

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**Перспективные материалы
с иерархической структурой
для новых технологий
и надежных конструкций**

19 - 23 сентября 2016 г.

Томск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

7. Сварка, родственные процессы и технологии для создания технических систем ответственного и специального назначения, в том числе для эксплуатации в экстремальных условиях и низких климатических температур Арктики и Крайнего Севера

Предел прочности образцов после ультразвуковойковки остается на уровне прочности исходного сварного соединения, а пластичность возрастает в два раза по сравнению с необработанными образцами. После лазерной сварки прочность сварных соединений выше прочности основного металла и разрушение всегда проходит по основному металлу, независимо от режима обработки.

Сварные соединения, полученные лазерной сваркой, показали более низкую усталостную долговечность при напряжении 600 МПа, чем образцы, полученные электронно-лучевой сваркой.

Применение ультразвуковойковки сварных соединений, полученных электронно-лучевой и лазерной сваркой, позволило повысить усталостную долговечность образцов сварных соединений сплава ВТ23 после лазерной сварки с 6369 до 20902 циклов и с 54616 циклов до 77126 циклов для электронно-лучевой сварки. Таким образом, применение ультразвуковойковки дает возможность существенно поднять усталостные и механические характеристики сварных соединений.

С применением методов рентгеноструктурного анализа, растровой и просвечивающей микроскопии выявлены особенности фазового состава, микроструктуры и разрушения сварных соединений после лазерной и электронно-лучевой сварки и последующей ультразвуковойковки. На основании полученных данных обсуждаются механизмы повышения усталостных характеристик исследуемого сплава после ультразвуковой обработки.

Авторы выражают благодарность филиалу ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого» за предоставленные материалы для исследования.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Крекутулева Р.А.¹, Черепанов О.И.², Черепанов Р.О.³

¹НИ Томский политехнический университет, Томск, Россия,

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия,

³НИ Томский государственный университет, Томск, Россия

rakrekt@mail.ru, oi_cherepanov@mail.ru, rcherepanov82@gmail.com

Характерной особенностью электронно-лучевой сварки разнородных металлов является высокая мощность и плотность потока энергии, а также высокая скорость нагрева до температур плавления и испарения металла. Эти особенности определяют актуальность теоретических исследований поведения свариваемых материалов при под действием пучка электронов высоких энергий с целью выбора режимов, обеспечивающих хорошие эксплуатационные характеристики сварных соединений, отсутствие таких нежелательных эффектов, как сквозное проплавление. Не менее важной задачей является оценка термических напряжений с учетом процессов плавления, испарения и кристаллизации в зоне сварного шва.

В данной работе предложена численная модель для исследования процессов нагрева, плавления и кристаллизации при электронно-лучевой сварке разнородных металлов, оценки термических напряжений в сварном шве при разных режимах сварки.

Основой модели являются вариационные уравнения теплопроводности и теории пластичности, которые имеют вид:

7. Сварка, родственные процессы и технологии для создания технических систем ответственного и специального назначения, в том числе для эксплуатации в экстремальных условиях и низких климатических температур Арктики и Крайнего Севера

$$\begin{aligned} & \iiint_V \left((\lambda_{ij} T_{,j}) (\delta\theta)_{,i} + C_\varepsilon \dot{T}(\delta\theta) + T \beta_{ij}^* \dot{\varepsilon}_{ij}^* (\delta\theta) - w(\delta\theta) \right) dV - \\ & - \iint_{S_G} n_j (\lambda_{ij} \bar{G}_{,i}) (\delta\theta) dS_G + \iint_{S_\alpha} \alpha (T - T_E) (\delta\theta) dS_\alpha + \iint_{S_Q} n_j \bar{q}_j (\delta\theta) dS_Q = 0, \\ & \iiint_V (\sigma_{ij}^E + \Delta^* \sigma_{ij}) \delta(\Delta^* e_{ij}) dV^{(n)} - \iiint_V (\bar{P}_i + \Delta \bar{P}_i) \delta(\Delta u^i) dV^{(n)} - \iint_{S_\sigma} (\bar{R}_i + \Delta \bar{R}_i) \delta(\Delta u^i) dS^{(n)} = 0. \end{aligned}$$

где $\bar{G}_{,i}$ – градиент температуры, $\alpha(T - T_E)$ – теплообмен с окружающей средой, $\bar{q}_j$ – тепловой поток от источника на поверхностях S_G , S_α , S_Q соответственно, T – температура тела, T_E – температура среды; λ_{ij} , C_ε , α – теплопроводность, теплоемкость и коэффициент теплообмена, $\delta\theta = Tdt$, t – время, $\bar{P}_i$, $\Delta \bar{P}_i$, $\bar{R}_i$, $\Delta \bar{R}_i$ – объемные и поверхностные силы; Δu^i , $\delta(\Delta u^i)$ – приращения перемещений и их вариации; $\Delta^* e_{ij}$ тензоры напряжений и деформаций.

Задача теплопроводности, как и задача расчета напряженно деформированного состояния структурно неоднородных материалов решается вариационно-разностным методом в двумерной постановке. Кроме того, проведены расчеты тепловых полей в трехмерной постановке задачи на основе явной разностной схемы решения уравнения теплопроводности. В модели учитывается зависимость физико-механических и теплофизических характеристик от температуры, различие свойств наиболее значимых структурных элементов свариваемых металлов, а также изменение свойств в результате фазовых превращений. Для верификации модели рассмотрен ряд тестовых задач.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ ЖИДКОФАЗНОМ СПЕКАНИИ ПСЕВДОСПЛАВОВ СО СВИНЦОМ

Русин Н.М.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия
rusinnm@mail.ru

Свинец сообщает подшипникам скольжения свойство самосмазывания и используется в сплавах алюминия и меди. При этом из-за большой разности плотностей и температур кристаллизации невзаимодействующих фаз сохранение однородной структуры отливки является сложной проблемой. Теоретически, её можно избежать при использовании методов ПМ, поскольку ещё на стадии формирования брикетов частицы Al и Cu образуют непрерывную устойчивую сетку (каркас), который при соответствующей температуре спекания превращается в непрерывную матрицу с прочно соединёнными зёрнами. Такая матрица эффективно противостоит локализации деформации в прослойках мягкой фазы, как при обработке заготовки, так и при эксплуатации изделия и сообщает подшипникам скольжения повышенную несущую способность.

Указанный подход хорошо зарекомендовал себя в случае сплавов Al-Sn, полученные спечённые изделия демонстрировали повышенную износостойкость при сухом трении по стальному контртелу [1], и для распространения его на порошковые системы Al-Pb и Cu-Pb также имеются все предпосылки. Алюминий и медь образуют со свинцом низкотемпературные эвтектики, растворяясь в нём в незначительных количествах. Следовательно, такая эвтектика будет смачивать твёрдые частицы и способствовать их перегруппировке к более плотной конфигурации под действием капиллярных сил. В то