

ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 621.791

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-10-293-40-42

Л. М. Гуревич, В. Н. Арисова, К. Э. Петухова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГИБА СВАРЕННОГО ВЗРЫВОМ МАГНИЕВО-АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: arisova1954@mail.ru

В работе приведены результаты моделирования деформации изгиба магниево-алюминиевого композита с помощью программного комплекса *SIMULIA/Abaqus*.

Ключевые слова: магний, алюминий, трехточечный изгиб, деформация, напряжения Мизеса, моделирование

L. M. Gurevich, V. N. Arisova, K. E. Petukhova

SIMULATION OF THE BENDING PROCESS EXPLOSION WELDED MAGNESIUM-ALUMINUM COMPOSITE

Volgograd State Technical University

The paper presents the results of modeling the bending deformation of a magnesium-aluminum composite using the *SIMULIA/Abaqus* software package.

Keywords: magnesium, aluminum, three-point bending, deformation, Mises stress, modeling

Магниево-алюминиевые композиционные материалы (КМ) находят широкое применение в различных отраслях техники [1–3].

Для изготовления различных деталей и узлов из полученных сваркой взрывом (СВ) магниево-алюминиевых КМ используются технологические операции пластического деформирования (правка, гибка, прокатка и т.д.), а при их эксплуатации под нагрузкой происходит возникновение упругих и пластических деформаций, которые необходимо учитывать при расчете и проектировании конструктивных деталей и узлов.

Целью данной работы являлось определение распределения деформаций и напряжений Мизеса по сечению магниево-алюминиевого композита МА2-1–АД1 после СВ и изгиба с использованием пакета программ *SIMULIA/Abaqus*.

Материалы и методика исследований

Для моделирования поведения двухслойного композита МА2-1+АД1 с одинаковыми тол-

щинами слоев 5,0 мм при трехточечном изгибе индентором-оправкой Ø20 мм использовали программный комплекс *SIMULIA/Abaqus* [4, 5], позволяющий получать распределение главных напряжений, эквивалентных напряжений *Мизеса*, составляющих пластической деформации в различных направлениях и эквивалентной пластической деформации в композиционных материалах в зависимости от условий нагружения. Для описания реологии материалов слоев при деформировании использовалась упруго-пластическая модель с изменением пределов текучести $\sigma_{0,2i}$ в зависимости от степени ε_i деформации по данным [4]. Прочность связей между слоями соответствовала прочности менее прочного элемента пары. Размер стороны кубической ячейки конечно-элементной сетки выбирался равным 0,33 мм, что обеспечивало достаточную точность и приемлемое время проведения расчетов. Расчет проводился при вертикальном перемещении индентора вниз с постоянной скоростью до достижения задан-

ного перемещения, соответствующего экспериментальному прогибу образцов с учетом восстановленной упругой деформации. Поддерживающие опоры и деформирующая оправка принимались абсолютно жесткими телами. Коэффициент трения между ними и слоями балки принимался 0,1.

Результаты исследований

На рисунке показано моделирование распределения пластической деформации по сечению магниево-алюминиевого образца по двум схемам: *а* – алюминий в сжатом состоянии, магний в растянутом; *б* – магний в сжатом, алюминий в растянутом состоянии.

