

ОБРАЗОВАНИЕ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН ПРИ СВАРКЕ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

Д.В. Изотов

Трещины – один из наиболее опасных дефектов в сварных соединениях. Горячие трещины обычно расположены в металле шва и образуются при кристаллизации металла в температурном интервале хрупкости (ТИХ) [1]. В этом интервале металл в основном находится в твердо-жидком состоянии и имеет малое временное сопротивление разрушению. В процессе усадки сварного соединения возникают усадочные деформации, которые приводят к образованию растягивающих напряжений.

Деформации металла, в температурном интервале хрупкости при сварке зависят не только от температурного коэффициента линейного расширения свариваемого металла, но и от жесткости изделия, а также режима сварки. При этом малая жесткость свариваемого изделия может привести к короблению металла в температурном интервале хрупкости вследствие деформаций всего изделия, вызываемым его местным нагревом сварочным источником тепла [2].

Как отмечалось выше, кристаллизационные трещины образуются в твердо-жидком состоянии металла, когда возможностей для питания объемно-кристаллизующегося расплава недостаточно, активно идут ликвационные процессы и пустующее пространство занимают легкоплавкие соединения.

В исследовании [4] рассматривается сварка разнородных сталей аустенитного и перлитного классов. При сварке малоуглеродистых сталей важную роль в появлении кристаллизационных трещин выполняет сера. Это объясняется ее способностью образовывать легкоплавкие сульфидные эвтектики, которые остаются расплавленными в ТИХ. При сварке аустенитных сталей важную роль в появлении кристаллизационных трещин выполняет кремний.

Так же при сварке как перлитных, так и аустенитных сталей непосредственной причиной образования кристаллизационных трещин может стать углерод, поскольку в этом случае происходит образования легкоплавких карбидов, которые располагаются по границам зерен.

К наиболее распространенным элементам, которые снижают опасность образования кристаллизационных трещин, относятся марганец и хром. Влияние Mn и Cr обычно связывают с образованием их сульфидов, температура плавления которых выше, чем температура кристаллизации металла сварочной ванны, вследствие чего сульфиды Mn и Cr должны находиться в твердом состоянии. При этом, чем выше содержание марганца в металле, тем больше его во включениях и тем более они тугоплавкие и меньше по размеру.

Так как в исследовании использовалось сварное соединение аустенитной стали с перлитной, то необходимо учитывать отрицательное влияние на образование горячих трещин, как серы, так и кремния. Склонность металла шва к образованию горячих трещин определяли путем подсчета серного эквивалента HSC. Установлено, что при HSC < 4 % вероятность образования горячих трещин в сварном соединении минимальна [3]. Подсчет серного эквивалента HSC производится по формуле:

$$\text{HCS} = \frac{C \left(S + P + \frac{\text{Si}}{25} + \frac{\text{Ni}}{100} \right) \cdot 10^3}{3\text{Mn} + \text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}. \quad (1)$$

При этом необходимо иметь в виду, что химический состав металла

шва определяется на основе соотношения долей основного металла и присадочного металла (см. таблицу).

Химический состав металла сварного шва и околошовной зоны

Марка	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S, не более	P, не более	Mo
Основной и присадочный материал								
Присадочный металл (электрод ЦТ-10)	0,07–0,14	0,3–0,7	1,5–2,3	13,5–17,0	23,0–27,0	0,018	0,03	5,0–7,0
12X18H10T ГОСТ 5632–72	0,12	0,8	2,0	17,0–19,0	9,0–11,0	0,020	0,035	–
Сталь 30 ГОСТ 1050–88	0,27–0,35	0,17–0,37	0,5–0,8	0,25	0,25	0,040	0,035	–
Сварной шов								
Наплавленный металл (66 %)	0,066	0,33	1,254	9,9	16,5	0,012	0,02	3,3
Распл. металл 12X18H10T (17 %)	0,0204	0,136	0,34	3,06	1,7	0,0034	0,0059	–
Распл. металл Сталь 30 (17 %)	0,051	0,034	0,1105	0,0425	0,0425	0,0068	0,0059	–
Итого в шве	0,1374	0,5	1,7045	13,0025	18,2425	0,0222	0,0318	3,3

При проведении эксперимента [4] было выявлено, что доля присадочного металла в шве составляет 66 %, а доля основного металла – 34 % (по 17 % каждого металла).

Подставляя значения из таблицы в формулу (1), получим серный эквивалент $HSC = 1,645 < 4$, следовательно, металл шва не склонен к образованию горячих трещин.

Следует отметить, что приведенный расчет не дает полной гарантии отсутствия горячих трещин в сварном соединении при сварке разнородных металлов, он лишь исключает грубые ошибки, при выборе присадочного материала.

Следует так же учитывать влияние геометрии шва и усадки при кристаллизации сварочной ванны. При кристаллизации металла шва коэффициент усадки аустенитной и перлитной сталей различен, следовательно, и различны деформации.

При кристаллизации малоуглеродистые стали претерпевают перлитное расширение, которое в некотором роде гасит влияние усадки, однако это происходит только при температурах значительно ниже температуры со-

лидус. Таким образом, если при кристаллизации сварочной ванны не произошло образование трещины, то при дальнейшем охлаждении перлитное расширение в малоуглеродистой стали снизит уровень напряжений в сварном соединении.

Библиографический список

1. Деев, Г.Ф. Дефекты сварных швов / Г.Ф. Деев. – Киев: Наук. думка., 1984. – 193 с.
2. Мовчан, Б.А. Взаимосвязь физической микронеоднородности с горячими трещинами в сварных швах/ Б.А. Мовчан // Сварочное производство. – 1962. – № 4. – С. 6–8.
3. Петров, Г.Л. Теория сварочных процессов: учеб. для вузов / Г.Л. Петров, А.С. Тумарев. – 2-е изд. перераб. – М.: Высш. школа, 1977. – 398 с.
4. Изотов, Д.В. К вопросу о снижении структурной неоднородности переходной зоны при сварке разнородных сталей 12Х18Н10Т и Стали 20 / Д.В. Изотов, М.А. Иванов, М.В. Шахматов // Наука и технология: краткие сообщения XXX Рос. шк., посвящ. 65-летию Великой Победы – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – Т. 1.