Коррозионная стойкость сварных соединений мартенситно-старееющих сталей для силоизмерительных упругих элементов

10, октябрь 2012

DOI: 10.7463/1012.0463200

Тарасенко Л. В., Унчикова М. В.

УДК 669.14.018.8

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Unchikova_mv@mail.ru

Введение

В настоящее время в различных отраслях промышленности находят широкое применение тензометрические электронные весы, точность которых определяется свойствами силоизмерительного упругого элемента (СУЭ). С учетом условий эксплуатации материал СУЭ должен обладать высоким сопротивлением микропластическим деформациям при статических и динамических нагрузках, необходимым уровнем ударной вязкости при климатических колебаниях температуры, стойкостью к атмосферной коррозии. Не менее важным является такое технологическое свойство как свариваемость. Таким образом, требования к материалу показывают перспективность замены при изготовлении СУЭ углеродистых сталей с покрытием на коррозионно-стойкие комплексно-легированные мартенситно-старееющие, из которых наиболее широкое применение получили стали ВНС-2 (08X15H5Д2Т) и ЭП817 (06X14H6M2БТ) [1].

Разработанные для деталей авиастроения эти стали используются после закалки и последующего перестаривания при температурах, превышающих 550 °С, когда за счет образования 25-30 % ревертированного аустенита достигается благоприятное сочетание прочности, надежности и коррозионной стойкости [2]. Однако аустенит снижает сопротивление малым пластическим деформациям и релаксационную стойкость упругих элементов [3], в связи с чем указанные температуры старения не могут применяться для СУЭ. Нами были проведены исследования структуры и свойств сталей ЭП417 и ЭП817 после режимов старения, исключающих возможность образования аустенита. Путем сравнения механических и коррозионных свойств был определен [4] оптимальный режим старения (450 °С, 1 ч), исключающий образование аустенита и благоприятно влияющий на упругие характеристики сталей.

Однако свойства, полученные в результате термообработки, могут изменяться при последующих технологических операциях, в том числе сварке, используемой при изготовлении СУЭ. Если нагрев материала при сварке приводит к образованию карбидов хрома по границам зерен и как следствие, к локальному снижению электродного потенциала, то в атмосферных условиях будет развиваться межкристаллитная коррозия (МКК). Кроме того пограничное выделение карбидов хрома отрицательно сказывается на характеристиках надежности и провоцирует коррозионное растрескивание.

Цель работы – оценка склонности сталей к МКК и исследование влияния сварки (технологических нагревов) на коррозионные свойства сталей ЭП410 и ЭП817.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на сталях промышленных плавок, химический состав которых приведен в таблице.

Таблица. Химический состав сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	Cu	Ti	Nb
ЭП410 (06X15H5Д2Т)	0,05	14,2	5,35	-	0,45	0,54	2,2	0,05	-
ЭП817 08X14H6Д2МБТ)	0,066	14,5	6,0	1,64	0,50	0,62	2,03	0,08	0,37

Склонность сталей к МКК определяли по результатам металлографического анализа после электролитического травления шлифов, которые предварительно закаливали и выдерживали при температуре 750 °С в течение одной или 10 мин. Электролитическое полирование проводили в 5 % водном растворе плавиковой кислоты. Ток при травлении составлял 0,38-0,78 А, время варьировали от 15 до 38 с. Микроструктуру исследовали на микроскопе «Leitz Metallovert». Появление карбидной сетки определяли по повышенной травимости границ зерен.

Коррозионную стойкость сварных соединений оценивали по анодным поляризационным кривым (АПК), позволяющим определить электрохимические свойства стали, общий характер зависимости скорости анодного растворения от потенциала, установить величины критических параметров, характеризующих склонность к пассивации, а также скорость растворения в пассивном состоянии и потенциал перехода в область транспассивации.

Потенциодинамические испытания проводили в кислой среде, хлорсодержащем электролите 0,01 н. NaCl + 0,01 н. HCl. Для исследования оставляли рабочую поверхность площадью в 1 см², остальную поверхность изолировали лаком, устойчивым в растворах, содержащих ионы хлора. АПК снимали на потенциостате П-5848 в режиме автоматической развертки потенциала со скоростью 0,25 мВ/с.

