

УДК 621.771.01

Михеенко Д. Ю.
Периг А. В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЛСТЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Одним из перспективных способов получения относительно толстых биметаллических листовых заготовок, является использование прокатки с образованием механических связей между составляющими композиции [1].

Ранее в работах [2–4] рассматривались пути улучшения образования механических связей и напряженно-деформированного состояния биметаллической композиции в диапазоне повышенных температур. При этом оценка прочности образовавшихся механических связей проведена не была.

Целью данной работы является оценка прочности механического соединения биметаллических композиций. Она выполнялась с использованием методики сопротивления материалов [5–7]. Считая, что все пазы с затекшим металлом плакирующего слоя нагружены одинаково, рассмотрим прочность одного паза, расчетная схема которого показана на рис. 1.

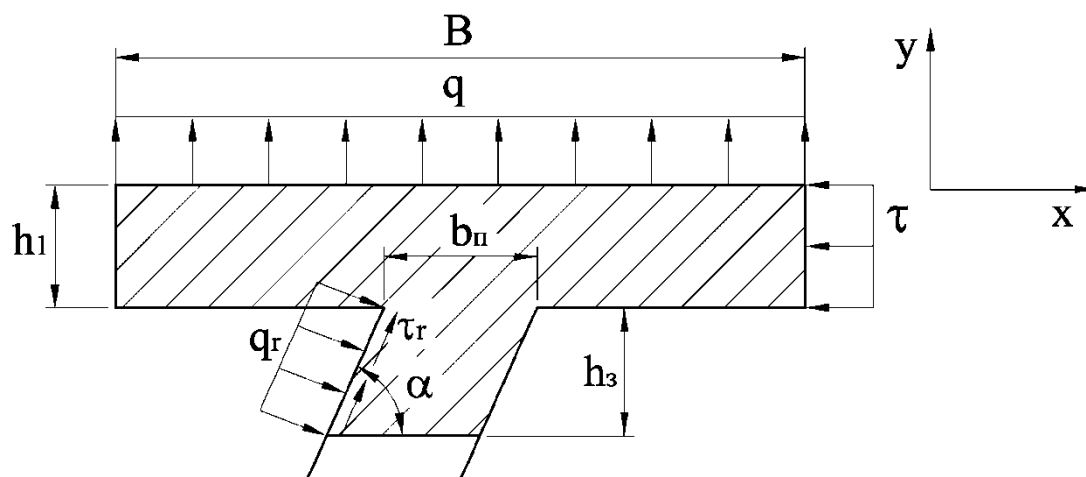


Рис. 1. Схема прочностного расчета механической связи

Область одного паза характеризуется следующими геометрическими параметрами (см. рис. 1): период паза B , ширина паза h_n , угол наклона α , глубина затекания металла в паз h_3 , толщина плакирующего слоя h_1 .

Задачу расчета прочности считать плоской, то есть рассмотрим одно сечение механического соединения, в котором на него будут действовать напряжения отрыва q и среза τ (см. рис. 1). Под действием данных напряжений на боковой стенке, образующей острый угол с горизонтальной плоскостью, возникает распределенная нагрузка q_r .

Величину распределенной нагрузки q_r определим, спроецировав все силы на координатные оси:

$$\begin{cases} \Sigma F_x = -q_r \frac{h_3}{\sin \alpha} \cos \alpha + qB - \tau_r \frac{h_3}{\sin \alpha} \sin \alpha = 0; \\ \Sigma F_y = \tau h_1 - q_r \frac{h_3}{\sin \alpha} \sin \alpha + \tau_r \frac{h_3}{\sin \alpha} \cos \alpha = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Решив систему уравнений равновесия, получим величину q_r :

$$q_r = \frac{qB + \tau h_1 \operatorname{tg} \alpha}{h_3 (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (2)$$

Касательные напряжения среза:

$$\tau_{cp} = \frac{\tau h_1}{b_n}. \quad (3)$$

Изгибающий момент:

$$M_u = \frac{q_r}{2} \left(\frac{h_3}{\sin \alpha} \right)^2. \quad (4)$$

Нормальные напряжения изгиба:

$$\sigma_u = \frac{6M_u}{b_n^2}. \quad (5)$$

Эквивалентное напряжение определяем по четвертой теории прочности:

$$\sigma_{э\text{кв}} = \sqrt{\sigma_u^2 + 3\tau_{cp}^2}. \quad (6)$$

Представленные выше зависимости позволили составить алгоритм и программные средства по автоматизированному расчету прочности механического соединения. Результаты данных расчетов представлены на рис. 2 в виде зависимостей эквивалентного напряжения $\sigma_{э\text{кв}}$ от угла наклона паза α и отношения ширины к периоду паза b_n/B для различных значений глубины затекания h_3 .

