

стем при нагреве обусловлена значительной диффузионной подвижностью компонентов и реализуется фрагментацией слоев и генерацией вакансий, что приводит к формированию композиционной пористой структуры и обеспечивает низкотемпературную сверхпластическую деформацию фольги при термомеханическом воздействии. Полученные результаты позволили разработать технологические основы диффузионной сварки давлением труднодеформируемых материалов, таких как алюминий-матричные композиты, интерметаллиды титана и жаропрочные никелевые сплавы, с использованием многослойных фольг на основе

эвтектических систем в качестве промежуточной прослойки. Термическая нестабильность и низкотемпературная сверхпластичность многослойной фольги облегчают установление физического контакта свариваемых поверхностей и обеспечивают интенсивное протекание диффузионных процессов в области соединения, что позволяет снизить температуру, давление и продолжительность сварки. Это открывает новые возможности для разработки технологии изготовления деталей на основе жаропрочных и разнородных материалов без ухудшения их эксплуатационных характеристик.

СОЗДАНИЕ НОВОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА И РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ СПОСОБОВ СВАРКИ

Развитие авиационной и ракетной техники требует повышения эксплуатационных характеристик титановых сплавов. Максимальный весовой эффект обеспечивают титановые сплавы с высокой прочностью. Это связано с тем, что заметная экономия массы в результате применения титановых сплавов возможна только при вполне определенном уровне их прочности. Новые сложнoleгированные сплавы должны иметь более высокие механические характеристики при сохранении хорошей свариваемости.

Основываясь на результатах расчетов и проведенных экспериментов по определению механических характеристик, разработан новый высокопрочный ($\alpha + \beta$)-титановый сплав Т120 на основе 8-компонентной системы легирования Ti-Al-Mo-V-Nb-Cr-Fe-Zr, которая обеспечивает прочность на уровне не менее 1200 МПа в условиях приемлемого уровня пластических характеристик.

Проведены экспериментальные плавки по получению слитков диаметром 150 мм высокопрочного ($\alpha + \beta$)-титанового сплава Т120 способом ЭЛП. Слитки характеризуются химической однородностью, отсутствием включений низкой (LDI) и высокой (HDI) плотности. Определены режимы термомеханической обработки слитков нового высокопрочного ($\alpha + \beta$)-титанового сплава Т120, которые обеспечивают необходимый комплекс механических свойств полуфабрикатов и значение на уровне $\sigma_b = 1270$ МПа при $KCV = 14$ Дж/см².

Построена трехмерная математическая модель тепловых процессов в титане при сварке перемещаемым источником нагрева, основу которой составляет дифференциальное уравнение теплопроводности. Разработанная модель позволяет определить размеры и форму шва, а также размеры

и форму ЗТВ, в которых протекают полиморфные превращения при аргонодуговой сварке (АДС) титанового сплава Т120. Полученные поля температур позволили определить мгновенные скорости охлаждения при остывании сварного соединения.

Исследования механических свойств сварных соединений высокопрочного титанового сплава Т120, выполненных ЭЛС с последующей локальной термической обработкой, показали значения прочности $\sigma_b = 1258$ МПа и ударной вязкости металла шва $KCV = 7$ Дж/см².

Определены свойства соединений сплава Т120, выполненных АДС без подачи и с подачей присадочной проволоки. Высокие значения прочности ($\sigma_b = 1110$ МПа) при удовлетворительной ударной вязкости ($KCV = 24$ Дж/см²) соединений сплава Т120, выполненных АДС вольфрамовым электродом, обеспечиваются при использовании присадочной проволоки ВТ1-00св и режимах сварки, при которых содержание металла присадочной проволоки в металле шва составляет 10 % от основного металла, в сочетании с послесварочным отжигом. При содержании металла ВТ1-00св в количестве 20 % от основного металла шва уровень прочности ($\sigma_b = 1047$ МПа) снижается ниже 85 % от прочности основного металла, а ударная вязкость металла шва максимальная ($KCV = 27$ Дж/см²).

Экспериментально показано, что снижение погонной энергии при АДС вольфрамовым электродом по слою флюса АНТ25 титанового сплава Т120 с 1300 до 900 Дж/м обеспечивает повышение предела прочности сварных соединений с 1040 до 1150 МПа при неизменных показателях ударной вязкости и формирование в металле шва и ЗТВ более однородной структуры.

