

УДК 621.791.763.1

*С. Н. Емельянов, В. А. Попковский*

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВАРНЫХ ТОЧЕЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

UDC 621.791.763.1

*S. N. Emelyanov, V. A. Popkovsky*

## IMPROVEMENT OF STRENGTH PROPERTIES OF SPOT WELDED JOINTS

### Аннотация

Предложены методы снижения концентрации напряжений в точечных сварных соединениях. Исследован характер изменения рабочих напряжений в зависимости от количества и формы сварных точек. Описаны способы повышения несущей способности точечных и рельефно-точечных сварных соединений.

### Ключевые слова:

контактная точечная сварка, нахлесточные соединения, концентрация напряжений, напряженно-деформированное состояние, расчетная схема.

### Abstract

The ways of reducing the concentration of stresses in spot welds are proposed by analyzing the stress-strain state. The nature of changes in operating stresses depending on the number and shape of weld spots has been investigated. Methods for increasing the bearing capacity of spot- and projection-spot welded joints are described.

### Keywords:

resistance spot welding, lap joints, stress concentration, stress-strain state, design model.

### Введение

Одним из путей повышения производительности сварочных работ, снижения трудозатрат и улучшения условий труда является применение контактной точечной сварки. Однако для точечных сварных соединений характерна сравнительно низкая циклическая, а в отдельных случаях и статическая прочность. При этом повышение усталостной и статической прочности данных соединений посредством увеличения числа точек и их диаметра во многих случаях не представляется возможным ввиду ограниченности размеров нахлестки и, кроме того, приводит к дополнительным затратам материалов и снижению производи-

тельности процесса сварки.

Наиболее эффективными являются методы, повышающие усталостную и статическую прочность точечных соединений посредством снижения концентрации напряжений в зоне сварного соединения. Распределение рабочих напряжений в точечном соединении и их концентрация зависят в основном от количества и формы сварных точек. В практике проектирования и изготовления конструкций со сварными точками недостаточно используются возможности снижения концентрации рабочих напряжений за счет изменения конфигурации и размеров точек. Отсутствуют сведения о прочности соединений с точками, обеспечивающими снижение коэффициента концентрации напряже-



ний. Одним из путей повышения несущей способности точечных соединений является постановка сварных точек с их рациональным расположением в соответствии с направлением действия внешней нагрузки [1, 2].

### Основная часть

С помощью методики расчета термомеханических полей [3] были проведены численные эксперименты по анализу влияния геометрических параметров и количества сварных точек на несущую способность соединений при

статических нагрузках. Наиболее характерный вид нагружения для точечных сварных соединений – это нагрузки на срез. При работе на срез одноточечного сварного соединения, как видно из рис. 1, наиболее нагруженной является периферия сварной точки, где имеет место концентрация напряжений, характеризующаяся увеличением напряжения на периферии сварной точки в 3 и более раза относительно среднего значения, при этом центральная зона точки остается недогруженной.