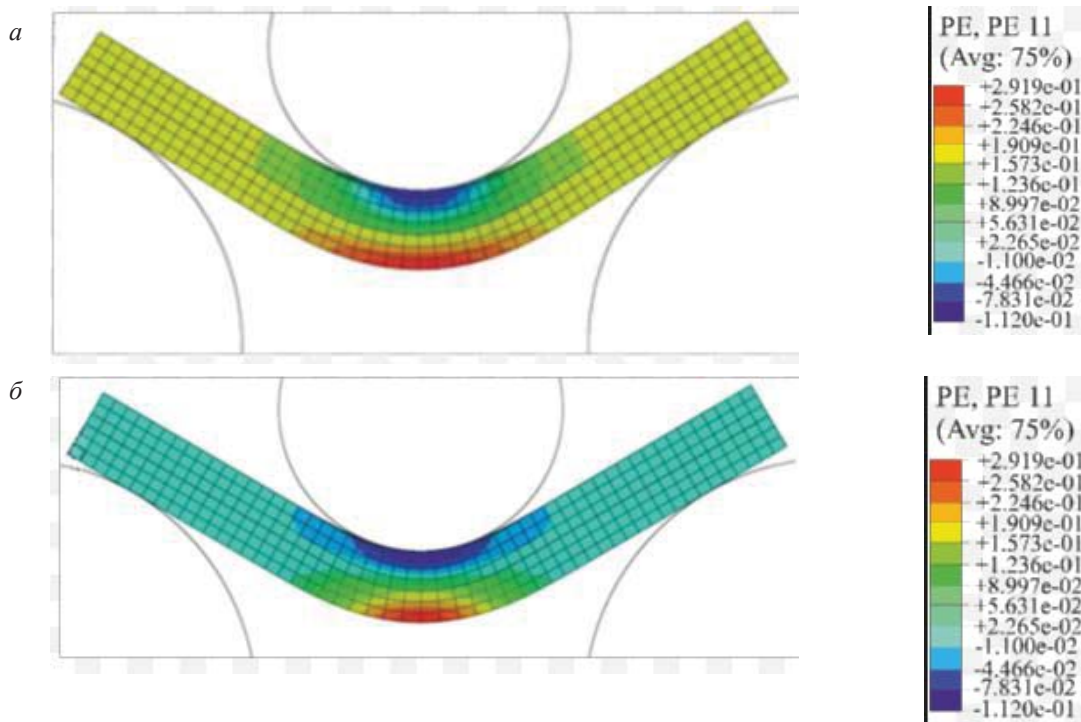


Рис. 1. Моделированное программой SIMULIA/Abaqus распределение пластической деформации при трехточечном изгибе с оправкой Ø 20 мм:
а – алюминий в сжатом состоянии, магний в растянутом; *б* – магний в сжатом, алюминий в растянутом состоянии

Первоначально при небольших нагрузках деформация локализуется вблизи места касания образца оправкой, на остальных участках она незначительна или полностью отсутствует. С повышением нагрузки наблюдается расширение

зоны деформации и снижение ее интенсивности на первоначальном участке.

На рисунке 2 приведены графики изменения пластической деформации в зоне соединения композита и на различном расстоянии от нее.

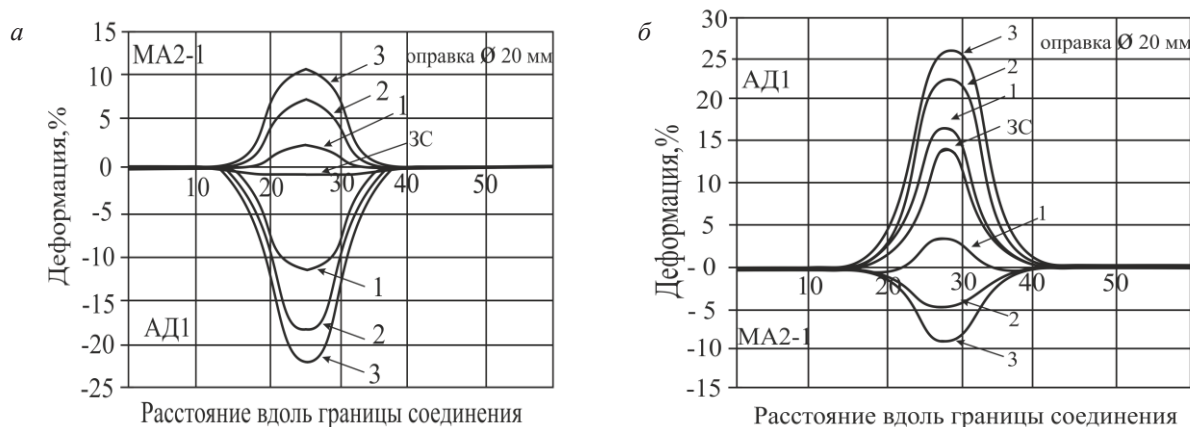


Рис. 2. Изменение пластической деформации на различном удалении от линии соединения МА2-1–АД1 при изгибе оправкой Ø20 мм, рассчитанное с использованием программного комплекса SIMULIA/Abaqus: 3С – линия соединения; 1, 2, 3 – 1,5 мм; 3,0 мм; 4,5 мм от линии соединения; МА2-1 – в магнии; АД1 – в алюминии:
а – алюминий в сжатом состоянии, магний в растянутом; *б* – магний в сжатом, алюминий в растянутом состоянии

Из рисунка 2 следует, что при изгибе образцов оправкой $\varnothing 20$ мм, контактирующей с АД1, деформации на линии соединения композита незначительны. На удалении 4,5 мм от границы степень деформации увеличивается до 11 % по слою магния, и до 22 % по слою алюминия (рис. 2, а). При изгибе на оправку, контактирующую с МА2-1, максимальная деформация

в зоне соединения в АД1 составляет 15–16 %, а на удалении 4,5 мм от линии соединения она увеличивается до 26–28 % по слою алюминия, и до 9–10 % по слою магния (рис. 2, б).

