

2. Показана возможность посредством выбора состава электролита-суспензии и варьированием режима фосфатирования изменять различные свойства (коррозионную стойкость, термо- и износостойкость, электропроводность) и строения фосфатных покрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдуллин И.А.* Модификация свойств композиционных электрохимических покрытий с матрицей из железа // *Электронная обработка материалов*. 2000. № 6. С. 23–26.
2. *Сайфуллин Р.С.* Неорганические композиционные материалы. М., 1983.
3. Патент 159292 ПНР, МКИ<sup>4</sup> С23 F 7/08, 48D 7/08. Способ получения покрытий с низким коэффициентом трения/ Сзаковский Андрей. Оpubл. 25.07.75. РЖ Коррозия и защита от коррозии. 1977. № 4. С. 42.
4. *Хисамеев Г.Г., Николаев В.В., Сироткин О.С., Сайфуллин Р.С.* Фосфатирование из суспензий // *Материалы III Всерос.конф. по электрохимии*. Казань, 1982.
5. *Сироткин О.С., Сайфуллин Р.С., Хисамеев Г.Г.* Получение и свойства фосфатных покрытий с включенными частицами // *Защита металлов*. 1983. № 3. С. 490 – 492.
6. *Сироткин О.С., Хисамеев Г.Г., Николаев В.В.* Анодное образование композиционных фосфатных покрытий // *Анодирование металлов*. Казань, 1984. С. 54–58.
7. Патент 2159298 РФ, МКИ<sup>4</sup> 7 С 23 С22/12. Способ фосфатирования поверхности черных металлов / *Хисамеев Г.Г., Ишмухаметова Н.И., Хабибуллин И.Г.* Оpubл. 20.11.2000. Бюл. № 32.
8. *Макарова Н.А.* Металлопокрытия в автомобилестроении. М., 1977.
9. *Мачевская Р.А., Мочалова О.С.* Подготовка поверхности под окраску. М., 1972.
10. *Веденов Г.Н., Гисин П.Г., Глезер З.А.* Окраска металлических поверхностей. М., 1978.
11. *Хаин И.И.* Теория и практика фосфатирования металлов. Л., 1973.
12. *Мальшиев В.И., Сайфуллин Р.С., Зенцова Е.П., Надеева Ф.И.* Определение износа электрохимических покрытий // *Современные методы контроля свойств гальванических покрытий*. М., 1966.

*Поступила 18.09.03*

#### Summary

Some peculiarities of the metalphosphating of the electrolyte-suspensions in the presence of dispersional chemical inert substances (oxides, carbides, nitrides) as well as the wear-resistance, thermic stability, conductivity and other properties of the obtained coatings have been studied in the work. The possibility of the choice and variation of the optimal phosphating conditions is shown.

Е.С. Юрченко

## СВАРКА И СНИЖЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫМИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ СТРУЯМИ ЖИДКОСТИ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
пр. Октябрьский, 43А, г. Николаев, 54018, Украина*

При высоковольтном разряде в камерах малого объема возможно формирование высокоскоростных струй жидкости со скоростями 300 – 1700 м/с [1]. При этом развиваемое давление струей жидкости на преграду составляет 1000 МПа [2]. Подобные струи нашли применение для упрочнения режущего и штамповочного инструмента [3]. Обработка материала высокоскоростными струями жидкости не сопровождается изменением рельефа поверхности.

В связи с изложенным представляло интерес оценить возможность применения высокоскоростных струй жидкости для сварки металлов и устранения сварочных напряжений и деформаций.

Генерировали импульсные струи жидкости в камере объемом  $250 \text{ см}^3$  с коническим насадком с углом при вершине конуса  $60^\circ$  и выходным отверстием диаметром 8 мм. Электрические разряды в камере осуществляли на режиме  $U = 50 \text{ кВ}$ ,  $C = 16 \text{ мкФ}$ . При этом скорость струи жидкости, измеренная с помощью высокоскоростной съемки на установке ВФУ-1, достигала  $1500 - 1900 \text{ м/с}$ .