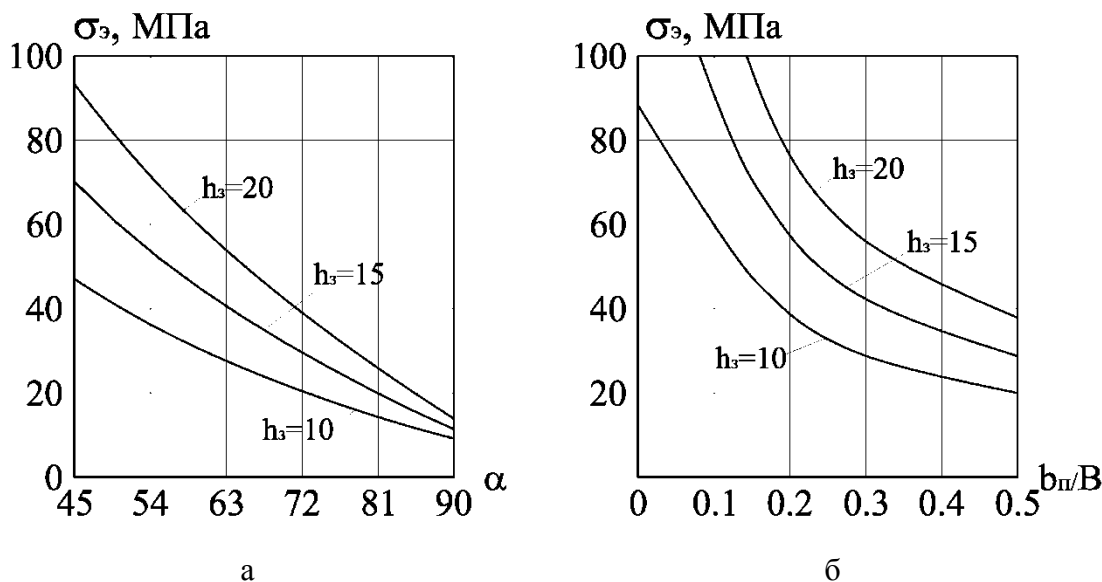


Рис. 2. Расчетные распределения эквивалентного напряжения $\sigma_э$ от угла наклона паза α (а) и отношения ширины к периоду паза b_n/B (б)

Для критериальной оценки степени достоверности разработанной инженерной математической модели проводился расчет прочности механических связей методом конечных элементов [8–16]. Результаты данных расчетов представлены на рис. 3.

