

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ РКУП НА МИКРОСТРУКТУРУ МАГНИЯ И СПЛАВОВ AZ31, ZK60

И.С. БЕЛОСЛУДЦЕВ*, В.М. ПИНЮГЖАНИН*, Н.Е. СКРЯБИНА*,
Ж. ХУОТ**

* Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, Букирева, 15

** Университет Квебека Труа-Ривьер, Труа-Ривьер, Канада, G9A

Магний и его сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов в автомобильной, авиационной и космической промышленности. Тем не менее, есть некоторые практические ограничения на их широкое применение. Магний по своей природе (гексагональная кристаллическая структура) плохо пластически деформируется, поскольку имеет ограниченное число активных систем скольжения [1]. Легирование магния может частично устранить этот недостаток, но неизбежно влечет за собой изменение и других физико-химических свойств материала.

Основой большинства серийных сплавов магния являются системы Mg–Al–Zn–Mn и Mg–Zn–Zr [2], где содержание добавок, как правило, превышает пределы их растворимости в магнии. Введение алюминия, цинка и циркония позволяет, при соответствующих условиях, измельчить зерно в материале. Тем не менее, одним из перспективных методов изменения механических свойств магния и его сплавов (за счет получения мелкозернистой структуры, например) является интенсивная пластическая деформация, в частности, метод равноканального углового прессования (РКУП).

Цель настоящей работы заключалась в изучении эволюции микроструктуры магния и сплавов на его основе после деформации РКУП.

Материалом для исследования служили чистый (99,99) Mg и промышленные сплавы — AZ31 (96% Mg, 3% Al, 1% Zn, вес. %) и ZK60 (94% Mg, 5,5% Zn, 0,5% Zr, вес. %) в виде заготовок размером 10×10×50 мм. Каждую заготовку деформировали одним и/или двумя проходами в установке РКУП (CNRS, Institut Néel, Grenoble, France) с углом пересечения каналов 105° по маршруту Bc при температуре 200 °C. Образцы для исследования микротвердости и оптических исследований представляли собой квадратные пластинки толщиной 2 мм, вырезанные перпендикулярно продольной оси заготовок металла или сплава.

Анализ микроструктуры проводили на приборе Метам ЛВ-32 (увеличение x50 и x250). С целью получения наиболее достоверных результатов

были сделаны микрофотографии структуры сплава с различных участков поверхности каждого образца (в центре и вблизи границ образца). Размер зерна исследуемых материалов измеряли по методу секущих. Испытание на микротвердость проводили на приборе ПМТ-3. Индентирование осуществляли по той же схеме выбора участков микрошлифа, как и для изучения микроструктуры.

Установлено, что уже однократная деформация РКУП приводит к интенсивному измельчению структуры материалов. При этом величина зерна изменяется неоднородно: наиболее мелкозернистая структура образуется вблизи большеугловых границ исходных зерен, что особенно характерно для сплавов AZ31 и ZK60 (рис. 1).

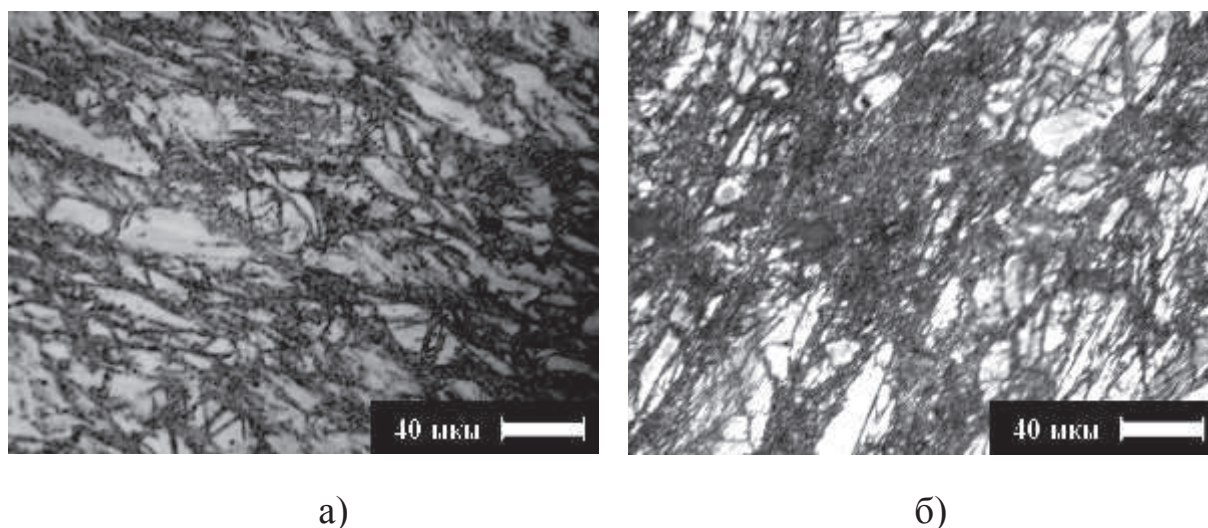
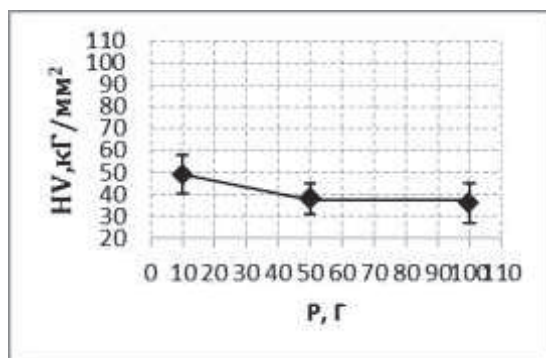


