

Наведено результати проведених досліджень змін магнітних параметрів при прикладанні крутного моменту до кільцевого сердечника з металевого скла $Fe_{78}Si_{13}B_9$. Представлено також розроблену нову методіку і конструкційне рішення передачі крутних моментів до кільцевих сердечників. Результати досліджень показали, що кільцеві сердечники з металевого скла змінюють свої магнітні параметри

Ключові слова: датчики крутного моменту, магніт з аморфною структурою, металеве скло

Приведены результаты выполненных исследований изменений магнитных параметров при приложении крутящего момента к кольцевому сердечнику из металлического стекла $Fe_{78}Si_{13}B_9$. Представлена также разработанная новая методика и конструкционное решение передачи крутящих моментов к кольцевым сердечникам. Результаты исследований показали, что кольцевые сердечники из металлического стекла изменяют свои магнитные параметры

Ключевые слова: датчики крутящего момента, магнит с аморфной структурой, металлическое стекло

УДК 620.1.08

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50153

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРДЕЧНИКОВ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА В КАЧЕСТВЕ МАГНИТОУПРУГИХ ДАТЧИКОВ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Я. Л. Салах

Кандидат технических наук*

E-mail: j.salach@mchtr.pw.edu.pl

Р. Ю. Шевчик

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: r.szewczyk@mchtr.pw.edu.pl

М. С. Новицки

Аспирант*

E-mail: m.nowicki@mchtr.pw.edu.pl

И. В. Коробийчук

Кандидат технических наук, доцент**

E-mail: ikorobiichuk@piar.pl

*Институт метрологии и биомедицинской инженерии

Варшавский технологический университет

ул. Боболи, 8, г. Варшава, Польша, 02-525

**Промышленный институт автоматики и измерений PIAR

ул. Йерозолимска, 202, г. Варшава, Польша, 02-486

1. Введение

Металлическое стекло представляет собой многокомпонентный сплав металлов, чаще всего на основе железа (Fe-Si-B) или кобальта (Co-Fe-Si-B-Mo) [1]. В результате быстрого охлаждения наступает переохлаждение расплава и переход в твердое состояние. Охлаждение протекает настолько быстро, что происходит без процесса кристаллизации [2]. В результате такого процесса возникает материал с аморфной структурой, которая получила название металлического стекла.

Благодаря уникальным магнитным свойствам металлического стекла, его, как правило, используют в качестве материалов для производства индуктивных компонентов. Параметрами, имеющими наибольшее влияние на использование этих материалов, являются очень высокая начальная магнитная проницаемость μ_i и коэрцитивная сила H_c . По этим причинам, индуктивные элементы на основе аморфных сплавов характеризуются желательными функциональными параметрами, в частности высокой эффективностью.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

На практике наиболее часто используется кольцевые сердечники, созданные из аморфных лент. Это связано с технологией производства металлических стекол, которые производятся в виде ленты.

Существует также возможности для практического использования магнитоупругих свойств аморфных материалов. На это указывают исследования влияния напряжений, растягивающих и сжимающих сил на магнитные свойства таких материалов [3].

Исследования, проведенные в [4], показали, что материалы из металлического стекла имеют более широкие диапазоны некоторых магнитных характеристик. А разработанная аналитическая теория для металлического стекла [5] прекрасно адаптирована для моделирования процессов, происходящих в процессе эксплуатации. Моделирование и экспериментальные результаты [6] показали изменения магнитоупругих характеристик материалов из металлического стекла на основе железа. В [7, 8] показана возможность ис-

пользования металлического стекла в качестве датчика силы.

Исследования влияния крутящего момента на магнитные свойства металлического стекла проведены на основе тонких стержней, выполненных из таких материалов [9, 10] или полос, приклеенных к упругому элементу [11]. В тонких стержнях с приложенным крутящим моментом имеет место трудное к определению и анализу неоднородное состояние напряжений нормальных и поперечных. В то же время магнитопровод исследуемого сердечника не замкнут, поэтому выполнение анализа магнитных параметров намного сложнее.

В связи с этим большой интерес представляла бы разработка нового метода передачи крутящего момента к кольцевому сердечнику, характерной особенностью которого было бы то, чтобы в сердечнике возникали только поперечные напряжения, а магнитопровод чтобы был замкнут.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является исследовать возможность использования сердечников с металлического стекла для построения магнитоупругих датчиков крутящего момента.

Для достижения поставленной цели предполагалось решение следующих задач:

- разработать методику исследований, которая позволила бы определять распределение напряжений в кольцевом сердечнике вдоль замкнутого магнитопровода;
- исследовать практическую возможность использования кольцевого сердечника из металлического стекла в качестве датчика крутящего момента;
- провести исследования влияния изменений крутящего момента на магнитную индукцию.