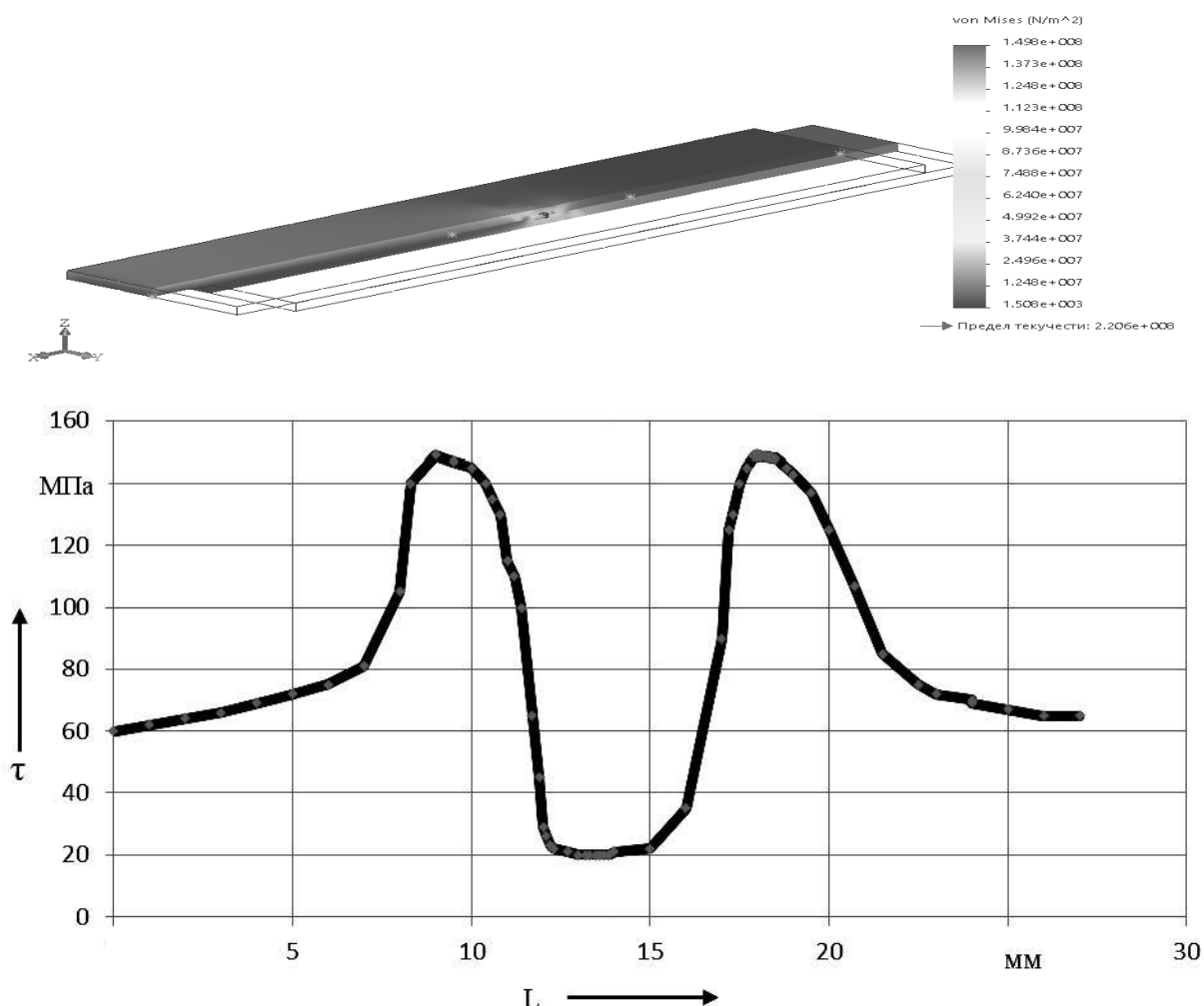


Рис. 1. Распределение напряжений по сечению соединения, проходящему через центр сварной точки (толщина пластин – 3 мм)



В многоточечных сварных соединениях, выполняемых контактной точечной и рельефно-точечной сваркой, распределение рабочих напряжений зависит от направления действия внешних нагрузок и количества сварных точек. На рис. 2 и 3 показано распределение рабочих напряжений по про-

дольному сечению сварного нахлесточного соединения для двухточечных (см. рис. 2) и трехточечных соединений (см. рис. 3) при работе сварного соединения на срез. Толщина свариваемых листов составляла 3 мм, диаметр сварной точки – 9 мм.

