

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ БИОРЕЗОРБИРУЕМОГО МАГНИЕВОГО СПЛАВА MA14, ПОДВЕРГНУТОГО РКУП-КОНФОРМ

Р.Н. Асфандияров^{1,2}, Д.А. Аксенов^{1,2}, Э.И. Фахретдинова^{1,2}, М.А. Шишкунова¹, Ю.Р. Сементеева¹

¹Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, Уфа

²Уфимский университет науки и технологий, Уфа
a.r.n@list.ru

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № 075-15-2022-549.

Введение и цель работы

На сегодняшний день активно ведутся разработки в области методик остеосинтеза, в которых особое значение приобретает использование биорезорбируемых материалов, в том числе и магниевых сплавов. Целесообразность применения магния и его сплавов, в этом случае, обусловлена их хорошей биосовместимостью с живыми тканями и физиологическими средами, а также способностью растворяться в процессе срачивания костных отломков с выделением нетоксичных продуктов коррозии. Применение таких материалов в состоянии с высокой прочностью позволит миниатюризировать имплантаты, что снизит травматичность при их установке, что особенно важно при использовании таких изделий в детской травматологии.

Одним из перспективных магниевых сплавов для изготовления имплантатов является сплав MA14 (система Mg-Zn-Zr). Известно, что методы равноканального углового прессования (РКУП) и РКУП длинномерных заготовок по схеме Конформ (РКУП-К) позволяют достичь высокой прочности. Как правило, для достижения прочности выше 300 МПа проводится от 2 до 4 циклов деформационной обработки. Однако, при этом, наблюдается эффект проскальзывания по основной базисной плоскости, что может негативно отражаться на эффективности такой деформационной обработки, а в ряде случаев исследователями было зафиксировано разупрочнение материала при увеличении количества циклов обработки. Однако термомеханическая обработка, включающая РКУП или РКУП-К, проведенная по специальным технологическим режимам, может позволить достичь необходимого комплекса свойств, что и было предметом данного исследования.

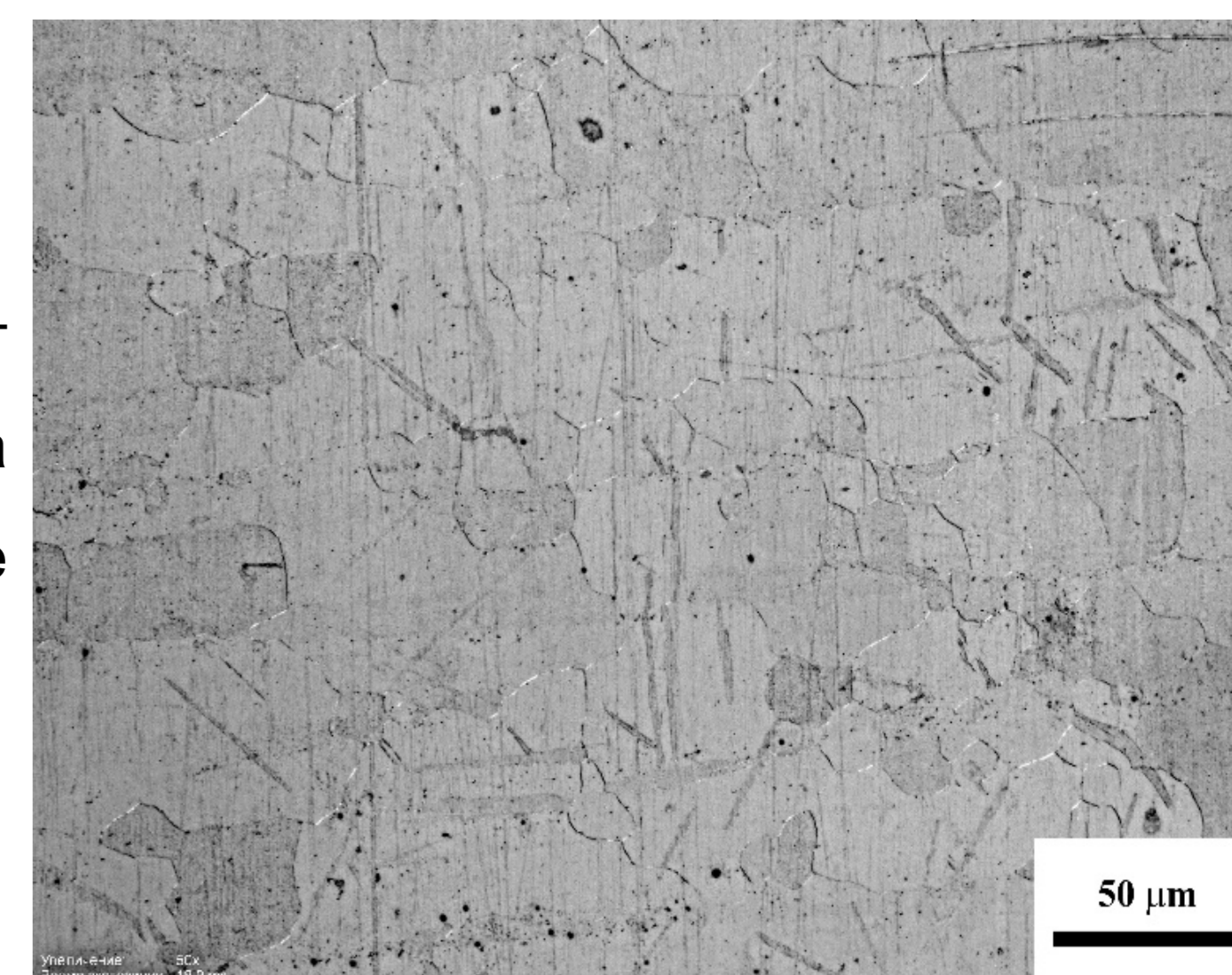
Целью работы является установление влияния режимов РКУП-Конформ на структуру и прочностные свойства биорезорбируемого магниевых сплава MA-14.

