

бом.

### Выводы

1. Сопrotивляемость распространению усталостных трещин металла околошовной зоны сварного соединения значительно выше, чем основного металла.
2. Изменение погонной энергии при сварке стали 09Г2С не привело к заметному изменению сопротивляемости распространению усталостных трещин в околошовной зоне.
3. При испытании образцов знакопеременным плоским изгибом установлена линейная зависимость между обратной величиной скорости роста трещины и относительной длиной трещины. В линейной зависимости находится и обратная величина ускорения развития трещины от уровня номинальных напряжений.

### Список использованных источников:

1. Махненко В.И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций / В.И. Махненко. – Киев: Наукова думка, 2006. – 618 с.
2. Панасюк В.В. Застосування методів механіки руйнування матеріалів для оцінювання міцності зварних з'єднань / В.В. Панасюк // Автоматическая сварка. – 2008. – №11. С. 151-156.
3. PW Guidance on Assessment of the Fitness for Purpose of Welded Structures // PW/IIIS-SST-1157-90. – 322 p.
4. Школьник Л.М. Скорость роста трещин и живучесть материалов / Л.М.Школьник. – М.: Металлургия, 1973. – 435 с.
5. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие; 4 т. / Под общей редакцией Панасюка В.В. – Киев: Наукова думка, 1988-1990.
- Т. 4. : Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / Романов О.Н., Ярема С.Я., Никифоров Г.Н. и др. – 1990. – 680 с.

Рецензент: А.Д. Размышляев,  
д-р техн. наук., проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 26.04.2011

УДК 330.15.332

Чигарев В.В.<sup>1</sup>, Коваленко И.В.<sup>2</sup>

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*В статье приведены исследования влияния остаточных напряжений в околошовной зоне плакирующего слоя двухслойной стали ВСтЗсп5+10Х13 на эксплуатационные характеристики конструкции. Приведен анализ сравнительных характеристик эксплуатационных свойств различных биметаллических сварных соединений. Предложенные расчеты позволяют прогнозировать период работоспособности металлоконструкций до периода выхода из строя.*

**Ключевые слова:** сварка биметаллов, остаточные напряжения, плакирующий слой.

**Чигарев В.В., Коваленко И.В. Дослідження експлуатаційних властивостей біметалічних зварних з'єднань.** У статті доведені дослідження впливу остатових напружень у околошовній зоні плакуючого шару, двошарового шару двошарової сталі ВСтЗсп5+10Х13 на експлуатаційні властивості контракції. Доведен аналіз зрівнювальних характеристик експлуатаційних властивостей різних біметалевих зварних з'єднань. Приведені розрахунки дозволять прогнозувати період працездатності металеві конструкції до періоду виходу з ладу.

**Ключові слова:** зварювання біметалів, остатовні напруження, плакуючий шар.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь  
<sup>2</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

*V.V. Chigarov, I.V. Kovalenko. Research extend to property double – sheet welding cjnnector. Here is given research influence intensity in melting zone outward layer steel BCm3cn5+10X13 for extend construction. Sudggested analysis welding performance to extend property many double – sheet welding cjnnector.*

**Keywords:** bimetal welding , influence intensity , outward layer.

**Постановка проблемы.** Постоянное повышение требований к качеству изготовления металлургических агрегатов, выполнению их ремонтов с применением сварки биметаллов обуславливают появление новых методов расчета и определения эксплуатационных свойств. Особую роль играет прогноз о длительности эксплуатации металлоконструкции. В связи с этим разработки в указанном направлении являются весьма актуальными.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Свойства биметаллических сталей ВСт3сп5 + 10X13 широко известны [3], применяются как коррозионно стойкие и термостойкие материалы при изготовлении деталей работающих в воде, разбавленных растворах солей, агрессивных термических средах, в нефтехимической промышленности. Имеется информация по определению свойств коррозионного износа и значением скорости общей коррозии 0.1 – 0.3 мм/год.

В Украине представлен ряд предварительных исследований по определению малоцикло-вой усталости различных композиционных пар. Во всех случаях представлены данные расчетов и экспериментов без учета деформаций на нижней поверхности образца при удалении слоев  $\alpha_1$  и  $\delta_1$  [2]. При этом важно влияние этих параметров на составление подынтегрального выражения, с указанием полусуммы и значения интеграла. Также важным фактором является величина  $G(\alpha_i)$  со значением коэффициентов, дающих полную картину наличия величины остаточных напряжений в плакирующем слое.

