

УДК 669:621.7

Микроструктура и механические свойства латуни Л63 после фрикционной перемешивающей обработки*

А.В. Судариков, А.В. Чумаевский, А.М. Черемнов, А.П. Зыкова,
Е.А. Колубаев

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск, Россия)

Microstructure and Mechanical Properties of Brass L63 after Friction Mixing Treatment

A.V. Sudarikov, A.V. Chumaevskii, A.M. Cheremnov, A.P. Zykova,
E.A. Kolubaev

Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS (Tomsk, Russia)

Обработка материалов фрикционным перемешивающим методом является одной из передовых технологий по упрочнению и модификации поверхности металлов и сплавов в современном машиностроении. Данная технология получила широкое применение в обработке алюминиевых, титановых и, в частности, медных сплавов. Последние исследования в области фрикционной перемешивающей обработки (ФПО) медных сплавов на основе цинка показывают, что в зависимости от технологических параметров (скорость вращения и перемещения инструмента, нагрузка) и режимов обработки наблюдается изменение микроструктуры и механических свойств материала. Однако влияние многопроходной ФПО на сплав латуни Л63 фактически не изучено. Поэтому в настоящей работе было исследовано влияние четырехпроходной ФПО на структуру и механические свойства медного сплава Л63. Согласно проведенному анализу было выявлено, что микроструктура в зоне перемешивания представляет собой область равноосных рекристаллизованных зерен, имеющих средний размер порядка 1,5–2 мкм. Из-за интенсивных пластических деформаций в материале формируется мелкозернистая структура, вследствие чего микротвердость в зоне перемешивания возрастает. Предел прочности материала после одного прохода инструментом возрастает с 314 до 487 МПа, а после четвертого прохода — до 497 МПа, разупрочнения металла не происходит. За счет оптимально подобранных режимов обработки видимых дефектов в поперечном сечении материала не обнаружено.

Ключевые слова: фрикционная перемешивающая обработка, медные сплавы, микротвердость, размер зерна, предел прочности.

DOI: 10.14258/izvasu(2022)4-10

The processing of materials by the friction mixing method is one of the advanced technologies for hardening and modifying the surface of metals and alloys in modern mechanical engineering. This technology has been widely used in the processing of aluminum, titanium and, in particular, copper alloys. Recent studies in the field of frictional mixing processing (FMA) of zinc-based copper alloys show that, depending on the technological parameters (speed of rotation and movement of the tool, load) and processing modes, a change in the microstructure and mechanical properties of the material is observed. However, the effect of a multipass FPO on the L63 brass alloy has not actually been studied. Therefore, in this work, we studied the effect of a four-pass FPO on the structure and mechanical properties of the L63 copper alloy. According to the analysis, it was revealed that the microstructure in the mixing zone is a region of equiaxed recrystallized grains with an average grain size of about 1.5–2 μm . Due to severe plastic deformations, a fine-grained structure is formed in the material, which causes the increase of microhardness in the mixing zone. The tensile strength of the material after one pass by the tool increases from 314 to 487 MPa, and after the fourth pass up to 497 MPa, no softening of the metal occurs. No visible defects were found in the cross-section of the material due to the optimally selected processing modes.

Key words: friction mixing treatment, copper alloys, microhardness, grain size, tensile strength.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0012.

Введение

Медь и сплавы на ее основе в настоящий период времени представляют собой большую группу производственных материалов. Широкое использование медных сплавов прежде всего обусловлено высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью, хорошим сочетанием прочности и пластичности [1, с. 5; 2, с. 9]. Латунни являются сплавом меди, в которых цинк выступает в качестве основного легирующего элемента. В зависимости от содержания цинка (от 5 до 40 %) латунни могут приобретать различные физические и механические характеристики. Однако обработка и сварка латунни традиционными способами плавления весьма затруднительна из-за высокой теплопроводности. В ходе процесса обработки наблюдается большое рассеивание тепла внутри материала, что требует высоких тепловложений в металл, а также более низких скоростей обработки. К примеру, при сварке латунни механизированным способом температура плавления дуги в процессе сварки будет достигать порядка 3000–4000 °С. Такая температура значительно превышает температуру плавления латунни, что приводит к испарению легирующих элементов из расплава. В результате химические и механические свойства металла будут ухудшаться в зоне сварки [3, с. 14].

