

Л. М. Гуревич, С. А. Рогачев, Д. Н. Гурулев

**ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ ДЕФОРМАЦИЯ
ПРИ ПРОКАТКЕ СЛОИСТОГО МАТЕРИАЛА АМГ2 – ВТ1,
ПОЛУЧЕННОГО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЭНЕРГИЯХ СВАРКИ ВЗРЫВОМ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: rct2005@yandex.ru

Изучено поведение слоистого композиционного материала АМг2-ВТ1, полученного сваркой взрывом при различных режимах. Установлены предельно-допустимые уровни деформации (обжатия) при прокатке таких материалов. Рекомендованы безопасные степени обжатия, не приводящие к разрушению КМ, полученных сваркой взрывом с различными значениями энергии W_2 . Рекомендовано рациональное значение W_2 , затраченной на пластическую деформацию металла при сварке взрывом композиционного материала, обеспечивающей возможность дальнейшей пластической холодной деформации.

Ключевые слова: прокатка, сварка взрывом, титано-алюминиевый композиционный материал, деформационная способность композита, энергия пластической деформации, разрушение слоистого композита

L. M. Gurevich, S. A. Rogachev, D. N. Gurulev

**MAXIMUM PERMISSIBLE DEFORMATION DURING ROLLING
OF LAMINED MATERIAL AMG2 – VT1,
OBTAINED AT VARIOUS EXPLOSION WELDING ENERGIES**

Volgograd State Technical University

The behavior of the layered composite material AMG2-VT1 obtained by explosion welding under different conditions has been studied. The maximum permissible levels of deformation (compression) during rolling of such materials have been established. Safe degrees of compression that do not lead to destruction of CM obtained by explosion welding for different values of energy W_2 have been recommended. A rational value of W_2 spent on plastic deformation of metal during explosion welding of composite material has been recommended, ensuring the possibility of further plastic cold deformation.

Keywords: rolling, explosion welding, titanium-aluminum composite material, deformation ability of composite, explosion energy, destruction of layered composite

Введение

В современных условиях необходимости импортозамещения материалов различных уз-

лов агрегатов, приборов, деталей машин неизбежно появляются проблемы, связанные с необходимостью получения более высокого уров-

ня механических и эксплуатационных свойств этих изделий. Существующие методы и технологии, такие как, легирование и термическая обработка, не всегда позволяют достичь нужных эксплуатационных свойств в поставленной задаче, а порой повышение одного показателя приводит к снижению значения другого. Одним из направлений развития современного машиностроения, приборостроения и других сфер является использование новых слоистых композиционных материалов (СКМ), которые при соединении традиционных сплавов позволяют синергетически получить комплекс новых уникальных свойств, превосходящих традиционно используемые материалы [1].

Сварка взрывом является одним из эффективных путей создания высококачественных КМ различных видов и назначения. Теоретические основы соединения слоев в титано-алюминиевом композите достаточно подробно изучены в работах [2, 3]. Однако для получения деталей композиционный материал, как правило, подвергается обработке давлением, что приводит к изменению механических характеристик слоев композита [4, 5].

Цель данной работы – изучить влияние энергии пластического деформирования металла при сварке взрывом W_2 слоистого композиционного материала АМг2-ВТ1 на его предельно-допустимую деформацию при холодной прокатке.

Методика исследований

В работе исследовались образцы двуслойного композиционного материала АМг2-ВТ1, полученные сваркой взрывом на различных режимах: образец № 1 $W_2 = 0,5$ МДж/м²; образец № 2 $W_2 = 0,8$ МДж/м²; образец № 3 – 1,2 МДж/м². Микроскопический анализ показал отсутствие дефектов по границам соединения слоев и в околошовных зонах.

