

УДК 621.791

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

*д-р техн. наук В.К. ШЕЛЕГ*

*(Белорусский национальный технический университет, Минск);*

*канд. техн. наук Ю.А. ЦУМАРЕВ, Е.Н. ЦУМАРЕВ*

*(Белорусско-Российский университет, Могилев)*

*Рассмотрены конструктивно-технологические мероприятия, обеспечивающие повышение эффективности контактной точечной сварки. Показано, что при одинаковой площади разрушения овальные точки, у которых большая полуось расположена перпендикулярно приложенной нагрузке, обеспечивают меньший уровень рабочих напряжений по сравнению с точками круглой формы. Проведено экспериментальное исследование шунтирования сварочного тока в околоточечную зону и установлено, что устранение этого явления путем применения электроизолирующих прокладок между соединяемыми деталями обеспечивает увеличение рабочей площади сечения точки примерно на 16 % при сопоставимых энергозатратах на ее изготовление.*

Контактная точечная сварка нашла широкое применение в машиностроительной промышленности благодаря своей экономичности, высокой производительности труда и хорошим санитарно-гигиеническим показателям процесса. Однако точечные соединения, выполненные контактной сваркой, имеют низкие показатели работоспособности, особенно при эксплуатации в условиях циклического нагружения. Кроме того, процесс контактной точечной сварки требует мощного сварочного оборудования и значительных энергозатрат. Поэтому повышение технико-экономической эффективности контактной точечной сварки является актуальной задачей.

Основной причиной низкой статической и циклической прочности точечных сварных соединений, выполненных контактной сваркой, является значительная концентрация рабочих напряжений, обусловленная резким изменением размеров и формы [1; 2]. К тому же концентрация напряжений усугубляется вредным влиянием изгиба, который обусловлен внецентренным приложением продольной растягивающей нагрузки к соединяемым пластинам на участках, находящихся за пределами сварной точки.

По данным работы [3], важнейшим фактором, приводящим к концентрации напряжений, является сужение силового потока и соответствующее ему сгущение силовых линий, вызванное меньшим поперечным размером сварной точки по сравнению с шириной соединяемых пластин (рис. 1). Поэтому можно предположить, что для уменьшения этой разницы и связанного с ней одного из факторов концентрации напряжений необходимо изменить форму сварной точки, увеличив ее поперечный размер.

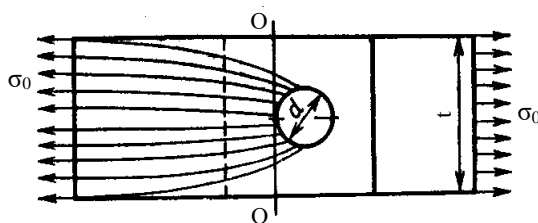


Рис. 1. Схема концентрации напряжений в сварном точечном соединении

Чтобы проверить справедливость данного предположения и определить характер влияния формы сварной точки на ее несущую способность, нами были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния точечных соединений различной конструкции, показанные на рисунке 2. Следует особо отметить, что все точки, представленные на рисунке 2, имеют одинаковую площадь рабочего сечения, поэтому энергоемкость производства сравниваемых соединений примерно одинакова. Кроме точек, имеющих в плане круглую форму, были исследованы овальные точки с соотношением полуосей 1:2 при продольном и поперечном расположении овалов относительно оси сварного соединения. Толщина соединяемых стальных листов составляла 4 + 4 мм. Исследование проведено расчетным методом с использованием пакета прикладных программ «SOLID WORKS». При проведении расчетов была использована схема нагружения для нахлесточного соединения, в которой разрушающие силы  $P$  направлялись по одной прямой в противоположные стороны (см. рис. 2, в) [4]. Таким образом, было обеспечено соблюдение принципа статического равновесия.

