

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОЧНОСЦЕПЛЕННЫХ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (МЕТАЛЛ-КЕРАМИКА)

Гончаренко В.В., к.т.н., доц., Гончаренко А.В., инженер

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Орловский государственный
аграрный университет», г. Орел, Россия*

Произведены расчеты касательных τ и нормальных напряжений σ_1 , σ_2 , возникающих в паяных соединениях, а также проведены экспериментальные испытания, подтверждающие правдоподобность расчетов.

Ключевые слова: *лемех, металлокерамическая пластина, водородно-кислородное пламя, касательные и нормальные напряжения, пайка, прочность, восстановление.*

Введение. В последние годы для повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин, в частности, лемехов плугов используются металлокерамические пластины. Проблемный вопрос возникает при закреплении пластин на поверхность лемеха. Недостаточная прочность сцепления используемого на сегодняшний день клеевого соединения снижает потенциальный ресурс лемеха. [1] Исследования направлены на целесообразность и эффективность формирования рабочей поверхности металлокерамическими твердосплавными пластинами пайко-сваркой с целью восстановления лемеха плуга и повышения его ресурса 4-5 раз.

Цель. Оценить прочность паяного соединения, а также особенности напряженно-деформированного состояния при пайке металлокерамических пластин к лезвию лемеха плуга с использованием водородно-кислородного пламени.

Методы исследований. Для проведения исследований пайки с использованием электролизера Энергия-1,5 УХЛ4, нами были произведены расчеты касательных τ , нормальных напряжений σ_1 , σ_2 и распределение напряжений по длине паяного соединения; проведены лабораторные испытания паяных образцов на срез ($\tau_{ср}$), отрыв ($\sigma_{в}$) на установке ИР-500.

Результаты и их обсуждения. Для решения проблемы использования электролизеров в ремонтном производстве, в частности, для пайки металлокерамических пластин на лемех плуга необходимо решить следующие вопросы: исследовать механизм пайки с использованием водородно-кислородного пламени; разработать и оптимизировать технологические решения реализации пайки с использованием водородно-кислородного пламени; исследовать прочность паяных соединений на срез и сжатие; рассчитать экономическую эффективность применения электролизеров при восстановлении лемехов плугов.

При оценке прочности паяных соединений учитывали сложный характер напряженного состояния, возникающего в их элементах под нагрузкой. Прочность паяного соединения определяется, прежде всего, особенностями напряженного состояния в паяном шве, поэтому, основное внимание уделим анализу напряжений в паяных швах соединений внахлестку. Если считать, что напряжения в шве не превышают предела упругости припоя, тогда, для паяного соединения, можно использовать данные, полученные для клеевых и паяных соединений в пределах упругости.

Напряженное состояние в паяном шве в нахлесточных соединениях считается плоским, и под действием внешних сил в паяном шве создаются касательные напряжения τ и нормальные напряжения σ_1, σ_2 . Касательные напряжения согласно [2, 3] составляют 0,5...0,6 от допустимых значений нормальных напряжений:

$$\tau = (0,5 \dots 0,6) \sigma \quad (1)$$

Кроме того, поскольку соединяемые детали являются закладными, то необходимо произвести расчет соединения на отрыв по нормальным напряжениям.

Концентраторы касательных напряжений будут тем выше, чем выше соотношения модулей упругости соединяемых деталей E_1 и E_2 к модулю упругости припоя E .

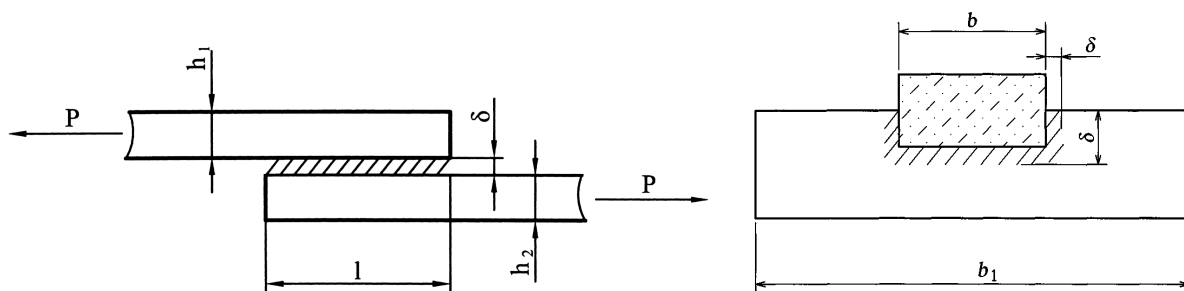


Рис. 1. Нахлесточное соединение: l - длина нахлестки, м; δ - толщина паяного шва, м; h_1, h_2 - толщина деталей, м; P - сила, Н; b - ширина нахлестки, м; b_1 - длина образца, м.