Материал и методы исследования

В качестве исходного принято состояние, полученное при длительном отжиге в течение 24 ч при температуре 400 ± 10 °С. Отжиг проводился в воздушной среде в печи SNOL 8.2/1000 с охлаждением на воздухе. Была предложена и проведена деформационная обработка методом РКУП-К с использованием двух подходов – традиционное для такой схемы прессование объемной заготовки (сплошная заготовка) и прессование в оболочке:

- 1.1 цикл с углом пересечения каналов 120° , при начальной температуре заготовок 200 ± 10 °С и температуре оснастки 150 ± 10 °С;
- 2.1 цикл с углом пересечения каналов 120° , при начальной температуре заготовок 250 ± 10 °С и температуре оснастки 200 ± 10 °С.

Структурные исследования выполнены методом световой микроскопии с использованием микроскопа Olympus GX51 с фотомикрографической системой DP71. Механические испытания на растяжение проводились на Instron 8862.

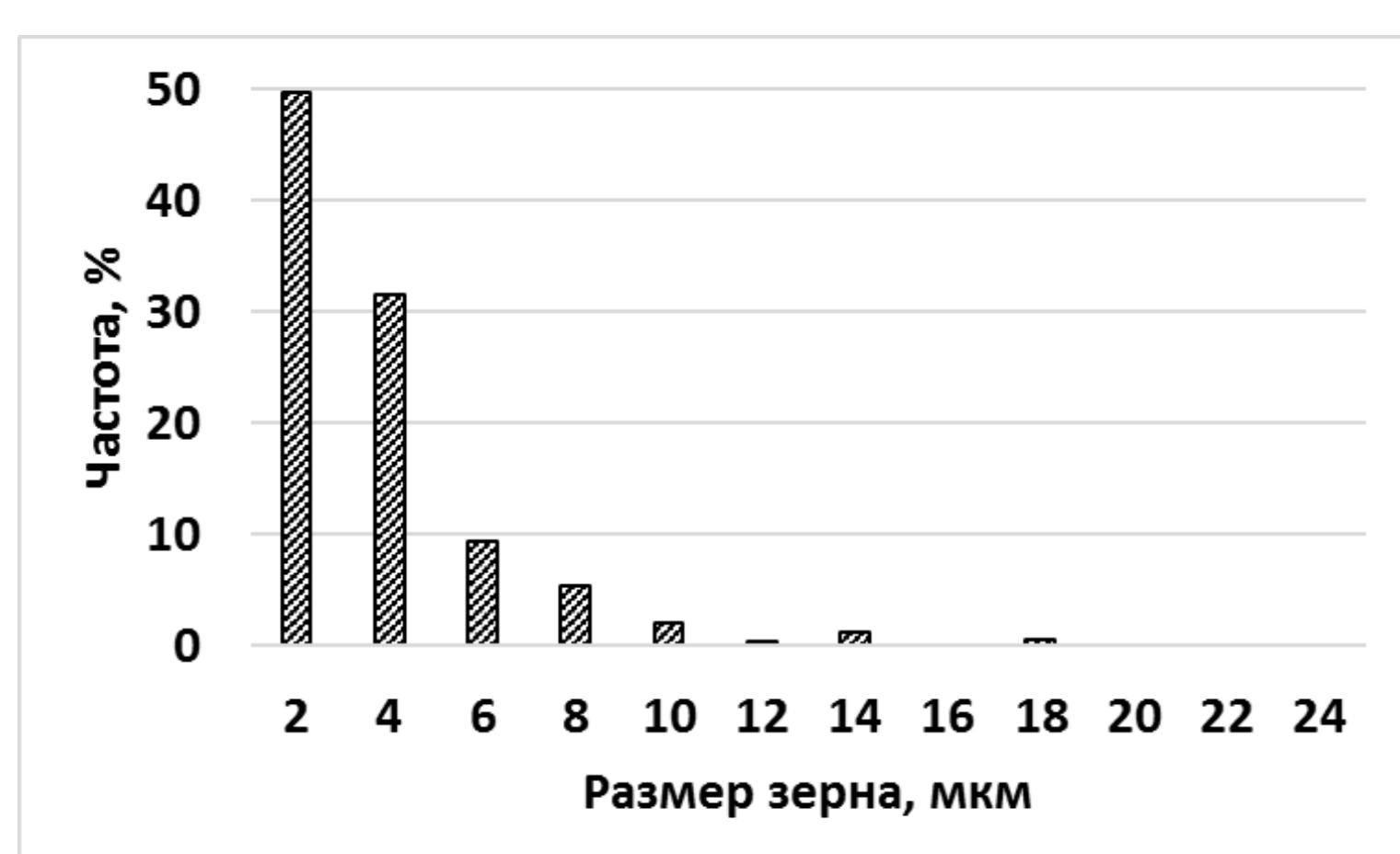
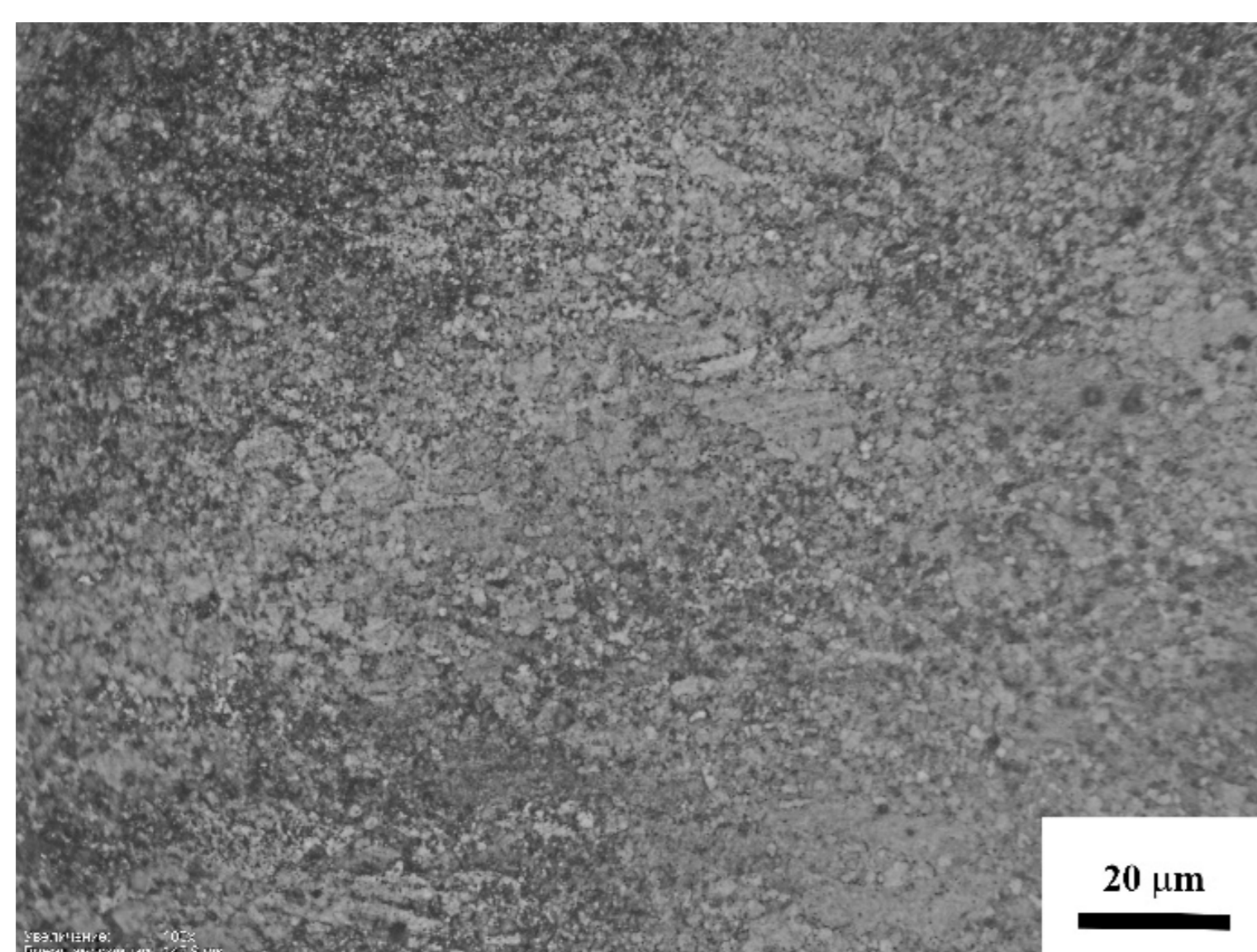