Результаты исследований и обсуждение

Образование карбидной сетки, свидетельствующее о склонности сталей к МКК, возможно при медленном охлаждении сталей ЭП410 и ЭП817 из аустенитной области вследствие уменьшения растворимости углерода с понижением температуры или при нагреве закаленной стали с мартенситной структурой в область температур образования карбидов. Таким образом, в сварных изделиях МКК может возникнуть как в наплавленном металле из-за медленного охлаждения шва, так и в основном металле, в зоне термического влияния, где металл нагревается выше линии сольвуса.

Для предварительной оценки склонности сталей к МКК использовали термокинетические кривые образования карбидной сетки в сталях с молибденом (07X14H6Д2М) и без него (07X14H6Д2) (рис. 1). Представленные на рис. 1 данные показывают, что при нагреве стали 07X14H6Д2 карбидная сетка образуется, начиная с температуры 560 °С при выдержке 1 ч. С повышением температуры время образования карбидов резко уменьшается.

Рис. 1. Влияние термообработки на выделение карбидной сетки в сталях 07X14H6Д2 и 07X14H6Д2М при нагреве (сплошные линии) и охлаждении в изотермических условиях (пунктирные линии) [5]

Молибден в стали 07X14H6Д2М сдвигает начало выделения карбидной сетки при нагреве к более высоким температурам. После выдержки в течение одного часа карбидная сетка в структуре стали появляется, только начиная с температуры 650°C , что объясняется, очевидно, понижением, как термодинамической активности углерода, так и диффузионной подвижности других атомов в присутствии молибдена. Благоприятное влияние этого элемента проявляется также при охлаждении аустенита - С-образная кривая формирования карбидной сетки в стали 07X14H6Д2М резко сдвинута вправо и время, необходимое для ее образования при температуре 750°C , увеличивается на порядок.

Сравнение термокинетических кривых образования карбидной сетки (рис.1) также показывает, что при нагреве мартенсита сетка карбидов формируется значительно быстрее, чем при той же температуре при охлаждении аустенита. Это различие объясняется разницей в скорости диффузии углерода в $\alpha\text{-Fe}$ и $\gamma\text{-Fe}$, а также различной поверхностной энергией на границах раздела $\text{Fe}_{\alpha} - \text{Me}_{23}\text{C}_6$ и $\text{Fe}_{\gamma} - \text{Me}_{23}\text{C}_6$. Таким образом, можно предположить, что наиболее вероятной областью появления карбидной сетки, и, следовательно, областью пониженной коррозионной стойкости в сварном шве является зона термического влияния (ЗТВ).

Проведенные нами металлографические исследования склонности сталей ЭП410 и ЭП817 к МКК показали, что если в стали ЭП410 карбидная сетка образуется уже через одну мин. и становится более рельефной после 10 мин выдержки, то в стали ЭП817 карбидная сетка в течение этого времени не обнаружена.

Более высокая стабильность стали ЭП 817 по сравнению с ЭП 410 связана, вероятно, с ее легированием не только молибденом, но и таким сильным карбидообразующим элементом как ниобий.

Влияние сварки на свойства сталей исследовали на образцах после упрочняющей термообработки – закалки и старения при 450°C . Поверхность оплавливали электрической дугой ($I = 180 \text{ A}$) в течение 16 с. После прекращения горения дуги неравномерное охлаждение сварного соединения привело к формированию различных структур по мере удаления от зоны оплавления. Если зона оплавления имела мартенситную структуру, формирующуюся при быстром охлаждении из аустенитной области, то зона термического влияния с дисперсной структурой отличалась, по данным металлографического анализа, повышенной травимостью, что свидетельствовало о снижении ее коррозионной стойкости.

Для оценки коррозионных свойств сварных соединений сталей ЭП410 и ЭП817 были построены АПК для основного металла и ЗТВ.

Результаты, представленные на рис. 2, подтверждают данные металлографических исследований о более низкой коррозионной стойкости ЗТВ по сравнению с основным

металлом, поскольку различие в токе коррозии составляет более 10 раз как для стали ЭП410, так и для стали ЭП 817. Кроме этого, сравнение АПК исследуемых сталей показывает, что сталь ЭП 410 уступает по коррозионной стойкости стали ЭП 817, что выражается в больших почти на порядок значениях тока коррозии на всех стадиях анодного растворения и меньшем сопротивлении питтинговой коррозии. Сопротивление питтинговой коррозии определяется потенциалом питтингообразования, который для стали ЭП 410 составляет 80 мВ, а для стали ЭП 817 – 280 мВ. Стадия активного растворения, переход в область транспассивации, в стали ЭП 410 также начинается при значительно меньших значениях потенциала (рис. 2).