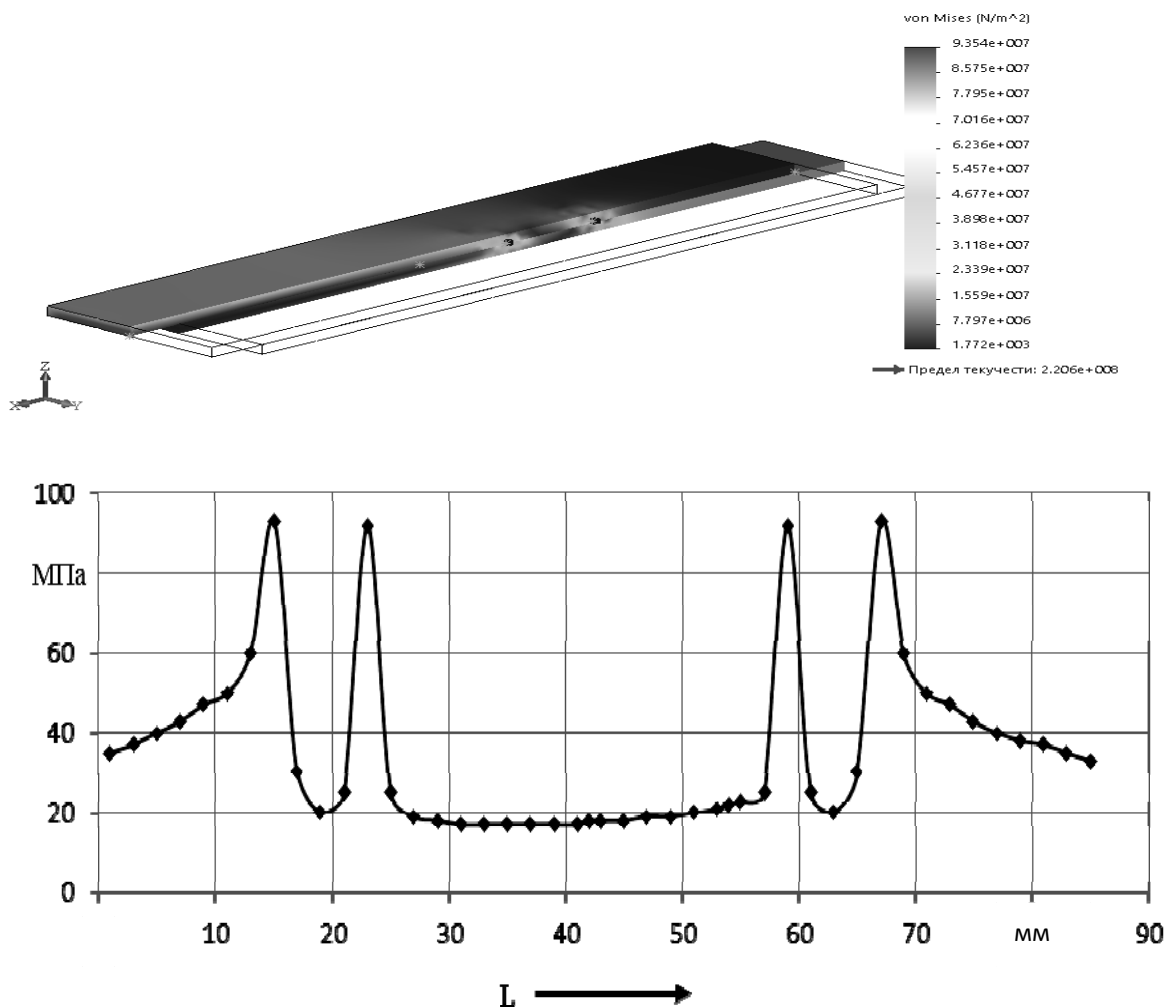


Рис. 2. Распределение напряжений в двухточечном сварном соединении при работе на срез

Расчеты, полученные в результате численного эксперимента для трех различных случаев соединений (одно-, двух- и трехточечных) с расположением сварных точек вдоль оси нагружения, показали, что максимальные напряжения для двухточечных сварных соединений только на 60 % превышают тако-

вые для одноточечных (максимальные рабочие напряжения 149 МПа для одноточечных по сравнению с 94 МПа для двухточечных). Трехточечные сварные соединения, где разрушение происходило по основному металлу образца, показали прочность, на 30 % превышающую аналогичную для двухточечных



соединений (максимальные рабочие напряжения – 67,5 МПа). При этом следует отметить, что площадь поперечного сечения сварного соединения в сопоставляемых случаях отличается в 2 (для двухточечных) и в 3 (для трехточечных) раза соответственно, однако несущая

способность соединений не увеличивается в сопоставимое количество раз. Основную нагрузку несут сварные точки, расположенные у края нахлестки, и они отвечают за несущую способность всей конструкции.