Структура сплава MA14 после термообработки при 400°C в течении 24 часов
Наблюдаются крупные зерна со средним поперечным размером 30 ± 10 мкм и рекристаллизованные зерна со средним поперечным размером 4 ± 2 мкм.

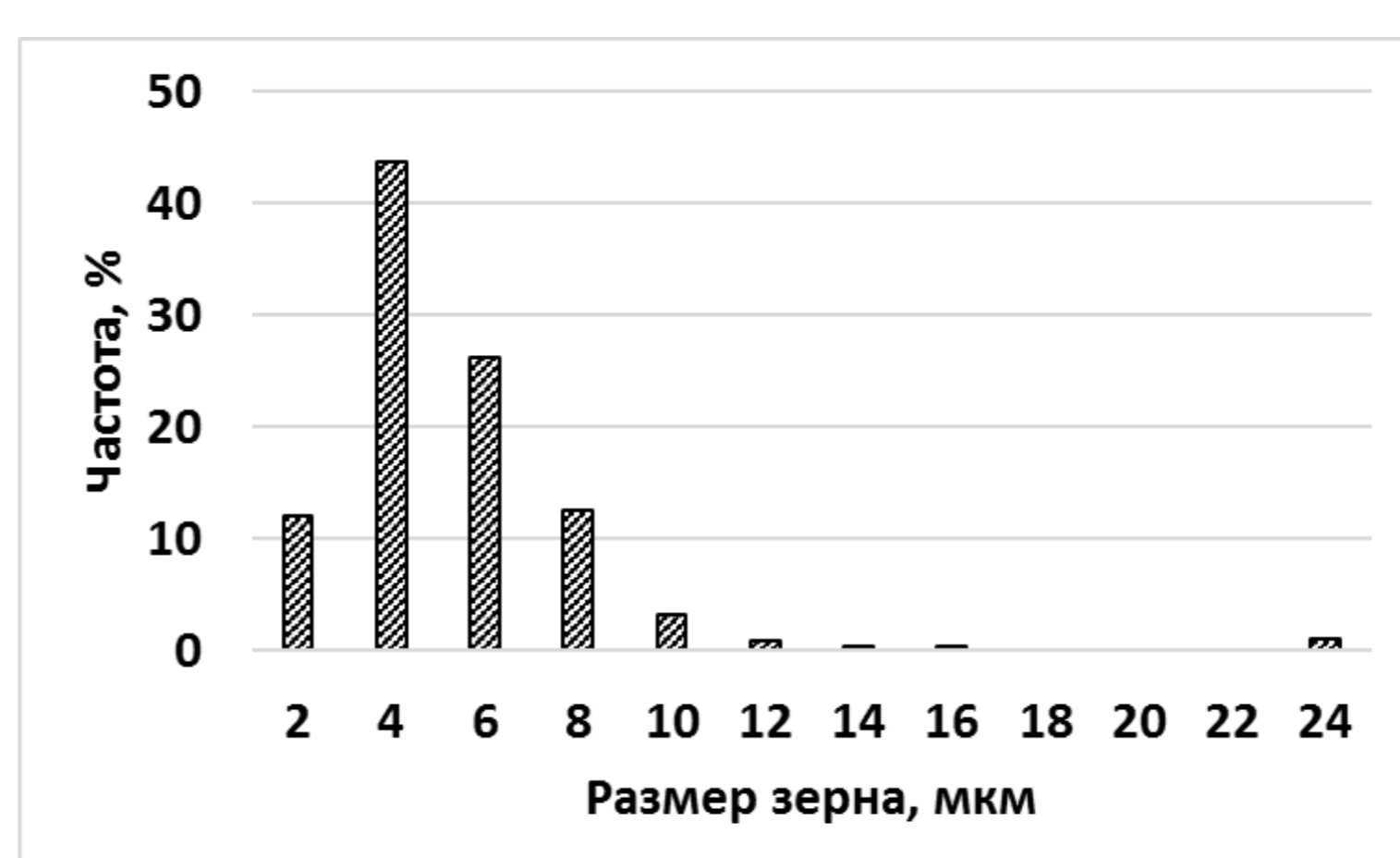
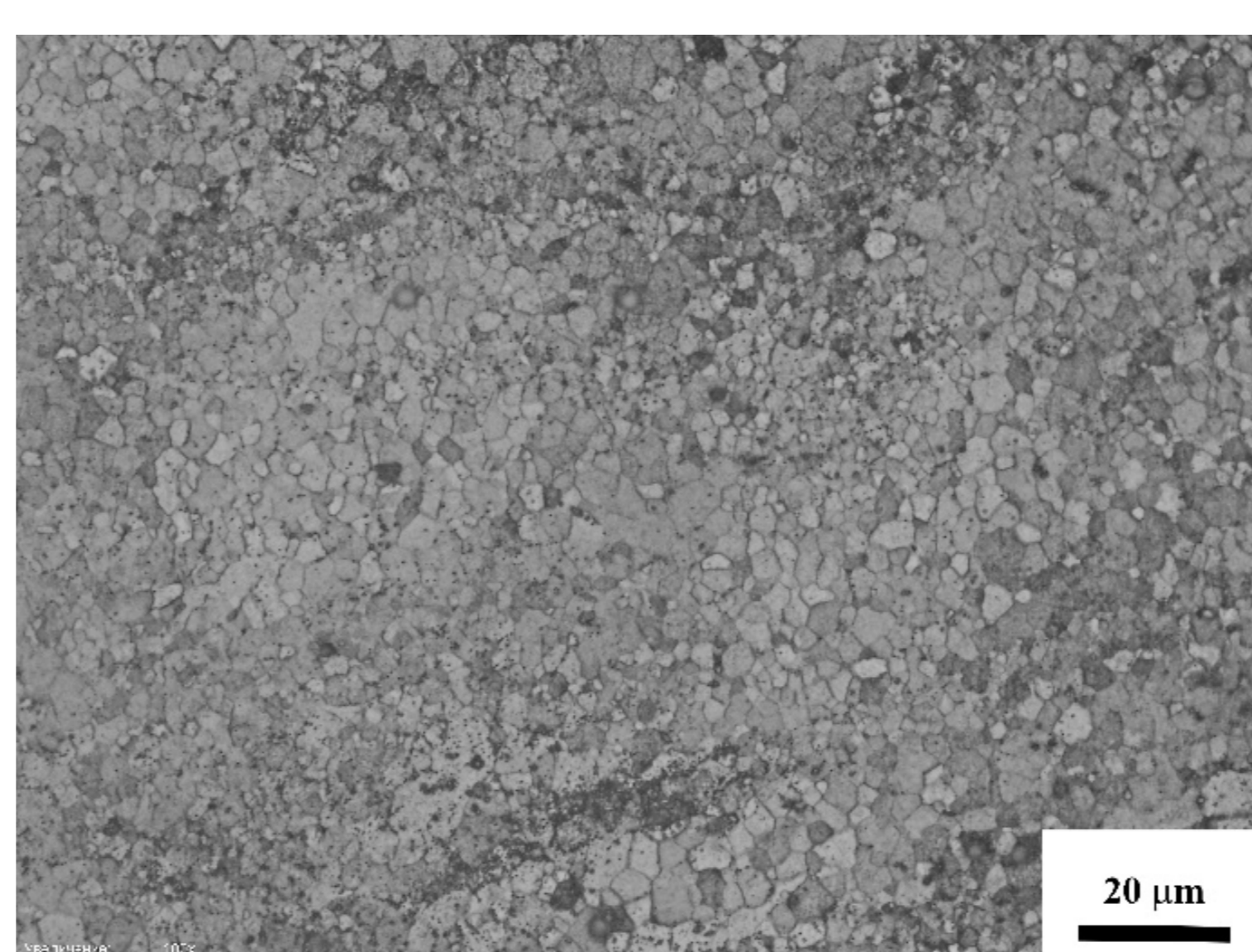
Результаты