Его появлению способствуют значительные остаточные напряжения в зоне сварки возникающие под действием сварочного термодинамического цикла [3]. По мере вылеживания сварных заготовок отмечалось снижение  $\alpha$  – мартенсита, в металле ЗТВ соединений в результате восстановления в них напряжений и потери стабильности геометрических размеров. В результате механического перемешивания в процессе сварки и кристаллизации возникают пониженные прочностные и пластические свойства, по пределу прочности, текучести, а также циклических испытаний.

**Цель статьи** – расчетная оценка величины остаточных напряжений околосшовной зоны плакирующего слоя, биметалла ВСт3сп+10X13 .

**Изложение основного материала.** Для проведения исследований по теме были использованы пластины размером 30x100x600 мм из биметалла марки ВСт3сп+10X13, поставляемой по ТУ І4-І-1670-86.

Измерения в остаточных напряжений производили на образцах в состоянии поставки и после одного цикла нагружения [2] из следующих композиций: ВСт3сп+08X13 ВСт3сп+12X13 ВСт3сп+10X17Н13М2Т. Состояние образцов и значения пределов текучести основного и плакирующего слоев показаны в таблице 1.

Таблица 1

Показатели напряжений исследуемых сталей

№обр.	Состав композиции	$G_{02}^{OM}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$G_{02}^n$ , кг/мм <sup>2</sup>	$G_{cp}$ , кг/мм <sup>2</sup>
12-9	ВСт3сп+08X13	134	90	112
12-9-1	---«---	134	90	112
12-19	---«---	134	90	112
16-9	ВСт3сп+10X17Н13М2Т	134	110	122
16-9-1	ВСт3сп+10X17Н13М2Т	134	110	122
2С-3	ВСт3сп+10X13	134	80	107
14-10	ВСт3сп+10X13	134	52	93

Расчет основан на формуле 1.

$$\sigma_a = \frac{1}{2} E(h-a) \frac{d\varepsilon}{da}(a) - 3E(h-a) \int_0^a \frac{\varepsilon(\delta)}{(h-a)^2} d\delta \quad (1)$$

где:  $\sigma_a$  - напряжение в образце на расстоянии Q от поверхности;

a - толщина всех снятых слоёв;

h - общая толщина образца;

E - модуль упругости;

$\delta$  - толщина снимаемого слоя;

$\varepsilon(a)$  - деформация на нижней поверхности образца при удалении слоя a;

$\varepsilon(\delta)$  - деформация на нижней поверхности образца при удалении слоя  $\delta$ ;

В разрабатываемых исследованиях занесены толщина снимаемого слоя  $\Delta_i$ , мм общая толщина всех снятых слоев  $\alpha_i$ , мм, деформация, замеренная тензодатчиком сопротивления  $\varepsilon(\alpha_i) = \varepsilon_i$ .

Для вычисления производных принималась параболическая аппроксимация:

$$\begin{aligned} \frac{d\varepsilon}{d\alpha}(0) &= \varepsilon_1 \left( \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{\Delta_1 \Delta_2} \right) + \varepsilon_2 \left[ \frac{-\Delta_1}{\Delta_2(\Delta_1 + \Delta_2)} \right] = \varepsilon_1 K_0^{(2)} + \varepsilon_2 K_0^{(3)}; \\ \frac{d\varepsilon}{d\alpha}(\alpha_i) &= \varepsilon_{i-1} \left[ \frac{-\Delta_{i+1}}{\Delta_i(\Delta_i + \Delta_{i+1})} \right] + \varepsilon_i \left( \frac{\Delta_{i+1} - \Delta_i}{\Delta_i \Delta_{i+1}} \right) + \varepsilon_{i+1} \left[ \frac{\Delta_i}{\Delta_{i+1}(\Delta_i + \Delta_{i+1})} \right] = \\ &= \varepsilon_{i-1} K_i^{(1)} + \varepsilon_i K_i^{(2)} + \varepsilon_{i+1} K_i^{(3)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Значения коэффициентов  $K^{(1)}$ ,  $K^{(2)}$ ,  $K^{(3)}$  приведены в научных разработках.

