

УДК: 669.13.62

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-2-285-20-24

Д. Н. Гурулев, С. А. Рогачев

**ПОВЕДЕНИЕ ТИТАНО-АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: rct2005@yandex.ru

Исследовано деформационное поведение слоистого композиционного материала АМг2-ВТ1, полученного сваркой взрывом на оптимальных режимах при холодной прокатке. Определены предельно-допустимые режимы обжатий при холодной прокатке слоистого титано-алюминиевого композиционного материала. Полученные данные могут служить ориентиром технологам при разработке узлов и деталей различных машин с применением методов обработки металлов давлением.

Ключевые слова: сварка взрывом, композиционный материал, холодная прокатка, предельно-допустимое обжатие, разрушение.

© Гурулев Д. Н., Рогачев С. А., 2024.

D. N. Gurulev, S. A. Rogachev

BEHAVIOR OF TITANIUM-ALUMINUM COMPOSITE MATERIAL DURING COLD ROLLING

Volgograd State Technical University

The deformation behavior of the layered composite material AMg2-AD1 obtained by explosion welding at optimal conditions during cold rolling is investigated. The maximum permissible modes of compression during cold rolling of layered titanium-aluminum composite material are determined. The data obtained can serve as a guide for technologists in the development of components and parts of various machines, using methods of metal processing by pressure.

Keywords: explosion welding, composite material, cold rolling, maximum permissible compression, destruction.

Введение

Легкие сплавы, используемые в различных узлах и агрегатах, практически достигли своей максимальной конструкционной прочности. Использование различных технологий для упрочнения материала, таких как легирование, термическая обработка и др., не всегда позволяют достичь нужных конструкционных свойств, а порой приводят к повышенной склонности образцов к разрушению, снижению предела ударной вязкости и усталости [2]. Одно из перспективных направлений, позволяющее решать подобные задачи – создание и использование композиционных материалов. Существуют разнообразные способы получения последних, среди которых можно выделить получение композиционного материала с помощью сварки взрывом [1–2]. Для получения изделий из такого композиционного материала его в дальнейшем могут подвергать обработке давлением – прокатке, штамповке, прессованию и т.д. Как правило деформационное воздействие приводит к изменению различных характеристик материала, таких как, пластичность, прочность, твердость. Поэтому изучение поведения композиционного материала, полученного сваркой взрывом, при дальнейших переделах является актуальной задачей.

Слоистые композиционные материалы позволяют рассмотреть создание ответственных деталей и узлов машин совершенно иначе, при этом значительно повысив их работоспособность и долговечность. Полученные толщины слоев КМ после сварки взрывом, как правило, не соответствуют конструкционным особенностям деталей и узлов закладываемых при их проектировании и производстве. В случае, ко-

гда толщина композита больше, чем это требуется, возможно прибегнуть к методам обработки металлов давлением, в частности прокатке. Однако, для проведения прокатки с сохранением качественного соединения слоев композита, его структуры (разрыв, трещины, расслоение и т.д.), необходимо знать особенности процесса деформации, допустимое обжатие для данного материала, закономерности изменения микромеханических характеристик.

В связи с этим, целью исследования было изучить поведение титано-алюминиевого композита при прокатке, изучить деформацию составляющих КМ и определить его предельно допустимую деформацию.

Методика исследований

В настоящей работе исследовалось деформационное поведение титано-алюминиевого композиционного материала АМг2-ВТ1, полученного сваркой взрывом на оптимальных режимах ($V_c=342$ м/с, $\gamma=11,1^\circ$, $W_2=0,47$ МДж/м²).

Для проведения исследования из полученного материала были вырезаны пластины размером 78×70×8 мм (рис. 1, а), одна из которых была разделена на 4 равные части размером 70×19×8 мм (рис. 1, б) циркулярной пилой. Заусенцы после разделки были зашлифованы, либо удалены. Исходя из пластических свойств составляющих композита [3] были определены обжатия для холодной прокатки трех образцов: 8, 18, 30 %. Образцы прокатывали на лабораторном двухвалковом стане (гладкая бочка) с диаметром валков 120 мм за один проход в холодном состоянии задавая образцы в валки прокатного стана слоем АМг2 вверх. Четвертый образец прокатывался в несколько проходов вплоть до его разрушения.