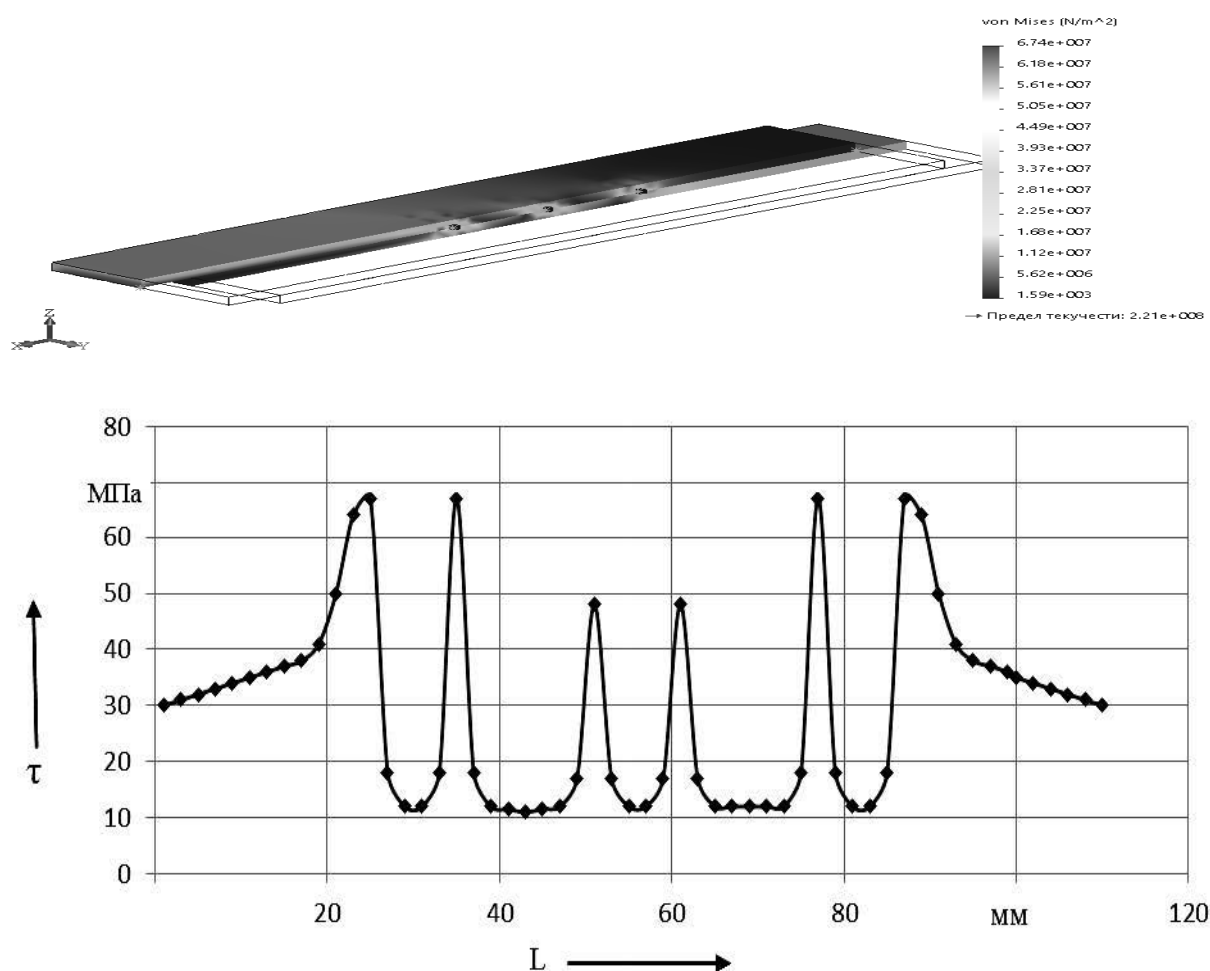


Рис. 3. Распределение напряжений в трехточечном сварном соединении при работе на срез

Очевидно, что в результате термического цикла контактной точечной сварки с высокими скоростями нагрева и охлаждения (десятки тысяч градусов в секунду) происходит снижение пластических и прочностных свойств сварного соединения по сравнению со свойствами основного металла, что подтверждается результатами проведенных механических испытаний.

Для исследования влияния фор-

мы сварной точки на распределение рабочих напряжений были проведены численные эксперименты по моделированию поведения точечных соединений под действием внешних статических срезающих нагрузок. Схемы нагружения, форма и размеры образцов точечных соединений представлены на рис. 4, 6 и 8. Соединению подвергались листы из стали 08пс толщиной 4 мм каждый. Для всех образцов



площадь сечения сварного соединения была одинакова. В рассчитываемом нахлесточном соединении внешние нагрузки были направлены по одной прямой в противоположных направле-

ниях. Таким образом обеспечивалось соблюдение принципа статического равновесия. Результаты расчетов представлены на рис. 5, 7 и 9.