Исследовано влияние 2-х видов упрочняющей термообработки (закалки и регламентированного ступенчатого отжига) на свойства сварных соединений титанового сплава Т120, которые выполнены ЭЛС и АДС. Применение ступенчатого отжига при температурах 870, 800, 550, 380 °С для сварных соединений сплава Т120 обеспечивает в металле шва и ЗТВ структуру корзинчатого типа с большим разнообразием параметров структурных элементов, повышает предел прочности до 1300 МПа и значение ударной вязкости до 16...18 Дж/см².

Таким образом, проведенные исследования позволили разработать высокопрочный титановый сплав Т120, который хорошо сваривается АДС и ЭЛС, а также определить, что микроструктура сплава Т120 с размером пластин α -фазы толщиной 1,0...1,5 мкм и β -фазы в пределах 150...200 мкм обеспечивает наибольший показатель относительного удлинения ($\delta > 12\%$) как основного металла, так и сварного соединения.

На новый высокопрочный титановый сплав Т120 получен патент Украины.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ ТА РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Одним з пріоритетних завдань розвитку сучасного машинобудування, будівельної галузі, автомобільного, залізничного та спеціального транспортного машинобудування є підвищення техніко-економічних показників зварних металевих конструкцій на основі зниження їх металоемності, підвищення енергоефективності, збільшення їх надійності та довговічності.

Широке використання зварних конструкцій з високоміцних сталей з ферито-перлітною і бейнітно-мартенситною структурами дозволить ефективно вирішити багато завдань народного господарства. Однак успішне вирішення цих завдань можливе лише за умови всебічного вивчення процесів, які протікають в зварних з'єднаннях високоміцних сталей, з урахуванням детального аналізу кінетики структурно-фазових перетворень, розвитку структурної і хімічної неоднорідності, ролі зовнішніх факторів у формуванні зварного з'єднання.

В ході роботи розроблений і успішно використаний комплекс сучасних методик дослідження структурно-фазового складу і структури з залученням унікальних дослідних комплексів Gleeble 3800 і JAMP 9500F. Досліджено структуру та визначено механічні властивості зварних з'єднань високоміцних сталей в залежності від параметрів термомодеформаційного циклу зварювання, вивчено структурні перетворення, кінетику фазових перетворень, визначено вплив параметрів зварювання на зміни температур фазових перетворень, встановлено особливості протікання структурних перетворень в рейкових ферито-перлітних (КС2, 65Г, М76), конструкційних ферито-бейнітних (15ХСА-ТЮД, 10Г2ФБ, 06ГБД), в бейнітно-мартенситних спеціального призначення (броньової сталі 71 типу 30Х2Н2МФ), високоміцних конструкційних зарубіжних (S355J2, S460M, NA-XTRA®700, WELDOX 1300) сталях. Встановлено вплив тер-

момодеформаційного циклу зварювання на кінетику розпаду аустеніту і формування микроструктури в металі ЗТВ високоміцних сталей.

Вивчено вплив швидкості охолодження на формування структурно-фазового складу (фериту, бейніту і мартенситу), механічні властивості (міцність, пластичність, ударна в'язкість). Побудовані термокінетичні діаграми розпаду аустеніту при різних швидкостях охолодження, визначені температури початку утворення фаз, встановлені особливості формування структури і здатність зварних з'єднань високоміцних сталей до утворення холодних тріщин.

Проведена математична обробка результатів досліджень та отримані рівняння регресії для прогнозування температур початку феритного, бейнітного і мартенситного перетворень. На підставі отриманих результатів запропонована математична модель і реалізована програма прогнозування структурного складу металу ЗТВ і його схильності до утворення холодних тріщин з метою оптимізації структури, яка забезпечує високі показники міцності, пластичності і ударної в'язкості.

Встановлено, що параметри структури середньовуглецевої ферито-перлітної сталі КС2 по різному впливають на характеристики першої і другої ділянок кінетичної діаграми втомлювального руйнування. Це пов'язано зі зміною розмірів зони пластичної деформації навколо якої розвиваються втомлювальні тріщини, які мають мінімальні розміри при низьких значеннях максимального коефіцієнта інтенсивності напружень K_{\max} .

Показано, що холодні тріщини в однопрохідних зварних з'єднаннях сталі 65Г утворюються в ділянці перегріву металу ЗТВ. Для запобігання утворенню тріщин необхідно забезпечити температуру попереднього підігріву не нижче: $T_{\text{пп}} \geq 200$ °С при погонній енергії зварювання $Q_{\text{зв}} =$