

УДК 621.791.763.1

## **ТВЕРДОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ «АІ – СТАЛЬ», ПОЛУЧЕННЫХ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКОЙ**

***И. КАРАМИНАДИК, Е. Б. ДЕМЧЕНКО***

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

UDC 621.791.763.1

## **HARDNESS OF MATERIALS WELDED JOINTS ON THE GROUND AN «AL – STEEL» GAINED BY CONTACT SPOT WELDING**

***I. KARAMINADIK, E. B. DEMCHENKO***

**Аннотация.** Исследована микротвердость сварных соединений материалов на основе «АІ – сталь», полученных контактной точечной сваркой. Показано, что время протекания сварочного тока и усилие сжатия электродов практически не оказывают влияния на микротвердость сварной зоны. Распределение твердости по сечению сварной зоны в зависимости от времени сварки и величины усилия сжатия электродов неравномерно, поскольку здесь имеют место закалочные явления. Такая разница в значениях микротвердости приводит к образованию крупнозернистой структуры и ухудшению прочностных свойств свариваемых материалов.

**Ключевые слова:** контактная точечная сварка, «АІ – сталь», биметаллические прокладки, сварная зона, зона термического влияния, микротвердость.

**Abstract.** The microhardness of welded joints of materials on a ground an « Al – steel» gained by contact spot welding is investigated. It is shown that the time of a leakage of a welding current and force of squeezing of electrodes practically do not render effect on a microhardness of a welded working area. Hardness allocation on cross-section of a welded working area depending on a time of welding and magnitude of force of squeezing of electrodes nonuniformly as hardening appearances here occur. Such odds in values of a microhardness lead to formation of a coarse-grain structure and a decline of a mechanical properties of welded materials.

**Keywords:** contact spot welding, «Al – steel», bimetal bearing disks, welded working area, heat-affected zone, microhardness.

Известно, что основным препятствием получения сварных соединений алюминия со сталью является химическая несовместимость этих материалов. В результате кристаллизации расплавленного металла соединяемых деталей в структуре сварного шва образуются хрупкие химические соединения – интерметаллиды, что сводит на нет возможность получения достаточно прочного сварного соединения.

Для контактной точечной сварки данная проблема была решена благодаря применению промежуточной биметаллической прокладки «АІ – сталь», полученной изготовленной сваркой взрывом [1–3]. В этом случае при сварке создаются два отдельных ядра на границах «алюминий – алюминий» и «сталь – сталь». Статические и динамические испытания точечных соединений показали, что по прочности они сравнимы с клепаными соединениями.

Микроструктуру и микротвердость литой зоны и зоны термического влияния по Виккерсу изучали на шлифах сварных соединений (рис. 1), полученных на разных режимах сварки.

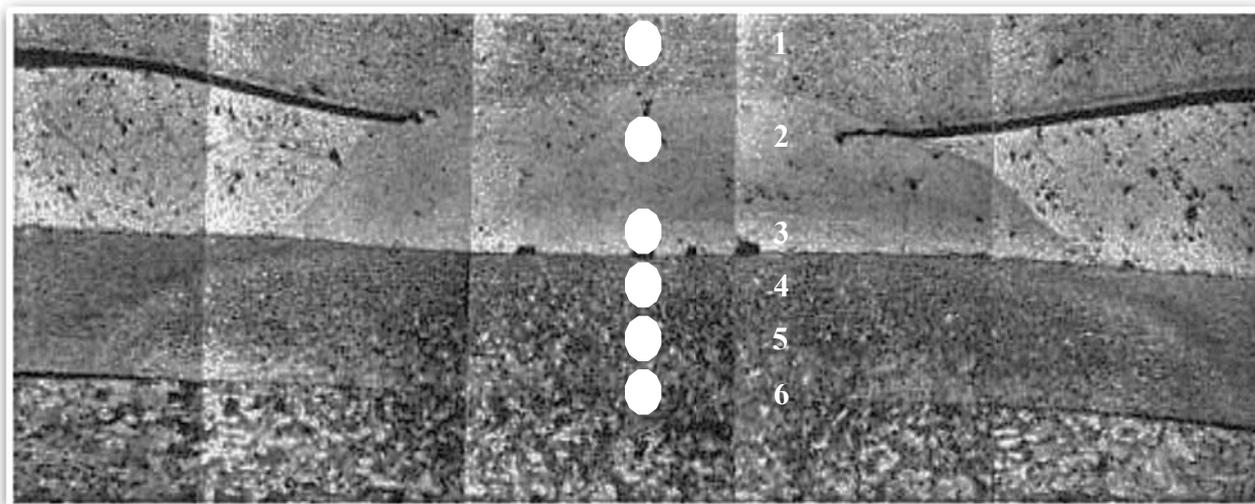


Рис. 1. Микроструктуры сварных соединений образцов и зоны измерения твердости,  $\times 50$

