

Влияние легирующих элементов на свойства биоразлагаемого магниевого композита для имплантации

Студенты группы 10401121 Савчук Д. С., Будилович И. В.
Научный руководитель – Корнеева Е. К.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Имплантаты – это искусственные устройства, созданные для замены отсутствующей, поддержки поврежденной или улучшения существующей биологической структуры. Наиболее подходящие материалы для имплантации – металлы, поскольку обладают высокой пластичностью, износостойкостью и способны поглощать большую энергию деформации по сравнению с другими материалами. Эти свойства позволяют быть металлам идеальными кандидатами для ортопедических фиксирующих и несущих устройств, например, костные пластины, замененные суставы, зубные имплантаты, кардиостимуляторы, коронарные стенты и шовные проволоки [1].

За последнее время в качестве альтернативы для медицинского применения появились разлагаемые металлические биоматериалы. Металлом, предлагаемым для биоразлагаемых имплантатов, является магний (Mg), поскольку плотность его ($1,7-2,0 \text{ г/см}^3$) близка к плотности кости ($1,7-2,1 \text{ г/см}^3$), в то время как плотность других металлов, например, нержавеющей стали, титана намного выше, а плотность полимеров намного ниже [2]. Кроме того, магний является биосовместимым, что означает что он не оказывает токсичного или воспаляющего действия на ткани и их окружение. Таким образом, это абсолютно безопасно для человеческого организма.

В большинстве исследований по изготовлению сплавов магния или композитов Mg-ГА обычно используется метод литья с последующей термообработкой. Метод литья достаточно прост, но он дает высокую пористость и дефекты, трудность в обращении, плохие конечные свойства и высокое энергопотребление. Кроме того, не все сплавы можно отливать. Из-за многочисленных ограничений, обнаруженных в методе литья, пользуются методом механического сплавления. Данный метод, используемый для преодоления недостатков литья, представляет собой процесс обработки порошка в твердом состоянии, при котором частицы порошка смешиваются в высокоэнергетической шаровой мельнице путем повторной холодной сварки, разрушения и повторной сварки, что обеспечивает высокую реакционную поверхность поверхности раздела между частицами порошка для получения однородного материала. Кроме того, этот метод экономически эффективен, позволяет производить компоненты с формой, близкой к чистой, которые требуют минимального количества вторичных операций или вообще их не требуют. Данный метод может достигать уникальных свойств и имеет полную мощность для производства различных систем легирования и дисперсных композитов.

Данное исследование было проведено учеными для исследования свойств композита Mg-ГА, полученного методом порошковой металлургии с добавлением Zn и Mn в качестве бинарных легирующих элементов и комбинаций Zn и Mn в композите Mg в качестве тройной легирующей системы.

В качестве исследуемых материалов использовались порошок магния (Mg), цинка (Zn), марганца (Mn) и гидроксиапатита (ГА). Mg является основой композиционного материала, а Zn и Mn используются в качестве легирующих элементов. ГА использовали в качестве армирующего материала в композитных материалах, а также из-за его биологически активных свойств. В таблице 1 приведены составы самых популярных сплавов и композитов.

Исходный материал	Количество, масс. %			
	Композиция Mg-Zn-ГА	Состав Mg-Mn-ГА	Композиция Mg-ZnMn-ГА	Состав Mg-НА
Mg	88,5	88,5	88,5	90,0
Zn	1,5	-	0,75	-
Mn	-	1,5	0,75	-
ГА	10	10	10	10

Теоретическая плотность Mg-ГА составляет $1,82 \text{ г/см}^3$, тогда как теоретическая плотность композитов Mg-Zn-ГА, Mg-Mn-ГА и Mg-Zn-Mn-ГА составляет $1,84 \text{ г/см}^3$.

Микротвердость композитов на основе Mg увеличивается по мере добавления легирующих элементов в композит на основе Mg. Это можно увидеть на рисунке 1. Микротвердость композита Mg-Zn-Mn-ГА имеет самое высокое значение среди легированных композитов на основе Mg. Для двойного легированного композита добавление цинка оказывает большее влияние на твердость, чем добавление марганца.