Из полученных на вышеприведенных режимах сварки взрывом пластин (рис. 1, а) были вырезаны по одному образцу размером 70×19×8 мм для прокатки и дальнейших исследований (рис. 1, б). Образцы подвергали прокатке на лабораторном стане дуо с диаметром валков 120 мм. Первоначально каждый образец был прокатан с высотным обжатием $\epsilon = 10\%$, что позволило сократить количество последующих проходов до разрушения по границе соединения. В дальнейшем образцы прокатывали поочередно с одинаковой степенью обжатия ϵ от 5 до 2 % и измеряли толщины образцов после каждого прохода. Одновременно визуально контролировалось состояние границ соединения и околошовных зон для фиксации начала разрушения композиционного материала. За начало разрушения СКМ было принято торцевое продольное расслоение, длина которого превышала 10 % длины всего образца. Дальнейшее развитие расслоения считалось разрушением.

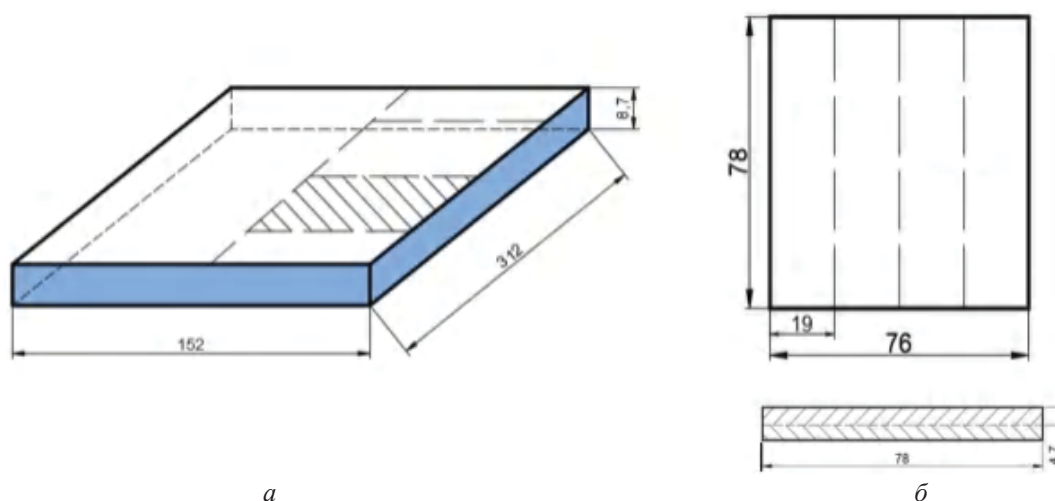


Рис. 1. Схема вырезки образца из сваренного взрывом СКМ (а) и подготовка образцов для прокатки (б)

Результаты исследований

Результаты измерения толщины композиционного материала и обжатий приведены в табл. 1.

На рисунке 2 представлен внешний вид образцов с разных сторон после прокатки в четырех проходах.

Таблица 1

Толщина СКМ АМг2-ВТ1 после прокатки

Энергия W ₂ , МДж/м ²	Толщина КМ, мм											Суммарное обжатие до разрушения ε, %
	№ прохода											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,5	8,8	7,95	7,45	7,05	6,75	—	—	—	—	—	—	23,3
0,8	8,8	8,05	7,5	7,15	6,85	6,75	6,45	6,35	6,2	6,1	5,95	32,4
1,2	8,8	7,95	7,45	7,1	6,8	6,65	6,5	6,35	—	—	—	27,8

Таблица 2

Обжатие СКМ АМг2-ВТ1 по проходам при прокатке

Энергия W ₂ , МДж/м ²	Обжатие КМ, %									
	№ прохода									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	9,7	15,3	19,9	23,3	—	—	—	—	—	—
0,8	8,5	14,8	18,8	22,2	23,3	26,7	27,8	29,5	30,7	32,4
1,2	9,7	15,3	19,3	22,7	24,4	26,1	27,8	—	—	—