Рис. 1. Микроструктура сплавов AZ31 (а) и ZK60 (б) после деформации РКУП одним проходом при температуре 200 °С

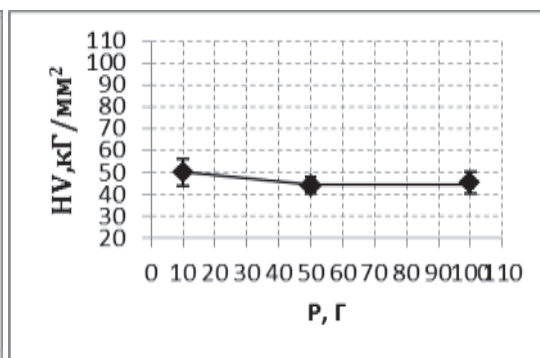
Для установления зависимости между деформацией в процессе РКУП и микротвердостью материалов, первоначально, было проведено измерение микротвердости при различных нагрузках 10, 50 и 100 Г. В ходе этого этапа исследования были построены нагрузочные кривые HV(P) (рис. 2) и определен интервал нагрузок, в котором все исследуемые образцы имеют устойчивые значения HV. Показано, что при нагружении 50 – 100 Г все образцы имеют хорошо воспроизводимые значения с минимальным разбросом микротвердости. Для дальнейших исследований было выбрано значение нагрузки 100 Г.

Результаты измерения микротвердости и размера зерна в исследованных материалах приведены в таблице. Сравнительный анализ результатов изучения микроструктуры и измерения микротвердости позволил

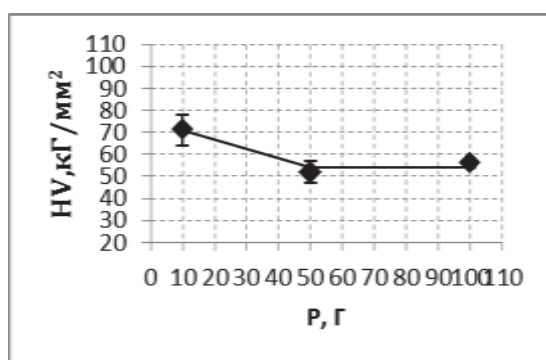
сделать следующие выводы.



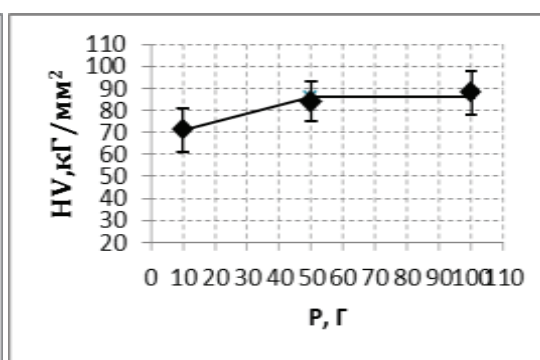
а)



г)



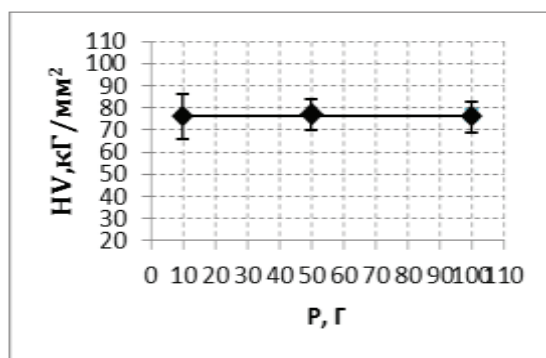
б)