Качественной альтернативой при соединении или обработке латунни будет являться сварка трением с перемешиванием (FSW) или же фрикционная перемешивающая обработка (FSP). Метод фрикционного перемешивания весьма схож с FSW, однако имеет ряд существенных отличий. Сварка трением с перемешиванием прежде всего подразумевает соединение различных материалов между собой, тогда как FSP направлено на локальное изменение микроstructures материала с целью повышения прочности

и пластичности или для формирования композиционных структур в поверхностном слое материала [4, с. 6]. При этом методе динамическое восстановление материала при температурах ниже температуры плавления (порядка 350–400 °С) позволяет избежать испарения легирующих компонентов. Упрочнение перемешиванием сводит к минимуму деформационные последствия после обработки металла (коробление), снижает кристаллизационное растрескивание, пористость и потерю легирующего состава [5, с. 9]. Благодаря технологии FSP возможно получение однородной и равномерной зеренной структуры в зоне перемешивания.

Данная технология в настоящее время широко применяется в обработке титановых, алюминиевых, магниевых, медных и др. сплавов [6, с. 3; 7, с. 5; 8, с. 3]. После обработки таких сплавов наблюдается существенное повышение механических и трибологических свойств (прочности, пластичности и др.) материала. Таким образом, целью данного исследования является выявление структурных особенностей и механических характеристик латунни марки Л63 после фрикционной перемешивающей обработки.

Экспериментальная часть

Пластины латунни марки Л63 были обработаны фрикционной перемешивающей обработкой на базе лабораторной установки Института физики прочности и материаловедения СО РАН. Процесс фрикционного перемешивания представлен на рисунке 1. Во время обработки вращающийся стержень инструмента медленно погружается в пластину, при этом опорный бурт опирается на поверхность. Материал за счет теплоты, выделяющейся при трении, нагревается до пластичного состояния и перемешивается.

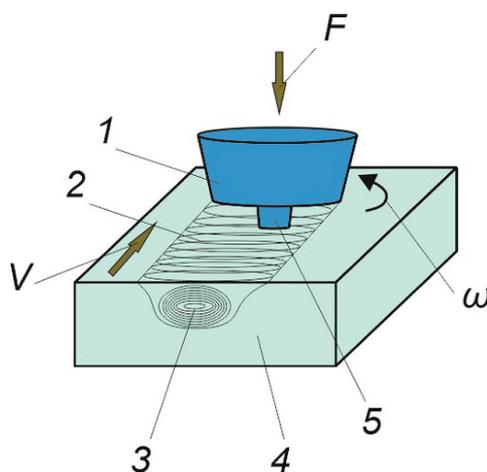


Рис. 1. Процесс фрикционного перемешивания: 1 — опорный бурт инструмента; 2, 3 — зона перемешивания; 4 — основной металл заготовки; 5 — рабочий стержень инструмента; F — прилагаемая нагрузка, кгс; V — скорость перемещения инструмента, мм/мин; ω — скорость вращения инструмента, об/мин

В таблицах 1 и 2 показаны химический состав и механические свойства этого материала.

Таблица 1

Химический состав латуни марки Л63

Fe	P	Cu	Pb	Zn	Sb	Bi	Примесей
До 0.2	До 0.01	62-65	До 0.07	34,22-37,5	До 0.005	До 0.002	Всего 0.5

Таблица 2

Механические свойства полосы латуни марки Л63

Сплав	Предел кратковременной прочности, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Л63	410-570	8

В качестве заготовок использовались пластины из листового проката толщиной 3 мм, глубина обработки составляла порядка 2,5 мм. Подбор параметров процесса осуществлялся эмпирически. Обработка поверхности материала осуществлялась в четыре последовательных прохода стальным инструментом с винтовым пилом. Оптическую микроскопию полученных образцов проводили на металлографическом микроскопе Альтами МЕТ 1С и конфокальном микроскопе Olympus LEXT 4100. Измерения микротвердости проводили на микротвердомере Duramin 5.