Напряжения, по Сажину А.М., в нахлесточных соединениях распределяются следующим образом. В соединяемых деталях возникают нормальные напряжения σ_1 и σ_2 и соответствующие им деформации ε_1 и ε_2 , а в паяном шве только касательные напряжения τ и соответствующие им угловые деформации j (рис. 2.).

$$\frac{\delta \cdot dj}{dx} = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \quad (2)$$

Из условия равновесия паяного соединения получим:

$$\frac{h_1 \cdot d\sigma_1}{dx} = -\tau ; \quad \frac{h_2 \cdot d\sigma_2}{dx} = \tau \quad (3)$$

$$\sigma_1 \cdot h_1 + \sigma_2 \cdot h_2 = P / b ,$$

где b - ширина нахлестки, м.

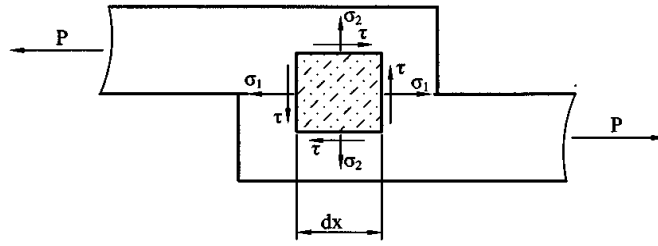


Рис. 2. Характер напряженного состояния в нахлесточном соединении: σ_1 - осевое напряжение, МПа; σ_2 - отрывное напряжение, МПа; τ - касательное напряжение, МПа.

По закону Гука: $\sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1$, $\sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon_2$, $\tau = j \cdot G$ (4)

Решение уравнений (4) – (6) дает:

$$\sigma_2'' - \alpha_{\Pi} \cdot \sigma_2' + \beta_{\Pi} \cdot \sigma_2 = 0, \quad (5)$$

где σ_2'' - вторая производная функции напряжений, МПа; σ_2' - первая производная функции напряжений, МПа; $\alpha_{\Pi} = \sqrt{\beta_{\Pi} / \psi_{\Pi}}$ - коэффициент показывающий изменения жесткостной характеристики металла лемеха Л-65 при его соединении с наплавляемой деталью (металлокерамика сплав ВК-8), 1/м; $\beta_{\Pi} = G / (\delta \cdot E_1 \cdot h_1)$ - коэффициент отношений жесткостей сдвига и растяжения к толщине шва и припаяваемой детали (металлокерамика сплав ВК-8), 1/м²; $\psi_{\Pi} = E_2 \cdot h_2 / (E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2)$ - коэффициент отношения сопротивлений (жесткостей) деталей паяного соединения.

Решение уравнения (5) с учетом ранее полученных соотношений позволяет определить напряжения в произвольной точке паяного соединения в зависимости от координаты x .

$$\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_{10} [1 - \psi_{\Pi} \cdot (1 - \text{ch}(\alpha_{\Pi} \cdot x))] - \frac{1 - \psi_{\Pi} \cdot (1 - \text{ch}(\alpha_{\Pi} \cdot l))}{\text{sh}(\alpha_{\Pi} \cdot l) \cdot \text{sh}(\alpha_{\Pi} \cdot x)} \\ \sigma_2 = \sigma_{2l} [\psi_{\Pi} (1 - \text{ch}(\alpha_{\Pi} \cdot x))] + \frac{1 - \psi_{\Pi} \cdot (1 - \text{ch}(\alpha_{\Pi} \cdot l))}{\text{sh}(\alpha_{\Pi} \cdot l) \cdot \text{sh}(\alpha_{\Pi} \cdot x)} \\ \tau = \tau_m \cdot \alpha_{\Pi} \cdot l \cdot \frac{1 - \psi_{\Pi} \cdot (1 - \text{sh}(\alpha_{\Pi} \cdot l))}{\text{sh}(\alpha_{\Pi} \cdot l) \cdot \text{ch}(\alpha_{\Pi} \cdot x) - \psi_{\Pi} \cdot \text{sh}(\alpha_{\Pi} \cdot x)} \end{cases} \quad (6)$$

Получим: $\tau_{x=0} = \tau_{x=l} = 8 \cdot \tau_m$.