Оценку влияния высокоскоростных струй жидкости на напряженно-деформированное состояние сварных соединений производили на образцах из стали Ст3 и сплава АМг5.

Образцы изготовляли из пластин размером  $300 \times 200 \times 6 \text{ мм}$ , в которых по середине в продольном направлении выполнялась разделка под сварку. Измерение линейных деформаций и напряжений в продольном направлении производили на базах  $100 \text{ мм}$  с применением рычажного деформометра по общепринятой методике [4].

При обработке высокоскоростными струями жидкости каждое сварное соединение нагружалось 50 импульсами, равномерно распределенными по длине сварного шва. При этом струи жидкости направлялись на сварный шов со стороны усиления по нормали к обрабатываемой поверхности.

Результаты измерений остаточных напряжений показали, что после сварки уровень остаточных напряжений в сварных образцах из стали Ст3 составил  $300 \text{ МПа}$  (рис. 1), в образцах из сплава АМг5 –  $90 \text{ МПа}$  (рис. 2).

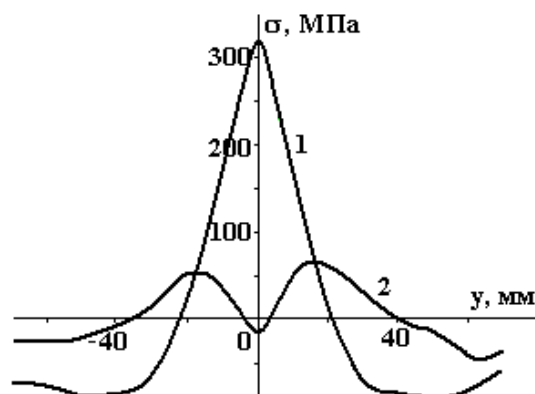


Рис. 1. Этюры остаточных напряжений в образцах из стали Ст3:  
1 – после сварки; 2 – после струйной обработки

После струйной обработки максимальные сварочные напряжения в образцах из стали Ст3 в сварном шве снизились до  $-15 \text{ МПа}$ , то есть практически на 100% (рис. 1).

Струйная обработка образцов из сплава АМг5 привела к существенному изменению в них напряженного состояния. Так, растягивающие напряжения не только снизились, но и перешли в сжимающие по величине примерно равной исходным напряжениям, а в зоне сжимающих образовались растягивающие (рис. 2).

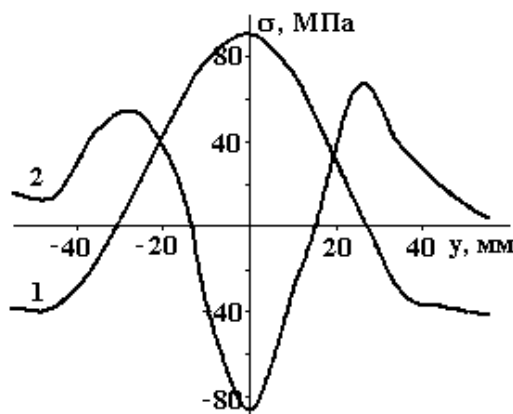


Рис.2. Этюры продольных деформаций в сварном соединении из стали Ст3 (а) и из сплава АМг5 (б) после струйной обработки. (Стали Ст3 соответствует этюра  $e''1,5Ч10-3$  при  $y = 0$ , а сплаву АМг5 -  $e''4,5Ч10-3$  при  $y = 0$ )

Показательно, что степень снижения остаточных напряжений при струйной ЭГИО существенно зависит от прочности материала обрабатываемых сварных соединений. При этом рельеф поверхности сварного шва в образцах из стали Ст3 и сплава АМг5 после струйной ЭГИО не изменился.

Измерения линейных деформаций в продольном направлении (рис.3) показали, что после струйной обработки сварные образцы получили значительные деформации удлинения. В наибольшей степени удлинились шов и околошовная зона.