Приведено подынтегральное выражение, далее указываются полусуммы и значения интеграла. Величина остаточного напряжения  $G(\alpha_i)$  (сумма значений в последних трех столбцах) приведена также в исследовательском материале.

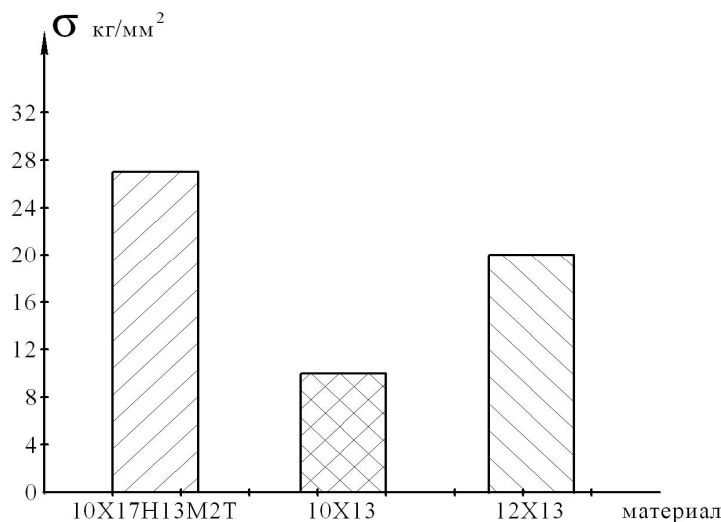


Рис. 1 - Зависимость величины остаточных напряжений в околошовной зоне от материала плакирующего слоя

По результатам измерения построены эпюры распределения остаточных напряжений по сечению плакирующего слоя, которые показаны на рис. 2.

Из рассмотрения эпюр, для образцов не подверженных нагружению можно видеть, что во всех исследованных композициях в плакирующем слое имеются остаточные напряжения растяжения. Характер распределения напряжений по сечению плакирующего слоя примерно одинаков [3] для всех образцов: постепенное увеличение от линии сплавления слоев до максимального значения на глубине  $0,2 \div 0,8$  мм от свободной поверхности плакирующего слоя. По

мере приближения к поверхности плакирующего слоя величина напряжений уменьшается (рис. 2).

Максимальные значения остаточных напряжений для композиции ВстЗсп + 12Х13 составляют около 20 кг/мм<sup>2</sup>, а для композиции ВстЗсп + 08Х13 составляет около 14 кг/мм<sup>2</sup>, следует обратить внимание на то, что наличие остаточных напряжений растяжения в плакирующем слое может существенно повлиять на долговечность образца, особенно когда оба слоя композиции подвержены нагружению в пределах упругой области.