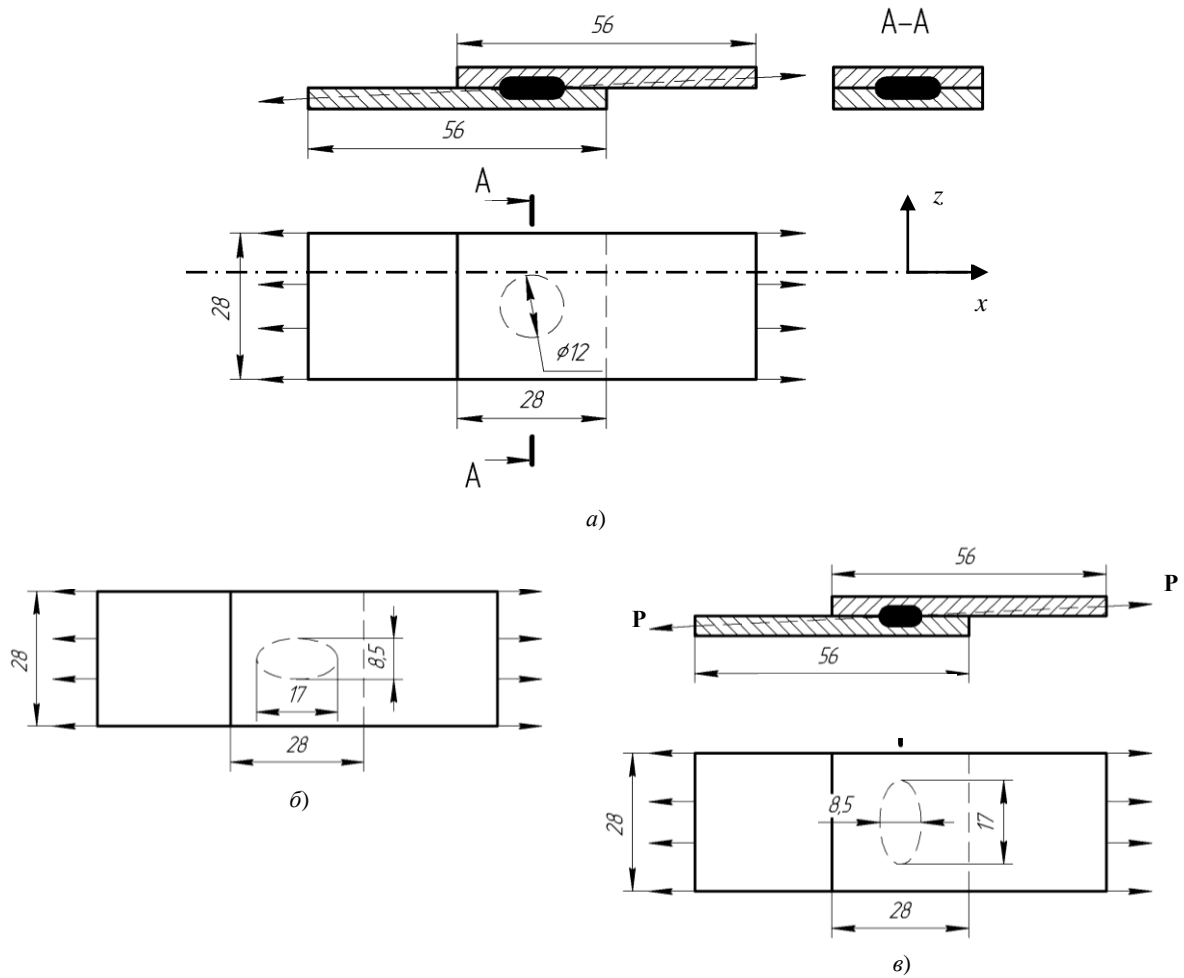


Рис. 2. Схемы точечных сварных соединений с точками различной формы:  
 а – круглая; б – овальная, расположенная продольно;  
 в – овальная точка с поперечным расположением большей полуоси овала

Результаты расчетов отражены на рисунках 3 – 5. На рисунке 3 показаны графики, которые отражают распределение интенсивности напряжений по продольной (ось  $x$ ) и поперечной (ось  $z$ ) осям, проходящим через центр соответствующей точки.