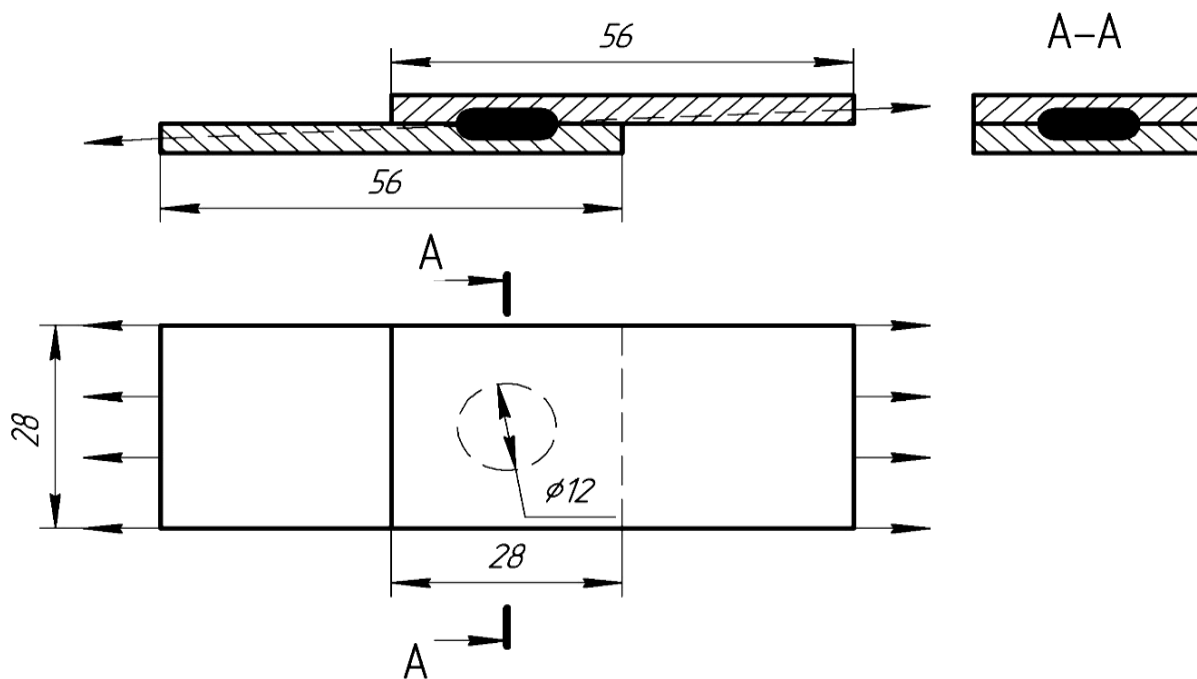


Рис. 4. Схема нагружения образца с круглой точкой

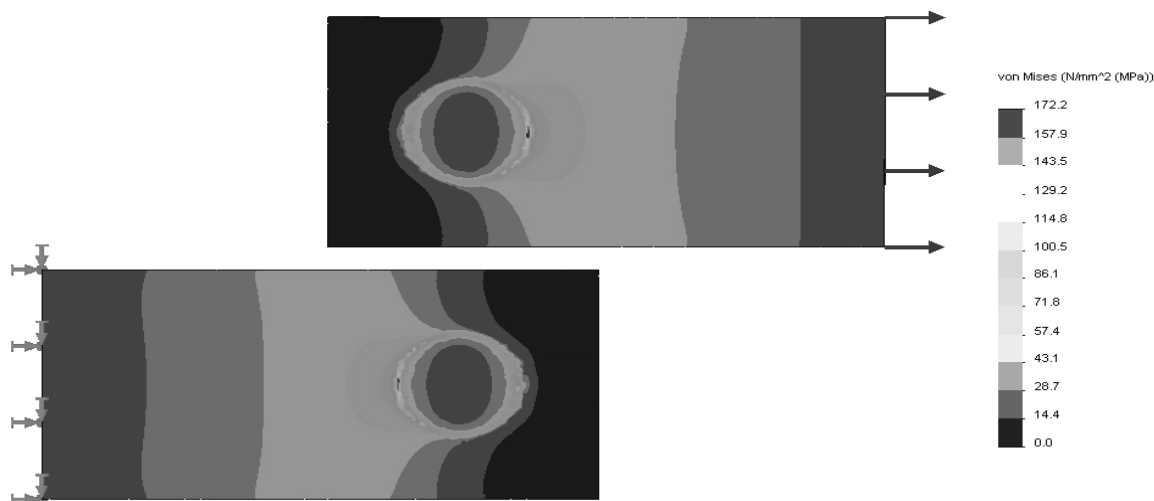


Рис. 5. Эпюра распределения напряжений в образце с круглой точкой

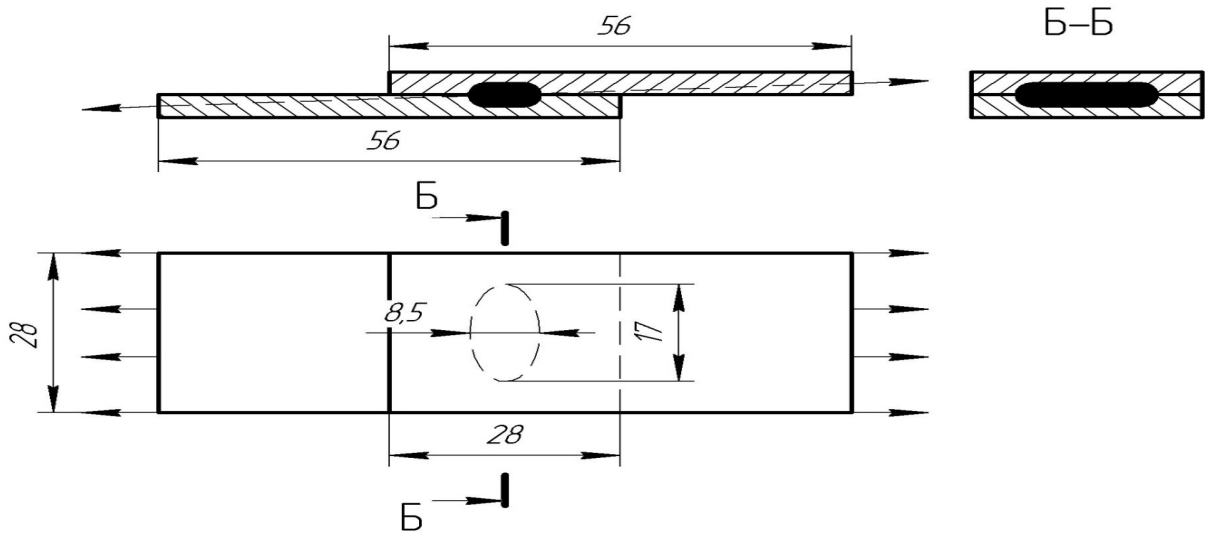


Рис. 6. Схема нагружения образца с овальной точкой с большей диагональю, расположенной перпендикулярно силовому потоку