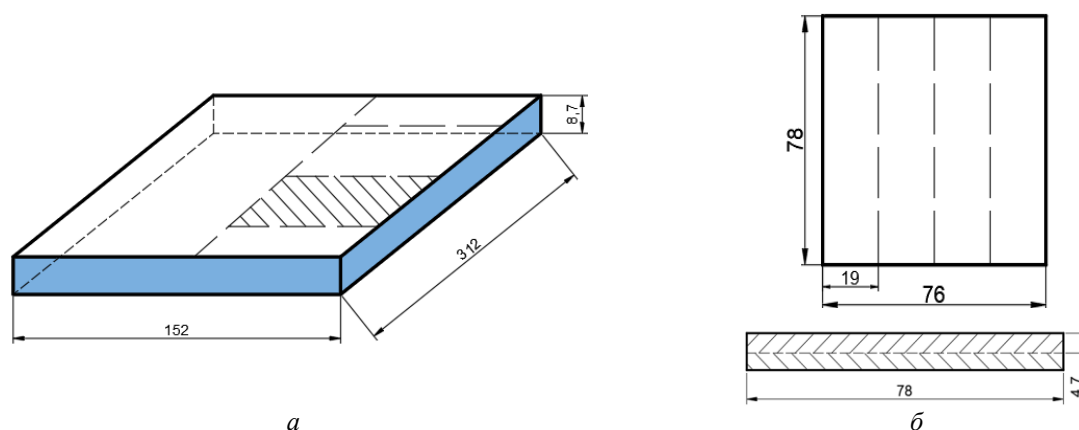


Рис. 1. Схема вырезки образца из сваренного КМ (а) и подготовка образцов для прокатки (б)

Результаты исследований

После прокатки производилось измерение толщины всего образца и каждого слоя в отдельности с помощью микроскопа Mitutoyo

C/N 164-163 в трех точках и определялось среднее значение. Толщина слоев до и после прокатки приведены в таблице.

Толщина образцов до и после прокатки

ε , %	Ширина слоев (b), мм.		Толщина слоев (s), мм.		Изменение ширины слоев Δb , мм.		Изменение толщины слоев Δs , мм.	
	АМг2	ВТ1	АМг2	ВТ1	АМг2	ВТ1	АМг2	ВТ1
Исх. образец	17	17,34	4	4,7	0	0	0	0
8	20	17,6	3,50	4,45	3	0,26	0,50	0,25
18	23,96	18,96	3,00	4,20	6,96	1,62	1,00	0,50
30	28,7	20,4	2,50	3,90	11,7	3,06	1,50	0,80

На рис. 2 показана зависимость обжатия слоев композиционного материала от суммарного обжатия КМ. Как видно из графика (рис. 2, а), с увеличением обжатия композита слои титана и алюминиевого сплава АМг2 деформируются неравномерно. В большей степени деформации подвергается АМг2, толщина которого изменяется на 5 %, в то время как толщина титана уменьшилась всего на 2 % (рис. 2, б). В абсолютных величинах изменение толщины слоя АМг2 – 1,5 мм, изменение твердого слоя ВТ1 практически в два раза меньше, – 0,8 мм (рис. 2, а). Следует отметить, наличие труднодеформируемого титана и прочной связи слоев затрудняет деформацию более легкодеформируемого слоя АМг2 с одной стороны, с другой стороны при холодной деформации слой титана является продолжением инструмента, что позволяет сосредоточить деформацию в слое алюминиевого сплава. При этом разница видна не только в поперечной деформации слоя АМг2, но и в продольной.

Аналогичное поведение наблюдается с уширением слоев КМ после прокатки с различными обжатиями (рис. 3). При относительно небольших обжатиях (8–18 %), ширина слоя ВТ1 практически не меняется и составляет 0,26 мм от начального значения. В то время, как при тех же обжатиях слой АМг2 уширяется уже намного значительно, а разница от начального значения составляет 3 мм.

Стоит отметить, что при обжатии в 30 % на образце заметно расслаивание по границе соединения композиционного материала. Расслаивание зарождается на торце заготовки, причем на том, которым заготовка подавалась в валки прокатного стана. Расслаивание незначительное, составляет около 1 % от всей длины образца. При механической обработки достаточно просто устранить недостаток, для сохранения целостности пластины.

Наличие легкодеформируемого сплава АМг2 затруднило продольную и поперечную деформацию слоя ВТ1.