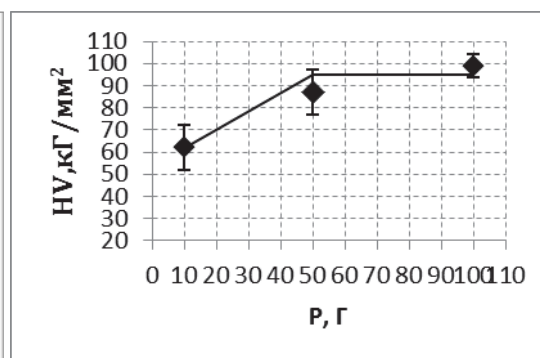
д)

б)

д)



в)



е)

Рис. 2. Зависимость микротвердости от нагрузки для образцов магния и его сплавов в исходном состоянии (а – Mg, б – AZ31, в – ZK60) и после РКУП одним проходом при 200 °С (г, д, е, соответственно)

Во-первых, сильное измельчение структуры (для магния на два порядка и сплавов AZ31, ZK60 на порядок величины) происходит уже после однократной деформации РКУП при температуре 200 °С. Измельчение зерна сопровождается увеличением микротвердости ~ 1,5 раза. Двукратная деформация материалов при температуре 200 °С по маршруту В_c вызывает дальнейшее уменьшение размера зерна в магнии и сплаве AZ31, но не в сплаве ZK60.

Таблица. Значения микротвердости (HV), величины зерна магния и сплавов AZ31 и ZK60 в исходном состоянии и после деформации РКУП при температуре 200 °С

Образец	Mg		AZ31		ZK60		
	Тип обработки	HV, кГ/мм ²	Размер зерна, мкм	HV, кГ/мм ²	Размер зерна, мкм	HV, кГ/мм ²	Размер зерна, мкм
Исходный		36±9	529±278	56±2	28±7	71±3 79±3	59±25 5±1
1 проход		45±5	8±1	88±10	3,1±1,0	99±5	2,8±0,9
2 прохода		42±3	5±2	82±8	2,2±0,4	100±18	2,8±1,1

Во-вторых, дополнительно проведенные электронно-микроскопические исследования и построение карт распределения элементов в сплаве ZK60 показали, что структура сплава неоднородна по составу: вдоль границ зерен наблюдаются области с повышенным содержанием цинка (рис. 3).

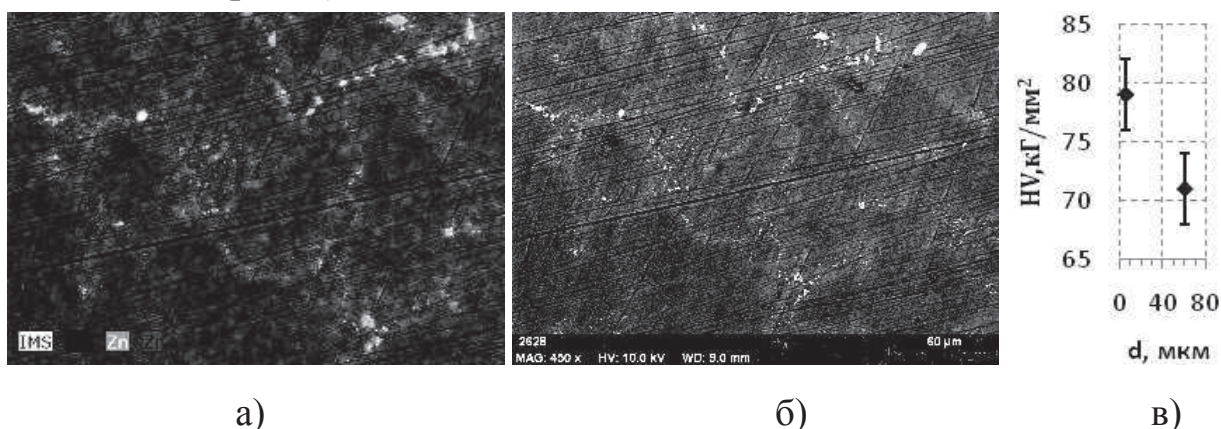


Рис. 3. Распределение элементов (а), микроструктура (б) и зависимость микротвердости от размера зерна (в) в сплаве ZK60 в исходном состоянии

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Пермского края (Соглашение № С-26/211).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Miyahara Y., Horita Z., Langdon T.G.* Exceptional superplasticity in an AZ61 magnesium alloy processed by extrusion and ECAP // *Materials Science and Engineering*. 2006. Vol. 420, P. 240–244.
2. *Bhan S., Lal A.* The Mg-Zn-Zr System (Magnesium-Zinc-Zirconium) // *Journal of Phase Equilibria*. 1993. Vol. 14, № 5. P. 634–637.