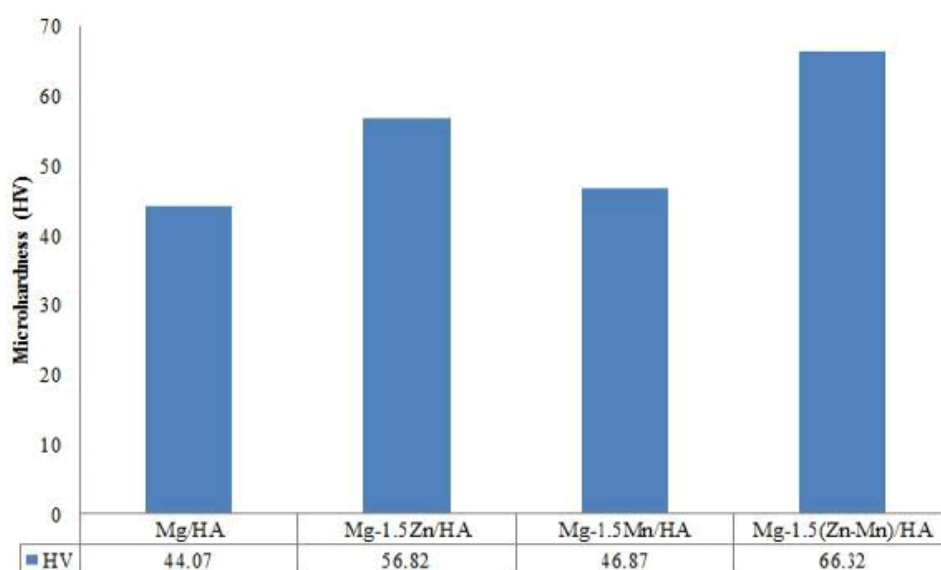


Рисунок 1 – Микротвердость композитов на основе Mg

Механические испытания для определения предела прочности проводятся при одноосном сжатии спеченного композита на основе Mg. На рисунке 2 показан предел прочности композитов на основе Mg, и он ясно показывает, что при добавлении легирующих элементов в композит на основе Mg предел прочности при сжатии композитов увеличивается. Добавление тройных легирующих элементов в композит на основе Mg демонстрирует наивысшую предельную прочность на сжатие, которая увеличивается примерно со 150 МПа без легирующих элементов, до 210 МПа с легирующими элементами. Это связано с тем, что такие порошки как Zn, и Mn в качестве легирующих элементов в матрице Mg дает эффект упрочнения твердого раствора, поскольку при деформации движение дислокаций затруднено напряженной матрицей, увеличивая прочность композитов на сжатие [3].

Также можно сделать вывод, что прочность на сжатие прямо пропорциональна твердости, поскольку с увеличением последней увеличивается и прочность на сжатие.