Рис. 2. Анодные поляризационные кривые сварных соединений сталей ЭП410 (—) и ЭП817 (—) : штриховые линии – основной металл; сплошные линии – зона термического влияния

Для восстановления коррозионной стойкости была проведена пескоструйная обработка сварных соединений, которая согласно результатам потенциодинамических исследований, представленных на рис. 3, практически устранила различие в свойствах ЗТВ и основного металла. Благоприятное влияние пескоструйной обработки объясняется, очевидно, созданием на поверхности напряжений сжатия, а также удалением

появляющихся при сварке оксидных пленок, которые в случае их образования при высоких температурах состоят из оксидов хрома, что приводит к уменьшению его концентрации в поверхностном слое и соответственно к снижению электродного потенциала.

Рис. 3. Анодные поляризационные кривые сварных соединений сталей ЭП 410 (—) и ЭП 817 (—) после пескоструйной обработки: штриховая линия – основного металла; сплошная линия – зона термического влияния

Выводы

Таким образом, проведенные исследования

- показывают, что наиболее вероятной областью образования карбидной сетки в сварном шве является зона термического влияния;
- позволяют установить более высокую структурную стабильность и стойкость к МКК стали ЭП817 по сравнению с ЭП410,
- экспериментально подтверждают возможность повышения коррозионной стойкости сварного соединения за счет проведения пескоструйной обработки.

Список литературы

1. Потак Я.М. Высокопрочные стали. – М.: Металлургия, 1972. – 208 с.
2. Братухин А.Г., Гурвич Л.Я. Коррозионная стойкость высокопрочных нержавеющей сталей. М.: Авиатехинформ, 1999. -208 с.
3. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. М.: Металлургия, 1982.- 400 с.
4. Тарасенко Л.В., Красов Т.А., Унчикова М.В. Термическая обработка коррозионно-стойкой стали для изготовления силоизмерительных упругих элементов // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Машиностроение».-2007. -№ 2. - С. 82-88
5. Бирман С.И., Звигинцев Н.В. и др. Влияние молибдена на свойства высокопрочных нержавеющей сталей типа 14 Cr – 6 Ni // ФММ.- 1984.- Т.57.- № 4.- С. 754 -761.

Corrosion resistance of welded joints of maraging steels for force-measuring elastic elements

10, October 2012

DOI: [10.7463/1012.0463200](https://doi.org/10.7463/1012.0463200)

Tarasenko L.V., Unchikova M.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

Unchikova_mv@mail.ru

The authors study the effect of welding heat to corrosive properties of maraging steel, the influence of chemical composition of steel on liability to intergranular corrosion; they set a method of improving corrosion resistance of welds by use of surface treatment.

Publications with keywords: [maraging steels](#), [carbide grid](#), [intercrystalline corrosion](#), [anodic polarization curves](#)

Publications with words: [maraging steels](#), [carbide grid](#), [intercrystalline corrosion](#), [anodic polarization curves](#)

References

1. Potak Ia.M. *Vysokoprochnye stali* [High-strength steel]. Moscow, Metallurgiya, 1972. 208 p.
2. Bratukhin A.G., Gurvich L.Ia. *Korroziionnaia stoikost' vysokoprochnykh nerzhaveiushchikh stalei* [Corrosion resistance of high-strength stainless steels]. Moscow, Aviatekhninform, 1999. 208 p.
3. Rakhshadt A.G. *Pruzhinnye stali i splavy* [Spring steels and alloys]. Moscow, Metallurgiya, 1982. 400 p.
4. Tarasenko L.V., Krasov T.A., Unchikova M.V. Termicheskaya obrabotka korrozionno-stoikoi stali dlia izgotovleniia siloizmeritel'nykh uprugikh elementov [Heat Treatment of Corrosion-resistant Steel for Manufacturing Force-metering Elastic Elements]. *Vestnik MGTU im. N.E.Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering], 2007, no. 2, pp. 82-88.
5. Birman S.I., Zvigintsev N.V., Petrakov A.F., Khadyev M.S. Vliianie molibdena na svoistva vysokoprochnykh nerzhaveiushchikh stalei tipa 14 Cr – 6 Ni [The impact of molybdenum on the properties of high-strength stainless steels of the type 14 Cr - 6 Ni]. *Fizika metallov i metallovedenie* [Physics of metals and metallurgy], 1984, vol.57, no. 4, pp. 754 -761.