

УДК 621.762

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ СТРУЖЕЧНЫХ ОТХОДОВ  
ЛИТЫХ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

А. В. АБОРКИН, Е. С. ПРУСОВ, Д. М. БАБИН

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Владимир, Россия

Разработка экономически эффективных технологий рециклинга отходов механической обработки металлокомпозигов в условиях действующих производств является актуальной научной проблемой [1, 2]. Цель данного исследования состоит в определении степени влияния режимов деформационной обработки порошков, полученных из некомпактных отходов (стружка) литых металломатричных композитов, на изменение свойств компактных заготовок.

Стружку получали путем наружного точения отливок из композиционного материала АК12 + 10 об. % В<sub>4</sub>С на станке АТПУ-125. Полученную в результате токарной обработки стружку размалывали в планетарной шаровой мельнице Fritsch Pulverisette 6 с применением поверхностно-активных веществ. Для размолва использовали керамический стакан, изготовленный из ZrO<sub>2</sub>, и керамические шары диаметром 8 мм из того же материала. Консолидацию полученных размолом композиционных порошков проводили с использованием предварительно нагретой пресс-формы при давлении 330 МПа. Температуру нагрева пресс-формы варьировали в диапазоне до 350 °С...500 °С. Время выдержки под давлением составило 10 мин. В результате были получены компактные цилиндрические образцы диаметром 17 мм. Также были изготовлены контрольные образцы из исходной стружки. Температура консолидации составила 450 °С. Измерение остаточной пористости образцов выполнено методом гидростатического взвешивания. Установлено, что литой образец имел остаточную пористость  $(2,73 \pm 0,17)$  %. При этом остаточная пористость образца, консолидированного из стружки, составила  $(5,52 \pm 0,32)$  %. В то же время для консолидированных из порошка образцов, в зависимости от температуры прессования, остаточная пористость изменялась в диапазоне  $(1,94 \pm 0,28)$  %... $(1,39 \pm 0,41)$  %. Таким образом, увеличение температуры консолидации с 350 °С до 500 °С вело к снижению остаточной пористости на ~25 %. Это вызвано повышением реологических свойств материала с ростом температуры прессования, что способствует лучшему заполнению пор, рыхлостей и полостей в матричном материале и на границе раздела «матрица – армирующие частицы». Результаты измерений твердости по Роквеллу (шкала В) образцов сплава АК12 + 10 об. % В<sub>4</sub>С показывают, что твердость консолидированных путем горячего прессования образцов ожидаемо была выше, чем отливок. Так, например, твердость слитка составляла  $(39,35 \pm 3,2)$  HRB, а твердость образцов, консолидированных при 450 °С из стружки и порошка, –  $(42,75 \pm 1,2)$  и  $(71,4 \pm 1,5)$  HRB соответственно. Таким образом, стружечный и порошковый образцы имели твердость на ~8 % и ~80 % соответственно больше, чем литой образец. Механические

испытания на сжатие литых и консолидированных из стружки и порошка композиционных образцов проводили на универсальной испытательной машине Time Group WDW-100E при скорости сжатия  $0,1 \text{ с}^{-1}$ . Цилиндрические образцы для испытаний на сжатие диаметром 6 мм были получены электроэрозионной резкой на станке Mitsubishi VA8. Образцы при резке располагали в теле прессовки равномерно по кругу. Продольная ось образцов совпадала с направлением приложения усилия при прессовании. Для уменьшения трения на торцевых поверхностях образцов использовали графитовую смазку. Испытания образцов на сжатие показывают, что исследуемые литые композиционные материалы обладают более высоким уровнем пластичности по сравнению с консолидированными из порошка образцами. При этом деформация до разрушения последних не превышает 10 %, в то время как литой композиционный материал подвергался деформации 25 % без разрушения. Для прессованных из стружки композитов также характерна высокая пластичность. Тем не менее для консолидированных из порошка образцов характерно повышение прочностных свойств по сравнению с литым композитом и прессованным из стружки. В частности, условный предел текучести увеличивается в  $\sim 1,5$  и  $\sim 2,3$  раза по сравнению с литым и прессованным из стружки образцами соответственно. Для консолидированных из порошка образцов условный предел текучести составил  $(380 \pm 7,1)$  МПа, а для литого композиционного материала данный параметр был  $(247,1 \pm 18,4)$  МПа. Для прессованного из стружки образца отмечено падение условного предела текучести до  $(165,4 \pm 2)$  МПа. Изменение температуры консолидации с  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  вело к снижению условного предела текучести порошковых композитов на 15 %...20 % с одновременным ростом деформации до разрушения в 1,5–2 раза. Уровень прочностных свойств порошкового композита возрастает благодаря улучшению равномерности распределения и уменьшению размера армирующих частиц в ходе высокоэнергетического шарового размола. В целом, полученные результаты подтверждают, что стружка, полученная при механической обработке слитков из металломатричных композитов, может быть повторно использована в качестве исходного материала для получения композитов методами порошковой металлургии.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10432 (<https://rscf.ru/project/21-79-10432/>).*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Influence of Mechanical Processing of Chip Waste from Cast Al-Si-B4C Composites on the Structure and Properties of Consolidated Billets / A.V. Aborkin [et al.] // Non-Ferrous Metals. – 2023. – № 2. – P. 41–46.
2. Твердофазная переработка некомпактных отходов литых металломатричных композитов / А. В. Аборкин [и др.] // Металлург. – 2023. – № 11. – С. 93–100.