

## ВЛИЯНИЕ СХЕМ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСАМИ ТОКА НА ОБРАЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО КОНТАКТА ПРИ СВАРКЕ ДАВЛЕНИЕМ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, [dpta@iipr.com.ua](mailto:dpta@iipr.com.ua)*

Известно [1], что при любых способах сварки давлением определяющая роль в образовании сварного соединения отводится пластической деформации, оказывающей существенное влияние на все стадии процесса. Для ее создания необходимо сжатие свариваемых поверхностей. При традиционной схеме диффузионной сварки, когда давление и температура могут регулироваться независимо друг от друга, процесс происходит при давлении на уровне предела текучести менее прочного материала при температуре сварки [2].

В исследуемом способе сварки металлов в твердом состоянии сжатие свариваемых поверхностей и пластическое деформирование приконтактных слоев осуществляются при температуре окружающей среды. На начальных этапах формирования соединения рост площади физического контакта происходит при преимущественном действии пороговых механизмов микропластической деформации. Однако такая деформация ограничена, так как приконтактные слои материала упрочняются, а напряжения в контакте снижаются. Поэтому для дальнейшего развития площади физического контакта и создания новых активационных центров на поверхности свариваемых деталей необходимо использовать способы интенсификации процесса пластической деформации.

Перспективным в этом случае представляется применение электрического тока, поскольку известно, что введение непосредственно в зону деформации металлов концентрированных потоков энергии в виде импульсов тока плотностью примерно  $10^9$  А/м<sup>2</sup> и длительностью порядка  $10^{-4}$  с приводит к электропластическому эффекту (ЭПЭ), заключающемуся в резком снижении сопротивления металла деформированию и повышении его пластичности [3].

Цель данной работы – исследование влияния различных схем обработки импульсами тока на образование физического контакта сопрягаемых поверхностей при сварке металлов в твердом состоянии.

В качестве модельных образцов были выбраны однородные материалы – пластины из стали 20 размером 170x15x3,0 мм. Подготовка поверхности под сварку заключалась в их шлифовании до шероховатости с высотой микронеровностей не более 6 мкм с последующим обезжириванием поверхности пластин ацетоном. Пластическую деформацию микровыступов на контактных поверхностях осуществляли сжатием образцов в специальном приспособлении до давления 50 МПа. Через сжатые пластины пропускали импульсы тока, параметры которых выбирались на уровне вышеуказанных и оставались неизменными для разных схем обработки. Рассматривались следующие схемы обработки:

- схема 1 – обработка импульсами тока зоны контакта через одну из сжатых пластин;
- схема 2 – обработка импульсами тока зоны контакта поочередно через обе сжатые пластины.

Влияние схем обработки импульсами тока на образование физического контакта оценивали косвенно – по изменению рельефа поверхностей свариваемых пластин после обработки.

Исследования рельефа поверхности свариваемых пластин проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа марки СЭМ-515 фирмы «Philips» (Голландия)\*.

Объектами исследований служили пластины прямоугольной формы размером 30x15x3 мм, вырезанные из зоны контакта свариваемых образцов. Исследовались центральная область контакта сжатых пластин и их периферийная зона (по краю контакта). В качестве контрольного образца использовалась исходная пластина в состоянии после шлифовки.

---

\*Электронно-микроскопические исследования проводила Е.Н. Бердникова (ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины).

Изменение рельефа поверхности в различных областях контактного взаимодействия оценивалось по следующим параметрам:

- общей площади различного типа рельефа поверхности  $S = S_0 + S_1$ , где  $S_0$  – относительная площадь рельефа поверхности, на которой изменений в рельефе не происходило в результате технологического воздействия;  $S_1$  – относительная площадь зон растекания (смятия рельефа или осадки рельефа), обусловленная воздействием технологических параметров;

- изменению наиболее характерной высоты гребешков выступов шероховатости ( $H_1/H_0$ ), где  $H_1$  – высота деформированных гребешков выступов шероховатости;  $H_0$  – исходная высота гребешков выступов шероховатости;

- изменению наиболее характерной ширины локальных зон смятия или растекания отдельных ( $\delta$ , мкм) и нескольких слившихся ( $\Delta$ , мкм) полос шероховатости.

Принято, что для образования сварного соединения необходимо обеспечить наиболее благоприятные изменения рельефа контактных поверхностей, которые определяются следующими характеристиками:

- максимальной площадью растекания  $S_1$ , соответствующей площади физического контакта соединяемых поверхностей;

- минимальной высотой гребешков в зонах растекания  $H_1$ , свидетельствующей о максимальной осадке отдельных выступов шероховатости контактных поверхностей;

- максимальной шириной локальных зон растекания отдельных смятых полос или выступов шероховатости  $\delta$  и нескольких слившихся зон растекания  $\Delta$ , которые в сумме и дают суммарную площадь смятия  $S_1$ .

При сравнении рельеф поверхностей образцов до и после обработки импульсами тока при применении различных схем отмечали изменения поверхностного рельефа, которые произошли в результате технологического воздействия. Результаты исследований представлены в таблице.