Зависимости микротвердости от параметров режима сварки аппроксимированы по логарифмическому тренду.

В табл. 1 представлены средние значения микротвердости по Виккерсу ( $HV$ ) разнородных образцов при изменении времени протекания сварочного тока  $t_{cs} = 0,12 \dots 0,32$  с при  $P = 2000$  Н и при изменении усилия сжатия электродов  $P = 1000 \dots 3000$  Н при  $t_{cs} = 0,24$  с.

Табл. 1. Средние значения микротвердости  $HV$  разнородных образцов

Параметры сварки			Твердость $HV$ , кг/мм <sup>2</sup>					
			Al	Al (ядро)	Сталь	Сталь (ядро)	Сталь (ядро)	Сталь
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Al (1,0 мм) + + «Al – сталь» (0,5 + 0,5) мм + + сталь «08 кп» (0,8 мм)	$t_{cs}$ , с	0,16	51,6	54,1	366,0	366,1	265,4	169,0
		0,20	48,1	64,6	381,2	340,2	288,9	166,5
		0,24	47,5	54,1	385,9	344,7	210,2	166,6
		0,28	49,0	61,1	396,1	371,4	254,1	153,1
		0,32	47,9	59,2	403,3	309,8	251,5	188,1
		0,36	45,4	59,7	396,2	332,4	226,3	198,7
	$P$ , Н	500	53,4	58,2	410,2	340,6	210,0	152,0
		1000	47,5	54,1	385,9	348,6	212,2	166,8
		1500	50,9	57,7	381,0	401,3	202,5	161,4
		2000	50,0	55,2	380,5	372,4	376,1	179,9

Исследование твердости проводили в наиболее характерных зонах сварного соединения (ядро, околошовная зона, основной металл), интересных с точки зрения изучения прочностных характеристик.

На рис. 2 и 3 представлены зависимости средних значений микротвердости  $HV$  в различных областях образцов при изменении времени протекания сварочного тока (см. рис. 2) и усилия сжатия электродов (см. рис. 3) при постоянных параметрах времени сварки и усилия сжатия электродов.