Структура и распределение по размеру зерен сплава MA14, подвергнутого РКУП-Конформ

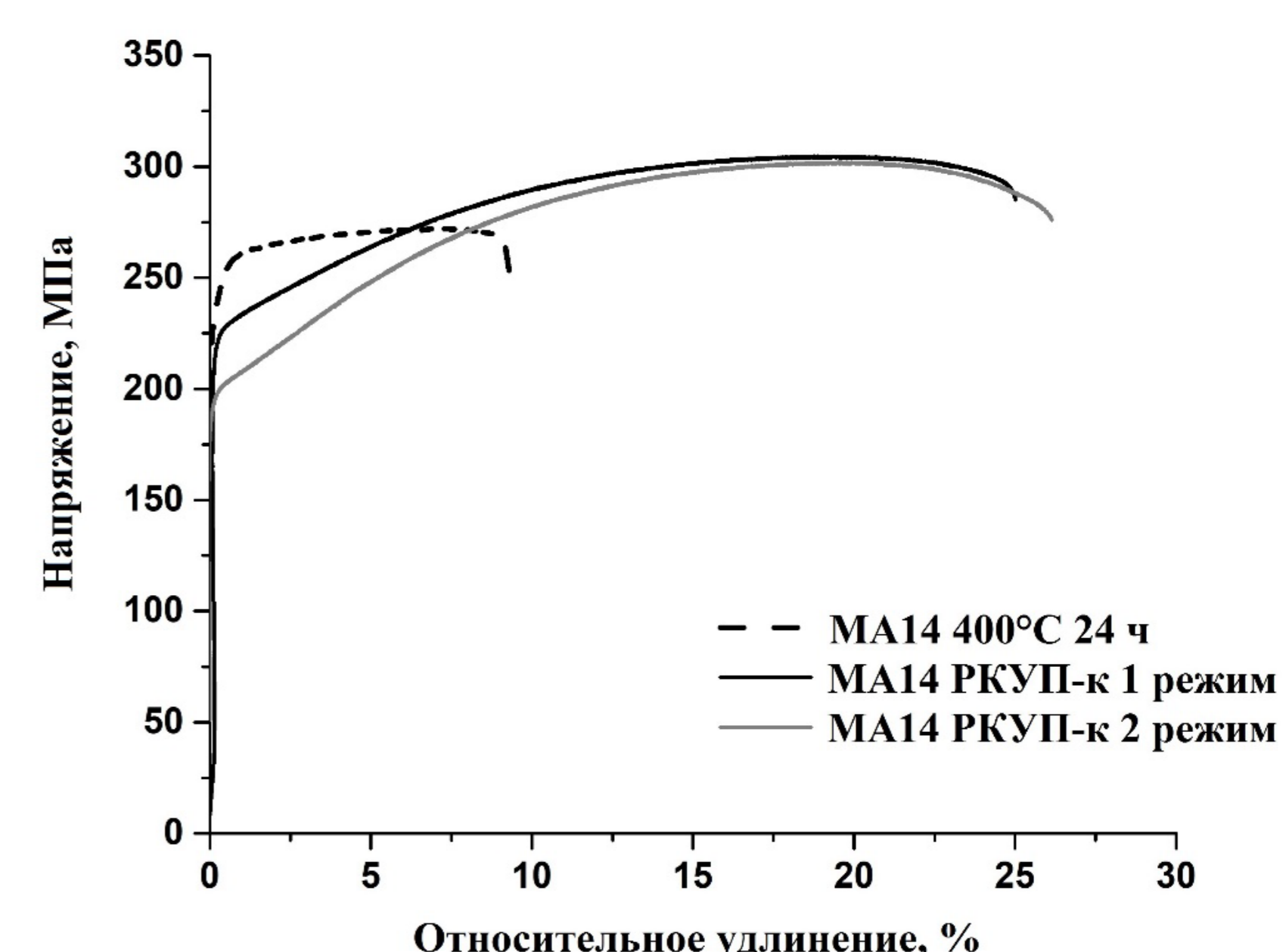
Режим №1



Режим №2



Кривые механических испытаний на растяжение



Выводы

В ходе проведения исследований установлено, что в результате проведенной деформационной обработки по обоим предложенным технологическим режимам происходит измельчение зеренной структуры с сохранением бимодального вида структуры. Помимо мелких зерен средним размером $3,2 \pm 2,5$ мкм и $4,7 \pm 2,3$ мкм для 1 и 2 режима соответственно, в структуре также наблюдались крупные зерна. Анализ частотного распределения по размеру зерен свидетельствует о большем измельчении структуры образца сплава MA14, полученного по 1 режиму РКУП-К. Также нужно отметить наличие зерен в виде полос в этом образце. В первом и во втором случае температура деформации превышала температуру рекристаллизации магния. Таким образом в ходе 1 цикла РКУП протекают как процесс трансформации зерен, так и процесс динамической рекристаллизации.

Результаты проведенных механических испытаний на растяжение свидетельствуют о повышении прочностных характеристик сплава MA14, подвергнутого РКУП-К. В обоих случаях предел прочности увеличивается примерно до одного значения 305 ± 5 и 300 ± 5 МПа, для 1 и 2 режима соответственно. Однако предел текучести для образца подвергнутого деформации по 1 режиму выше и составляет 220 ± 5 МПа, в то время как для образца, обработанного по 2 режиму РКУП-К предел текучести равен 185 ± 5 МПа, что может быть обусловлено более низкой температурой деформирования и наличием зерен полосового типа. Относительное удлинение при растяжении обоих образцов увеличивается и составляет 25-26%. Образцы после РКУП-К по 2 режиму были подвергнуты постдеформационной обработке старением - выдержаны при температуре 150 °С в течении 16 часов. Механические испытания на растяжение образцов после старения свидетельствуют о повышении предела текучести и предела прочности до 280 ± 15 и 325 ± 5 МПа соответственно.