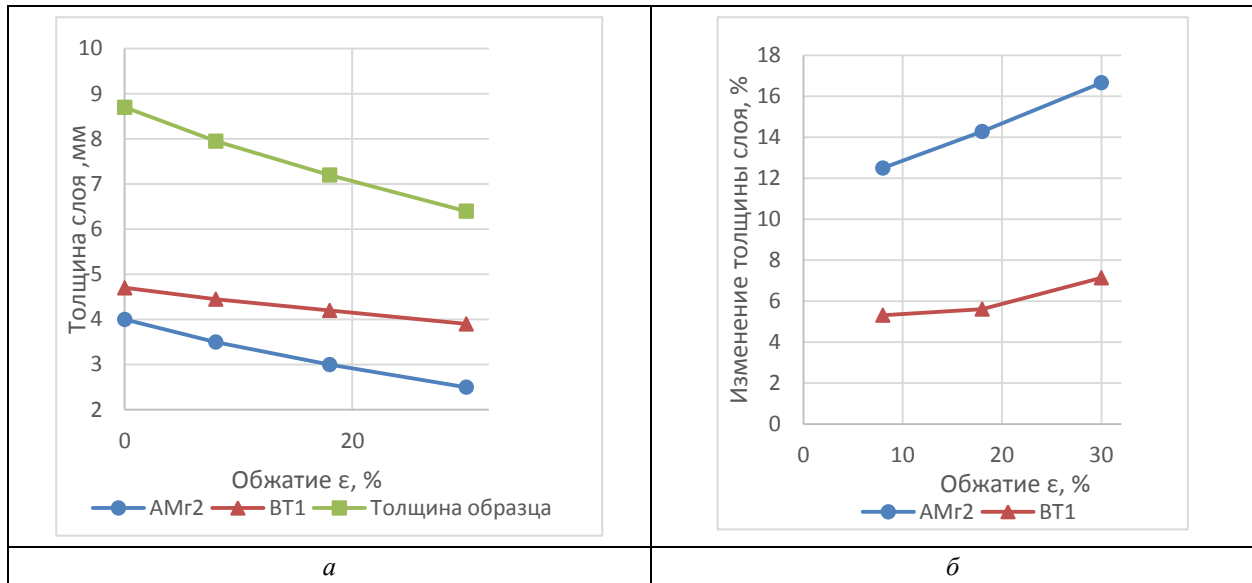


Рис. 2. Зависимость толщины слоев от обжатия

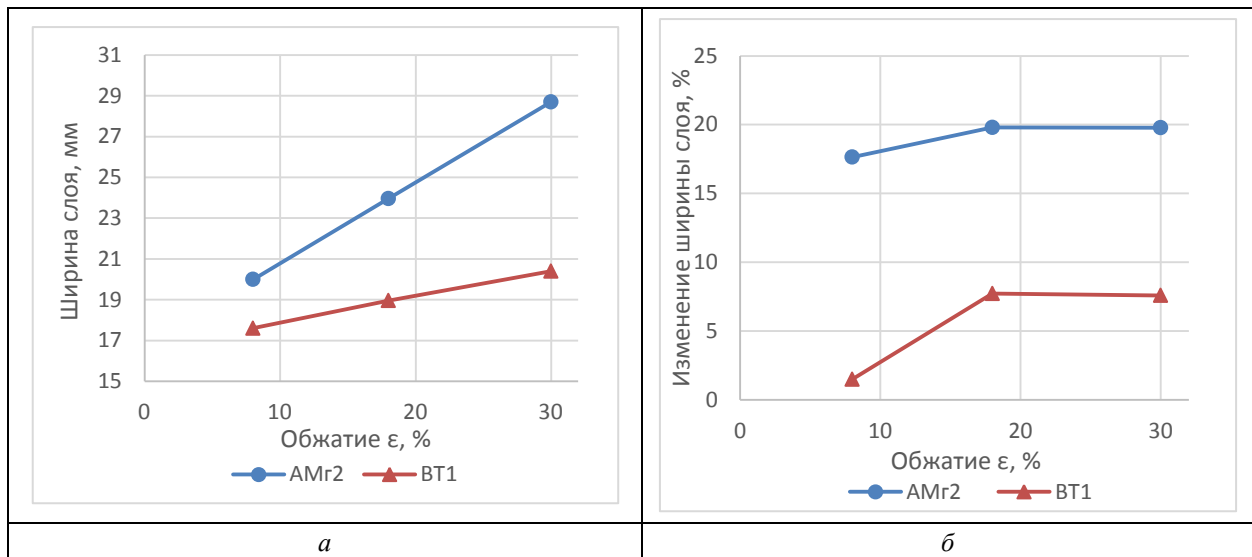


Рис. 3. Зависимость ширины слоев от обжатия

Помимо трех образцов, прокатанных с указанными режимами обжатий, был прокатан также и четвертый образец. Экспериментальным путем было установлено, что прокатка с обжатием в 32 % приводит к зарождению трещин и как следствие к разрушению композиционного материала. На рис. 4 представлен характер и вид разрушения образца. Видно, что на торце, которым образец подавался в валки прокатного стана, образовался разрыв, при этом слой АМг2 потерял сцепление с слоем ВТ1, вследствие чего произошло разрушение. При этом, наблюдалось не только значительное удлинение слоя АМг2, но и значительное его уширение. В то время, как в слое ВТ1 значительного уширения или удлинения не наблюдалось.