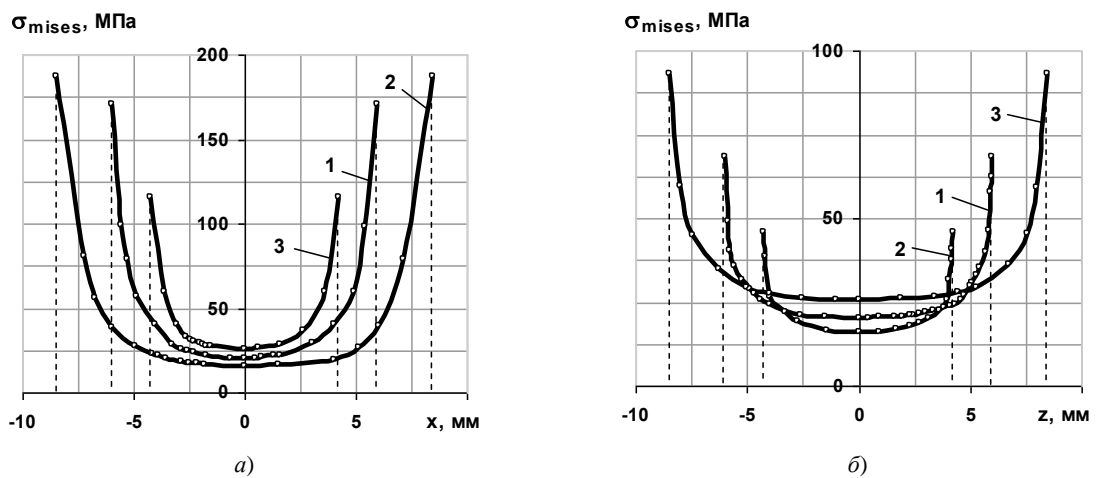


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений в точечных соединениях:  
 а – вдоль продольной оси; б – вдоль поперечной оси:  
 1 – точка круглой формы; 2 – овальная продольная точка; 3 – овальная поперечно расположенная точка

На рисунке 4 представлены аналогичные графики распределения касательных напряжений  $\tau_{xy}$ ; на рисунке 5 – графики распределения нормальных напряжений  $\sigma_x$ .

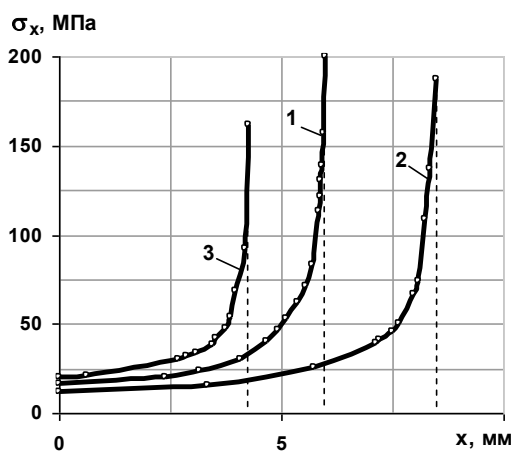


Рис. 4. Распределение касательных напряжений по продольной оси соединения:

1 – точка круглой формы; 2 – овальная продольная точка; 3 – овальная поперечно расположенная точка

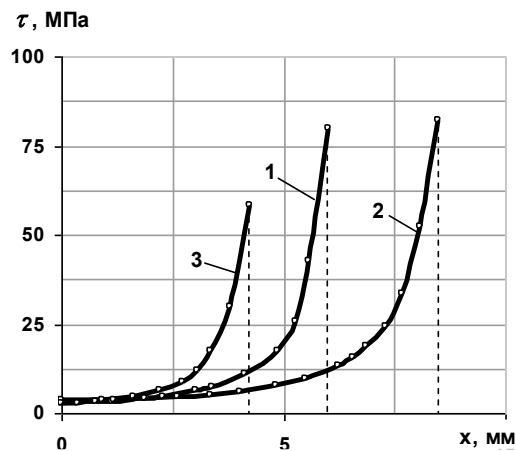


Рис. 5. Распределение нормальных напряжений по продольной оси сварного соединения:

1 – точка круглой формы; 2 – овальная продольная точка; 3 – овальная поперечно расположенная точка

Приведенные на рисунках 3 – 5 данные показывают, что форма сварной точки и характер ее расположения по отношению к оси соединения оказывают значительное влияние на распределение рабочих напряжений. Наиболее высокий уровень интенсивности напряжений, а также касательных и нормальных напряжений был отмечен у овальных точек, большая полуось которых располагалась продольно. Наименьший уровень был характерен для овальных точек, расположенных поперечным образом. Благодаря использованию овальной точки и поперечному ее расположению уровень максимальной интенсивности рабочих напряжений по сравнению с точкой круглой формы уменьшился с величины 170 МПа до значения 120 МПа, или в 1,4 раза. При этом максимальное значение касательных напряжений  $\tau_{xy}$  также снизилось с 82 до 60 МПа (в 1,37 раза), а максимальное значение нормальных напряжений уменьшилось с 200 до 163 МПа (в 1,23 раза). Характерно, что снижение уровня рабочих напряжений в точках, расположенных на продольной оси, сопровождается их увеличением в точках, лежащих на поперечной оси. Поэтому соединение с поперечно расположенной овальной точкой характеризуется более равномерным распределением рабочих напряжений. В таком соединении более нагруженной является центральная область сварной точки.

