

## Определение глубины проплавления при электронно-лучевой сварке

Юревич С.В., Цыганков Н.И., Губко А.Д.  
Физико-технический институт НАН Беларуси

При разработке технологического процесса электронно-лучевой сварки (ЭЛС) одной из важнейших задач является нахождение параметров электронного луча, которые обеспечили бы получение необходимых геометрических характеристик сварного соединения. Это существенно упрощается при проведении предварительных расчетов. Они позволяют уменьшить диапазон поиска оптимальных параметров луча. Такие расчеты чрезвычайно сложны, базируются на упрощенных моделях с целым рядом допущений и носят приближенный характер. При воздействии луча малой интенсивности тепловые процессы в зоне обработки хорошо описываются теорией теплопроводности. При получении глубокого проплавления расчет в рамках теории теплопроводности затруднителен, так как возникает необходимость учета потерь на фазовые переходы.

В работах, посвященных данной тематике, имеются расчетные формулы для нахождения глубины проплавления при ЭЛС с глубоким проплавлением. Анализ работ показал, что в общем случае выражение для расчета глубины проплавления состоит из трех составляющих: энергии луча, израсходованной на единицу длины шва: энергии, потребной для нагрева металла до температуры плавления и расплавления единицы объема и энергии, израсходованной на теплопровод в окружающую зону сварки среду. Проблемы возникают при нахождении энергии, отведенной в окружающий материал и израсходованной на нагрев металла в связи с часто сложной геометрией свариваемого изделия. И если эти значения можно получить методами конечно-элементного моделирования, то энергию, связанную с образованием парогазодинамического канала с фазовыми переходами, найти не удастся.

Проведены расчеты глубины проплавления по формулам из различных источников с последующей экспериментальной проверкой. Точность большинства выражений не превысила 50% от расчетных значений. Наибольшую точность (порядка 80-95%) можно получить при «кинжальном» проплавлении, когда ширина сварного шва у входа луча и у корня шва примерно одинакова. Однако, характер зависимости глубины проплавления от энергетических параметров электронного луча по расчетным данным совпадает с экспериментальными значениями. Поэтому решением может быть самостоятельное введение в формулу корректирующего коэффициента для увеличения точности.