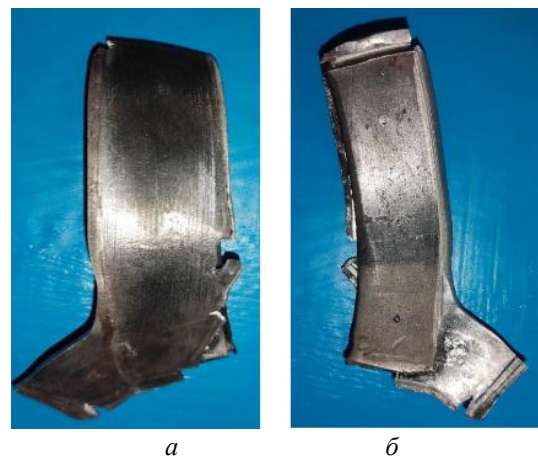


Рис. 4. Образец № 4 после прокатки:
а – слой АМг2 сверху; б – слой ВТ1 сверху

Заключение

1. Холодная прокатка сваренного взрывом титано-алюминиевого композита АМг2 – ВТ1 приводит к неравномерной деформации, зависящей от обжатия и соотношения прочностных характеристик слоев.

2. Высокие прочностные характеристики ВТ1, а также наличие пластичного сплава АМг2 существенно затрудняют поперечное течение титана и способствует реализации преимущественно его продольной деформации.

3. Предельно допустимое обжатие для слоистого композиционного материала АМг2 – ВТ1 составляет 30 %. Обжатие с большим показателем приводит к разрушению материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гурулев, Д. Н.* О предельной деформационной способности титано-алюминиевого композита, полученного сваркой взрывом / Д. Н. Гурулев, К. В. Картушин // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития` 2007: сб. науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф., 1–15 окт. 2007 г. / Одес. нац. морской ун-т [и др.]. – Одесса, 2007. – Т. 2. – С. 30–31.
2. Композиционные материалы: справ. / под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М. : Машиностроение, 1990. – 510 с.
3. *Лившиц, Б. Г.* Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Липецкий. – М. : «Металлургия», 1980. – 320 с.
4. *Куркин, С. Э.* Исследование структуры и свойств композиционного материала системы алюминий-титан / С. Э. Куркин, М. С. Холин // Вестник науки и образования. – 2015. – № 5 (7).
5. *Козлов, Д. В.* Расчет напряженно-деформированного состояния композиционного материала системы титан-алюминий с интерметаллическим упрочнением / Д. В. Козлов, И. С. Лось // Вестник Пензенского государственного университета. – 2018. – № 3 (23). – 82–87.
6. *Гуськов, Д. О.* Анализ способов создания композиционных материалов на основе сплавов титана и алюминия и перспективы применения технологии сварки взрывом / Д. О. Гуськов, Д. Б. Крюков, П. Е. Егоршин // Теория и практика современной науки, 2018. – № 2 (32). – 112–116.
7. Прокатка слоистого композиционного материала титан-алюминий с интерметаллидным упрочнением / Г. В. Смирнов, Ф. Р. Карелин, В. Ф. Чопоров, В. С. Юсупов // Производство проката. – 2013. – № 11. – С. 19–22.
8. *Крюков, Д. Б.* Исследование влияния термической обработки на структурные превращения и физико-механические свойства композиционного материала титан-алюминий / Д. Б. Крюков, М. С. Гуськов, Д. С. Гуськов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 1(17). – С. 290–298.
9. Перспективы использования титановых сплавов в слоистых композиционных материалах / А. А. Арисланов, Л. Ю. Гончарова, Н. А. Ночовная, В. А. Гончаров // Труды ВИАМ. – 2015. – № 10. – С. 4.
10. Структура сварного соединения алюминий-титан / А. А. Худяева, М. С. Дмитриев, М. Б. Лесков [и др.] // Новые материалы и технологии, Барнаул, 01–31 января 2017 года. Выпуск V. – Барнаул : Алтайский государственный университет, 2017. – С. 161–166.
11. *Гуревич, Л. М.* Исследование состава локальных участков оплавленного металла в сваренном взрывом титано-алюминиевом композите / Л. М. Гуревич, О. С. Киселев, М. В. Босов // Известия ВолгГТУ : сб. науч. ст. № 15 (118) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – Т. 8. – С. 12–15.