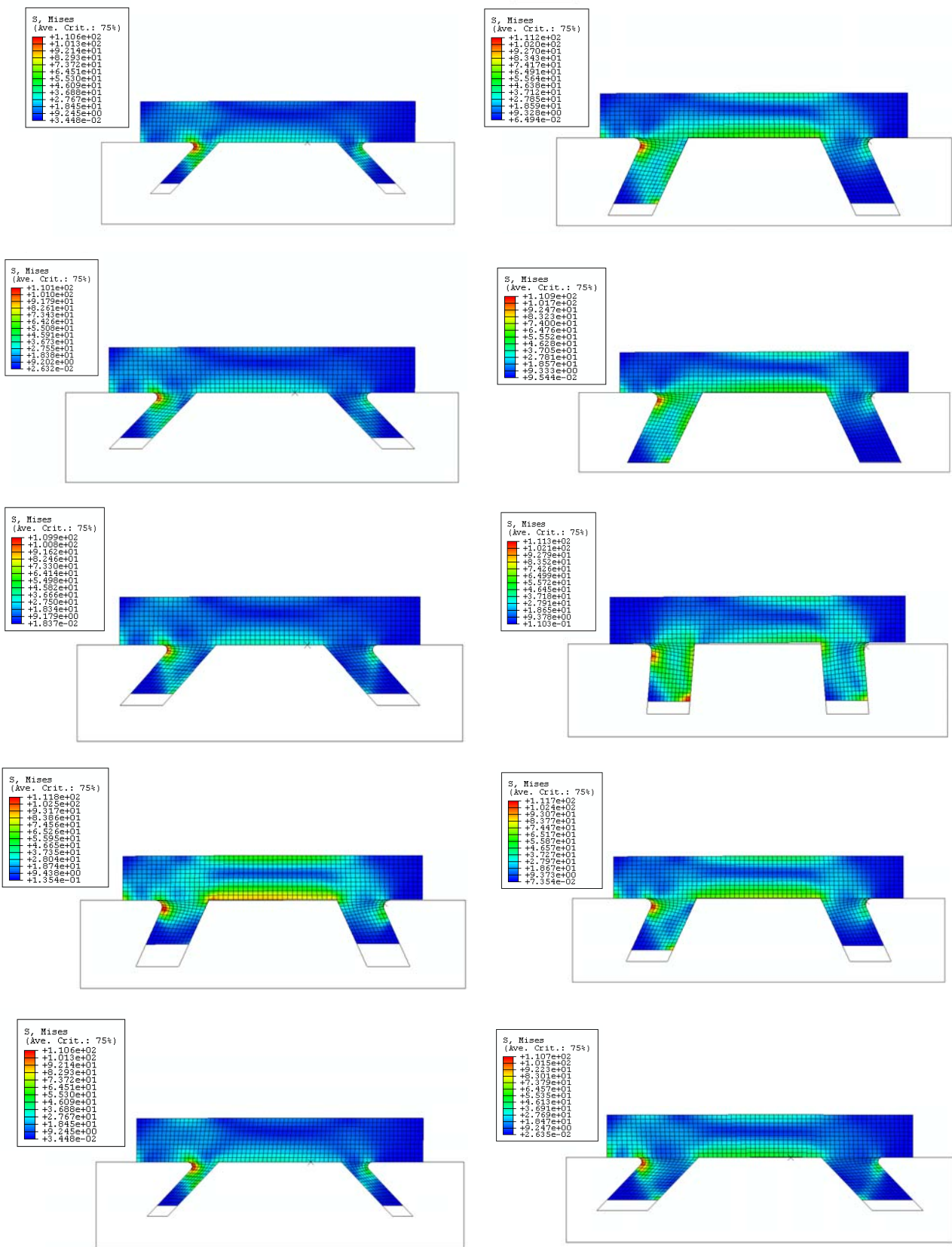


Рис. 3. Результаты расчетов прочности механических связей методом конечных элементов

Качественно полученные результаты полностью соответствовали аналогичным результатам, полученным инженерной методикой. Количественно значения эквивалентного напряжения $\sigma_{экв}$, полученные по обоим методикам, различались не более чем на 10...11 %.

Отмеченное свидетельствует о достаточной степени достоверности полученных теоретических решений и о возможности их использования применительно к определению рациональных, с точки зрения прочности, параметров биметаллической листовой композиции с механической связью составляющих.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенных исследований была разработана и проверена на степень достоверности инженерная математическая модель оценки прочности механических связей между составляющими относительно толстых биметаллических композиций. Она позволяет получить рациональные, с точки зрения прочности, параметры биметаллической композиции и исходные данные для дальнейшего автоматизированного проектирования технологий и оборудования процесса горячей прокатки относительно толстых биметаллических листовых композиций с механической связью между составляющими. Дальнейшим развитием данных исследований является развитие теоретических расчетов прочности механических связей на основе метода конечных элементов и проведение экспериментальных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 21238 України МПК В 23 К 20/04. Спосіб виробництва двошарових биметалевих листових композицій / Федорінов В. А., Сатонін О. В., Сатонін А. О., Міхеєнко Д. Ю.; Донбаська державна машинобудівна академія. – № и 2006 07687 ; заявл. 10.07.06 ; опубл. 15.03.07, Бюл. № 3. – 8 с. : ил.
2. Математическое моделирование напряженного и упруго-деформированного состояния биметаллических планок прокатного оборудования в диапазоне повышенных температур / И. В. Александров, В. И. Бобух, Т. А. Кулик, Д. Ю. Михенко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – С. 491–494.
3. Патент 41781 України МПК В 23 К 20/04. Спосіб виробництва двошарових биметалевих листових композицій / Сатонін О. В., Міхеєнко Д. Ю., Іванов О. О., Картавенко О. С.; Донбаська державна машинобудівна академія. – № и 2008 14672 ; заявл. 22.12.08 ; опубл. 10.06.09, Бюл. № 11. – 8 с. : ил.
4. Патент 41785 України МПК В 23 К 20/04. Спосіб виробництва двошарових биметалевих листових композицій / Сатонін О. В., Міхеєнко Д. Ю., Іванов О. О.; Донбаська державна машинобудівна академія. – № и 2008 14722 ; заявл. 22.12.08 ; опубл. 10.06.09, Бюл. № 11. – 8 с. : ил.
5. Сопротивление материалов : учебник для вузов / под общ. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. – [5-е изд., перераб. и доп.]. – К. : Вища шк., 1986. – 775 с.
6. Александров А. В. Сопротивление материалов : учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – [2-е изд., испр.]. – М. : Высш. шк., 2001. – 560 с.
7. Кочетов В. Т. Сопротивление материалов : учебное пособие / В. Т. Кочетов, А. Д. Павленко, М. В. Кочетов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Ростов н/Д : Феникс, 2001. – 368 с.
8. Теория пластической деформации металлов / Е. П. Унксов, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров и др.; под ред. Е. П. Унксова, А. Г. Овчинникова. – М. : Машиностроение, 1983. – 598 с.
9. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ. / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1976. – 542 с.
10. Стренг К. Теория метода конечных элементов : пер. с англ. / К. Стренг, Дж. Фикс. – М. : Мир, 1977. – 349 с.
11. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.
12. Нори Д. Введение в метод конечных элементов : пер. с англ. / Д. Нори, Ж. де Фриз. – М. : Мир, 1981. – 304 с.
13. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы : пер. с англ. / Р. Галлагер. – М. : Мир, 1984. – 428 с.
14. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация : пер. с англ. / О. Зенкевич, К. Морган. – М. : Мир, 1986. – 318 с.
15. Метод конечных элементов и САПР : пер. с франц. – М. : Мир, 1989. – 190 с.
16. Секулович М. Метод конечных элементов : пер. с сербского: пер. с англ. / М. Секулович. – М. : Стройиздат, 1993. – 664 с.

Михеєнко Д. Ю. – канд. техн. наук, ассистент кафедры ТМ ДГМА;

Периг А. В. – канд. техн. наук, ассистент кафедры ТМ ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: den.gimly@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.12.2011 г.