Используя программный комплекс *SIMULIA/Abaqus* получены распределения напряжений Мизеса на различных расстояниях от линии соединения композита МА2-1 – АД1 (рис. 3).

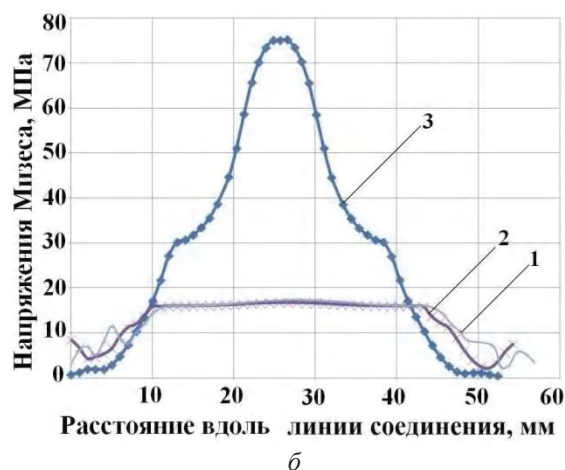
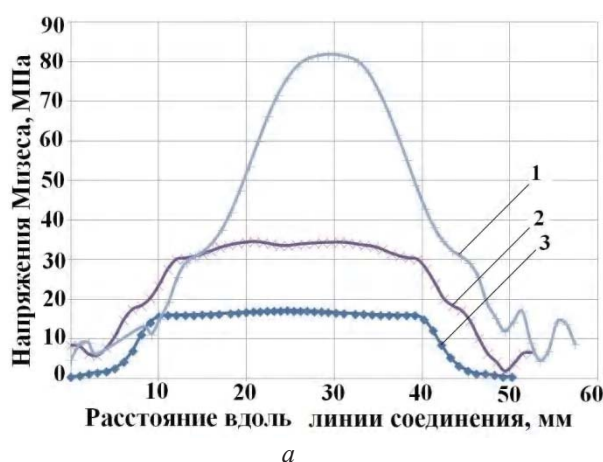


Рис. 3. Изменение напряжений Мизеса на различном удалении от линии соединения МА2-1–АД1 при изгибе оправкой $\varnothing 20$ мм:

1 – 4,5 мм от линии соединения в магнии; 2 – на линии соединения; 3 – 4,5 мм от линии соединения в алюминии: а – алюминий в сжатом состоянии, магний в растянутом; б – магний в сжатом, алюминий в растянутом состоянии

Установлено, что после изгиба образца оправкой, контактирующей с алюминиевым сплавом вблизи направления приложения нагрузки (рис. 3, а), напряжения Мизеса в МА2-1 составляют 80 МПа, а в слое АД1 – 18 МПа на расстоянии 4,5 мм от линии соединения. Аналогичная картина наблюдается в случае деформирования изгибом, контактирующей с магниевым сплавом (рис. 3, б): на расстоянии 4,5 мм от зоны соединения напряжения Мизеса в АД1 достигали 75–79 МПа, а в слое МА2-1 – 17 МПа.

Выводы

1. Изучены процессы деформации изгиба магниево-алюминиевого композита МА2-1–АД1 при различных условиях нагружения, полученных с помощью программного комплекса *SIMULIA/Abaqus*.

2. Рассчитаны изменения уровня пластической деформации и напряжений Мизеса на раз-

личном удалении от линии соединения исследуемого композита при варьировании условий изгиба.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трыков, Ю. П. Композиционные переходники : монография / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, Д. В. Проничев ; ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2007. – 328 с.
2. Трыков, Ю. П. Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов : монография / Ю. П. Трыков, В. Г. Шморгун, Л. М. Гуревич. – М. : Metallurgizdat, 2004. – 230 с.
3. Трыков, Ю. П. Деформация слоистых композитов : монография / Ю. П. Трыков, В. Г. Шморгун, Л. М. Гуревич ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2001. – 242 с.
4. Третьяков, А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – М. : Металлургия, 1973. – 224 с.
5. Гуревич, Л. М. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Введение в Abaqus : учеб. пособие / Л. М. Гуревич, В. М. Волчков, В. Ф. Даниленко ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 95 с.