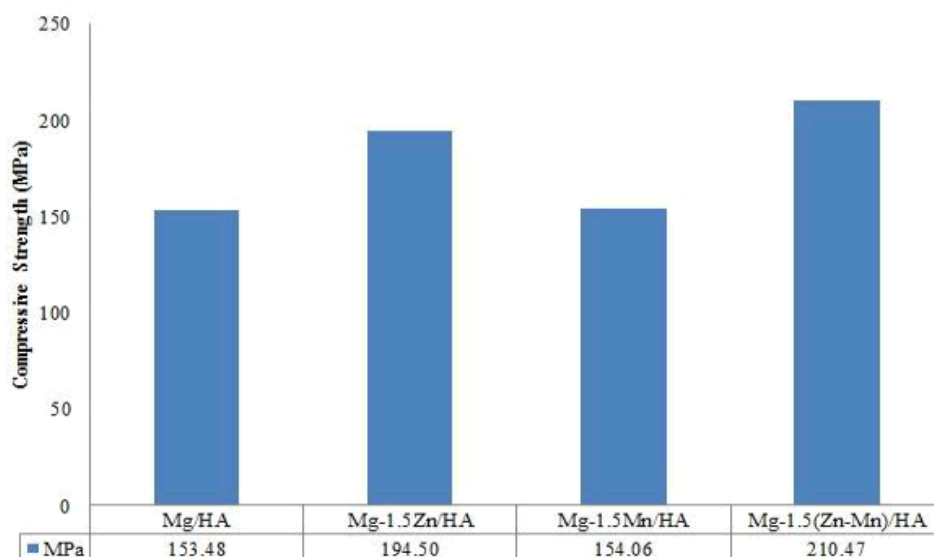


Рисунок 2 – Предел прочности на сжатие композитов на основе Mg

Для измерения потери массы композитов на основе Mg проводили испытание на погружение. Mg быстро разлагается в физиологической системе, поэтому измерение потери веса выполняли для изучения коррозионного поведения композита на основе Mg. Результаты потери веса были получены после удаления продуктов коррозии из корродированных образцов и представлены на рисунке 3. Очевидно, что потеря веса может быть уменьшена путем добавления легирующего элемента в композит на основе Mg. Композит на основе Mg с добавлением Zn и Mn в качестве легирующих элементов показал наименьшую потерю массы среди композитов на основе Mg, за которыми следуют Mn и Zn в качестве отдельных легирующих элементов. Эти результаты показывают аналогичные тенденции. Сочетание легирующих элементов в сплаве Mg может уменьшить потерю веса, поскольку большее количество элементов может реагировать и образовывать защитный слой на поверхности композита [4].

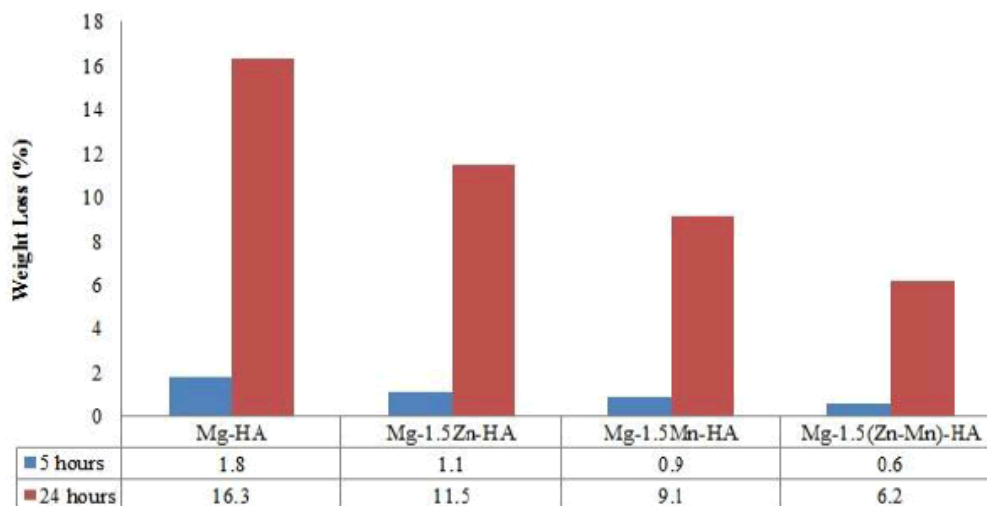


Рисунок 3 – Процентная потеря веса композита на основе Mg

Добавление тройных легирующих элементов к композиту на основе Mg показывает отличные свойства композита на основе Mg с микротвердостью 65,49 HV и прочностью на сжатие 210 МПа, что сравнимо с прочностью на сжатие кости (170–200 МПа). Плотность композита Mg-Zn-Mn-ГА составляет 1,77 г/см³, а относительная плотность составляет 96,28%, что

немного ниже, чем у бинарного Mg-Mn-ГА, однако все еще находится в диапазоне естественной плотности кости (1,70–2,10 г/см³). В тесте на иммерсию Mg-Zn-Mn-ГА показывает уменьшение потери веса от 0,6% до 6,2% при погружении на 5 часов и 24 часа.

Список использованных источников

1. Moravej, M. Biodegradable metals for cardiovascular stent application: interests and new opportunities / M. Moravej, D. Mantovani // *International journal of molecular sciences*. – 2011. – Vol. 12. – P. 4250–4270.
2. Sheikh, Z. Biodegradable materials for bone repair and tissue engineering applications / Z. Sheikh, Najeeb S., Khurshid Z., Verma V., Rashid H., Glogauer M. // *Materials (Basel)*. – 2015. – Vol. 9, № 8. – P. 5744–5794.
3. Shaoxiang, Z. Research on an Mg-Zn alloy as degradable biomaterial / *Acta Biomaterialia*. – 2010. – Vol. 6, № 2. – P. 626–640.
4. Liping, X. In vitro corrosion behavior of Mg alloys in a phosphate buffered solution for bone implant application / X. Liping, Z. Erlin, Y. Dongsong, Z. Songyan, Y. Ke // *Journal of materials science: materials in medicine*. – 2008. – Vol. 19. – P. 1017–1025.