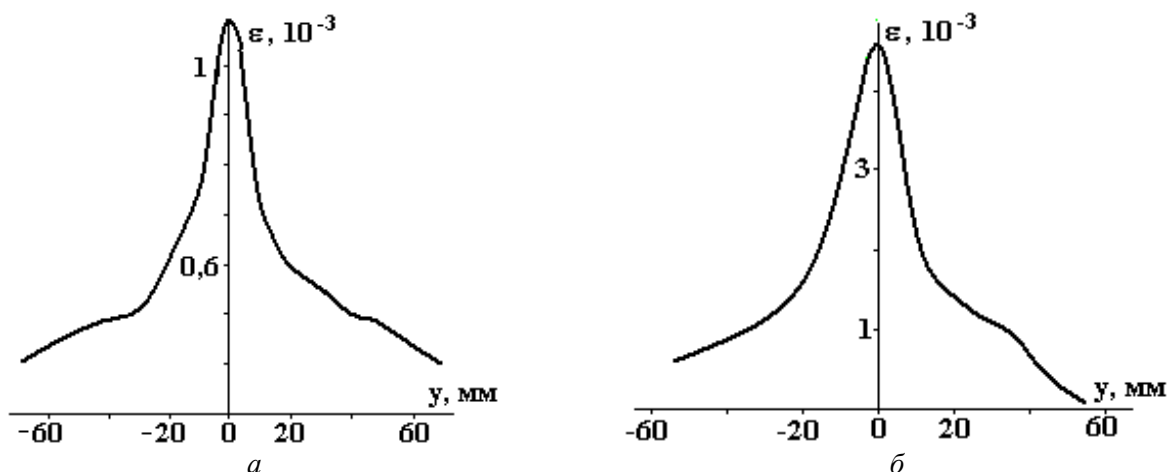


Рис.3. Эпюры продольных деформаций в сварном соединении из стали Ст3 (а) и из сплава АМг5 (б) после струйной обработки

Очевидно, что при воздействии на шов высоконапорной струей жидкости происходит его осадка по толщине сварного соединения, вследствие чего возникают деформации удлинения. Эти деформации удлинения в образцах из стали Ст3 полностью компенсировали деформацию укорочения сварного шва, возникшую в результате сварки, вследствие чего остаточные напряжения практически устранились.

В образцах из сплава АМг5 деформация удлинения, образующаяся в результате струйной обработки, значительно превысила сварочную деформацию укорочения, что привело к наведению в сварном шве сжимающих напряжений, а в основном металле – уравнивающих их реактивных растягивающих.

Следует отметить, что сплав АМг5 относится к термически разупрочняемым сплавам, то есть нагрев до высоких температур снимает наклеп, достигнутый при холодной прокатке металла. При этом предел прочности и предел текучести оказывается заметно ниже, чем у основного металла [5]. Известно, что протекание пластической деформации в зоне шва сопровождается повышением твердости металла [5, 6]. В связи с этим были проведены исследования по упрочнению сварного соединения путем замера твердости в поперечном сечении пластин. Замеры твердости в поперечном сечении пластин из сплава АМг5 показали, что после сварки произошло разупрочнение шва и зоны термического влияния. Струйная обработка сварных пластин привела не только к восстановлению прочности металла шва и околошовной зоны, но и несколько повысила ее (рис.4).

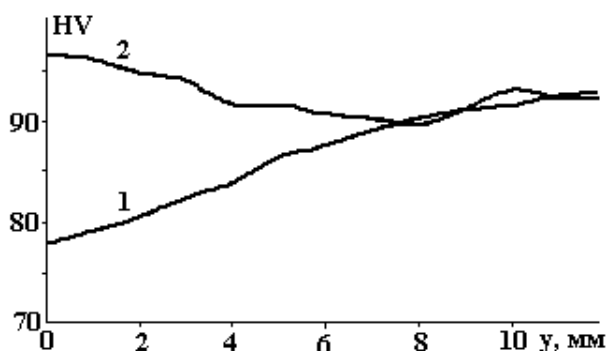


Рис. 4. Распределение твердости в поперечном сечении пластин из сплава АМг5: 1 – после сварки; 2 – после струйной обработки; у – расстояние от оси шва

Возможность получения сварного соединения давлением, создаваемым импульсной высокоскоростной струей жидкости, исследовалась на медных пластинах толщиной 0,5 и 3 мм. Пластины располагались параллельно с зазором 2 мм. Высокоскоростная струя жидкости со скоростью 1500 м/с направлялась со стороны тонкой пластины нормально к ее поверхности.