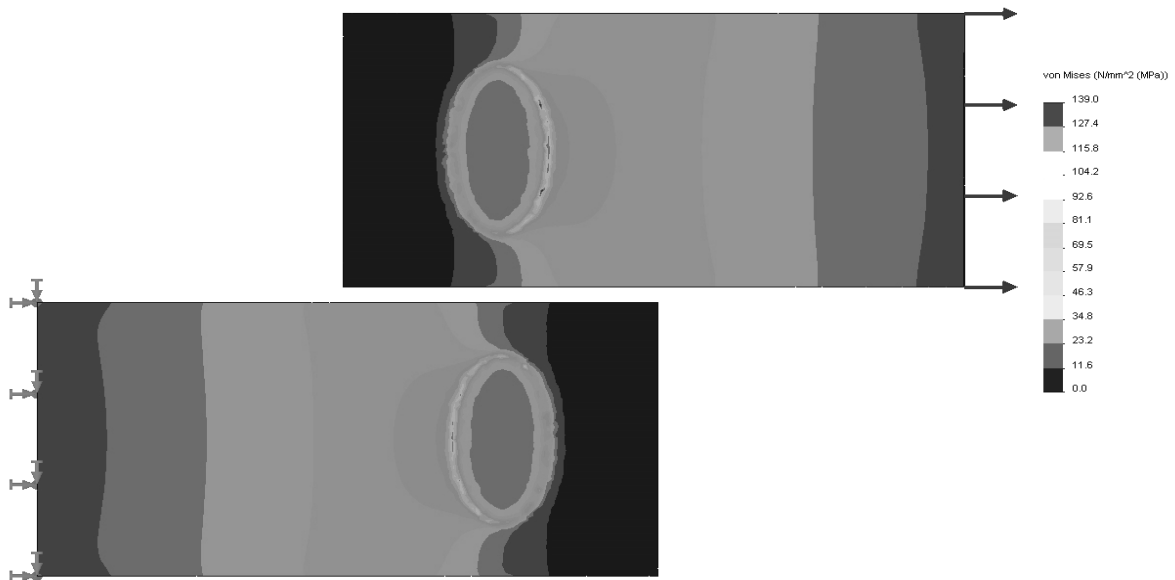


Рис. 7. Эпюра распределения напряжений в образце с овальной точкой с большей диагональю, расположенной перпендикулярно силовому потоку

