Описание конкурсной работы в номинации

№9 «За успехи в развитии диверсификации производства»

Наименование работы: «Выяснение причин возникновения тёмных полос на рентгенограммах при рентгенографическом контроле сварных соединений из титановых сплавов, выполненных электронно-лучевой сваркой (ЭЛС)»

Конкурсная работа:

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) является одной из наиболее эффективных и производительных технологий производства сложных высоконагруженных конструкций современной техники. ЭЛС титана и его сплавов имеет ряд особенностей, связанных со спецификой физических и механических свойств этих материалов, реализацией фазовых и структурных превращений в процессе самой сварки и последующей термической обработки. Высокая концентрация энергии электронного луча в сочетании с большой скоростью его перемещения (скоростью сварки) с одной стороны позволяют получать узкий и глубокий сварной шов, а с другой – создают определенные проблемы в получении прочного и бездефектного соединения с равновесным структурно-фазовым состоянием металла зон сварного соединения с приемлемым уровнем и характером остаточных напряжений.

Работа состояла в исследовании структурно-фазового состояния и остаточных напряжений после ЭЛС и последующего отжига сварного соединения из титанового сплава ВТ20 и оценки возможности возникновения микродефектов, обусловленных состоянием материала.

- Результаты, полученные при исследовании макро- и микроструктуры, фазового состава сварных соединений сплава ВТ20, полученных ЭЛС с последующим вакуумным отжигом при 650°С в течение 2 часов, в целом соответствуют известным закономерностям. Отмечена только меньшая объемная доля β-фазы в сварном шве, чем в основном металле (< 5%).
- Микрорентгеноспектральный анализ показал значительное количество протяженных (~ 300 мкм) участков структуры с нулевой концентрацией Zr, а также участков, на которых его концентрация в 2–3 раза превышает среднюю в сплаве. Это может свидетельствовать о наличии сегрегаций Zr в структуре, приводящих к значительным искажениям решеток фаз и внутренним напряжениям.

- Рентгеновским методом «$\sin^2\psi$» установлен высокий уровень прочности (715 МП) остаточных напряжений растягивающего характера в образце, вырезанном у начала сварного шва. Такой уровень напряжений после отжига (650°С, 2 часа) позволяет прогнозировать тот факт, что после сварки эти напряжения могли быть близкими или превышать предел текучести сплава в исследованной части заготовки и приводить к появлению микродефектов сплошности металла вдоль границы зоны термического влияния и сварного шва.
- Таким образом, рассмотренные параметры сварки и отжига должны корректироваться для устранения неоднородности химического состава и снижения остаточных напряжений. Могут быть рекомендованы:

– применение более «мягких» термокинетических параметров сварки: меньшие ток электронного луча и скорость сварки. При сохранении общей энергии теплового воздействия и максимальной температуры металла шва это приведет к расширению зоны температурного воздействия, снижению скорости охлаждения шва и ЗТВ, уменьшению неоднородности химического состава, более эффективной релаксации термических напряжений;

– повышение температуры отжига сварного соединения для более эффективного снятия остаточных напряжений и формирования структурного состояния сварного соединения, близкого к равновесному.

Цель настоящей работы состояла в исследовании структурно-фазового состояния и остаточных напряжений после ЭЛС и последующего отжига сварного соединения из титанового сплава ВТ20 и оценки возможности возникновения микродефектов, обусловленных состоянием материала, выполненных на рентгенограммах сварных соединений в виде тёмных полос.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Исследован фазовый состав и структура сварных соединений сплава ВТ20, полученных ЭЛС с последующим вакуумным отжигом при 650°С.
2. Исследовано распределение основных легирующих элементов в сварных соединениях из сплава ВТ20, полученных методом ЭЛС.
3. Определены уровень и характер остаточных напряжений в сварном соединении из сплава ВТ20.
4. Разработаны рекомендации по корректировке параметров сварки и отжига для повышения качества сварных соединений.

В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

1. Установлено, что закономерности формирования фазового состава, макро- и микроструктуры сварных соединений сплава ВТ20, полученных ЭЛС с последующим вакуумным отжигом при 650°С в течение 2 часов, в целом соответствуют известным закономерностям.

2. Отмечена меньшая объемная доля β-фазы в сварном шве, чем в основном металле (< 5%).

3. Обнаружено значительное количество участков протяженностью до 300 мкм с нулевой концентрацией Zr и участков с его концентрацией в 2-3 раза превышающей среднюю в сплаве, что может свидетельствовать о наличии сегрегаций Zr в структуре, приводящих к значительным искажениям решеток фаз и внутренним напряжениям.

4. Установлен высокий уровень (715 МПа) остаточных напряжений растягивающего характера в образце, вырезанном у начала сварного шва. Такой уровень напряжений после отжига (650°С, 2 часа) позволяет прогнозировать тот факт, что после сварки эти напряжения могли быть близкими или превышать предел текучести сплава в исследованной части заготовки и приводить к появлению микродефектов сплошности металла вдоль границы зоны термического влияния и сварного шва.

5. Рекомендовано применение более «мягких» термокинетических параметров сварки: меньшие ток электронного луча и скорость сварки, что приведет к расширению зоны температурного воздействия, снижению скорости охлаждения шва и ЗТВ, уменьшению неоднородности химического состава, более эффективной релаксации термических напряжений.

6. Рекомендовано повышение температуры отжига сварного соединения для более эффективного снятия остаточных напряжений и формирования структурного состояния сварного соединения, близкого к равновесному.

<u>Сведения о соискателе:</u> (не более 1000 знаков)

Кафедра «Материаловедение и технология обработки материалов» МАИ.

Коллектив кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов» обладает уникальными компетенциями и имеет 40-летний опыт разработок в области материаловедения и технологии получения и обработки конструкционных, жаропрочных и медицинских сплавов на основе титана и его интерметаллидов, функциональных сплавов на основе никелида титана с эффектами памяти формы и сверхупругости.

Коллектив кафедры имеет опыт в исследовании и управлении комплексом свойств новых материалов (сплавов на основе титана), технологий их получения и обработки: научном и технологическом сопровождении производства полуфабрикатов и изделий из титановых сплавов для обеспечения их соответствия российским и международным стандартам.

Коллектив кафедры разрабатывает технологии термической и термомеханической обработки полуфабрикатов и изделий из металлических материалов для управления их структурой и комплексом механических свойств; технологии химико-термической обработки титановых сплавов.