

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

621.791.753.042.5

ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СВАРНЫХ ШВОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРОТИВ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН

Асс. С.А. КОРОЛЕВ

Рассмотрена физическая модель образования горячих трещин в процессе кристаллизации при сварке. На основе данной модели предложена методика расчета и программное обеспечение для оценки стойкости сварных швов конструкций из алюминиевых сплавов против образования горячих трещин.

The physical model of hot flaws formation at welding crystallization is examined. On the basis of the given model the design procedure and the software for an estimation of resistance of weld joints in constructions made of aluminum alloys against formation of hot flaws is offered.

Сварка является наиболее прогрессивным технологическим процессом получения неразъемных соединений алюминиевых сплавов. Распространенные дефекты при сварке алюминиевых сплавов — это поры, оксидные пленки, вольфрамовые включения и горячие трещины (ГТ). С точки зрения эксплуатации конструкций самыми опасными считаются дефекты типа ГТ, так как известны случаи, когда именно они были причинами аварийных разрушений. В связи с этим, как следует из большинства нормативных документов, ГТ недопустимы и подлежат обязательному исправлению [1, 2].

Физическая модель образования ГТ. Современные представления о природе образования ГТ основаны на физической модели согласно теории технологической прочности металлов в процессе кристаллизации при сварке, разработанной проф. Н.Н. Прохоровым [3]. Согласно этой теории, образование ГТ определяется тремя основными факторами (рис. 1): температурным интервалом хрупкости металла шва (ТИХ, °С); минимальной пластичностью в ТИХ (δ_{\min} , %); характером высокотемпературных деформаций металла шва в ТИХ (α_d , %/°С).

Сопротивляемость образованию ГТ (т.е. свойство металла сварного соединения сопротивляться разрушению, соответствующему по характеру разрушению при образовании ГТ) оценивается критическим темпом деформации ($\alpha_{кр}$).

$$\alpha_{кр} = \frac{\delta_{\min}}{\text{ТИХ}}. \quad (1)$$

Данный параметр служит для относительной сравнительной оценки склонности сварных соединений сплавов к образованию ГТ.

Стойкость сварных соединений конструкций против образования ГТ оценивается соотношением величин действующего при их сварке (α_d) и критического ($\alpha_{кр}$) темпов высокотемпературных деформаций. Если действующий темп меньше критического ($\alpha_d < \alpha_{кр}$), то делается вывод о стойкости сварного соединения конструкции против образования ГТ. В противном случае ($\alpha_d \geq \alpha_{кр}$) считается, что стойкость не обеспечивается.

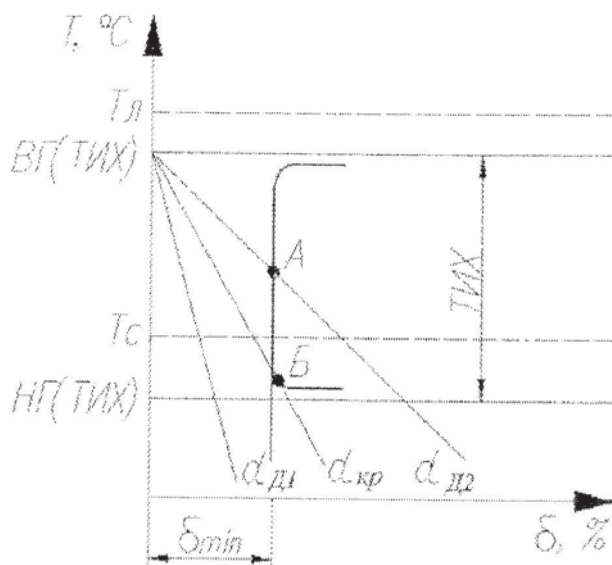


Рис. 1. Графическая иллюстрация теории технологической прочности металлов в процессе кристаллизации при сварке

Методика расчетной оценки стойкости сварных швов конструкций против образования ГТ. Для оценки стойкости реальных сварных соединений против образования ГТ необходимы данные о численных значениях вышеназванных факторов. Алгоритм такой оценки, базирующийся на описанной физической модели и подходах, предложенных в работе [4], приведен на рис. 2.

