

УДК: 669.13.62

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-10-293-31-35

*Л. М. Гуревич, С. А. Рогачев, Д. Н. Гурулев, А. А. Кандалов***ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ
В СЛОИСТОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ АМg2-BT1****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: rct2005@yandex.ru

Изучено влияние холодной пластической деформации при прокатке на изменение микротвердости слоев композиционного материала АМg2-BT1, полученного сваркой взрывом на оптимальных режимах. Рекомендованы безопасные степени обжатия при прокатке слоистого композита, позволяющие обрабатывать давлением композиционный материал без получения хрупкой интерметаллидной прослойки.

Ключевые слова: прокатка, сварка взрывом, титано-алюминиевый композиционный материал, микротвердость

*L. M. Gurevich, S. A. Rogachev, D. N. Gurulev, A. A. Kandalov***THE EFFECT OF PLASTIC DEFORMATION ON THE DISTRIBUTION
OF MICROHARDNESS IN THE LAYERED COMPOSITE MATERIAL AMg2-AD1****Volgograd State Technical University**

The effect of cold plastic deformation (rolling) on the change in the microhardness of layers of composite material AMg2-VT1 obtained by explosion welding at optimal conditions has been studied. Safe degrees of compression during rolling of a layered composite are recommended, which make it possible to process the composite material by pressure without obtaining a brittle intermetallic layer.

Keywords: rolling, explosion welding, titanium-aluminum composite material, microhardness

Введение

При производстве узлов агрегатов, приборов, деталей машин неизбежно появляются новые вопросы и проблемы, связанные с необходимостью получения более высокого уровня механических и эксплуатационных свойств различных металлов и сплавов на их основе. Существующие методы и технологии, такие как, легирование и термическая обработка, позволяют улучшить механические свойства стали, но далеко не всегда позволяют достичь нужных эксплуатационных свойств в поставленной задаче, а порой наоборот, повышение одного показателя снижает значение другого. Основным фактором развития современного машиностроения, приборостроения и многих других сфер является использование новых материалов, которые по своим свойствам будут превосходить существующие [1–2]. Именно поэтому в современном производстве невозможно обойтись без применения композиционных материалов, в которых соединение отдельных составляющих позволяет получить целый комплекс новых уникальных свойств, превышающих свойства исходных компонентов. Для получения деталей композиционный материал

очень часто подвергается обработке давлением, причем в некоторых случаях обработка происходит в холодном состоянии, что приводит к изменению механических характеристик слоев композита [3–4].

Цель работы – изучить влияние величины обжатия при холодной деформации слоистого титано-алюминиевого КМ АМg2-BT1 на изменение микротвердости слоев.

Методика исследований

В работе исследовалась влияние пластической деформации титано-алюминиевого композиционного материала АМg2-BT1, полученного сваркой взрывом, на распределение микротвердости в составляющих СКМ. Выбранный режим сварки взрывом ($v_c=340$ м/с, $\gamma=11,11^\circ$, $W_2=0,465$ МДж/м²) обеспечивал получение композиционной пластины с качественным соединением слоев без разрывов и оплавов по границе соединения [5].

Из пластины (рис. 1, а) была вырезана заготовка для подготовки четырех образцов размерами 70×19×8 мм (рис. 1, б) под дальнейшую обработку, в том числе удаление заусенцев. Степень обжатия выбирали исходя

из пластических свойств составляющих композита и учитывая прочность соединения слоев [4]: 8, 18, 30 %. Образцы прокатывали на лабораторном двухвалковом стане (гладкая бочка) с диаметром валков 120 мм за один

проход в холодном состоянии, подавая образцы в валки прокатного стана слоем АМг2 вверх. Один из образцов был прокатан в несколько проходов вплоть до его разрушения при обжатии 33 %.