Результаты и обсуждение

Макрофотографии поперечного сечения сплава Л63 после четырех последовательных проходов представлены на рисунке 2. В структуре зоны обработки выделяются зона перемешивания (SZ), зона термомеханического влияния (ТМАЗ), различно организованные с отступающей (RS) и наступающей (AS) стороны соответственно. При этом зона термического влияния не наблюдается вследствие высокой теплопроводности латуни. Видимых дефектов после четырех проходов обработки не наблюдается.

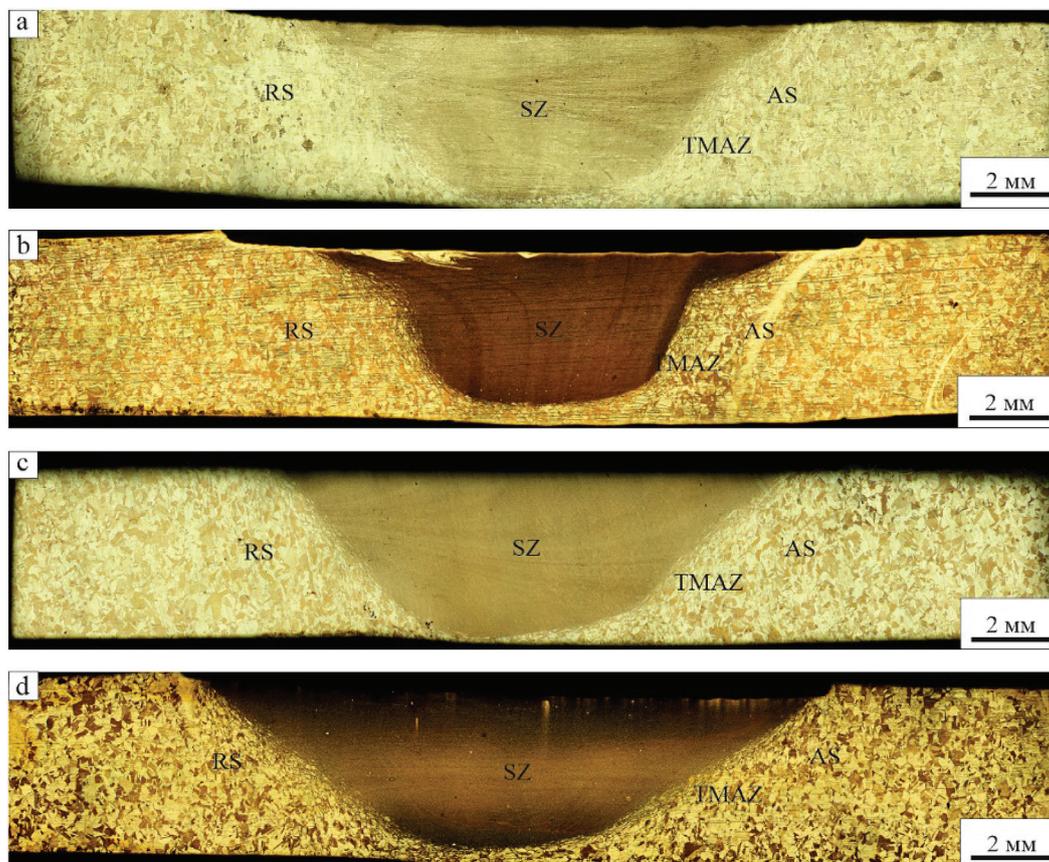


Рис. 2. Макроструктура зоны обработки сплава Л63 после первого (а), второго (б), третьего (с) и, соответственно, четвертого (д) проходов инструментом вдоль линии обработки

На рисунке 3 показаны микрофотографии зоны перемешивания, зона термомеханического влияния и основного металла для всех четырех проходов.