Варьируя соотношение между длинами большой и малой полуосей овала сварной точки, можно влиять на максимальную величину рабочих напряжений и добиваться более высокой прочности сварного точечного соединения. Поэтому точечное соединение с поперечно расположенной овальной точкой можно рекомендовать для применения в практике контактной точечной сварки.

При практическом использовании этого технического решения уменьшается продольный размер сварной точки, что позволяет соответствующим образом уменьшить величину взаимного перекрытия соединяемых деталей (нахлестки) и тем самым уменьшить расход основного металла, снизить массу соединения в целом.

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы при создании электрозаклепочных сварных соединений, в которых поперечно расположенные овальные точки также будут обладать более высокими характеристиками несущей способности.

Известно [5, с. 32], что в процессе нагрева свариваемых заготовок проходящим током имеет место значительная неравномерность электрического поля в деталях, и 15...25 % тока протекает вне зоны формирования литого ядра. Это явление обусловлено тем, что между соединяемыми деталями, прилегающими друг к другу и зажатыми между электродами, существует хороший электрический контакт. Отвлечение (шунтирование) части сварочного тока в околоточечную зону, безусловно, влияет на формирование точки, способствует уменьшению ее диаметра.

В данной работе предпринята попытка количественно оценить степень влияния шунтирования тока в околоточечную зону через соприкасающиеся поверхности заготовок на диаметр литого ядра. Для исследования явления шунтирования и его связи с диаметром сварной точки были сварены две партии образцов (по 6 образцов в каждой партии) из низкоуглеродистой стали толщиной 4 + 4 мм на машине МТ-40

при следующих параметрах режима сварки: сила сварочного тока 20 кА, усилие на электродах 12 кН, время сварки 0,7 с.

Образцы первой партии сваривались обычным способом, а при сварке образцов второй партии между соединяемыми листами устанавливалась изолирующая прокладка из тонкой (папиросной) бумаги с круглым вырезом, диаметр которого составлял 12 мм (это соответствовало ожидаемому диаметру сварной точки). После сварки образцы разрушались по плоскости соприкосновения заготовок, а место разрушения шлифовалось, полировалось и протравливалось для выявления границ литого ядра. После этого проводилось измерение литого ядра на измерительном микроскопе ММИ. Диаметр каждой точки измеряли в 4-х направлениях, после чего определяли его среднее значение. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние шунтирования на диаметр точки

Номер опыта	Значения диаметров точек, мм		Примечание
	партия 1	партия 2	
1	12,65	13,88	
2	12,5	13,5	
3	12,85	13,45	
4	12,65	13,2	Выплеск
5	12,9	13,75	
6	12,4	13,2	Электрический пробой прокладки

При проведении экспериментов было установлено отклонение от нормального процесса контактной точечной сварки образцов № 4 и № 6 второй партии. Проведенный статистический анализ также показал, что результаты, полученные при измерении диаметра ядра для этих образцов, являются грубыми промахами. Поэтому в дальнейшем они были исключены из данных, принятых к статистической оценке и сравнению двух партий образцов.

При проведении сравнительных исследований был проведен полный статистический анализ и определены основные статистические характеристики обеих выборок: среднее арифметическое, выборочная дисперсия, среднее квадратическое отклонение, эксцесс, а также доверительные интервалы для обеих партий образцов. Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Статистические характеристики случайных величин

Характеристика случайной величины	Обозначение параметра		Значение параметра	
	для партии 1	для партии 2	для партии 1	для партии 2
Среднее арифметическое	$d_{cp1}$	$d_{cp2}$	12,66	13,645
Выборочная дисперсия	$s_1^2$	$s_2^2$	0,0374	0,0418
Среднее квадратическое	$s_1$	$s_2$	0,1934	0,204
Эксцесс	$Ex_1$	$Ex_2$	-1,78	-3,83

Доверительные интервалы рассчитывались по методике, представленной в работе Б.Д. Орлова [6, с. 328]. Полученные результаты при различных доверительных вероятностях приведены в таблице 3.

