

МРНТИ 81.75.17

Ж.У. Сугиров¹ – основной автор, ©
С.М. Оспанова², М.К. Суйменова³, К.М. Шайхиева⁴,
Л.Б. Есеева⁵



¹Д-р техн. наук, профессор, ²Д-р PhD, ст. преподаватель,
^{3,4,5}Ст. преподаватель

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-8109-1658>, ²<https://orcid.org/0000-0002-8122-1671>,
³<https://orcid.org/0000-0002-8125-1631>, ⁴<https://orcid.org/0000-0002-8134-1656>,
⁵<https://orcid.org/0000-0002-8156-1677>



Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова



г. Актау, Казахстан



¹sugirov-56@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/GUNV3689>

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В связи с расширением области применения железобетонных конструкций особую актуальность приобрела разработка рациональной технологии контактной сварки арматуры железобетона диаметром около 10 мм. Особенно уделяется большое внимание контактной сварке металлической сетки из перекрещивающихся круглых стержней как с одинаковыми, так с и разными диаметрами. Установлена зависимость между осадкой и размерами контактной поверхности, которая не распространяется на деформацию стержней при сварке. Пластические свойства, вследствие неравномерного разогрева металла, резко меняются в направлении действия сжимающего усилия. Установлено, что условия пластического деформирования стержней при сварке отличаются от условий деформирования однородных стержней с одинаковыми по всему объему свойствами. Площадь контакта с увеличением осадки возрастает более интенсивно, чем при обмятии холодных стержней.

Ключевые слова: контактная сварка, железобетонные изделия, арматура, металлическая сетка, пластическое деформирование, стержни.



Сугиров, Ж.У. Разработка рациональной технологии контактной сварки арматуры железобетонных изделий [Текст] / Ж.У. Сугиров, С.М. Оспанова, М.К. Суйменова, К.М. Шайхиева, Л.Б. Есеева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2021. – №4(74). – С.25-33. <https://doi.org/10.55956/GUNV3689>

Введение. При контактной сварке арматуры железобетона, свариваемые стержни сжимаются между электродами контактной машины так, что центры контактных площадок располагаются на концах одного диаметра стержня (рис. 1). Схематизируя процесс контактной электросварки перекрещивающихся стержней, можно представить его как совокупность одновременно протекающих и непрерывно взаимодействующих процессов [1-2], основными из которых являются: а) пластическая деформация металла в зоне сварки стержней (осадка); б) распределение тока в стержнях; в) распределение источников теплоты; г) распределение температуры.

Эти процессы хорошо известны для контактной сварки перекрещивающихся стальных стержней большого диаметра (более 16 мм).

В связи с расширением области применения железобетонных конструкций в отраслях экономики большое внимание в течение последних лет уделяется разработке рациональной технологии контактной сварки арматуры железобетона диаметром около 10 мм, особенно контактной сварки металлической сетки из перекрещивающихся круглых стержней как с одинаковыми, так с и разными диаметрами.

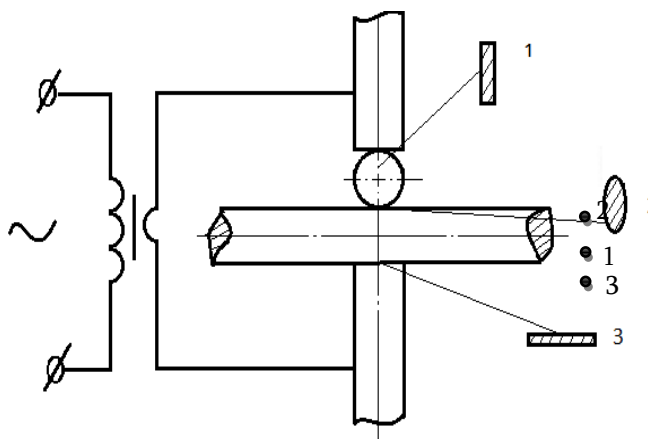


Рис. 1. Схема контактной сварки перекрещивающихся стержней и очертания контурных площадок: 1, 3 - между электродом и стержнем; 2 - между стержнями.

Условия и методы исследований. Рассмотрим процесс электроконтактной сварки перекрещивающихся круглых стержней диаметрами 10+5 мм. Размеры и очертания контактных площадок зависят от формы и размеров свариваемых стержней и токоподводящих электродов, а также от приложенного к электродам сжимающего усилия [1,2]. Очертание рабочей контактной площадки между перекрещивающимися круглыми стержнями одинакового диаметра практически близко к окружности.