Напряжения связаны с деформациями следующими соотношениями:

$$\varepsilon_1 = \frac{N_1 \cdot F_1}{E_1}; \quad \varepsilon_2 = \frac{N_2 \cdot F_2}{E_2}; \quad \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E}; \quad j = \frac{\tau}{G}, \quad (7)$$

где: N - нормальная сила испытывающая деформации растяжения или сжатия, Н; F - площадь поперечного сечения паяного соединения, м².

Из условия равновесия: $N_1' = -\tau$; $N_2' = \tau$ (8)

где: N_1' , N_2' - первая производная по площади.

Из системы уравнений (6) – (8):

$$\tau''' - \mu_1^2 \cdot \tau = 0 \text{ – трансцендентное уравнение,} \quad (9)$$

где τ''' - третья производная от касательного напряжения, МПа;

$\mu_1 = \sqrt{8 \cdot G / (E_1 \cdot h_1 \cdot \delta)} = \sqrt{8 \cdot \beta_{\Pi}}$ - коэффициент, учитывающий распределения усилия на толщину паяного соединения, 1/м.

Решение уравнения (11) дает частное и общее решение для центра.

$$\tau = \eta_1 + \nu_1 \cdot \frac{ch\left(\frac{\mu_1}{x}\right)}{sh\left(\frac{\mu_1}{l}\right)}, \quad (10)$$

где $\eta_1 = 3 \cdot N_0 / (8 \cdot \ell)$ - коэффициент, учитывающий распределения усилия приходящиеся на единицу длины паяного соединения, Н/м;

$$\nu_1 = \mu_1 \cdot \frac{N_0}{8},$$

где N_0 - усилие от растяжения сплошного бруса, имеющего форму паяного соединения на ширину припаиваемой детали:

$$N_0 = P / b = 52,945 \text{ кН/м.}$$

Анализ соотношения (6) показывает, что наиболее прочными будут соединения с накладками, у которых $h_1 = 0,5 \cdot h_2$. Несущая способность таких соединений в 1,31 раза выше, чем у соединения с одной накладкой. Отклонение толщины накладок в любую сторону от оптимального соотношения может уменьшить несущую способность соединения.

Аналогично (6) соотношениям нормальных напряжений σ_1 и σ_2 выведенных Сажиним А.М., получена формула для расчета деталей с симметричной нахлесткой по касательным напряжениям.

$$\tau = \tau_m \left\{ 1 - \left[\frac{A_1}{\cos(2\pi x)} + A_2 \cdot \cos(4\pi x) \right] \right\}, \quad (11)$$

где $A_1 = \frac{a^2 + 53,2 \cdot a + 1000}{0,5 \cdot a^2 + 35,6 \cdot a + 542}$, $A_2 = \frac{9 \cdot a + 42}{0,5 \cdot a^2 + 35,6 \cdot a + 542}$ - коэффициенты полу-

ченные при аппроксимации полученных решений с помощью про-

граммного комплекса Table Curve 2.0; $a = \frac{G \cdot l^2}{E_1 \cdot h_1 \cdot \delta}$ - коэффициент

сопротивления шва срезу металла лемеха Л-65. Получены полиномиальные функции представленные на рисунке 3.

Все приведенные зависимости показывают хорошую сходимость результатов.

Расчеты по соотношениям для напряжений, полученные различными способами, согласуются друг с другом с погрешностью до 5%, что говорит о правильности представленной модели.

Максимальные значения напряжений, полученные при расчетах на срез

и отрыв, в 5 раз меньше напряжений в наиболее нагруженном элементе соединения, что говорит о его высокой долговечности.