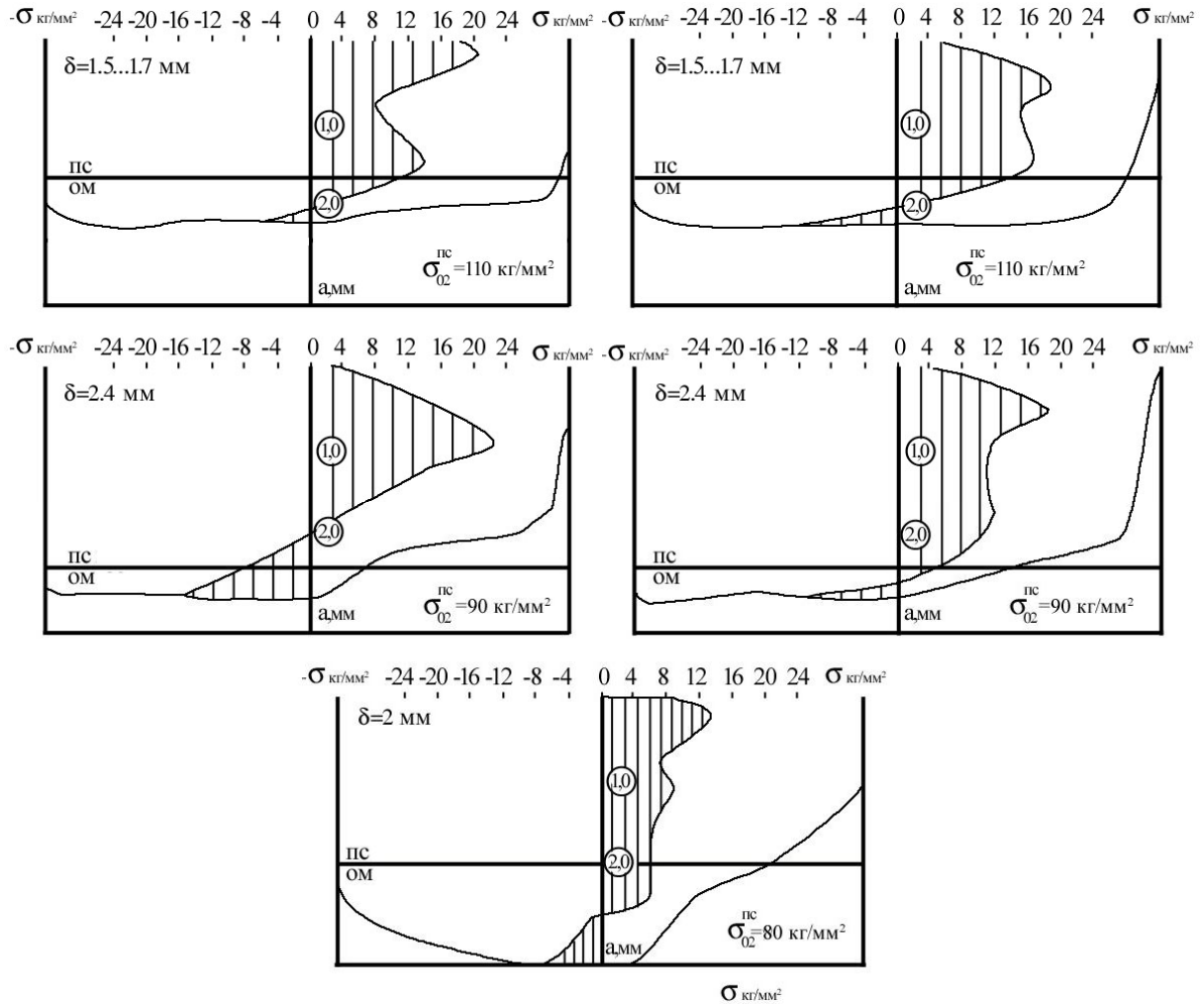


Рис. 2 - Эпюры распределения остаточных напряжений по сечению плакирующего слоя

Результаты измерения и расчета остаточных напряжений в плакирующем слое, после нагружения образца, когда  $\varepsilon_{02}'' < \varepsilon_{cp} < 2\varepsilon_0^f$  свидетельствуют о наличии остаточных напряжений сжатия, причем их максимальная величина различна и зависит от уровня нагрузки и предела текучести материала плакирующего слоя. Так, в образце 14-10 (ВстЗсп + 12Х13), предварительно нагруженном до  $G_{cp} = 90$  кг/мм<sup>2</sup> максимальная величина остаточных напряжений сжатия составляет 10 кг/мм<sup>2</sup>, а в образце 12-19 (ВстЗсп + 08Х13) нагруженном  $G_{cp} = 105$  кг/мм<sup>2</sup> – 20 кг/мм<sup>2</sup>. Представляет интерес рассмотрение эпюры образца 13-1 (ВстЗсп + 10Х17Н13М2Т), у которого предел текучести материала плакирующего слоя составляет 27 кг/мм<sup>2</sup>. Как видно, напряжения распределяются с равномерным уменьшением от максимума на поверхности до линии сплавления, после пересечения которой меняется их знак. Следует обратить внимание на тот факт, что в этом образце максимальная величина остаточных напряжений наибольшая по сравнению с аналогичными значениями для других образцов и соответствует напряжениям предела текучести материала плакирующего слоя [1].