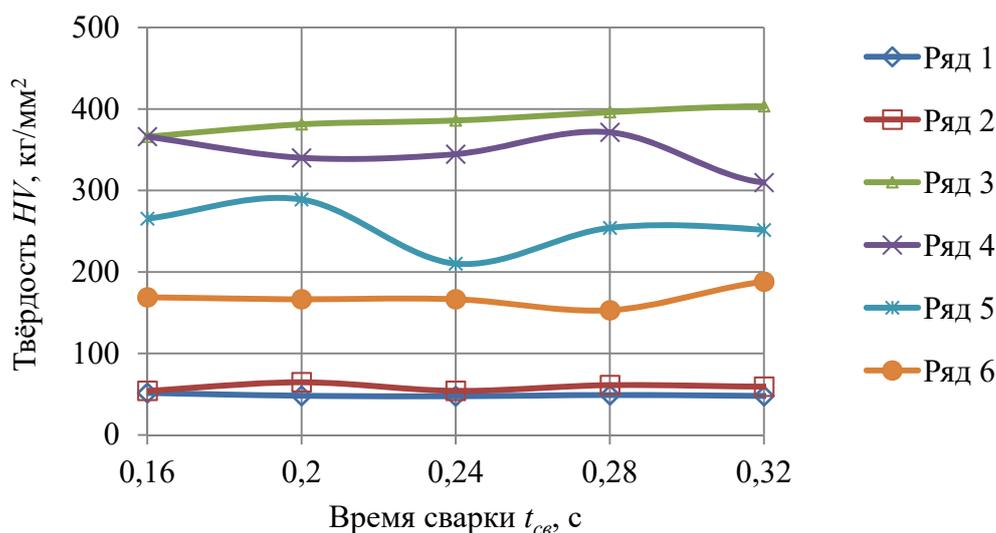


Рис. 2. Зависимость изменения микротвердости от времени сварки

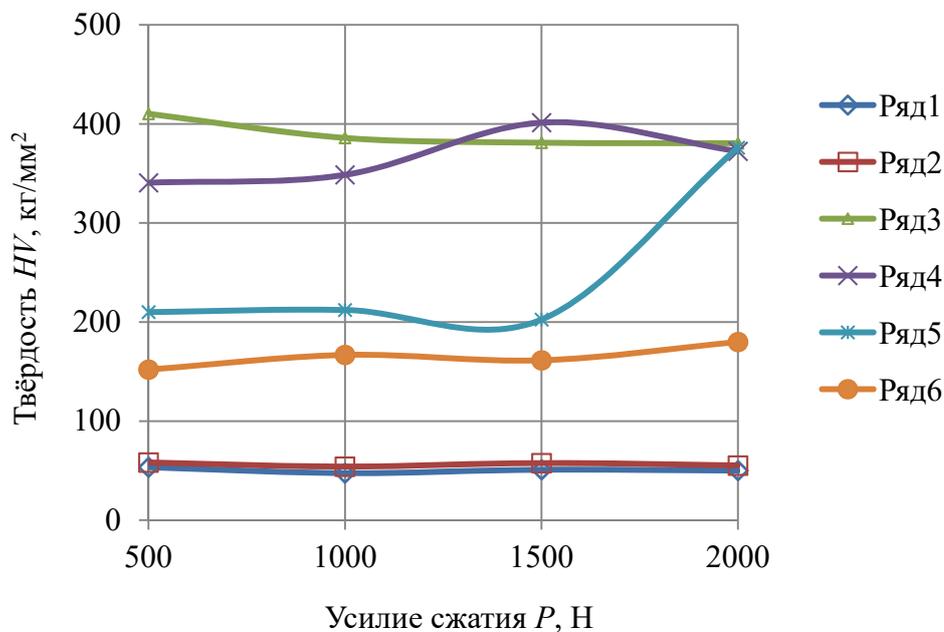


Рис. 3. Зависимость изменения микротвердости от усилия сжатия электродов

Анализ показал, что время протекания сварочного тока и усилие сжатия электродов практически не оказывают влияния на микротвердость материалов в зонах, определяющих прочностные характеристики сварного соединения.

Однако распределение твердости по сечению сварной зоны в зависимости от времени сварки (рис. 4) и величины усилия сжатия электродов (рис. 5) носит весьма сложный характер. Причинами неравномерного распределения микротвердости по сечению сварного соединения являются в основном тепловой режим сварки и различный химический состав свариваемых материалов. Наиболее вероятно то обстоятельство, что в зоне стального ядра имеют место закалочные явления.

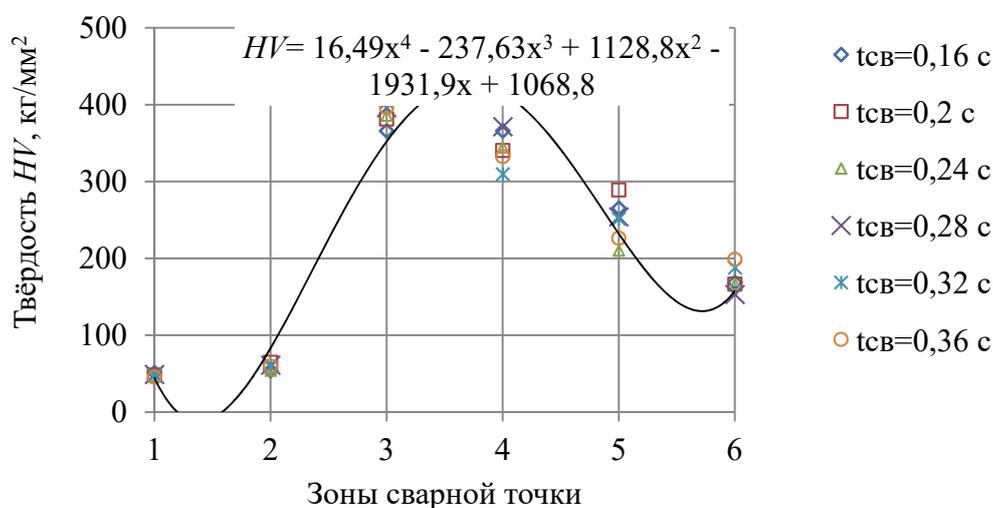


Рис. 4. Зависимость изменения микротвердости в различных зонах сварной точки во времени