По мере увеличения диаметра одного из перекрещивающихся стержней, рабочая контактная площадка вытягивается вдоль образующей малого стержня и по окружности большого стержня. Токопроводящая контактная площадка между медным электродом с плоской поверхностью и круглым стальным стержнем [1] располагается по полосе вдоль образующей стержня (см. рис. 1).

Ток промышленной частоты, нагревающий стержень, распределенный по объему стержня между контактными площадками - токопроводящей и рабочей, т.е. направленный параллельно диаметру стержня, в дальнейшем будем называть поперечным (по отношению к оси стержня).

Расчет распределения поперечного тока в круглом стержне будем вести исходя из следующих предпосылок:

1. Круглый проводящий цилиндр радиуса r_0 (см), с осью O_z (рис. 2) считаем неограниченно длинным, что соответствует практическим условиям сварки стержней арматуры.

2. Проводимость σ ($\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) материала полагаем постоянной во всем объеме цилиндра. Это предположение соответствует холодному стержню, т.е. состоянию в начале процесса нагрева.

3. Поперечный ток J_a считаем постоянным, т.е. влиянием промышленной частоты тока на его распределение пренебрегаем. Это предположение подкрепляется высокими плотностями тока при контактной сварке в центральной зоне стержня между контактами.

4. Ток считаем приложенным к цилиндру через полосовые контактные площадки 1 и 2 на его боковой поверхности, центры которых расположены на оси OY . Размеры контактных площадок 1 и 2 полагаем неодинаковыми, а именно в направлении образующей цилиндра: $2Z_1$ и $2Z_2$, а в направлении окружности – $2\varphi_1 r_0$ и $2\varphi_2 r_0$. Такое достаточно общее предположение охватывает разнообразные, встречающиеся на практике типы очертаний контактных площадок. В действительности очертания площадок рабочего контакта более или менее округлены; если принять очертание площадок полосовым, то это исказит распределение тока преимущественно у углов прямоугольной площадки и тем более, чем очертание площадки ближе к квадратному.

5. Ток J распределен равномерно по поверхности контактных площадок 1 и 2, поэтому плотности радиального тока выразятся:

$$j_1 = \frac{1}{4z_1\varphi_1 r_0} \quad \text{и} \quad j_2 = \frac{1}{4z_2\varphi_2 r_0}$$

Условия распределения тока или потенциала по площади рабочего или токопроводящего контакта трудноопределимы и зависят от размеров и очертания стержней и электродов. Принятое нами простейшее предположение о постоянстве плотности тока по постоянным площадкам оправдывается еще и тем, что повышение плотности тока у краев контактной площадки в холодном массивном теле быстро выравниваются вследствие местного перегрева этой зоны током повышенной плотности.

Вне контактных площадок боковую поверхность стержня считаем изолированной [1].

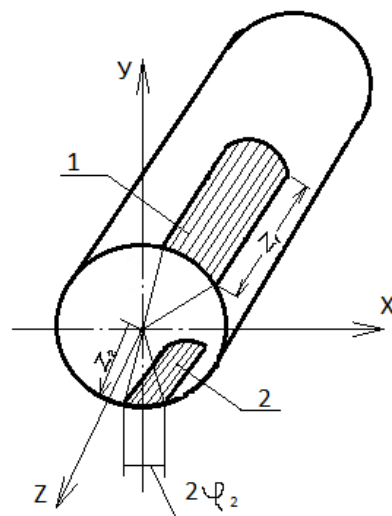


Рис. 2. Схема контактных площадок в проводящем стержне

При контактной сварке перекрещивающихся круглых стержней происходит упруго-пластическая деформация металла в зонах, удаленных от контакта, и пластическая деформация в местах контактов. Наиболее интересной при изучении процесса образования сварной точки является пластическая деформация в сварочном контакте [1-2].

Еще перед сваркой между стержнями в результате их предварительного обмятия возникает площадка холодного контакта. Площадь горизонтальной проекции F поверхности обмятия определяется усилием P , приложенным со стороны электродов, и удельным давлением смятия K .

В начале нагрева контактная площадка между стержнями невелика. Повышенная плотность тока в контакте и большое контактное сопротивление способствуют интенсивному выделению теплоты в месте соприкосновения стержней. Контактное сопротивление резко падает, однако теплота продолжает выделяться преимущественно в зоне контакта за счет работы тока на повышенном сопротивлении подогретого металла. Интенсивность объемных источников теплоты, обусловленных работой тока на собственном сопротивлении металла, возрастает, в то время как интенсивность поверхностного источника теплоты в контакте убывает. С повышением температуры приконтактной области, сопротивление смятию падает, и площадь контакта под действием усилия P увеличивается. По мере осадки стержней и увеличения контактной площадки средняя плотность тока в контакте снижается, а линии тока оттесняются к расширяющимся границам контактной поверхности.