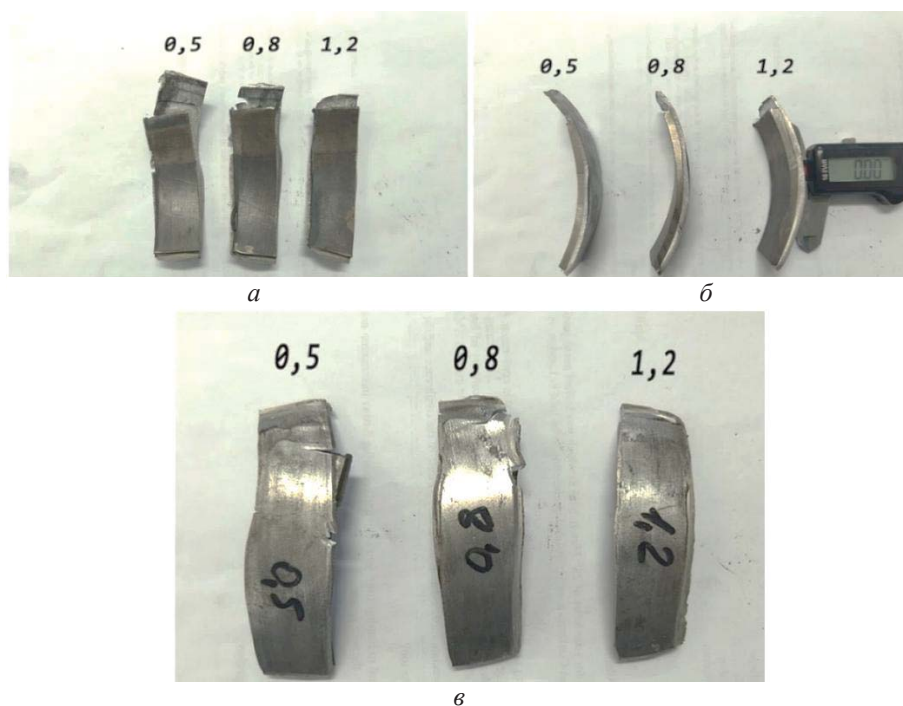


Рис. 2. Вид образцов после четырех проходов (обжатие 22,2–23,3 %):
а – слой ВТ1 сверху; б – слой ВТ1 слева; в – слой ВТ1 снизу

Образец № 1 ($W_2 = 0,5$ МДж/м²) смог выдержать холодную пластическую деформацию в 20 % без значительных расслоений, а его разрушение наблюдалось при обжатии в 23 %. Следует отметить, что после определения предельно допустимой деформации образца № 1 было принято решение уменьшить степень обжатия в каждом последующем проходе для более точной

фиксации момента начала разрушения СКМ.

Анализируя характер разрушения образца № 1, можно сказать, что разрушение композиционного материала происходило непосредственно по поверхности сварного соединения АМг2 с ВТ1, что подтверждается отсутствием следов алюминия на поверхности разрушения в ВТ1, а, следовательно, использование дефор-

мации более 20 % для этого образца недопустимо. Следует отметить, что продольная деформация алюминиевого сплава в прокатанных образцах зависит от энергии W_2 при сварке взрывом: чем больше значение энергии, тем

меньшее удлинение получал слой АМг2 при одинаковых величинах обжатия образцов.

На рисунке 3 приведен график безопасных обжатий при различных энергиях сварки взрывом.