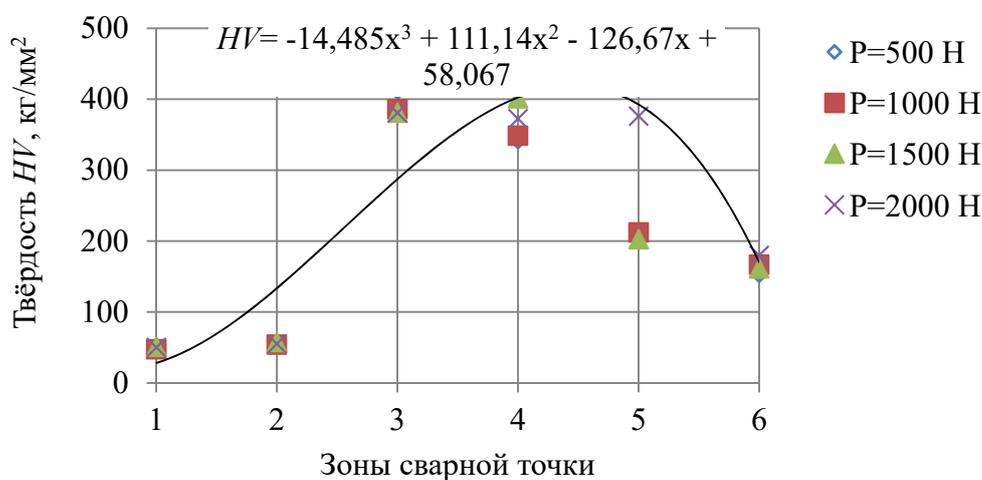


Рис. 5. Изменения микротвердости в различных зонах сварной точки

Закалка зоны сварки приводит к увеличению твердости ядра, при этом на периферии (околошовная зона, переходный слой между ОШЗ и основным металлом) твердость значительно ниже. Неравномерность химического состава и объемного распределения растворенных в расплаве при сварке металлов элементов из-за большого давления в центре сварной точки и электромагнитных сил, приводящих к быстрому перемещению микроэлементов, понижает микротвердость от центра к периферии.

Так как скорость кристаллизации металла больше скорости выравнивания концентрации элементов в ядре, сварная точка отличается неравномерным распределением элементов. Такая разница в значениях  $HV$  приводит к ухудшению прочностных свойств свариваемых материалов.

Кроме того, на периферии ядра и в ОШЗ образуется крупнозернистая металлическая структура, которая также снижает прочностные свойства. Ввиду этих причин именно здесь и происходит разрушение материала.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Караминадик, И.** Технология контактной точечной сварки алюминия со сталью / И. Караминадик, Е. Б. Демченко // *Металлургия XXI столетия глазами молодых: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов.* – Донецк: ДОННТУ, 2021. – С. 109–112.

2. **Караминадик, И.** Расчет и выбор режимов контактной точечной сварки соединений из разнородных материалов / И. Караминадик, Е. Б. Демченко // *Литье и металлургия – 2021: сб. науч. работ IV Междунар. науч.-практ. интернет-конф. студентов и магистрантов, Минск, 14 апр. 2021 г.* – Минск: БНТУ, 2021. – С. 49–53.

3. **Караминадик, И.** Методика исследования процесса контактной точечной сварки соединений материалов «Al – сталь» / И. Караминадик, Е. Б. Демченко // *Литье и металлургия – 2021: сб. науч. работ IV Междунар. науч.-практ. интернет-конф. студентов и магистрантов, Минск, 14 апр. 2021 г.* – Минск: БНТУ, 2019. – С. 53–56.

E-mail: edemchenko@bntu.by.