

БЕЗОБРАЗЦОВЫЙ КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ВЖЛ12У

Матюнин В. М., Терентьев Е. В., Жгут Д. А., Марченков А. Ю., Козырев Х. М., Волков П. В.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва, dariazhg@yandex.ru

Ключевые слова: индентирование, сварное соединение, жаропрочный сплав.

Жаропрочный никелевый литейный сплав ВЖЛ12У с малой плотностью ($\rho < 8,2$ г/см³) применяется для литья поликристаллических лопаток газотурбинных двигателей и деталей регулируемых сопел турбореактивных двигателей. Повышение маневренности и снижение радиолокационной и инфракрасной заметности самолетов требует совершенствования конструкции их выпускного устройства. Технология литья сплава ВЖЛ12У по выплавляемым моделям ограничивает возможности проектирования новых конструкций регулируемых сопел. В то же время применение технологий сварки расширяет возможности проектирования изделий, однако на сегодняшний день сплав ВЖЛ12У принято считать несвариваемым. В НИУ «МЭИ» с помощью технологии электронно-лучевой сварки получены экспериментальные сварные соединения сплава ВЖЛ12У.

Для обоснованной оценки качества полученных сварных соединений требуется информация о значениях основных механических характеристик металла в различных зонах, включая основной металл, зону термического влияния, металл шва. Для этого необходимо изготовление образцов с последующими механическими испытаниями. Однако, изготовление образцов из высокопрочных труднообрабатываемых сплавов, к которым относится сплав ВЖЛ12У, является весьма материалоемким и трудоемким процессом. Более того, при небольших габаритах сварного соединения вовсе становится невозможным получение достаточного количества стандартных образцов из различных зон. В связи с этим авторы настоящего доклада использовали кинетическое индентирование с регистрацией диаграмм вдавливания сферического индентора «нагрузка F – перемещение индентора α » и преобразованием ее в диаграмму растяжения по предложенной методике (рис. 1).

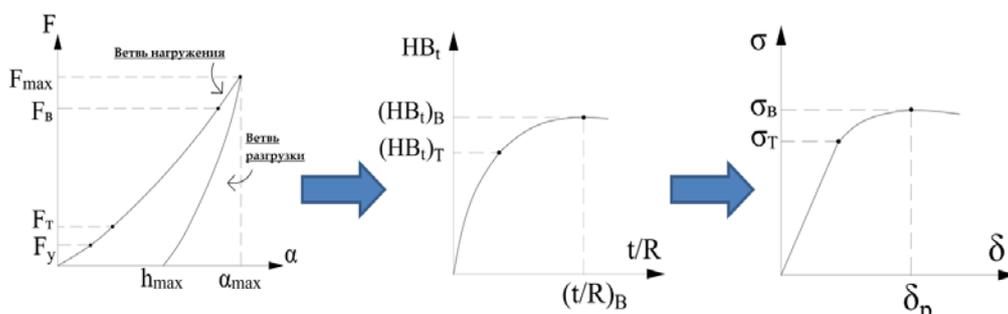


Рис.1. Схема этапов преобразования кинетической диаграммы вдавливания сферического индентора « F - α » (а) в диаграмму «твёрдость HV_t – относительная глубина отпечатка t/R » (б) и «напряжение σ – деформация δ » (в)

Предложенная методика позволяет определить модуль нормальной упругости E , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, временное сопротивление σ_B , относительное равномерное удлинение δ_p , невосстановленную твердость по Бринеллю HV_t , параметры деформационного упрочнения и другие механические характеристики.

Учитывая высокую прочность сплава и сравнительно малые габариты сварного соединения, при кинетическом индентировании использовался твердосплавный сферический индентор диаметром $D = 1$ мм. Испытания индентированием выполнялись на универсальной машине Instron 5982 в режиме сжатия. На рис. 2 представлены схема сварного соединения и графики распределения механических свойств металла в различных зонах.

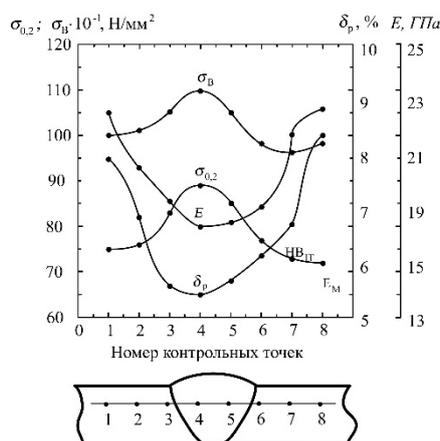


Рис.2. Схема сварного соединения сплава ВЖЛ12У, полученного электронно-лучевой сваркой, и графики распределения механических свойств в контрольных точках поперечного сечения

Как следует из рис. 2, наблюдается повышение условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ и временного сопротивления σ_B в металле сварного шва, однако происходит снижение относительного равномерного удлинения δ_P и модуля нормальной упругости E . Особый интерес представляет снижение модуля нормальной упругости E металла шва, который обычно считают малочувствительной физико-механической характеристикой при структурно-фазовых превращениях. Вместе с тем снижение E не превышает 20%, а повышение $\sigma_{0,2}$ и σ_B - не более 18%. Снижение δ_P не превышает 4,5% в абсолютном исчислении. Следует заметить, что значения всех полученных механических характеристик являются удовлетворительными для таких трудносвариваемых сплавов, как ВЖЛ12У.

Исследования выполнены в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» за счёт гранта Российского научного фонда № 22-19-00590, <https://rscf.ru/en/project/22-19-00590/>.

Сведения об авторах

Матюнин Вячеслав Михайлович, д.т.н., профессор. Область научных интересов: механико-технологические испытания конструкционных материалов.

Терентьев Егор Валериевич, к.т.н., доцент. Область научных интересов: материаловедение и моделирование сварочных процессов.

Жгут Дарья Александровна, аспирант, ведущий инженер. Область научных интересов: разрушающие и неразрушающие методы контроля конструкционных материалов.

Марченков Артём Юрьевич, к.т.н., доцент. Область научных интересов: моделирование НДС материалов при динамическом и статическом нагружении.

Козырев Харитон Максимович, студент, техник. Область научных интересов: изучение микроструктуры металлических материалов.

Волков Павел Владимирович, к.т.н., доцент. Область научных интересов: твердометрия.

SPECIMEN-FREE CONTROL OF MECHANICAL PROPERTIES OF VZHL12U HEAT-RESISTANT ALLOY WELD JOINT

Matyunin V.M., Terentyev E.V., Zhgut D.A., Marchenkov A.Yu., Kozyrev Kh.M., Volkov P.V.
National Research University "MPEI", Moscow, Russia, dariazhg@yandex.ru

Keywords: indentation, weld joint, heat-resistant alloy.

The distribution of mechanical properties of a butt welded joint made of VZHL12U heat-resistant alloy obtained by electron beam welding was studied by instrumented indentation. It is shown that the investigated welded joint has sufficiently high strength characteristics.