

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ СВАРОЧНЫХ ШВОВ ТЕРМОПАР ХРОМЕЛЬ–АЛЮМЕЛЬ

А. Н. ГУБАЙДУЛЛИН, Р. Б. ЭКСУЗЬЯН

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия

Термопары являются одними из наиболее распространенных устройств для измерения температуры в различных отраслях промышленности и научных исследованиях. Для обеспечения точности измерений необходимо учитывать свойства материалов, используемых при изготовлении термопар, а также их поведение после сварки. Одним из параметров оценки свойств материала хромель и алюмель до и после сварки является исследование сварного шва на твердость [1].

Цель исследования заключается в изучении твердости сварных соединений термопар типа хромель–алюмель (ХА) в поперечных и продольных сечениях. Полученные данные позволят оценить качество сварных швов и выявить возможные изменения свойств материала в зоне термического воздействия.

Для проведения эксперимента использовался сваренный образец термопары, который был изготовлен по стандартной технологии, а также прутки из хромеля марки НХ9,8 и алюмеля марки НМЦАК2-2-1 двух разных производителей. Сварные швы выполнялись методом контактной стыковой сварки с использованием стандартного оборудования. После сварки образцы подвергались термической обработке способом поверхностной электроконтактной закалки.

Микрошлифы изготавливались следующим образом.

1. Образцы разрезали перпендикулярно и параллельно оси прутка для получения поперечных и продольных срезов соответственно.
2. Поверхности срезов шлифовали и полировали до достижения зеркальной поверхности.
3. Полированные поверхности травили кислотным раствором Марбле для выявления структуры металла [2].
4. Микрошлифы исследовали под оптическим микроскопом с увеличением $\times 100$.
5. Полученные микрошлифы подверглись испытанию на твердость.

Измерение твердости проводилось методом Виккерса. Измерения проводились в трех точках каждого образца в продольном и поперечном сечениях, а также в центре сварного шва и в зоне термического влияния.

Результаты измерений твердости представлены на рис. 1 и 2. Как видно, значения твердости варьируются в зависимости от положения относительно сварного шва и направления среза.

Анализ полученных данных показывает, что твердость в центральной части сварного шва выше, чем на периферии. Это связано с тем, что в процессе сварки

происходит локальное нагревание и последующее быстрое охлаждение, что приводит к образованию более твердого слоя в центре шва. В то же время твердость в продольном сечении несколько ниже, чем в поперечном, что может быть обусловлено анизотропией механических свойств материала.

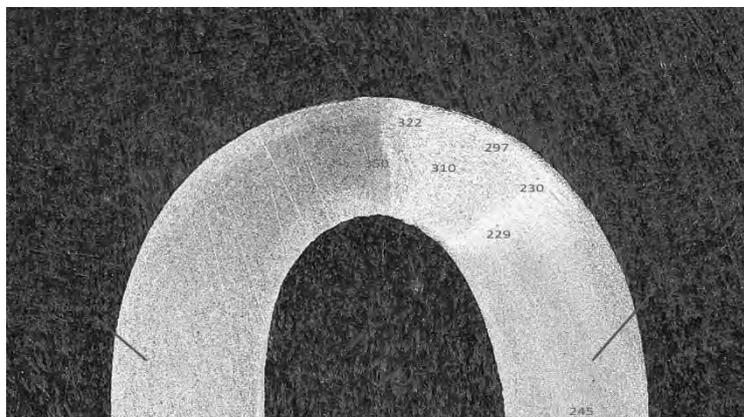


Рис. 1. Значения твердости HV в разных зонах сварного шва



Рис. 2. Значения твердости HV продольных и поперечных сечений хромеля и алюмеля

Проведенное исследование показало, что метод изготовления микрошлифов позволяет эффективно изучать структуру и механические свойства сварных соединений термопар типа хромель–алюмель. Полученные данные свидетельствуют о наличии градиента твердости в зоне сварного шва, который следует учитывать при проектировании и эксплуатации таких устройств. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния различных режимов сварки и технологии обработки до и после сварки на микроструктуру и механические свойства сварных соединений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рогельберг, И. Л.** Сплавы для термопар: справочник / И. Л. Рогельберг, В. М. Бейлин. – М. : Металлургия, 1983. – 360 с.
2. **Бургонова, О. Ю.** Методы исследования, контроля и испытания материалов : учеб. пособие / О. Ю. Бургонова, А. Н. Жавнеров. – Омск: ОмГТУ, 2016. – 124 с.