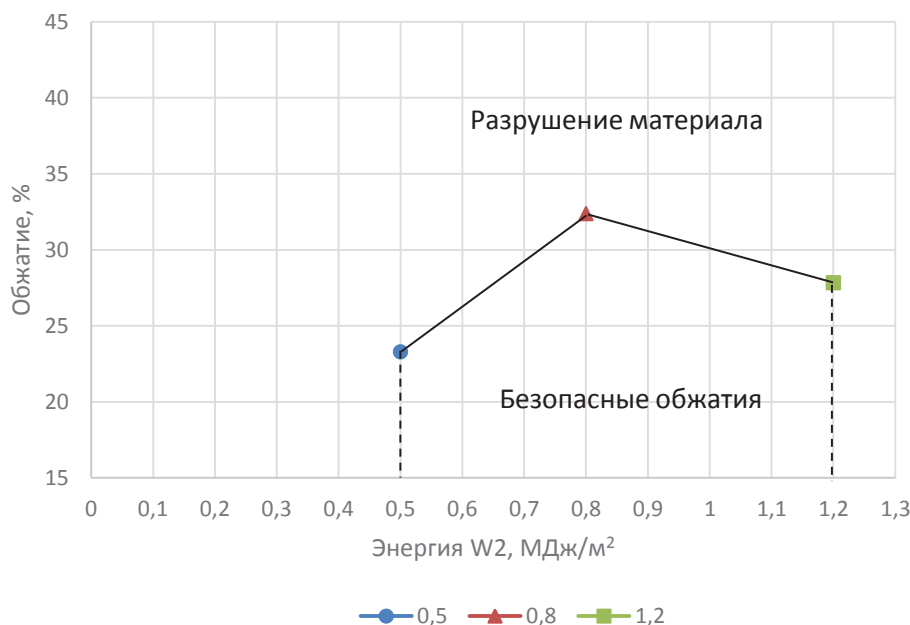


Рис. 3. Допустимые величины обжатия образцов СКМ в зависимости от W_2 при сварке взрывом

Примечательно, что образец № 3, полученный с более высокой энергией W_2 при сварке взрывом, смог выдержать меньшую степень обжатия. Трещины при разрушении второго и третьего образца проходили внутри слоя АМг2, оставляя на поверхности расслоения в ВТ1 «серебристый след». Это хорошо коррелирует с результатами исследования в статье [6], в которой установлено, что хрупкое разрушение соединений титана ВТ1-0 с более легированными и хрупкими сплавами АМг5 и АМг6, чем использованный сплав АМг2, может происходить как в процессе сварки, так и при приложении внешней нагрузки по приграничной зоне алюминиевого сплава. В статье было показано, что в процессе сварки взрывом на повышенных режимах формируется на границе соединения тонкая прослойка высокодеформированного алюминиевого сплава с измельченной структурой,

состоящей из равноосных зерен размером менее 1 мкм, а разрушение связано с наличием концентратора напряжений на границе сплава с измельченной структурой и основным металлом.

По результатам исследований можно сделать вывод, что энергия W_2 , превышающая 0,6 МДж/м² при сварке взрывом [7], достаточна для получения прочного соединения слоев АМг2 с ВТ1. Характер разрушения образцов № 2 и № 3 приведен на рис. 4.

В образце, полученном сваркой взрывом с энергией $W_2 = 1,2$ МДж/м², при обжатии более 24 % формировалось большое количество дефектов в алюминиевом сплаве, и он разрушился при обжатии 27,8 %, в отличие от образца, полученного сваркой взрывом с энергией $W_2 = 0,8$ МДж/м², который разрушился при обжатии 32,4 %.

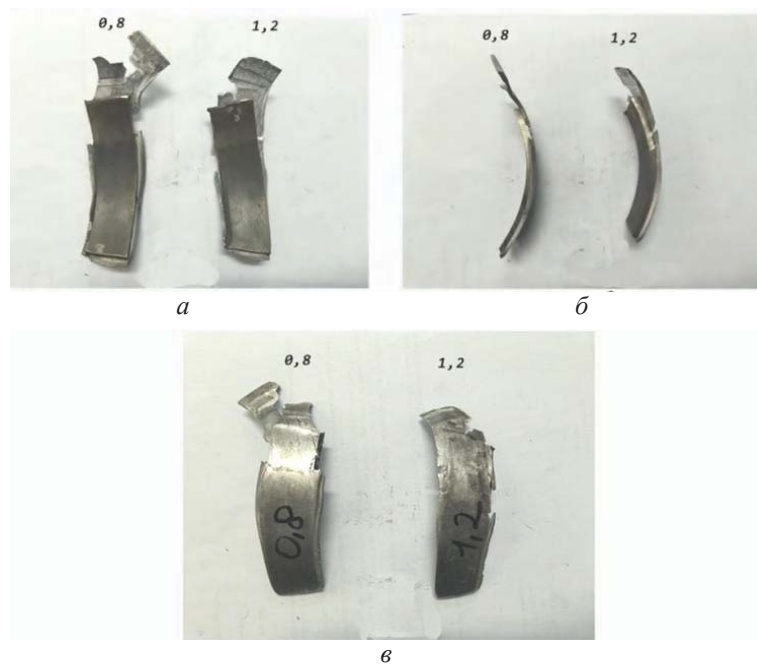


Рис. 4. Образцы № 2 и № 3 после обжатия 27,8 и 32,4 % соответственно:
а – слой ВТ1 сверху; б – слой ВТ1 слева; в – слой ВТ1 снизу

