

УДК 621.791.011**СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН ПРИ СВАРКЕ**Максим Витальевич Заболотный⁽¹⁾, Даниил Валерьевич Куприянов⁽²⁾, Сергей Алексеевич Лютов⁽³⁾*Студенты 4 курса,
кафедра «Технологии сварки и диагностики»
Московский государственный технический университет**Научный руководитель: С.А. Королёв,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики»*

Горячие трещины (ГТ) – это хрупкие локальные межкристаллитные (межзеренные) разрушения, возникающие на этапе кристаллизации в твердожидком состоянии в шве и околошовной зоне (ОШЗ) [1]. В соответствии с отечественными и зарубежными источниками выделяют два типа ГТ: кристаллизационные – в шве и ликвационные – в ОШЗ.

На склонность металла к образованию ГТ оказывает влияние комплекс металлургических (химический состав и вредные примеси, состояние поставки и т.д.), технологических (режимы сварки, способ сварки и т.д.) и конструкционных (геометрические размеры, условия закрепления и т.д.) факторов. Так как в силу своего разнообразия учет совместного действия указанных факторов представляет собой сложную задачу, в нашей стране и за рубежом существует ряд отличающихся друг от друга теорий, описывающих механизм образования ГТ.

В данной работе рассмотрены представления отечественных и зарубежных исследователей о механизме образования ГТ.

Среди отечественных исследователей наибольшее признание получила физическая модель Н.Н. Прохорова, согласно которой образование ГТ обусловлено тремя факторами: минимальной пластичностью, температурным интервалом хрупкости и действующим темпом высокотемпературной деформации. Согласно этой модели высокотемпературная деформация сварного шва, находящегося в неоднородном твердожидком состоянии, принимается равномерно распределенной по его поперечному сечению.

Из иностранных источников особый интерес представляет критерий Rappaz – Drezet - Gremaud (RDG) [2]. Данный подход рассматривает появление ГТ как результат кавитации (образование пустот в жидкости в результате падения внутреннего давления). Трещины образуются в том случае, если падение давления в междендритном пространстве Δp больше Δp_c – кавитационного давления: $\Delta p = \Delta p_{sh} + \Delta p_{mec} + \rho g h$, где Δp – давление на область двухфазной зоны, МПа; Δp_{sh} – вклад в падение давления, связанного с усадкой при затвердевании, МПа; Δp_{mec} – вклад в падение давления, индуцируемого потоком жидкости, МПа; ρ – плотность сплава, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – высота столба сплава, м.

Еще одним зарубежным критерием образования ГТ является критерий HCS, разработанный Clyne и Davies [3]. Его модификация отражает зависимость степени залечивания ГТ от доли твердой фазы (F_s) и размера зерна (g_s).

$HCS = \frac{t_V}{t_R} = \frac{t_{99} - t_{90}}{t_{90} - t_{40}}$, где t_V – уязвимый период времени (подверженность горячим разрывам), с; t_R – время, доступное для снятия напряжений (массоперенос и фильтрация

расплава), с; t_{99} – время, при котором доля твердой фазы равна $F_s = 0.99$, с. В модифицированном виде данный критерий выглядит следующим образом:

$CSC^* = \frac{t_V}{t_R} (\Delta T) g_s$, где CSC^* – модифицированный критерий подверженности ГТ; ΔT – интервал температуры, °С; g_s – размер зерна.

Наличие у отечественных и иностранных исследователей различных подходов при описании механизма образования ГТ говорит о сложности данного явления и необходимости его более комплексного и разностороннего изучения.

Литература

1. *Макаров, Э. Л.* Теория свариваемости сталей и сплавов / Э. Л. Макаров, Б. Ф. Якушин; под ред. Э. Л. Макарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 487 с.
2. *J.-M. Drezet, D. Allehaux.* Application of the Rappaz-Drezet-Gremaud Hot Tearing Criterion to Welding of Aluminum Alloys// Hot Cracking Phenomena in Welds II. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – С. 19-20.
3. *Carl E. Cross, N. Coniglio, P. Schempp, and M. Mousavi.* Critical Conditions for Weld Solidification Crack Growth// Hot Cracking Phenomena in Welds III. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – С. 25-26.