*Изменение параметров рельефа поверхности образцов из стали 20 при разных схемах обработки импульсами тока*

Схемы	Пластины сталь 20 + +сталь 20	Место исследо- вания	Параметры рельефа, мкм			Общая площадь поверхности $S$ , %	
			$H_1/H_0$	$\delta$	$\Delta$	$S_0$	$S_1$
1	Верхняя	Центр	3/6	6–7	12–13	93	7
		Край	3/6	7–8	20–22	92	8
	Нижняя	Центр	3/6	7	13–15	94	6
		Край	3/6	7–8	15	92–93	7–8
2	Верхняя	Центр	1/6	20	60	30	70
		Край	2/6	14	50	35–40	60–65
	Нижняя	Центр	1/6	15–16	50	35	65
		Край	2/6	16	8–50	45–50	50–55

Анализ результатов показывает, что воздействие импульсов тока только на одну из сжатых пластин приводит к осадке или уменьшению характерной высоты гребешков в обеих пластинах на 50%. При этом площадь зоны растекания незначительна и колеблется в интервале от 6 до 8%.

Вид рельефа поверхности после обработки импульсами тока по схеме 1 представлен на рис. 1.

Обработка импульсами тока по схеме 2 приводит к значительным изменениям рельефа контактных поверхностей. Изменяется вид рельефа – из изначально полосчатого он преобразуется в смешанный, имеющий вид завихрений (см. рис. 2). При этом уменьшение высоты микронеровностей достигает ~75 % и сопровождается слиянием зон растекания отдельных выступов шероховатости. Суммарная площадь зон растекания при этом максимальна и достигает значений от 65 до 70% в верхней пластине и от 55 до 65 % в нижней.

Таким образом, анализ изменений рельефа поверхности ( $S_1, H_1, \delta$ ) для двух разных схем обработки показал, что наиболее благоприятные изменения рельефа поверхности для образования фи-

зического контакта и сварного соединения имеют место при обработке по схеме 2 (обработка импульсами тока зоны контакта поочередно через обе сжатые пластины).

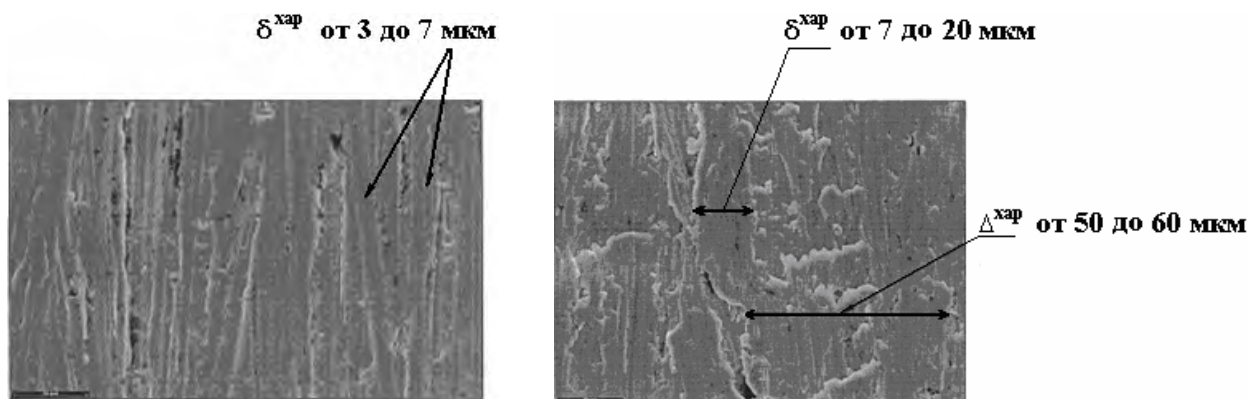


Рис. 1. Рельеф поверхности пластины из стали 20 после обработки импульсами тока по схеме 1  $\times 1000$

Рис. 2. Рельеф поверхности пластины из стали 20 после обработки импульсами тока по схеме 2  $\times 1000$

Следует отметить, что такая интенсивная пластическая деформация приповерхностных слоев не только приводит к образованию физического контакта между поверхностями, но и способствует активации поверхностей, поскольку известно [2], что при сварке однородных металлов активация обеих контактных поверхностей начинается уже в процессе их сближения при смятии отдельных микровыступов за счет совместной пластической деформации.

#### Выводы

Показано, что обработка зоны деформации предварительно сжатых металлических пластин импульсами тока плотностью  $\sim 10^9 \text{ A/m}^2$  и длительностью порядка  $10^{-4}$  с интенсифицирует пластическую деформацию в этой зоне и способствует активации контактных поверхностей.

Установлено, что наибольший эффект с точки зрения образования максимальной площади физического контакта имеет место при протекании тока вдоль зоны контакта поочередно через обе пластины. При этом уменьшение высоты микронеровностей достигает  $\sim 75\%$ , а суммарная площадь зон растекания поверхности пластин составляет 65–70% от общей площади контактной поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Красулин Ю.Л. Взаимодействие металла с полупроводником в твердой фазе. М.: Наука, 1971. 119 с.
2. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. М.: Машиностроение, 1986. 280 с.
3. Троицкий О.А., Баранов Ю.В., Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д. Физические основы и технология обработки современных материалов. Т.1. М.- Ижевск. Ин-т компьютерных исследований, 2004. 590 с.

Поступила 23.09.09

#### Summary

It is shown that the treatment of pre-compressed plates out of steel of grade 20 by current pulses of density appr.  $10^9 \text{ A/m}^2$  and duration of roughly  $10^{-4}$  leads to intensification of plastic deformation in that area and contributes to activation of contact surfaces. It is defined that the greatest effect from the viewpoint of maximum physical contact area is produced during passing of the current along the interface by turns through both plates. Thus, the decrease of the height of microroughness reaches appr. 75%, and total area of the surface spreading zones of the plates makes 65–70% of the total area of a contact surface.