Можно предположить, что такой характер разрушения связан с тем, что деформация, а, следовательно, и наклеп в околошовной зоне после сварки взрывом намного больше у образца № 3, чем у образца № 2. Как известно, с повышением прочности при наклепе снижается величина деформационной способности, которая важна при пластической деформации в холодном состоянии и, во многом, определяют предельную деформационную способность КМ при прокатке.

Заключение

1. Установлено, что наибольшей деформационной способностью при холодной прокатке слоистого композиционного материала обладает образец, полученный сваркой взрывом с энергией $W_2 = 0,8$ МДж/м², который выдерживал деформацию до 32,4 %, в отличие от образцов, полученных с энергиями $W_2 = 0,5$ и $1,2$ МДж/м², разрушение которых произошло при обжатиях 23,3 и 27,8 % соответственно.

2. Продольная деформация алюминиевого сплава АМг2 в прокатанных образцах зависит от энергии сварки взрывом W_2 : чем больше значение энергии, тем меньшее удлинение слоя АМг2 при одинаковых величинах обжатия образцов.

3. Рекомендованная степень деформации (обжатие) для образца, полученного с энергией взрыва $W_2 = 0,5$ МДж/м² ≈ 15 %, а, для образца с $W_2 = 1,2$ МДж/м², ≈ 20 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трыков, Ю. П. Свойства и работоспособность слоистых композитов / Ю. П. Трыков, В. Г. Шморгун. – Волгоград: РПК Политехник, 1999. – 190 с.
2. Трыков, Ю. П. Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, В. Г. Шморгун. – М.: Металлургиздат, 2004. – 230 с.
3. Лысак, В. И. Сварка взрывом / В. И. Лысак, С. В. Кузьмин. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 544 с.
4. Трыков, Ю. П. Деформация слоистых композитов: монография / Ю. П. Трыков, В. Г. Шморгун, Л. М. Гуревич; ВолГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2001. – 241 с.
5. Веретенникова, И. А. Влияние поэтапной пластической деформации на механические свойства и характер разрушения биметалла, полученного сваркой взрывом / И. А. Веретенникова, Д. А. Коновалов, С. В. Смирнов, [и др.] // Металлы. – 2019. – № 3. – С. 82–92.
6. Королев, М. П. Структура и свойства соединений титана с алюминиево-магниевыми сплавами, полученных сваркой взрывом / М. П. Королев, Е. В. Кузьмин, В. И. Лысак, С. В. Кузьмин, В. О. Харламов // Деформация и разрушение материалов. – 2024. – № 4. – С. 2–9.
7. Влияние пластической деформации на распределение микротвердости в слоистом композиционном материале АМг2-ВТ1 / Л. М. Гуревич, С. А. Рогачев, Д. Н. Гурулев, А. А. Кандалов // Известия ВолГТУ: научный журнал № 10 (293) / ВолГТУ. – Волгоград, 2024. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 31–35. – DOI: 10.35211/1990-5297-2024-10-293-31-35.
8. Гурулев, Д. Н. Поведение титано-алюминиевого композиционного материала при холодной прокатке / Д. Н. Гурулев, С. А. Рогачев // Известия ВолГТУ: научный журнал № 2 (285) / ВолГТУ. – Волгоград, 2024. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 20–24. – DOI: 10.35211/1990-5297-2024-2-285-20-24.
9. Миронов, А. Г. Особенности формирования микроструктуры в зоне сварного шва при сварке взрывом разнородных материалов [Электронный ресурс] / А. Г. Миронов, Л. В. Крутов // Физика металлов и материаловедение. – Доступ: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 15.12.2024).