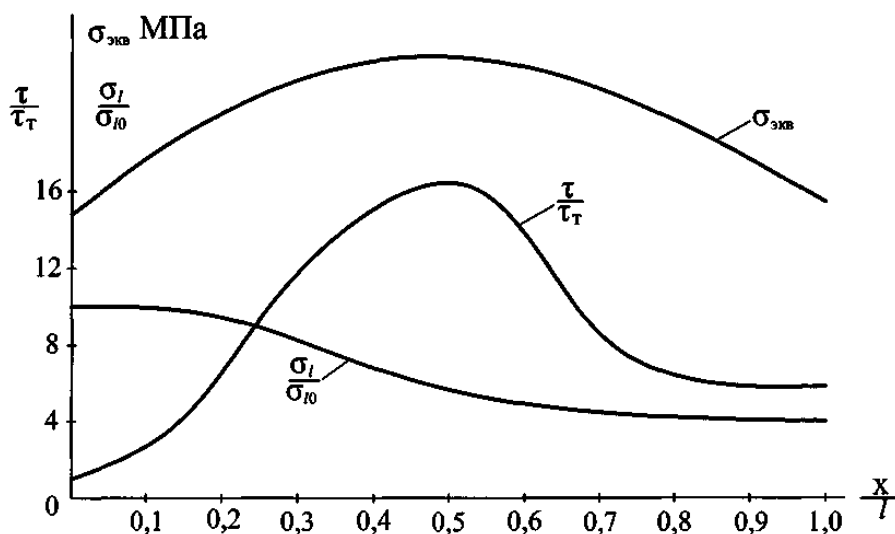


Рис. 3. Распределение действующих напряжений на лемех к напряжениям соответствующим пределу текучести материала.

Для сплава ВК-8 значения напряжений составляют 115...120 МПа.

Результаты расчетов и их сверка по III и IV теориям прочности показывают, что эквивалентные напряжения в данном паяном соединении достигают 25...28 МПа, что, как показывалось выше, значительно ниже предельных значений, полученных в эксперименте.

III – теория прочности $\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \leq [\sigma] = 120 \text{ МПа}$.

IV – теория прочности $\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq [\sigma] = 115 \text{ МПа}$.

Предложенный вид соединения может выдержать превышение расчетных нагрузок в 4...5 раз, что говорит о надежности соединения при динамических воздействиях с коэффициентом динамичности (k_d) $k_d = 5$ является очень хорошим результатом.

Для подтверждения теоретических расчетов были проведены исследования экспериментального определения показателей паяных соединений в соответствии с требованием государственного стандарта при использовании водородно-кислородного пламени.

При этом определяли: смачивание по краевому углу и площади растекание; заполнения зазора припоем; коррозионную стойкость; прочность сцепления; проводили металлографические исследования.

В Орловском государственном аграрном университете при исследовании процесса пайки с использованием водородно-кислородного пламени применяли установку сварочную водородно-кислородную “Энергия-1,5 УХЛ4” [4].

Выводы

1. Анализ напряжений σ_1 , σ_2 , τ показал, что наиболее прочным будет соединение с накладками у которых $h_1 = 0,5 \cdot h_2$. Несущая способность таких

соединений в 1,31 раза больше соединения с одной накладкой. Отклонение толщины накладок в любую сторону от оптимального соотношения может уменьшить несущую способность соединения.

2. Предлагаемый вид соединения может выдержать превышение расчетных нагрузок в 4...5 раз, что говорит о надежности соединения при динамических воздействиях с коэффициентом динамичности (k_d) $k_d = 5$.

3. Разработана технология восстановления лемеха плуга пайкой с использованием водородно-кислородного пламени с высокими прочностными свойствами паяных соединений, которая позволяет снизить себестоимость восстановления за счет использования дешевой водородно-кислородной газовой смеси, получаемой в результате электролизера вода и за счет утилизации металлокерамических пластин в инструментальном производстве.

Список использованных источников

1. Беликов, И.А. Повышение долговечности рабочих органов плуга керамическими материалами: автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2002. – 20с.
2. Фесик, С.П. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / С.П. Фесик. – Киев : Будивельник, 1982. – 290 с.
3. Кузнецов, О.А. Прочность паяных соединений [Текст] / О.А. Кузнецов, А.И. Погалов. – М. : Машиностроение, 1987. – С. 40-41.
4. Пат. 2344913 Российская Федерация, МПК⁷ B23P6/00, B23K1/00, A01B15/04. Способ восстановления лемехов плугов [Текст] / В.В. Гончаренко; опубл. 27.01.2009, Бюл. №3. – 3 с.

Анотація

ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ОТРИМАННЯ МІЦНО ЗЧЕПЛЕНИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ (МЕТАЛ -КЕРАМІКА)

Гончаренко В.В., к.т.н., доц., Гончаренко А.В., інженер

Виконаний розрахунок дотичних τ і нормальних напружень σ_1 , σ_2 , які виникають у зварних з'єднаннях та експериментально підтверджено правдоподібність (достовірність) результатів розрахунків.

Abstract

THEORETICAL EVALUATION OF HARD JOINT CONJUNCTIONS (METAL AND CERAMICS)

Goncharenko V.V., candidate of technical sciences, professor assistant

The calculations of the tangents τ and direct stresses σ_1 , σ_2 that take place in the solder joints are done. Also the tests proving the verisimilitude of the calculations are carried out.