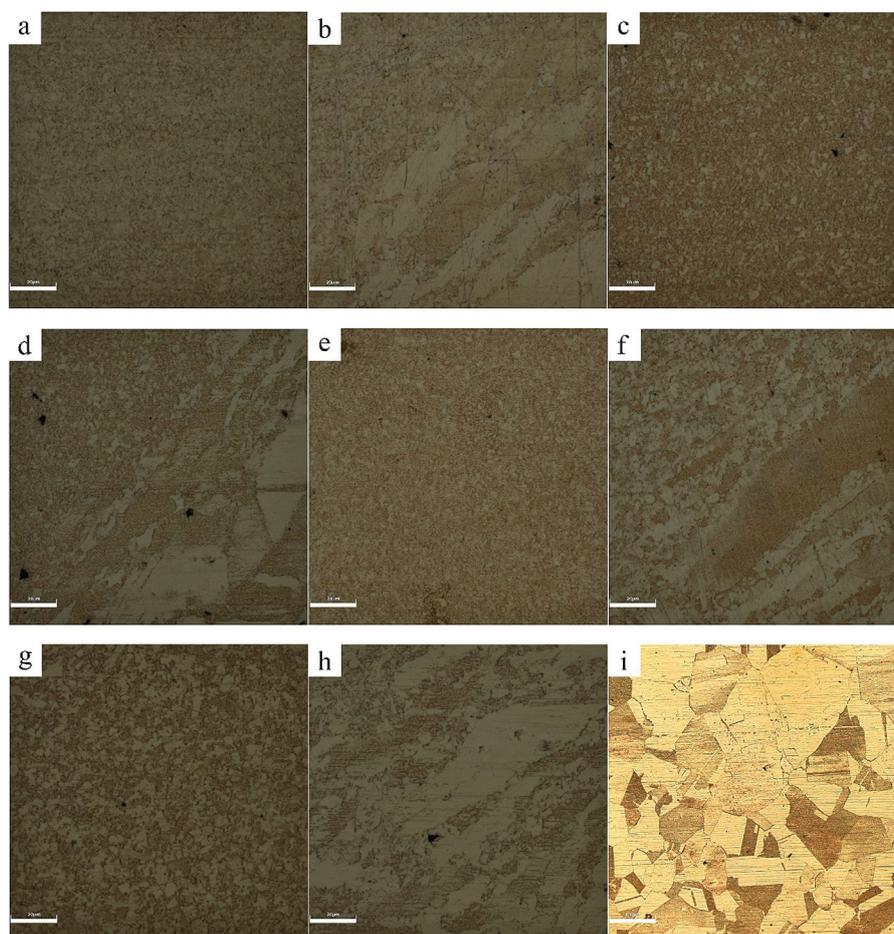


Рис. 3. Микроструктура зоны перемешивания и зоны термомеханического влияния после первого (a–b), второго (c–d), третьего (e–f) и четвертого (g–h) прохода и основной металл (i)

Зона основного металла представляет собой крупные равноосные зерна, свидетельствующие о начальном процессе отжига сплава. В зоне термомеханического влияния (ТМАЗ) зерна вытянуты вдоль направления вращения инструмента. Это свидетельствует о том, что из-за недостаточного нагрева и деформации в ТМАЗ не происходит динамической рекристаллизации, следовательно, зерна в этой области будут просто деформированы. В зоне перемешивания (SZ) формируется равноосная мелкозернистая структура. Она образуется за счет того, что в данной области происходят интенсивное пластическое деформирование и фрикционный нагрев, что приводит к формированию рекристаллизованной структуры. Именно на этом участке будет наблюдаться пик динамической рекристаллизации материала. Согласно [9, с. 11; 10, с. 8] исследованиям, для получения равномерной мелкозернистой структуры в зоне перемешивания рекомендуется проводить обработку не менее

четырёх проходов. Однако исходя из полученных результатов, можно утверждать, что для образования равноосной мелкозернистой структуры в SZ вполне достаточно и 2–3 проходов при оптимальных параметрах обработки. При этом видно, что с увеличением количества проходов средний размер зерна уменьшается с 2,57 мкм до 1,15 мкм (рис. 4).

