

Студент: гр. 10403114 Фигурин Ф.К.

Магистрант: Каноник А.Ф.

Научный руководитель – Бендик Т.И.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Тенденция повышения эффективности энергетических установок путем перехода на суперсверхкритические параметры пара (с температурой 580–620 °С и давлением 25–30 МПа) требует применения конструкционных материалов, обладающих необходимыми технологическими свойствами: высокой жаропрочностью, вязкостью, коррозионной стойкостью и технологической прочностью.

С данной точки зрения наиболее перспективным представляется использование жаропрочных высокохромистых сталей с содержанием хрома 9–10 %, как обладающими высоким сопротивлением ползучести, относительно низкой стоимостью и высокой экономической эффективностью их применения. В качестве примера марок таких сталей можно привести разработанные в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» стали 10Х9МФБ и 10Х9В2МФБР, а также сталь X10CrMoVNb9-1 (EN 10216-2), P91 (ASTMA335), T91 (ASTMSA213) и сталь X10CrWMoVNb9-2 (EN 10216-2), P92 (ASTMA335), T92 (ASTMSA213) [1].

Данные стали имеют более высокие показатели длительной прочности в сравнении с традиционно используемыми материалами для тепловой энергетики. На рисунке 1 показано иллюстративное сравнение толщин стенок двух труб: из обычной теплоустойчивой стали P22 и жаропрочной P91.



Рисунок 1 – Сравнение толщин стенок труб из теплоустойчивой P22 (ближайший аналог 12Х2М) и жаропрочной стали P91 (ближайший аналог 10Х9МФБ).

Высокие прочностные свойства стали P91 обусловлены легированием и структурой, сформировавшейся после термической обработки: в результате мартенситного превращения при закалке на воздухе с температур порядка 1050 °С в стали формируется дислокационная структура, стабильность которой в процессе ползучести обеспечивается подавлением перемещения дислокаций путем снижения скорости диффузии в твердом растворе и выделением при высоком отпуске (730–780 °С) дисперсных вторичных карбидных и карбонитридных фаз, сдерживающих развитие динамической полигонизации при температурах эксплуатации [1,2].

Однако вышеперечисленные преимущества жаропрочной стали P91 несколько снижаются из-за сложности в реализации процесса сварки данного материала, который заключается в необходимости последовательного выполнения следующих технологических операций [3, 4]:

- предварительный подогрев и контроль температуры между проходами 200–250 °С;
- для завершения мартенситного превращения после сварки швы необходимо охладить до 80–100 °С;
- послесварочная термообработка: отжиг 750–780 °С не менее 2 часов.

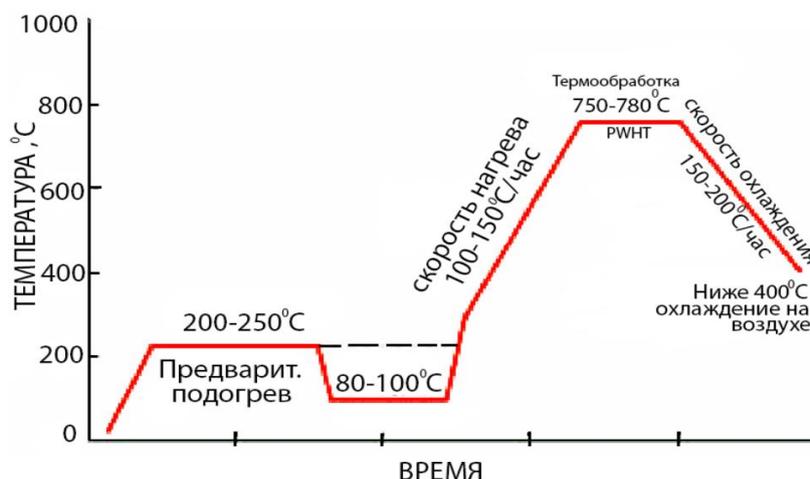


Рисунок 2 – Параметры предварительного подогрева и термообработки при сварке P91

Для сварки турбин, котлов высокого давления, технологических трубопроводов в химической промышленности, работающих при температуре до + 650 °С применяются сварочные материалы, обеспечивающие равнопрочность швов и основного металла и имеющие химический состав близкий со свариваемой сталью, например, для сварки неплавящимся электродом GTAW (присадочный пруток EN ISO 21952-A: W CrMo91, защитный газ Ar), сварки под флюсом SAW (фторидо-основной сварочный флюс EN ISO 14174 SA FB 1 55 DC H5, проволока EN ISO 24598-A S S CrMo91), для ручной дуговой сварки SMAW (электроды EN 1599: E CrMo91 B 4 2 H5).

Сталь P91 отличается большой склонностью к образованию холодных трещин, поэтому предъявляются повышенные требования к сварочным материалам: минимальное содержание водорода в наплавленном металле (не более 5 мл/100грамм наплавленного металла).

Для достижения высоких механических свойств сварку необходимо вести тонкими слоями не более 2–3 мм толщиной и предусмотреть мероприятия по снижению остаточных напряжений и деформаций после сварки.

#### Список использованных источников

1. Скоробогатых, В.Н. Новые материалы для перспективных энергетических установок / В.Н. Скоробогатых, И.А. Щенкова, П.А. Козлов / Арматуростроение, 2010. – №3(66). – с. 56–59.
2. Abe, F. Precipitate design for creep strengthening of 9% Cr tempered martensitic steel for ultra-supercritical power plants. Science and Technology of Advanced Materials, 2008. – №9(1). – P. 11–15.
3. Tammasophon N. Effect of Postweld Heat Treatment on Microstructures and Hardness of TIG Weldment between P22 and P91 Steels with Inconel 625/ N. Tammasophon, W. Homhrajai, G. Lothongkum/ Journal of Metals, Materials and Minerals, 2011/ – Vol. 21, № 1. – P.93–99.
4. Krishi Sanskriti. A Study on Effect of Preheating and Post Weld Heat Treatment (PWHT) of Grade P91/ Akhilesh Kumar Singh, Tapas Debnath, Vidyut Dey and Ram Naresh Rai/ Steel Journal of Material Science and Mechanical Engineering (JMSME). – 2015. – Vol. 2, № 8. – p. 57–62.