Это, видимо, связано с тем, что рабочие деформации образца значительно превосходят

деформации предела текучести материала плакирующего слоя, т.е. соблюдается условие, когда  $\varepsilon_{cp} > \varepsilon_{02}^n$ . В этом случае остаточные напряжения сжатия могут быть равны напряжениям предела текучести материала плакирующего слоя, т.к. плакирующий слой подвержен упруго-пластическому деформированию как при нагружении, так и при сбросе рабочей нагрузки.

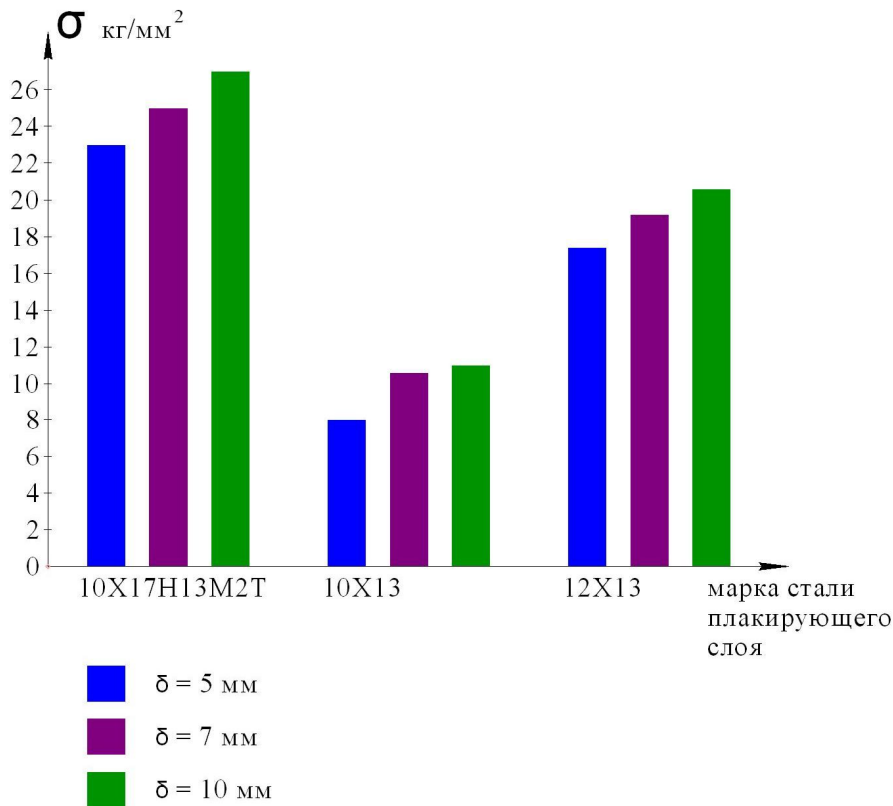


Рис. 3 - Влияние толщины плакирующего слоя на величину остаточных напряжений в околошовной зоне

### Выводы

1. В результате теоретического расчета установлены значения остаточных напряжений в околошовной зоне соединения ВстЗсп + 10X13 с величиной  $10 \text{ кг/мм}^2$ , что удовлетворяет условию  $\varepsilon_{02}^n < \varepsilon_p < 2\varepsilon_{02}^0$ , что свидетельствует о наличии запаса эксплуатационной надежности и остаточных напряжений сжатия, причем их максимальная величина различна и зависит от уровня нагрузки и предела текучести материала плакирующего слоя.
2. Установлено, что остаточные напряжения сжатия и их максимальная величина различны и зависят от уровня нагрузки и предела текучести материала плакирующего слоя.

### Список использованных источников:

1. Земзин В.Н. Сварные соединения разнородных сталей / В.Н. Земзин. - Л.: Машиностроение, 1966.-190с.
2. Мовчан Б.А. Микроскопическая неоднородность в литых сплавах / Б.А.Мовчан – К.: Гостехиздат УССР, 1968.- 230с.
3. Касаткин Б.И., Бреднев В.Я., Волков В.В. Методика исследования кинетики деформаций при замедленном разрушении // Автомат сварка. – 1981. - № 11. – С. 1 – 11.
4. Патон Б.Е., Медовар Л.Б., Саенко В.Е. Новые возможности автоматической сварки в машиностроении // Металлургия машиностроения. – 2003. - № 1.- С. 2 – 5.

Рецензент: В.И. Щегина  
 д-р тех. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 15.03.11.