Исходные данные (блок 1) включают в себя параметры свариваемого материала, параметры изделия и режим сварки.

Расчет температурного поля (блок 2) и действующего темпа деформации α_d (блок 7) выполняется методом конечных элементов (МКЭ) в объемной постановке с использованием разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана программного комплекса «Сварка» [5]. Применение МКЭ позволяет учитывать геометрические особенности конструкции, условия закрепления, температурные зависимости теплофизических и механических свойств материалов.

Расчет ТИХ (блок 3) металла шва выполняется по методике, предложенной в работе [4], основанной на анализе равновесных диаграмм состояния сплавов с учетом влияния неравновесности процесса кристаллизации при сварке. Данная методика была использована для нахождения границ и величины ТИХ применительно к наиболее распространенным в промышленности системам легирования Al—Mg, Al—Si, Al—Cu и Al—Zn.

Расчет минимальной пластичности в ТИХ (блок 5) является одним из самых сложных вопросов. В монографии [6] приведена математическая статистическая линейная модель, позволяющая для условий литья определять величину минимальной пластичности в ТИХ с учетом параметров, описывающих твердо-жидкое состояние металла (линейный размер зерен, относительное количество жидкой фазы, толщина жидкой прослойки). Однако для сварки данная модель мало пригодна, так как не учитывает ее специфические особенности (неравновесность тепловых и металлургических процессов, характер кристаллизации, распределение деформации по ширине шва и т.д.)

На основе обобщения данных работ [4, 6, 7] было принято, что в условиях сварки величина минимальной пластичности зависит от значений следующих факторов, значимость которых приведена в убывающем порядке:

- угла схождения осей противоположно растущих кристаллитов (срастание кристаллитов боковыми гранями или их вершинами);
- критерия схемы кристаллизации, характеризующего распределение высокотемпературных деформаций по поперечному сечению шва (относительно равномерно или концентрируются в зоне срастания кристаллитов в центре шва);
- размера поперечных сечений кристаллитов (мелко- и крупнокристаллитные швы);
- количества эвтектической фазы в период завершения кристаллизации (полностью или частично заполняющей межкристаллитные пространства);
- типа первичной структуры (дендритного, ячеисто-дендритного и ячеистого).