Распределение источников теплоты, их интенсивность и продолжительность действия непосредственно влияют на распределение температуры в стержнях в тот или иной момент процесса сварки [1].

Таким образом осадка стержней, распределение тока и температуры неразрывно связаны между собой, непрерывно изменяются в процессе сварки, воздействуя друг на друга.

Обсуждение научных результатов. Задача пластической деформации при контактной сварке перекрещивающихся стержней может быть отнесена к категории задач о вдавливании штампа, которые рассматриваются в теории пластичности. Однако при решении этих задач исследователи ограничивались условием, что жесткий штамп вдавливается в пластическую среду. Задача существенно осложняется, если предположить, что и сам штамп деформируется при выдавливании. Наша задача тем более сложна, что в зоне контакта имеет место нагрев, неравномерный в пространстве и переменный во времени. Теоретического решения этой задачи в настоящее время не существует, поэтому интересующую нас связь отдельных параметров в процессе обмятия стержней устанавливали опытным путем.

При изучении характера распределения источников теплоты необходимо знать размеры контактных площадок, непосредственное определение которых в тот или иной момент процесса сварки весьма затруднительно вследствие выдавливания разогретого металла из зоны сварки. Поэтому мы установили приближенное соотношение между площадью контакта и величиной осадки (взаимного проникновения) стержней. Осадка же является таким параметром, который удобно изменять в процессе сварки.

Связь между осадкой и площадью контакта изучали предварительно при обмятии холодных стержней.

Круглые стрежни диаметрами 5+10 мм, выточенные из малоуглеродистой стали, сжимали в направлении, перпендикулярном осям стержней, на прессе шопере, используя специальные оправки, в которых стержни накладываются один на другой под углом 90° друг к другу. В результате деформации в месте соприкосновения стержней образовалась седлообразная поверхность. Горизонтальная проекция ее близка к кругу, по диаметру которого судили о размерах контактной поверхности. В таблице 1 приведены результаты опыта по холодному обмятию стержней. Диаметр проекции контактной поверхности брали как среднее арифметическое измерений в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

Таблица 1

Результаты опытов по холодному обмятию
перекрещивающихся стержней диаметрами 16+16 мм

Материал образца	Усилие обмятия P , дан	Диаметр проекции контактного отпечатка между стержнями d , мм	Удельное давление смятия в контакте K , дан/мм ²	Осадка между стержнями h , мм
Сталь HB146,6	1100	3,8	97,0	0,30
	2100	5,4	92,0	0,50
	3120	6,5	95,0	0,60
	4150	7,7	94,0	0,80

Удельное давление K в контакте между стержнями определяли как отношение усилия смятия P к площади проекции контактного отпечатка

$$F = \frac{\pi d^2}{4}.$$

На рисунке 3 нанесена кривая зависимости диаметра d проекции контактного отпечатка от величины осадки h , полученной расчетом по схеме, т.е. между d и h существует следующая зависимость

$$d = 2\sqrt{2hR - h^2},$$

где R - радиус цилиндра.

На этот же график нанесены опытные точки по данным таблицы 1. Опытные точки, располагаются вблизи расчетной кривой. Это указывает на то, что между осадкой и размерами контактной площадки имеется определенное соотношение, одинаковое для металлов с различной пластичностью. Соотношение близко к соотношению геометрических элементов пересекающихся кривых цилиндров.

На рисунке 3 представлена зависимость площади проекции контактной поверхности от усилия, сжимающего стержни. Удельное давление K в контакте, которое представляет отношение усилия P к площади проекции контактной поверхности, постоянно, а для данного сочетания диаметров имеет вполне определенное значение. Для диаметров 16+16 мм удельное давление, как видно из таблицы 1, составляет около 0,6 числа твердости по Бринеллю для данного материала: $K \approx 0,6HB$.