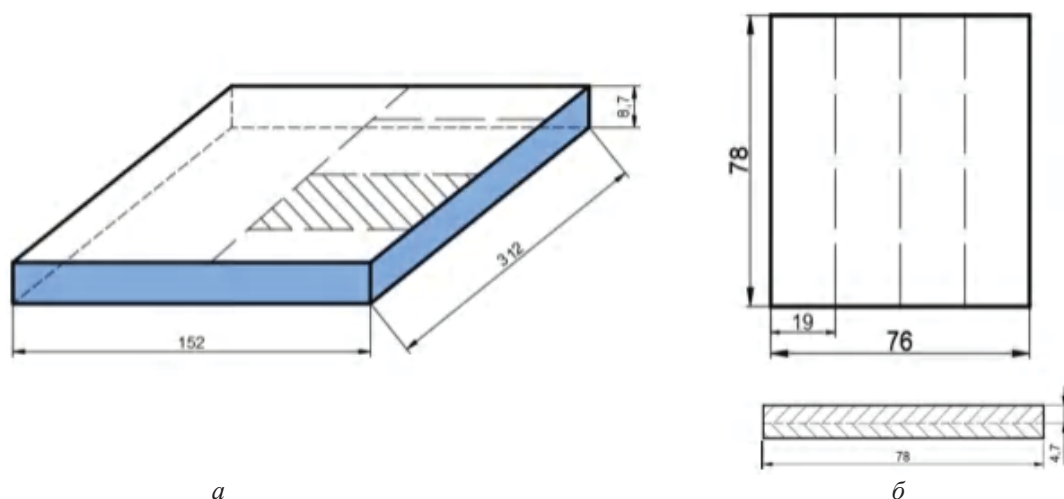


Рис. 1. Схема вырезки образца из сваренного взрывом КМ (а) и подготовка образцов для прокатки (б)

Изучение микроструктуры и измерение микротвердости проводилось на специально подготовленных шлифах. В связи с тем, что изготовление микрошлифов проводилась одновременно на двух слоях слоистого композита с разными прочностными и химическими свойствами, было затруднительно достичь зеркальной поверхности с $R_a = 0,1-0,2$ мкм на обоих составляющих КМ. Поэтому в связи с большей твердостью ВТ1 был предварительно добивались требуемого качества поверхности микрошлифа на титановом слое, а после этого проводилась окончательная шлифовка и полировка слоя АМг2 с использованием более мелкого абразива (образцы показаны на рис. 3).

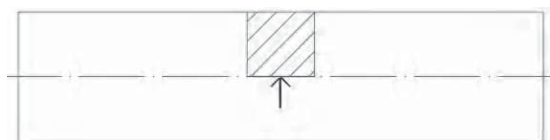


Рис. 2. Схема вырезки образца для подготовки поверхности к исследованию микроструктуры и замеру микротвердости (стрелка указывает на исследуемую поверхность)



Рис. 3. Образцы для изучения микротвердости (темный слой – ВТ1, светлый – АМг2)

Измерение микротвердости проводилось по толщине каждого слоя композиционного материала, особо уделялось внимание околошовной зоне. Испытание проводилось согласно ГОСТ 9450–76 [8] на микротвердомере ЛОМО ПМТ-3М со статической нагрузкой в 0,5 Н, прикладываемой в течение 5–8 секунд.

Результаты исследований

На рисунках 4 и 5 показано изменение микротвердости слоев титано-алюминиевого композита на различном расстоянии от границы соединения в зависимости от степени обжатия КМ. С повышением степени обжатия растет микротвердость в слоях КМ. Микротвердость слоя АМг2 (рис. 4) при одном и том же обжатии композита увеличивается более значительно, чем микротвердость слоя ВТ1 (рис. 5), что связано с наличием в композите слоя титана с более высоким пределом текучести, чем у алюминиевого сплава В результате при холодной деформации происходит преимущественно обжатие слоя АМг2.

Установлено, что на расстоянии 0,05 мм от границы соединения слоев АМг2 и ВТ1 обладают повышенным уровнем твердости, что связано с особенностями получения композиционного материала сваркой взрывом. В момент соударения двух металлов приграничные слои подвергаются в большей степени пластической

деформации, в следствии чего возникает дополнительный наклеп в околошовной зоне и

формируется так называемая зона механического упрочнения (ЗМУ).