Распределение профилей микротвердости вдоль сечения шлифа показано на рисунке 5. Хорошо видно, что как после первого, так и после последующих проходов наблюдается увеличение микротвердости в зоне перемешивания. Это подтверждает тот факт, что вследствие пластической деформации происходит рекристаллизация зерен, порождая мелкозернистую структуру материала. Таким образом, можно утверждать, что образование измельченных зерен в зоне перемешивания является основным фактором, влияющим на увеличение микротвердости при минимальном тепловложении.

Микроструктура и механические свойства латуни Л63...

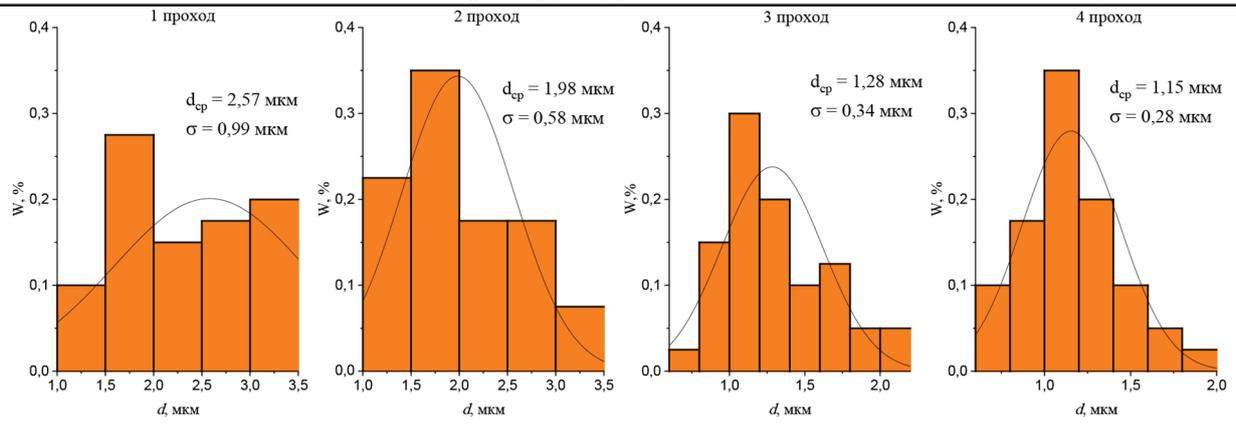


Рис. 4. Размер зерна в зоне перемешивания после обработки в четыре прохода

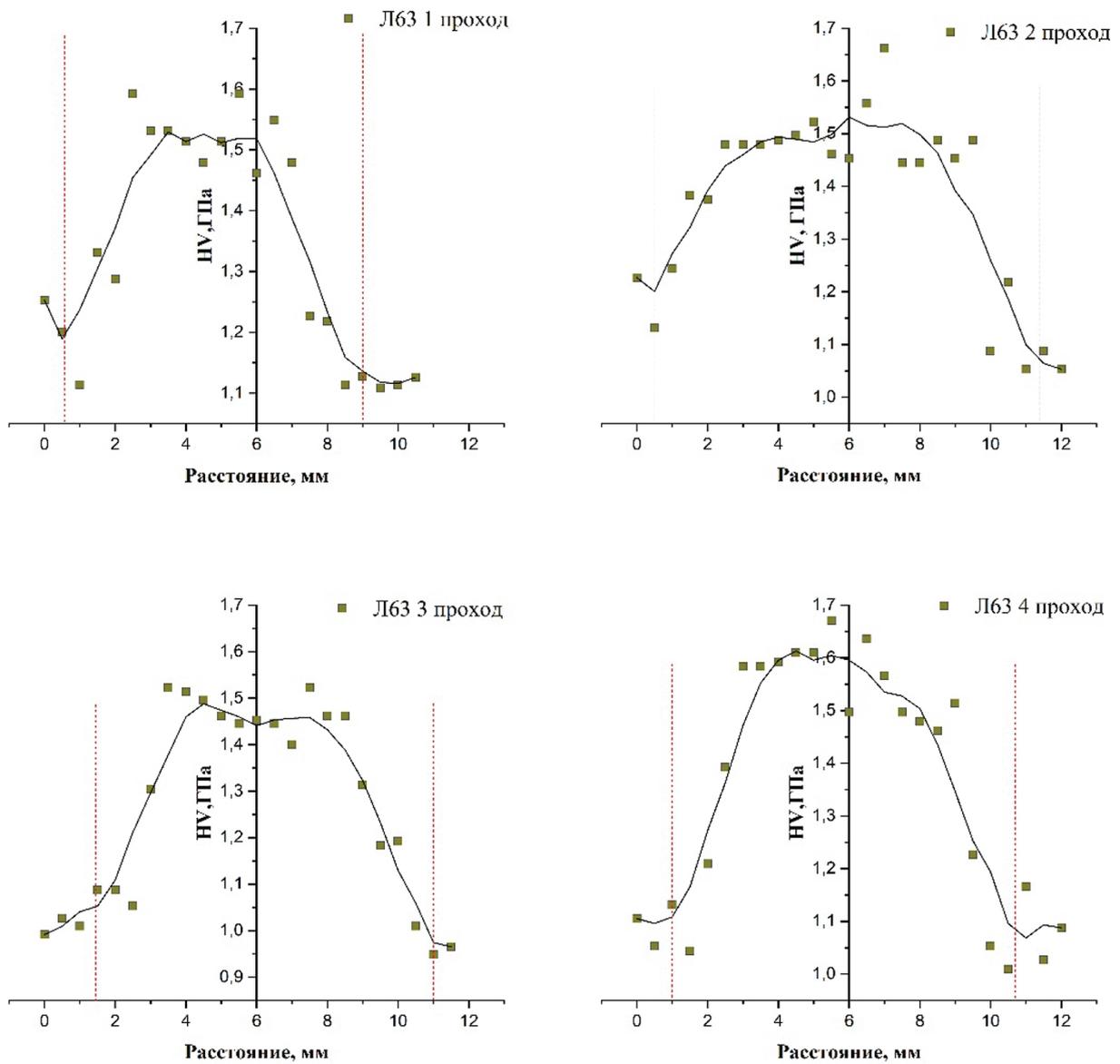


Рис. 5. Распределение микротвердости в сплаве Л63 (красными линиями показаны границы зоны перемешивания)