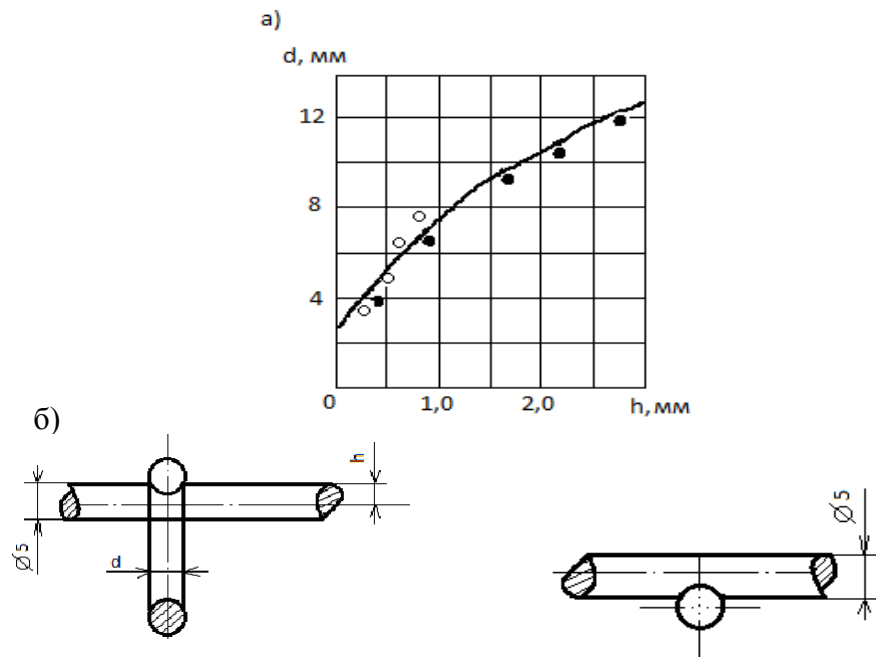


Рис. 3. Диаметр d проекции контактного отпечатка в зависимости от величины осадки h при холодном обмятии стержней диаметрами 5+5 мм (а) и образцы после холодного обмятия (б).

Опыты по холодному обмятию проводили также на стержнях из малоуглеродистой стали (Ст.3) диаметрами 16+30 мм и 5+10 мм. Горизонтальная проекция седлообразного отпечатка в контакте приближается по форме к эллипсу с полуосями a и b . В таблицах 2 и 3 приведены размеры a и b проекции контактного отпечатка и осадка h , полученные при сдавливании стержня с различным усилием P . Площадь F проекции контактной поверхности вычислена как площадь эллипса с полуосями a и b

$$F = \pi \cdot a \cdot b, \quad \text{а удельное давление} \quad K = \frac{P}{F}.$$

Таблица 2

Результаты опытов по холодному обмятию перекрещивающихся стержней с неодинаковыми диаметрами 16+30 мм

Материал образца	Усилие обмятия P , дан	Осадка стержня h , мм	Площадь проекции контакта F , мм ²	Удельное давление K , дан/мм ²
Сталь НВ146,6	1010	0,20	12,4	81
	2700	0,43	34,7	78
	3700	0,59	48,0	77
	4900	0,74	61,7	79
	6600	1,25	87,0	76
	7700	1,75	100,0	77
	10000	2,15	129,5	77

Таблица 3

Результаты опытов по холодному обмятию стержней
с малыми диаметрами 5+10 мм

Материал стержней	Усилие обмятия P , дан	Осадка стержней h , мм	Площадь проекции контакта F , мм ²	Удельное давление K , дан/мм ²
Сталь HB146,6	200	0,20	6,01	128
	400	0,27	10,07	126
	800	0,40	12,18	127
	1000	0,80	14,17	128
	1200	1,00	18,07	128

Площадь контактной поверхности между стержнями при заданной осадке может быть с достаточной точностью подсчитана по соотношению геометрических элементов пересекающихся круглых цилиндров того же диаметра (рис. 4).

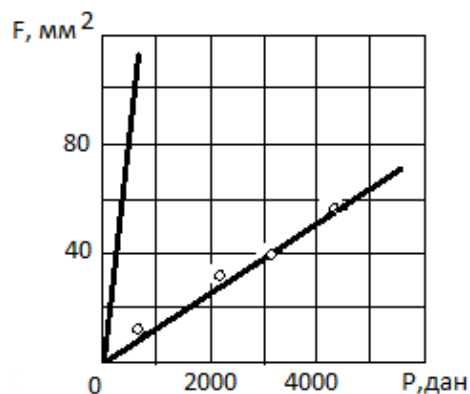


Рис. 4. Площадь F проекции контактного отпечатка в зависимости от усилия P , сжимающего перекрещивающиеся стержни диаметрами 5+5 мм при холодном обмятии

Закключение. Установленная зависимость между осадкой и размерами контактной поверхности не распространяется, однако, на деформацию стержней при сварке, когда пластические свойства, вследствие неравномерного разогрева металла резко меняются в направлении действия сжимающего усилия.