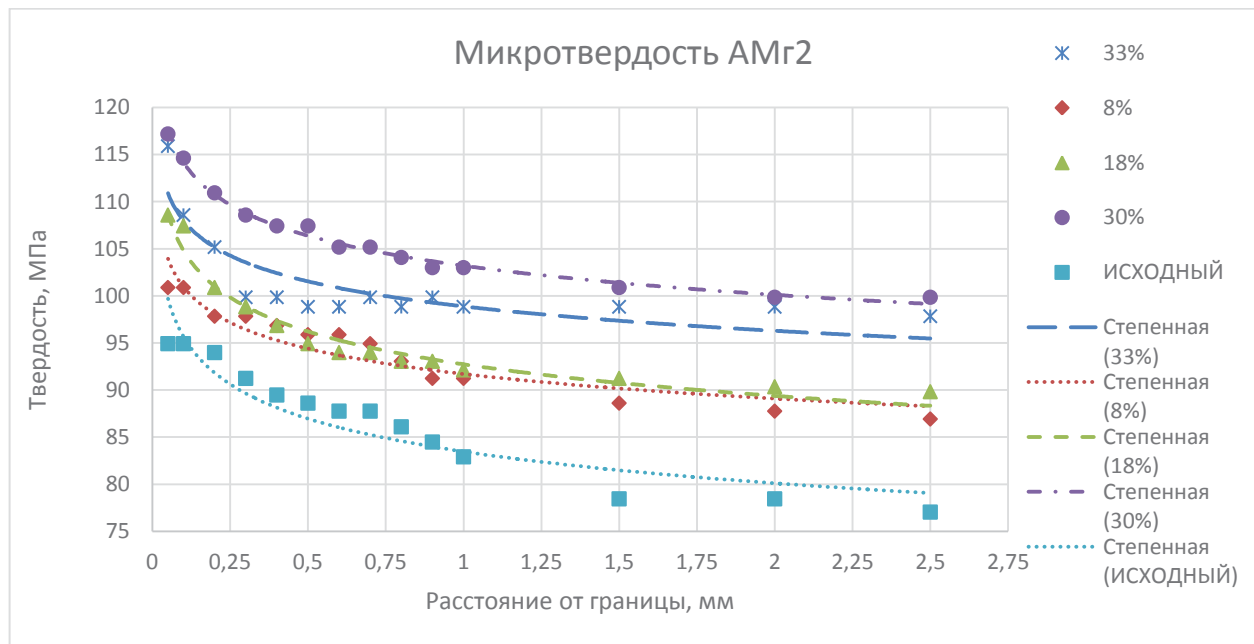


Рис. 4. Изменение микротвердости по толщине слоя АМг2 при различной степени обжатия композита

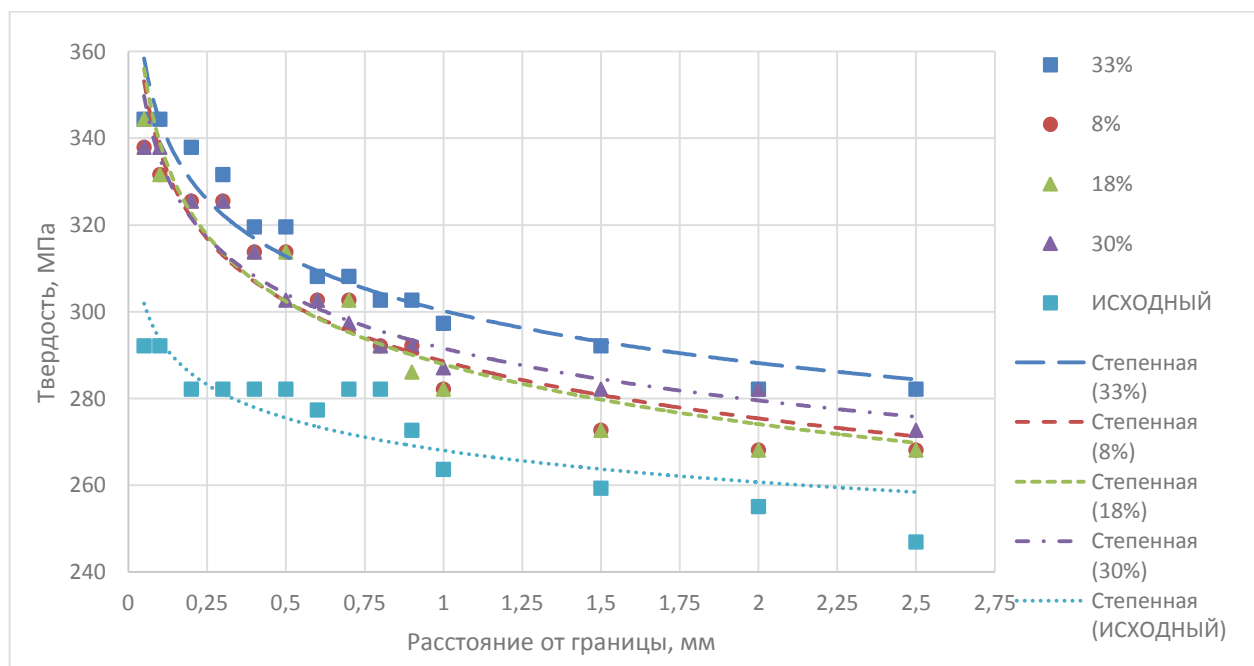


Рис. 5. Изменение микротвердости по толщине слоя АМг2 при различной степени обжатия композита

Интересным наблюдением стало изучение зависимости роста микротвердости каждого из слоев от величины обжатия. Для построения таблицы взяты средние значения микротвердости для

каждого слоя композита. После обработки средних значений и сравнении последних со значением микротвердости недеформированного образца получены данные, представленные в таблице.

