

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 $Q_{\text{зв}} =$

$= 8,6 \text{ кДж/см}$; $T_{\text{пп}} \geq 150 \text{ }^\circ\text{C}$ при $Q_{\text{зв}} = 11,5 \text{ кДж/см}$;
 $T_{\text{пп}} \geq 100 \text{ }^\circ\text{C}$ при $Q_{\text{зв}} = 15,0 \text{ кДж/см}$.

Встановлено, що пластичні властивості сталі 65Г при статичному розтягуванні після 4-х годин витримки при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ поліпшуються: δ на 11 %, ψ майже у 1,8 рази. При кімнатній температурі ударна в'язкість металу сталі 65Г після 2-х годин витримки при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ зростає у три рази до 23 Дж/см^2 .

Підвищена опірність уповільненому руйнуванню металу ЗТВ сталі М76 на рівні $\sigma_{\text{кр}} \geq 0,45\sigma_{0,2}$ забезпечується при температурі попереднього підігріву вище $200 \text{ }^\circ\text{C}$, коли швидкість охолодження металу

становить не більше $5...7 \text{ }^\circ\text{C/с}$ і при цьому в металі формується бейнітно-мартенситна структура.

Метал ЗТВ зварних з'єднань зі спеціальної сталі 71 з вмістом кремнію менше 0,05 % має більш високу стійкість до утворення холодних тріщин, ніж з'єднання кремнійвмісної сталі.

На підставі проведених досліджень були обрані оптимальні режими зварювання і температури попереднього підігріву, які гарантовано забезпечують зварним з'єднанням високоміцних сталей різного класу високий опір крихкому руйнуванню.

ПАМ'ЯТИ А. К. ЦЫКУЛЕНКО



На 79-м году ушел из жизни известный ученый в области специальной электрометаллургии доктор технических наук (1987), старший научный сотрудник отдела физико-металлургических проблем электрошлаковых технологий Анатолий Константинович Цыкуленко.

Вся трудовая и научная деятельность Анатолия Константиновича связана с Институтом электросварки им. Е. О. Патона, куда он поступил после окончания в 1961 г. Киевского политехнического института и прошел путь от инженера до заведующего отделом НИЦ ЭШТ, и где проработал более полвека.

С первых дней работы в ИЭС Анатолий Константинович занимался исследованием физико-химических процессов при сварке разнородных сталей. Уже на этом этапе он проявил присущие ему целеустремленность и изобретательность в решении научно-технических задач различной степени сложности.

С 1966 г. А. К. Цыкуленко трудился над решением задач, стоящих перед специальной электрометаллургией и прежде всего над разработкой теоретических основ электрошлаковых технологий,

созданием технологического оборудования для их осуществления и внедрения в производство, изучением физических и химических явлений, сопровождающих протекание ЭШП и созданием новых технологий на его базе. Исследовал всевозможные аспекты процесса — от выплавки до кристаллизации слитков.

Среди основных прикладных направлений, где получены выдающиеся практические результаты, выделяются разработки в области технологии изготовления танковой гомогенной и гетерогенной брони, а также суперсплавов для энергетического машиностроения, ставшие стержнем докторской диссертации.

А. К. Цыкуленко — автор более 300 научных трудов, в том числе семи монографий и более 100 изобретений.

Надежный, цельный человек, настоящий ученый, он следовал традициям Патоновской школы и всегда старался воплотить результаты исследований в заводских цехах. Его хорошо знали и уважали на машиностроительных и металлургических заводах страны — в Краматорске, Мариуполе, Запорожье, Донецке и др.

Друзья и коллеги высоко ценили не только широкую эрудицию и всесторонние знания, которыми А. К. Цыкуленко щедро делился, но и его исключительную порядочность.