В результате действия на медные пластины импульсного давления, создаваемого высокоскоростной струей жидкости, образовалось точечное сварное соединение диаметром 8 мм. Микроструктура сварного соединения носит волнообразный характер (рис. 5) как и при сварке взрывом.

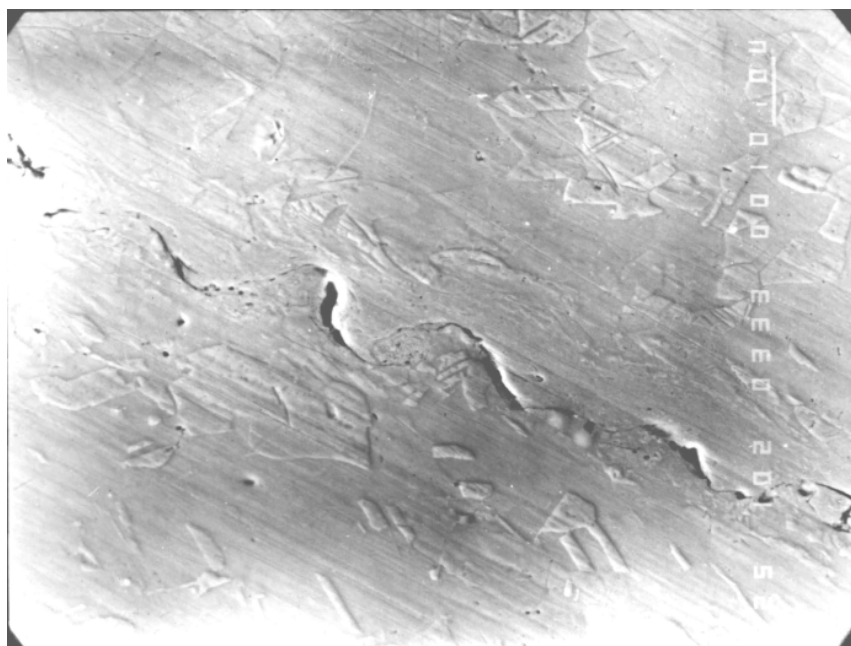


Рис. 5. Микроструктура сварного соединения медных пластин

Проведенные исследования показали возможность получения сварного соединения давлением, создаваемым импульсной высокоскоростной струей жидкости, и весьма высокую эффективность струйной обработки, позволяющую не только устранять сварочные напряжения и деформации, но и наводить в шве сжимающие напряжения, а также восстанавливать прочность сварных соединений в термически разупрочняемых сплавах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гулый Г.А., Малюшевский П.П. Высоковольтный разряд в силовых импульсных системах. Киев, 1977.
2. Мериш Б.В. Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий. Л., 1985.
3. Богоявленский К.Н., Кондратов В.М., Кропотов Г.А., Юркис А.М. Электрогидроимпульсное упрочнение водо-воздушными струями закаленных инструментальных сталей // Вестник машиностроения. 1979. № 8. С. 66 – 67.
4. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. М., 1984.
5. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций. М., 1982.
6. Сагалевиц В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. М., 1974.

Поступила 15.05.03

#### Summary

Experimental investigations were conducted on treatment of welding joints made of St3 steel and alloy AMg5 by high velocity jets of liquid matter. The jets were generated by underwater electric discharges. It is stated that treatment by the jets has resulted in the practically complete elimination of residual welding stresses in the steel patterns. Compressing stresses were formed and strength of welding joint was restored in the patterns made of AMg5 alloy. The possibility of welding joint formation by the pressure of high velocity jet liquid matter is shown.