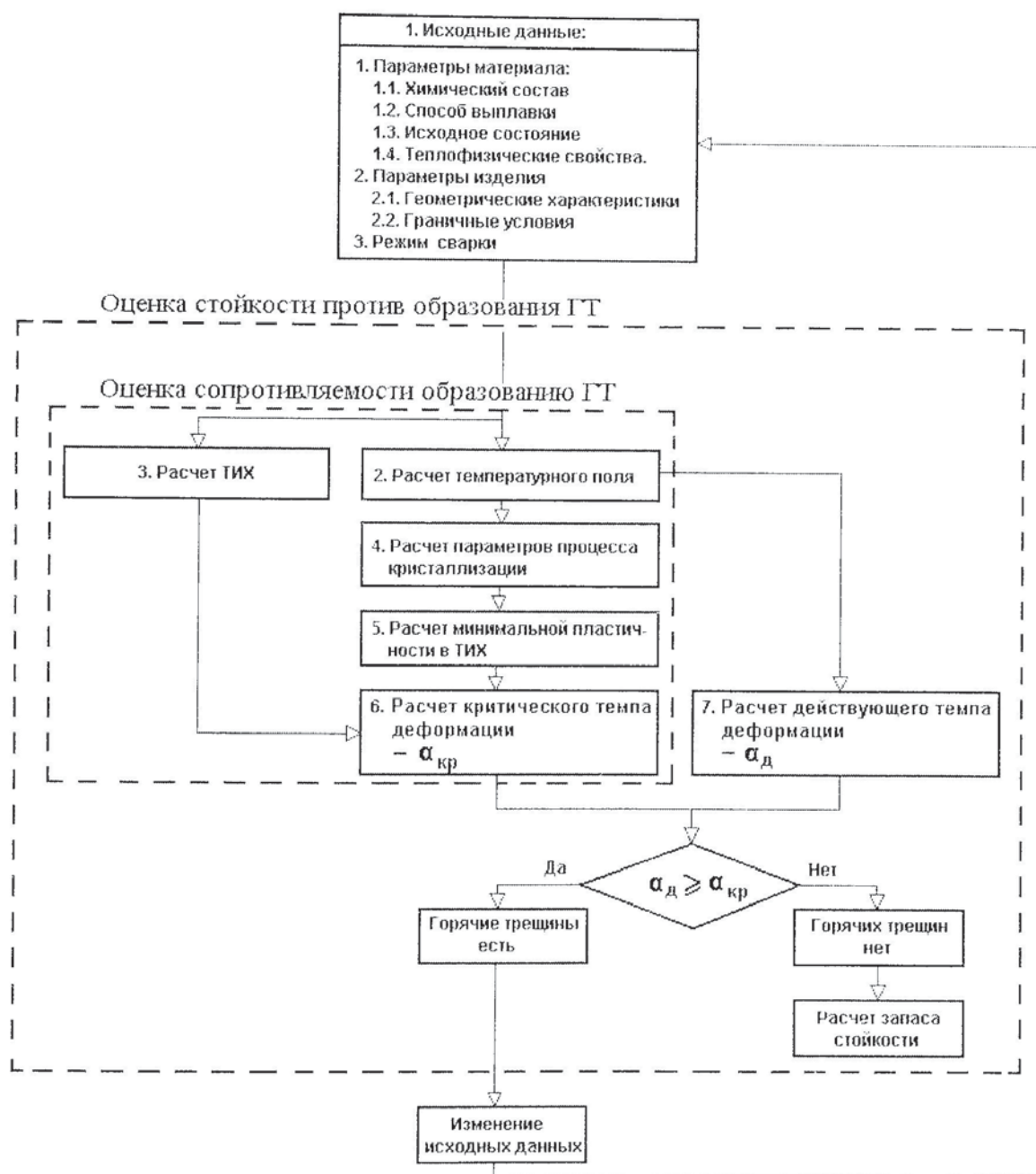
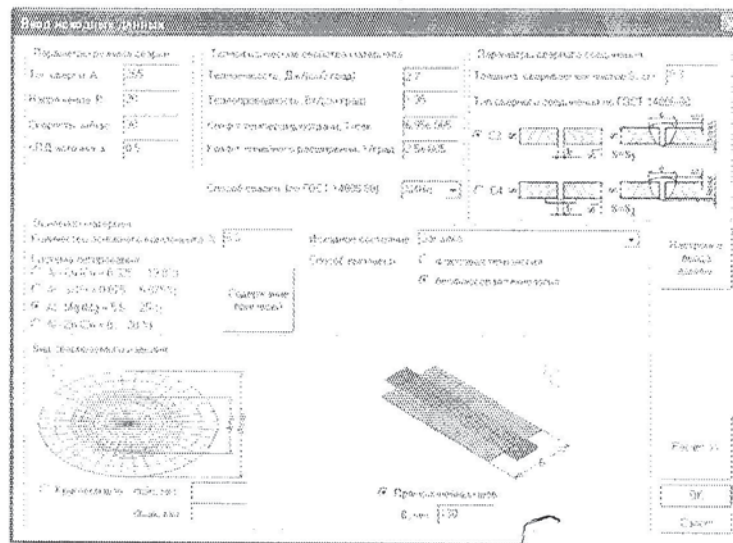