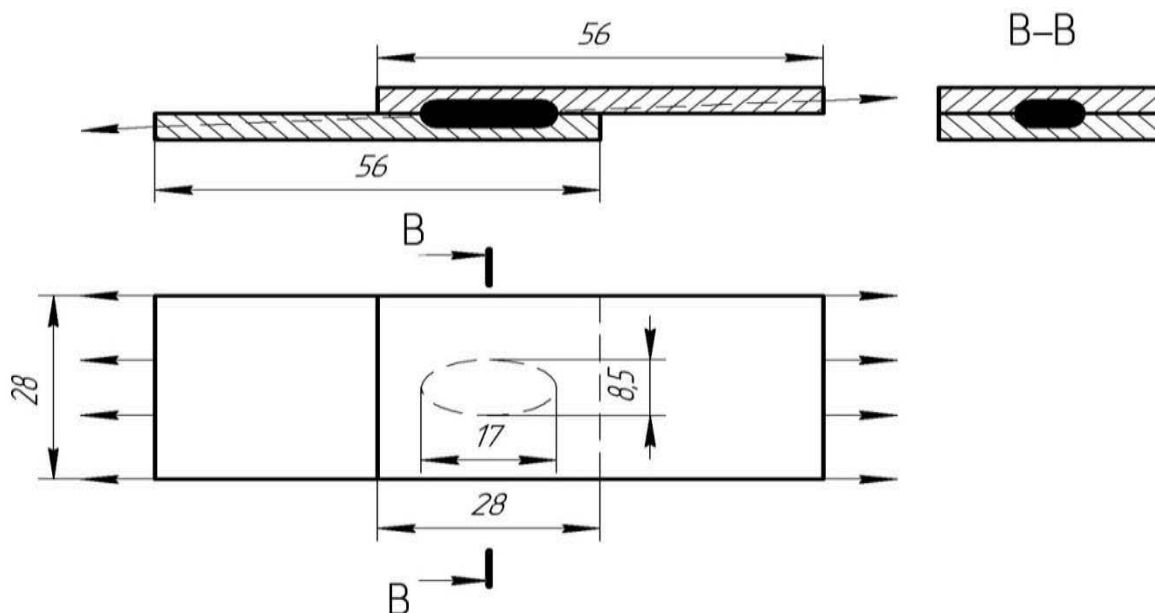


Рис. 8. Схема нагружения образца с овальной точкой с большей диагональю, расположенной вдоль силового потока

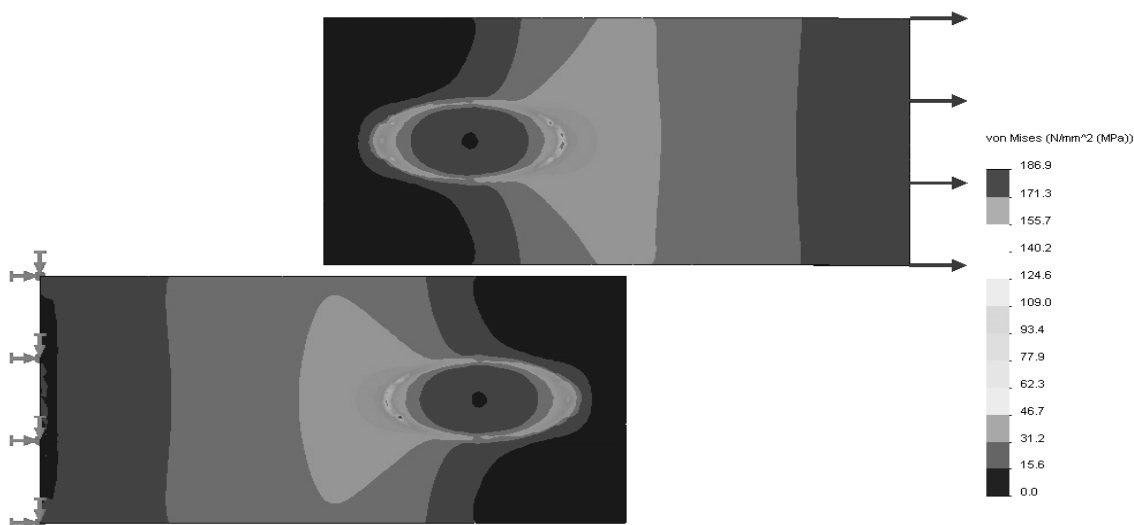


Рис. 9. Эпюра распределения напряжений в образце с овальной точкой с большей диагональю, расположенной вдоль силового потока

Как видно из приведенных на рис. 5, 7 и 9 эпюр распределения напряжений, форма сварной точки и ее расположение относительно силового потока значительно влияют на распределение рабочих напряжений. Наибольшие рабочие напряжения (189 МПа) отмечались для сварных овальных то-

чек, большая ось которых располагалась вдоль силового потока. Важно отметить, что максимальные рабочие напряжения для овальной точки с большей осью, расположенной перпендикулярно силовому потоку (139 МПа), на 20 % меньше, чем аналогичные для точки круглого сечения (172 МПа). Характерно так-



же, что распределение напряжений по сечению сварного соединения более равномерно для овальной точки с большей осью, расположенной перпендикулярно силовому потоку.

Обработка результатов численных экспериментов показала (рис. 10), что для обеспечения максимальной статической и усталостной прочности точечно-

го соединения следует использовать овальные точки с большей диагональю, расположенные перпендикулярно силовому потоку. Изменяя соотношения большой и малой оси овальной сварной точки, можно влиять на распределение рабочих напряжений в соединении и добиваться увеличения их прочности.

