6/5} = 2,5; 10; 20$ °C/c); использовании различного типа сварочных проволок, для условий сварки с различной жесткостью закрепления $b_1 = 150$ мм, $b_2 = 50$ мм, а также изменения параметров структуры под воздействием внешнего нагружения (статического: $\sigma_H^1 = 0,8\sigma_{0,2}$ МПа; $\sigma_H^2 =$

$= 0,75...0,85\sigma_B$ МПа и циклического: $\sigma_a^1 = 80$ МПа; $\sigma_a^2 = 120$ МПа).

С использованием комплекса методов (световой микроскопии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии) приведены результаты исследования микроструктуры сварных соединений: объемной доли формирующихся структур; изменение структурных параметров (микротвердости, размера пакетов, субструктуры, ширины реек, плотности дислокаций); химического состава; характера разрушения сварных соединений. Изложен метод аналитической оценки свойств сварных соединений, основанный на учете конкретного вклада формирующихся структур, позволяющий определить оптимальный структурный состав в металле ЗТВ сварных соединений высокопрочных низколегированных сталей.

В ходе сопоставления вклада в упрочнение всех формирующихся структур в участке перегрева для всех исследуемых режимов установлено, что основной вклад порядка 42 % в общее значение предела текучести вносят структуры нижнего бейнита и мартенсита отпуска. На основе экспериментальной информации о дислокационной структуре в структурных составляющих выполнена аналитическая оценка распределения локальных внутренних напряжений $\tau_{вн}$ для всех исследуемых технологических режимов показано следующее. Максимальный уровень (до $0,44...0,67\tau_{теор}$) формируется в зонах локализации деформации вдоль границ сплошных цементитных пластин в структурах верхнего бейнита, что приводит к зарождению в этих зонах микротрещин и трещинообразованию.

Установлено, что при использовании сварочной проволоки Св-10ХН2ГСМФТЮ в сварных соединениях стали 17Х2М обеспечивается высокий комплекс механических свойств и равномерный уровень локальных внутренних напряжений за счет формирования в ЗТВ оптимального структурного состава — максимального количества нижнего бейнита — 55 % и мелкодисперсного мартенсита отпуска — 20 %. В этих структурах под воздействием внешних нагрузок происходит фрагментирование, что расширяет возможности пластической релаксации напряжений за счет подключения к дислокационным механизмам ротационных механизмов сброса внутренних напряжений.