Среднее значение микротвердости в зависимости от обжатия

Суммарное обжатие образца, %	Микротвердость, МПа		Прирост, %	
	АМг2	ВТ1	АМг2	ВТ1
Исходный образец	87	275	–	–
8	94	302	8,5	9,7
18	96	302	10,6	9,8
30	106	304	22,3	10,3
33	101	312	16,7	13,5

Из таблицы видно, что микротвердость слоя АМг2 увеличивается на 22,3 % (при обжатии 30 %) по сравнению с исходным образцом. В то же время, микротвердость слоя ВТ1 увеличилась

при аналогичной степени деформации всего на 10,3 %. Следует отметить, что градиент изменений микротвердости алюминиевого сплава в более чем два раза выше, чем слоя титана (рис. 6).

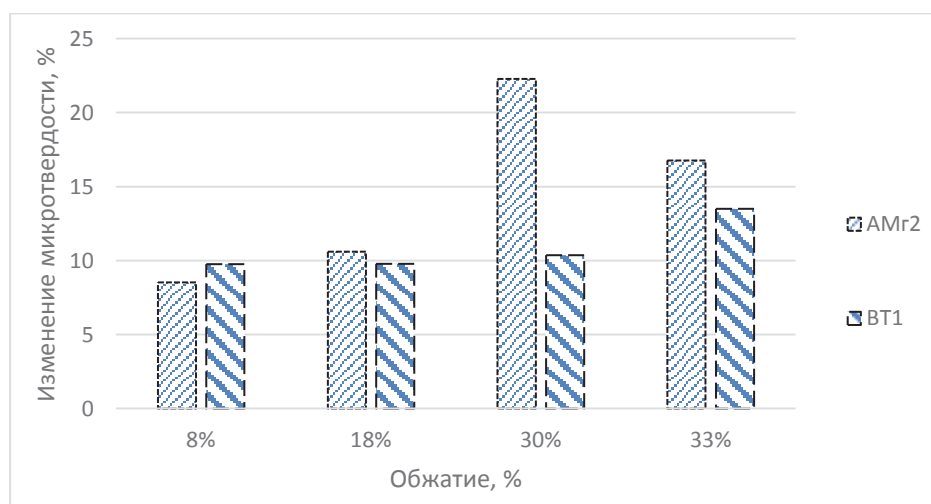


Рис. 6. Увеличение микротвердости композиционного материала АМг2-ВТ1 относительно начального образца (левая колонка в паре – АМг2)

Стоит обратить внимание на образец, разрушенный в результате холодной прокатки. Так как соединение слоев было нарушено, слой АМг2 подвергся небольшому разрыву, и произошло изменение остаточных напряжений, возникающих в процессе холодной пластической деформации, в этой локальной зоне вследствие исчезновения как минимум сдвиговых напряжений в приграничной зоне между слоями ВТ1 и АМг2. Это видно из таблицы, где рост микротвердости слоя АМг2 составил всего 16,7 % по сравнению с 22,3 % на участке прокатки с обжатием в 30 %, не подвергнувшегося расслаиванию. Прирост микротвердости слоя ВТ1 вблизи зоны трещины напротив значительно выше: если при обжатиях 8, 18 и 30 % микротвердость титанового слоя от начального

результата увеличилась на 9,7; 9,8 и 10,3 % соответственно, то дальнейшая прокатка, приведшая к разрушению, которая по степени деформации отличается всего на 3 % (30 против 33 %), привела к росту микротвердости на 3,2 %.

Заключение

1. Установлено, что увеличение обжатия при холодной прокатке титано-алюминиевого композиционного материала АМг2-ВТ1 вызывает рост микротвердости обоих слоев КМ, причем при суммарном обжатии прокатанного образца 30 % микротвердость слоя АМг2 возросла на 22,3 %, а слоя ВТ1 на 10,3 %.

2. Установлено, что для прокатки титано-алюминиевого композита АМг2-ВТ1 можно рекомендовать степень обжатия 18 %, так как

большие обжатия приводят к значительной деформации слоя AMg_2 , обладающего большей пластичностью, а также повышает вероятность образования и развития микротрещин в околошовной зоне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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).
2. 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. морск. ун-т [и др.]. – Одесса, 2007. – Т. 2. – С. 30–31.
3. 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.
4. Композиционные материалы : справ. / под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М. : Машиностроение, 1990. – 510 с.
5. Гурулев, Д. Н. Поведение титано-алюминиевого композиционного материала при холодной прокатке / Д. Н. Гурулев, С. А. Рогачев // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (285) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2024. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 20–24. – DOI: 10.35211/1990-5297-2024-2-285-20-24
6. Лившиц, Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Липецкий. – М. : Metallurgia, 1980. – 320 с.
7. 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.
8. ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012869> (дата обращения: 28.08.2024).
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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. Том Выпуск V. – Барнаул : Алтайский государственный университет, 2017. – С. 161–166.
13. 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 : межвуз. сб. науч. ст. № 15 (118) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – Т. 8. – С. 12–15.