

их выходных сигналов по аддитивным алгоритмам с помощью микропроцессорных средств позволяет провести полную коррекцию конструктивных и технологических погрешностей ЭМФВ и диагностику его работы.

В. И. Панов

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В дисциплине «Технология сварки плавлением» рассматривается вопрос ремонтной сварки конструкций, вышедших из строя. Наиболее часто восстановительные работы выполняют сварочными материалами типа Э-50А, имеющими показатель свариваемости по классификации Международного института сварки $P\omega \leq 0,18\%$. Хотя металл многопроходного шва имеет феррито-перлитную структуру, низкое содержание углерода (0,10% и менее) и твердость не более 200 НV, тем не менее именно он наиболее часто поражается трещинами. Наблюдала случаи и хрупких разрушений. Трещины возникали не только вследствие воздействия термомеханических циклов сварки, но и при других операциях: предварительном подогреве, термической, механической, слесарной и других видах обработки. Объяснить их появление с известных позиций теории сварочных процессов не представляется возможным. Считается, что металл, имеющий показатель $P\omega \leq 0,25 \dots 0,28\%$, к образованию трещин не склонен. Между тем образование поперечных трещин в наплавленном металле говорило об участии в этом процессе водорода.

В вопросах водородного охрупчивания (ВО) металла нет единого понимания. При изучении поведения этой неизбежной примеси чисто экспериментальным путем имеются значительные трудности. Поэтому были сделаны многочисленные попытки оценить ВО путем построения математических моделей. Целью настоящей работы явилось сопоставление теоретических результатов, касающихся возможного образования трещин под воздействием водорода, и их применения к образованию трещин в массивных конструкциях сложной формы индивидуального тяжелого машиностроения.

Рассмотрены следующие модели:

- модель МИСа (параметрические уравнения Ито – Бессо);
- «МВТУ – ЛТИ – 2 – Трещиностойкость» (Э. Л. Макаров и др.);

- «Распределение водорода при однопроходной сварке» (В. А. Кархин и В. Г. Михайлов);
- «Расчет давления, создаваемого водородом в микрополостях металла шва и зоны термического влияния» (В. И. Махненко и Т. Г. Рябчук);
- «Оценка влияния феррито-перлитных сварочных материалов на сопротивляемость металла ЗТВ-соединений высокопрочных сталей образованию холодных трещин» (Э. Л. Макаров и др.);
- «МВТУ – ЛТП – 2 – Водород» (Э. Л. Макаров и др.);
- модели Ю. Н. Готальского;
- модель Н. Юриока.

Общий подход при построении этих и других моделей основан на следующих основных положениях теории замедленного разрушения закаленных сталей:

- источником водорода в металле сварного соединения является водород, вносимый при сварке;
- водород перемещается из наплавленного металла в зону термического влияния по механизму концентрационной диффузии;
- напряженно-деформированное состояние металла сварного соединения на перемещение водорода влияния не оказывает.

По расчетным данным, наибольшая концентрация диффузионного водорода находится в зоне термического влияния на расстоянии 0,2–0,5 мм. В расчетах использовалась двухмерная модель перемещения водорода. Проверка расчетных данных проводилась на маломерной технологической пробе СЭВ-19-ХТ или ее аналогах с выполнением однопроходного шва.

Упомянутые подходы, допущения, принятые в моделях, и полученные результаты не позволяют объяснить образование трещин в многопроходных швах массивных конструкций индивидуального тяжелого машиностроения. Они противоречат результатам испытаний на пробах Лихай и Теккен, имеющих концентратор напряжений в корне шва (аналогично пробе СЭВ-19-ХТ).

Согласно концепции Ю. Н. Готальского, механизм образования трещин в зоне термического влияния в общих чертах сводится к следующему. При насыщении водородом металла шва вследствие создания больших внутренних давлений в микропустотах существенно снижается микропластичность и в околосшовной зоне возникает такое напряженное состояние, при котором основная часть мартенситного превращения сдвигается в об-

ласть более низких температур. Получаемый при этом мартенсит обладает повышенной тетрагональностью, в силу чего металл становится более напряженным и склонным к образованию трещин. Данная гипотеза противоречит основным положениям мартенситного превращения, распределению напряжений в металле сварного соединения с закаленной структурой. Не конкретен термин «большие внутренние напряжения». Величина давления в порах является спорной, разные авторы оценивают ее от 1 до 240 000 атм. В любом случае нам представляется достоверным утверждение В. И. Махненко о том, что давление водорода в порах недостаточно для образования трещин. За 45 лет наблюдений в металлоконструкциях Уралмашзавода не было зафиксировано образование каких-либо трещин в зоне термического влияния.

Под воздействием водорода в швах большой толщины образуется три вида поперечных трещин:

- поверхностные трещины типа магистральных;
- группы поверхностных трещин типа «частокол» в пределах одного валика;
- одиночные внутренние трещины в пределах одного валика.

Проведенный комплекс многолетних исследований позволил разработать феноменологическую модель образования водородных трещин в металле многопроходных швов. Ее суть сводится к следующему:

1. Источником водорода в металле сварного соединения может быть и водород основного металла (фасонных отливок и поковок).

2. Водородное охрупчивание металла массивных конструкций происходит с участием всех пяти известных гипотез.

3. Водород рассмотрен как решеточный газ.

4. В процессе непрерывной многопроходной сварки водород «запирается» в ранее наплавленном металле, при этом его избыточное содержание настолько искажает кристаллическую решетку, что достаточно небольшого возмущения (удар молотком), чтобы вызвать хрупкое разрушение всей конструкции.

5. Водород разделен на водород, способный к миграции и десорбции, водород, временно задержанный в местах концентрации деформаций и напряжений, и остаточный водород. В процессе технологического цикла или при эксплуатации в случае перераспределения напряженно-деформи-

рованного состояния задержанный водород приобретает способность к перемещению и вызывает дальнейшее образование трещин.

6. Перемещение водорода внутри металла массивных конструкций возможно по всем известным механизмам диффузии.

В. И. Панов

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ХОЛОДНОЙ СВАРКИ В МОЛЕКУЛЯРНОМ ВИДЕ

В настоящее время восстановлению работоспособности вышедшего из строя оборудования уделяется большое внимание. В значительной степени эта проблема решается за счет реновации. С целью подготовки специалистов соответствующего уровня в 1994 г. согласно постановлению Госкомвуза РФ организована специальность 072101 Реновация средств материального производства и разработан государственный межотраслевой образовательный стандарт по данной специальности.

В последние годы широкое распространение получила холодная сварка в молекулярном виде (ХСМВ). Она признана эффективным методом восстановления деталей машин различного назначения. ХСМВ выполняется на воздухе без подогрева и давления, при этом не требуется дополнительная защитная среда. Не нужна и высокая квалификация исполнителя.

В качестве расходных материалов используются полимерные композиты, представляющие собой металлические, металлокерамические и резинотехнические пасты. Они созданы на основе новейших научных исследований в области самоорганизации структур дисперсных сред с применением новых комплексных физико-технологических методов.

Металлополимеры выпускают в виде паст, гелей и жидкостей. Их основу составляют модифицированные эпоксидные и аминовые смолы в сочетании с наполнителями из металлических, керамических и минеральных частиц. Составные компоненты легко смешиваются руками и доводятся до состояния пластилина. В подавляющем большинстве случаев нанесенная композиция схватывается за 5 мин, полимеризуется за 15 мин, полное отверждение происходит за 1 ч. Такие композиции придают требуемые свойства нанесенному полимеру (адгезия к любым материалам, механическая прочность, температуростойкость (до 1315 °С), химическая стойкость и др.).