Условия пластического деформирования стержней при сварке отличаются от условий деформирования однородных стержней с одинаковыми по всему объему свойствами. Большое удельное давление в начале сварки вызывает резкое возрастание площади контакта за счет деформации малого объема разогретого металла. Свободному возрастанию осадки при этом препятствует более холодный металл, окружающий разогретую зону. Это отражается на соотношении между осадкой и площадью контакта. Площадь контакта с увеличением осадки возрастает в этом случае более интенсивно, чем при обмятии холодных стержней.

Список литературы

1. Пхакадзе, Т.И. Определение сварочного тока при контактной многоточечной сварке [Текст] / Т.И. Пхакадзе, М.Ш. Шаламберидзе, К.Д. Мгалоблишвили, Г.Г. Дадунашвили // Журнал «Измерительная техника». – 2010. – Vol. 53, №8. – С.55-57.
2. Оспанова С., Зивзивадзе Л., Шаламберидзе М. Особенности разработки энергосберегающей технологии изготовления металлической сетки [Текст] / С. Оспанова, Л. Зивзивадзе, М. Шаламберидзе // “GEORGIAN ENGINEERING NEWS”. – 2014. – С.48-51.

Материал поступил в редакцию 06.12.21.

Ж.У. Сугиров, С.М. Оспанова, М.К. Сүйменова, К.М. Шайхиева, Л.Б. Есеева

*Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,
Ақтау қаласы, Қазақстан*

**ТЕМІРБЕТОН БҰЙЫМДАРЫНЫҢ АРМАТУРАСЫН ТҮЙІСПЕЛІ ДӘНЕКЕРЛЕУДІҢ
ҰТЫМДЫ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӨЗІРЛЕУ**

Аңдатпа. Темірбетон конструкцияларын қолдану саласының кеңеюіне байланысты диаметрі шамамен 10 мм болатын темірбетон арматурасын түйіспелі дәнекерлеудің ұтымды технологиясын жасау ерекше өзекті болып отыр. Бірдей және әртүрлі диаметрлі қиылысатын дөңгелек шыбықтардан металл торды түйіспелі дәнекерлеуге ерекше назар аударылады. Дәнекерлеу кезінде өзектердің деформациясына таралмайтын шөгінді мен байланыс бетінің өлшемдері арасында байланыс орнатылды. Металлдың біркелкі қызбауына байланысты пластикалық қасиеттер қысу күшінің бағытында күрт өзгереді. Дәнекерлеу кезінде шыбықтардың пластикалық деформация шарттары бірдей қасиеттері бар біртекті шыбықтардың деформация жағдайларынан ерекшеленетіні анықталды. Шөгу құбылысының орын алуына байланысты түйісу аймағы суық шыбықтарды қабылдағанға қарағанда анағұрлым қарқынды өседі.

Тірек сөздер: түйіспелі дәнекерлеу, темірбетон бұйымдары, арматура, металл тор, пластикалық деформация, өзектер.

Zh.U. Sugirov, S.M. Ospanova, M.K. Suymenova, K.M. Shaikhieva, L.B. Eseeva

*Caspian University of technology and engineering named after Sh. Yessenov,
Aktau, Kazakhstan*

**DEVELOPMENT OF RATIONAL TECHNOLOGY CONTACT WELDING
OF REINFORCET CONCRETE PRODUCTS**

Abstract. In connection with the expansion of the field of application of reinforced concrete structures, the development of a rational technology for resistance welding of reinforced concrete reinforcement with a diameter of about 10 mm has acquired particular relevance. Particular attention is paid to the resistance welding of a metal mesh from crossed round rods, both with the same and with different diameters. The relationship between the upsetting and the dimensions of the contact surface is established, which does not apply to the deformation of the rods during welding. The plastic properties, due to uneven heating of the metal, change sharply in the direction of the compressive force. It was found that the conditions of plastic deformation of rods during welding differ from the conditions of deformation of homogeneous rods with the

same properties throughout the volume. The contact area with an increase in the upset increases more intensively than when crimping cold rods.

Keywords: resistance welding, reinforced concrete products, reinforcement, metal mesh, plastic deformation, rods.

References

1. Phakadze T.I., Shalamberidze M.Sh., Mgaloblishvili K.D, Dadunashvili G.G. Opredelenie svarochnogo toka pri kontaktnoj mnogotochechnoj svarke [Determination of welding current during contact multipoint welding] / Measuring equipment, 2010, Vol. 53, No.8, PP.55-57. [in Russian].
2. Ospanova S., Zivzivadze L., Shalamberidze M. Osobennosti razrabotki jenergosberegajushhej tehnologii izgotovlenija metallicheskoj setki [Features of the development of energy-saving technology for manufacturing a metal grid] / "Georgian Engineering News", 2014, PP.48-51. [in Russian].