Таблица 3

Доверительные интервалы для диаметров литого ядра

Доверительная вероятность	Доверительный интервал
0,95	0,203
0,99	0,318
0,999	0,542

Результаты статистической обработки показывают, что различие в значениях диаметров сварных точек, составляющее 0,985 мм, не является случайным отклонением. Во-первых, выявленное от-

клонение превосходит трехкратное значение средних квадратических отклонений для любой из двух выборок. Во-вторых, с вероятностью до 0,999 значения диаметров литого ядра, присущие партии 2, не могут принадлежать выборке, составленной из аналогичных данных, которые получены без электроизолирующих прокладок между свариваемыми заготовками.

Из полученных экспериментальных данных следует, что контактная точечная сварка с электрической изоляцией свариваемых заготовок друг от друга создает предпосылки для более рационального и экономного расходования электроэнергии. Средний диаметр литого ядра при их использовании увеличился в 1,078 раза. Несущая способность, которая пропорциональна площади среза сварной точки, при этом возрастет в 1,16 раза, или на 16 %. Рассматриваемое явление устранения шунтирования тока в околоточечную зону следует учитывать при создании клеесварных соединений, особенно при использовании пленочных клеев [7, с. 10]. Как известно [7], пленочные клеи широко применяются в клеесварных конструкциях и обеспечивают значительные преимущества по сравнению с обычными клеями. При этом они являются электроизоляционным материалом, который как раз и размещается между соединяемыми листами перед началом процесса контактной точечной сварки [7]. Поэтому сварка с применением пленочных клеев производится в местах специально выполненных просечек и по условиям для прохождения тока, аналогичным условиям сварки образцов партии 2. То есть здесь также можно прогнозировать некоторое увеличение площади среза точки, обусловленное отсутствием шунтирования сварочного тока в околоточечную зону. Соответственно, устранение шунтирования может стать дополнительным преимуществом пленочных клеев и стимулировать более широкое их применение в технике получения клеесварных соединений.

#### **Выводы:**

- 1) форма точки оказывает значительное влияние на напряженное состояние сварного соединения, выполненного контактной точечной сваркой;
- 2) сварные точки овальной формы, расположенные перпендикулярно продольной оси, обеспечивают наиболее равномерное распределение рабочих напряжений и, как следствие, более низкий уровень максимальных напряжений в зонах концентрации напряжений;
- 3) контактная точечная сварка с электрической изоляцией свариваемых заготовок друг от друга создает предпосылки для более рационального использования электроэнергии и обеспечивает увеличение площади среза точки на 16 %.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Тумаков, С.Ф. Повышение выносливости контактных точечных соединений локальным пластическим обжатием / С.Ф. Тумаков // Сварочное производство. – 1981. – № 2. – С. 17 – 19.
2. Тумаков, С.Ф. Сопротивление усталости нахлесточных соединений, выполненных точечной и рельефно-точечной сваркой / С.Ф. Тумаков, Н.В. Подола // Автоматическая сварка. – 1981. – № 2. – С. 65 – 66.
3. Николаев, Г.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высш. шк. – 1971. – 760 с.
4. Цумарев, Ю.А. Расчет напряженно-деформированного состояния нахлесточных соединений / Ю.А. Цумарев // Сварка и диагностика. – 2011. – № 2. – С. 14 – 18.
5. Орлов, Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки / Б.Д. Орлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 536 с.
6. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 564 с.
7. Шавырин, В.Н. Клеесварные конструкции / В.Н. Шавырин, В.И. Рязанцев. – М.: Машиностроение, 1981. – 168 с.

*Поступила 12.12.2012*

#### **ACTIVITIES TO IMPROVE THE RESISTANCE OF SPOT WELDING**

**V. SHELEG, Y. TSUMAREV, E. TSUMAREV**

*Design and technological measures to ensure the effectiveness of resistance of spot welding are considered. It is shown that for the same area of destruction of an oval spot with semi-major axis, perpendicular to the applied load, a lower level of working stress compared to the circular form spot is provided. An experimental study of shunt of welding current around spot is made and it is found that the elimination of this phenomenon by applying of insulating spacers between the joined parts provides an increase in the working area of the section level by about 16 % at comparable energy consumption for its manufacture.*