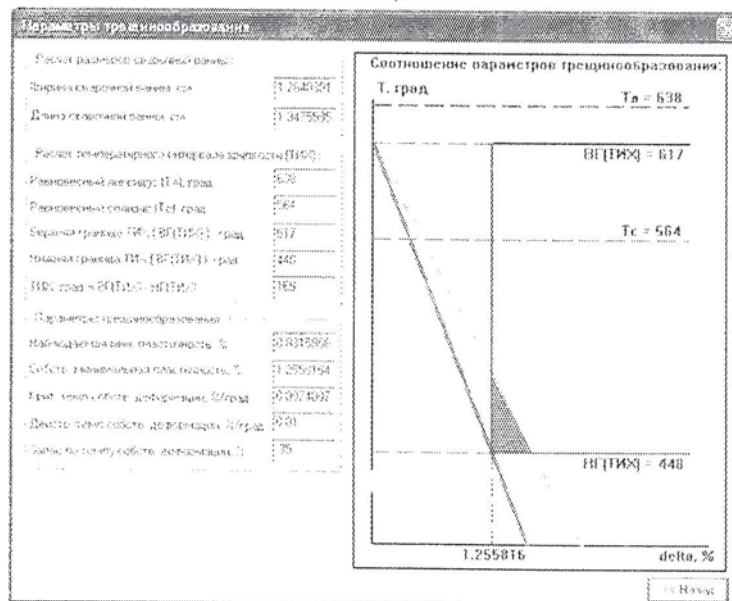
Рис. 2. Алгоритм расчетной оценки стойкости сварных швов конструкций из алюминиевых сплавов против образования ГТ



а)



б)



в)

Рис. 3. Пример работы ИИК «Свариваемость алюминиевых сплавов (горячие трещины)»: а — заставка; б — ввод исходных данных; в — параметры трещинообразования

Первые характеристики факторов соответствуют относительно высоким значениям, а вторые — относительно низкими значениями δ_{\min} при прочих равных условиях.

В предлагаемой расчетной методике используется модель, учитывающая значимость влияния факторов на минимальную пластичность в линейной зависимости [4]:

$$\delta_{\min} = \delta_{\min_{\min}} (1 + \sum K_i X_i), \quad (2)$$

где δ_{\min} — искомое значение минимальной пластичности металла шва в ТИХ, %; $\delta_{\min_{\min}}$ — наименьшее из известных экспериментальных значений минимальной пластичности в ТИХ для данного типа сплавов, %; X_i — нормированное значение величины, описывающей i -й фактор, влияющий на минимальную пластичность, [0 ... 1]; K_i — весовой коэффициент, характеризующий степень влияния i -го фактора на величину минимальной пластичности в ТИХ.

Инженерный программный комплекс ИПК «Свариваемость алюминиевых сплавов (горячие трещины)». Для удобства использования методика была реализована в виде инженерного программного комплекса ИПК «Свариваемость алюминиевых сплавов (горячие трещины)» [8, 9], пример работы которого в системе Windows приведен на рис. 3.

Работа в ИПК начинается с ввода исходных данных при помощи соответствующего диалогового окна (рис. 3, б). Основные результаты расчета отображаются в диалоговом окне «Параметры трещинообразования» (рис. 3, в). Данное окно выводит информацию о рассчитанных величинах равновесного ликвидуса и солидуса, величине температурного интервала хрупкости, его верхней и нижней границах, минимальной пластичности металла шва в ТИХ, критическом и действующем темпах деформации, запасе по темпу деформации. В правой части окна при помощи графического отображения всех выше-названных величин приводится геометрическая интерпретация физической модели образования ГТ согласно теории технологической прочности Н.Н. Прохорова для данного конкретного случая.

Выводы

1. В настоящее время, использование физической модели образования ГТ согласно теории Н.Н. Прохорова, накопленный объем экспериментальных данных, а также возможности современной вычислительной техники позволяют разработать методики расчетной оценки сопротивляемости образованию ГТ и расчетной оценки стойкости сварных швов реальных конструкций из алюминиевых сплавов против образования ГТ.