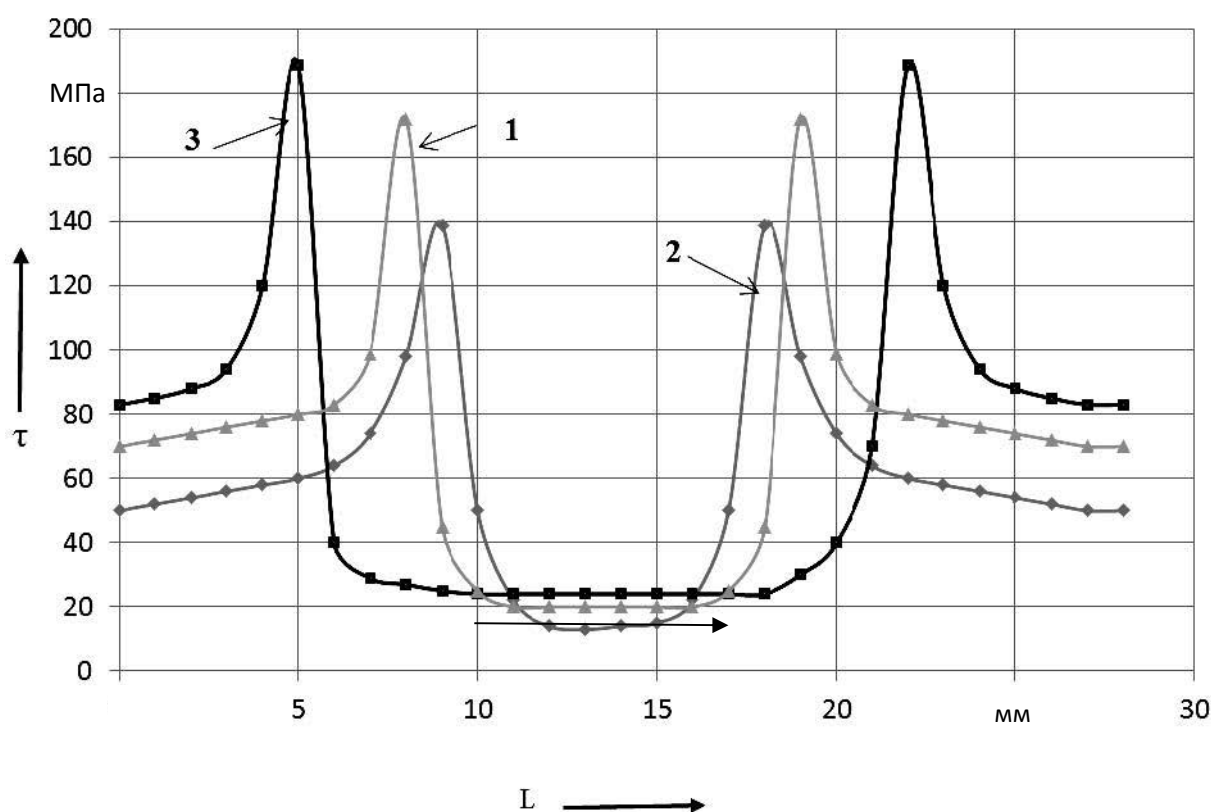


Рис. 10. Распределение рабочих напряжений по сечению сварной точки: 1 – круглая точка; 2 – овальная точка с большей диагональю, расположенной перпендикулярно силовому потоку; 3 – овальная точка с большей диагональю, расположенной параллельно силовому потоку

### Выводы

Точечные сварные соединения имеют высокую концентрацию напряжений на периферии соединения, в то время как центральная часть точки не нагружена. Для многоточечных нахлесточных соединений основную нагрузку несут сварные точки, расположенные у края нахлестки, и они отвечают за несущую

способность всей конструкции.

Одним из путей повышения статической и усталостной прочности точечных соединений является постановка сварных точек овальной формы с их рациональным расположением в соответствии с направлением действия внешней нагрузки. Изменение формы сварных точек возможно двумя способами: путем использования сварочных





электродов с рабочей поверхностью, соответствующей форме точки, и путем использования закладных или выштампованных рельефов в случае применения рельефно-точечной сварки.

Снижение количества сварных то-

чек и использование их рациональной формы позволят повысить производительность процесса сварки и уменьшить расход электроэнергии на получение сварных точечных соединений.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние формы точки на несущую способность сварного соединения / Ю. А. Цумарев, С. Н. Емельянов, Е. Н. Цумарев, В. К. Шелег // Вестн. машиностроения. – 2012. – № 7. – С. 54–56.

2. **Березиенко, В. П.** Теоретические и технологические основы повышения несущей способности соединений, выполненных контактной точечной и рельефной сваркой, регулированием их напряженно-деформированного состояния: дис. ... д-ра техн. наук: 15.06.97 / В. П. Березиенко. – Могилев, 1997. – 345 с.

3. **Березиенко, В. П.** Совершенствование математической модели, описывающей термомеханический цикл контактной точечной сварки / В. П. Березиенко, В. А. Попковский, С. Н. Емельянов // Ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроении, сварочном производстве и строительстве: сб. науч. тр. – Минск, 1991. – Ч. 2. – С. 286–295.

*Статья сдана в редакцию 14 ноября 2019 года*

**Светозар Николаевич Емельянов**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
E-mail: e\_svetozar@mail.ru.

**Виктор Александрович Попковский**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.

**Svetozar Nikolayevich Emelyanov**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.  
E-mail: e\_svetozar@mail.ru.

**Victor Aleksandrovich Popkovsky**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.