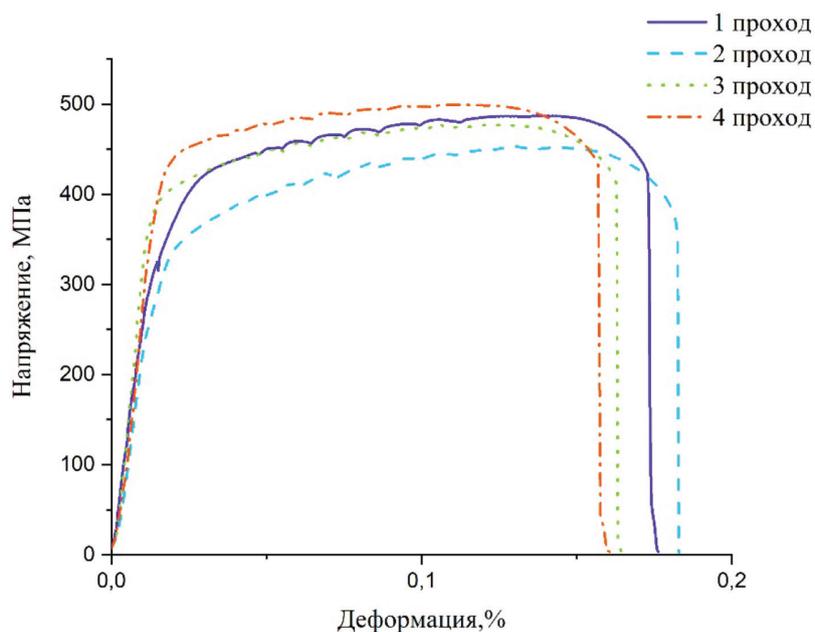


Рис. 6. Диаграмма напряжения — деформации латуни Л63

Предел прочности материала (рис. 6) после одного прохода инструментом возрастает с 314 до 487 МПа, а после четвертого прохода — до 497 МПа. Предел текучести при этом увеличивается от 118 МПа до 318 МПа после первого прохода и до 409 МПа после четвертого прохода. С увеличением количества проходов наблюдается снижение пластичности фактически в два раза, с 55 % до 30 %. Таким образом, для образцов характерно большее увеличение механических свойств после одного прохода, чем после последующих проходов инструментом вдоль линии обработки.

Заключение

Результаты, полученные в ходе исследования, позволяют сделать следующие выводы. С увеличени-

ем количества проходов инструментом зона перемешивания материала становится более выраженной, приобретая чашевидную форму. За счет термической рекристаллизации в ней образуется мелкозернистая структура, представляющая собой зерна размером порядка 1,5–2 мкм. При этом микротвердость материала значительно возрастает, вызывая упрочняющий эффект, обусловленный возрастанием предела прочности почти 35 % от исходного проката. Полученные результаты однозначно указывают на то, что процесс фрикционного перемешивания может рассматриваться как самостоятельный технологический процесс для эффективного упрочнения изделий.

Библиографический список

1. Kim H.S., Kim W.Y., Song K.H. Effect of post-heat-treatment in ECAP processed Cu–40% Zn brass // *Journal of Alloys and Compounds*. 2012. Vol. 536.
2. Li S. et al. Development of precipitation strengthened brass with Ti and Sn alloying elements additives by using water atomized powder via powder metallurgy route // *Materials Chemistry and Physics*. 2012. Vol. 135. № 2-3.
3. Meran C. The joint properties of brass plates by friction stir welding // *Materials & design*. 2006. Vol. 27. № 9.
4. Heidarzadeh A., Saeid T., Klemm V. Microstructure, texture, and mechanical properties of friction stir welded commercial brass alloy [Electronic version]. *Materials Characterization*. 2016. № 119.
5. Mishra R.S., Ma Z.Y. Friction stir welding and processing // *Materials science and engineering: R: reports*. 2005. Vol. 50. № 1-2.
6. Mironov S. Development of grain structure during friction-stir welding of Cu–30Zn brass [Electronic version]. *Philosophical Magazine*. 2014. № 94.
7. Wang D. et al. Friction stir welding of discontinuously reinforced aluminum matrix composites: a review // *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*. 2014. Vol. 27. № 5.

8. Barlas Z., Uzun H. Microstructure and mechanical properties of friction stir butt welded dissimilar pure copper/brass alloy plates //International Journal of Materials Research. 2010. T. 101. № 6.

9. Heidarzadeh A., Saeid T. A comparative study of microstructure and mechanical properties between friction stir

welded single and double phase brass alloys // Materials Science and Engineering: A. 2016. T. 649.

10. Emami S., Saeid T. Effects of welding and rotational speeds on the microstructure and hardness of friction stir welded single-phase brass // Acta Metallurgica Sinica (English Letters). 2015. T. 28. № 6.