2. Разработанная методика реализована в виде инженерного программного комплекса ИПК «Свариваемость алюминиевых сплавов (горячие трещины)». Использование ИПК позволяет выбирать конструктивно-технологические параметры (КТП), обеспечивающие стойкость сварных конструкций против образования ГТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев Г.А., Фридрихер И.Н., Арбузов Ю.П. Свариваемые алюминиевые сплавы. — М.: Металлургия, 1990. — 296 с.
2. Сварка и свариваемые материалы: Справочник, В 3 т. / Под общ. ред. В.Н. Волченко. — М.: Металлургия, 1991. — Т1: Свариваемость материалов / Под ред. Э.Л. Макарова. — 528 с.
3. Прохоров Н.Н. Технологическая прочность металлов в процессе кристаллизации при сварке // Сварочное производство. — 1962. — № 4. — С. 1—5.
4. Расчетный метод оценки стойкости сварных соединений сплавов против образования горячих трещин / Э.Л. Макаров, А.В. Коновалов, Б.Ф. Якушин и др. // Сварочное производство. — 1997. — № 11. — С. 13—16.
5. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций: Учеб. Пособие для вузов; Под ред. С.А. Куркина, В.М. Ховова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 464 с.

6. Новиков И. И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. — М.: Наука, 1966. — 300 с.
7. Прохоров Н. Н. Физические процессы в металлах при сварке в 2-х томах. — М.: Металлургия, 1968. — Т. 1. — 695 с.
8. Макаров Э. Л., Коновалов А. В., Королев С. А. Инженерный программный комплекс «Свариваемость алюминиевых сплавов (горячие трещины)» // Компьютерные технологии в соединении материалов. 4-я Всероссийская научно-техническая конференция (с международным участием): Сб. тез. докл. — Тула: ТулГУ, 2003. — 156 с.
9. Королев С. А. Оценка склонности сварных швов алюминиевых сплавов к образованию горячих трещин // Образование через науку. Тезисы докладов Международной конференции. Москва, 2005 г. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 674 с.

621.91.01, 542.67

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОСЕТОК И ПРОНИЦАЕМЫХ ЩЕЛЕВЫХ ТРУБ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Инж. Н.Н. ЗУБКОВ, студ. А.Д. СЛЕПЦОВ

Предложено использование метода деформирующего резания для получения металлических сеток и фильтрующих труб со щелевой структурой поверхности. Выполнен теоретический анализ взаимосвязей параметров обработки и получаемой фильтрующей структуры. Разработана методика управления процессом деформирующего резания при сквозном прорезании.

Method of straining shearing is offered under production of wire cloths and filtrating pipes with a slit-like surface structure. Theoretical analysis of correlations between production performance and produced filtrating structure is executed. The technique of control is developed by process of straining shearing at open proshearing.

Проблема фильтрации жидкостей и газов актуальна практически для всех отраслей машиностроения, химической и пищевой промышленности. Большая потребность в недорогих фильтрах существует для систем промышленного водоснабжения. Для станций аэрации очистки сточных вод необходимы мелкопузырчатые аэраторы.

Для механического отделения твердых частиц наибольшее распространение получили металлические сетчатые и металлокерамические фильтры, а также бумажные и тканевые фильтроэлементы. На рынке ограниченно присутствуют фильтры со щелевой структурой фильтрующей поверхности, в то время как именно щелевые структуры имеют повышенную проницаемость, а также возможна их регенерация противотоком фильтрующей среды.

Для изготовления фильтрующих систем используются и полимерные материалы, такие как полиэтилен, полипропилен, ПЭТ. К их преимуществам можно отнести низкую стоимость, небольшой удельный вес, высокую коррозионную стойкость.

Разрабатываемый в МГТУ им. Н.Э. Баумана метод деформирующего резания (ДР)* позволяет образовывать на поверхностях различных материалов щели с шириной от 10 микрометров при глубине до единиц миллиметров. Поэтому метод ДР можно использовать для изготовления фильтров тонкой, средней и грубой очистки, имеющих щелевую структуру фильтрующей поверхности. Реализация получения фильтров со щелевой структурой методом ДР возможна как на листовых, так и на трубных заготовках.

* Зубков Н.Н. Многофункциональная технология увеличения площади поверхности для повышения теплообменных и технологических свойств деталей // Полет (авиация, ракетная техника и космонавтика). — № 3. — 2003. — С. 41—46.