4. Методика и конструкция оборудования для передачи крутящих моментов к кольцевым сердечникам

Основным ограничением в использовании кольцевых сердечников, намотанных из ленты металлических стекол, как датчика крутящего момента, является отсутствие подходящего способа задания крутящего момента на кольцевой сердечник. Это связано с конструкцией кольцевого сердечника намотанной аморфной ленты. Непосредственное приложение крутящего момента к сердечнику невозможно из-за наличия деформаций, деформирующих сердечник.

Разрабатываемый метод основан на следующих предположениях:

- направление вектора крутящего момента совпадает с осью сердечника;
- обмотки намагничивания и измерения расположены соосно вдоль контура сердечника;
- магнитопровод сердечника замкнут.

Соблюдение этих предположений позволяет рассчитывать на получение определенного распределения магнитного потока в сердечнике, а также равномерных напряжений.

Идея метода представлена на рис. 1.

В технической реализации сердечник был зафиксирован к фронтальной плоскости с помощью накладок,

которые позволяют осуществлять передачу крутящего момента к сердечнику, при этом не вводятся дополнительные напряжения. Используемые накладки жестко соединены со всеми витками ленты сердечника. Применение накладок даёт возможность передавать равномерное напряжение на все витки ленты сердечника. Накладки имеют прямоугольные вырезы, соединенные с выступами муфт, которые передают крутящий момент. В вырезах располагаются также обмотки намагничивания и измерения. На рис. 2 представлен сердечник с накладками и муфтами, а также способ размещения обмоток намагничивания и измерения.

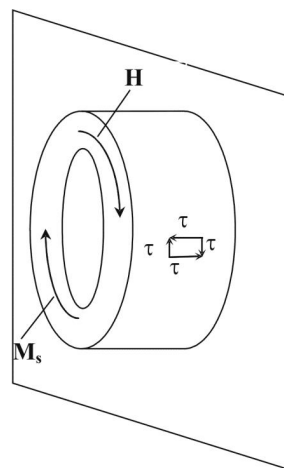


Рис. 1. Идея прикладывания крутящего момента к сердечнику: H — намагничивающее поле, M_s — крутящий момент, t — поперечные напряжения

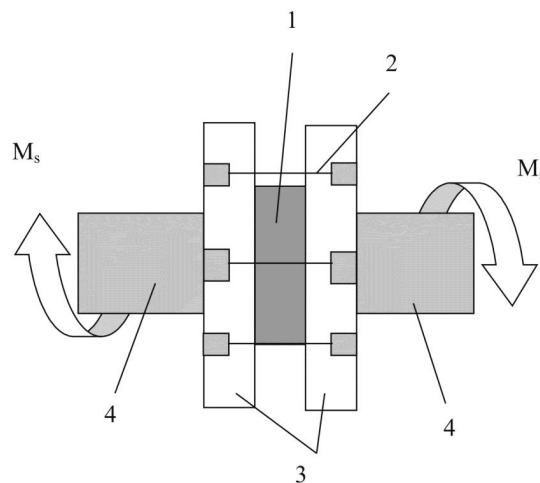


Рис. 2. Внешний вид сердечника с системой передачи крутящего момента: 1 — кольцевой сердечник, 2 — обмотки измерения и намагничивания, 3 — накладки, 4 — муфта

Представленный способ намотки сердечника дает возможность получить замкнутый магнитопровод. Это позволяет свести к минимуму влияние помех на результаты измерений, что особенно важно в случае внешних помех, таких как переменное магнитное поле или наличие в непосредственной близости крупных ферромагнитных объектов.

Исследуемый сердечник намагничивается квазистатическим полем от пилообразного напряжения с частотой 1 Гц. Измерения проводились для различных значений амплитуд намагничивающего поля H_m . Величина амплитуды H_m изменений намагничивания была кратна величине коэрцитивной силы H_c .

Испытания проводились на кольцевых сердечниках с диаметром 22 мм и площадью поперечного сечения, равной 20 мм². Исследуемый сердечник был намотан из ленты шириной 25 мм и средней толщиной 23 мкм, выполненный из металлического стекла с составом $Fe_{78}Si_{13}B_9$. Исследования влияния крутящего момента проведены в границах от 4 Нм до 0,6 Нм. Распределение точек измерения обусловлены конструкцией измерительного стенда, конкретно способом, с помощью которого задается крутящий момент M_s – для этого используется плечо, на котором нагрузка задается с помощью грузов определенного веса. Используемый для задания крутящего момента метод обеспечивает повторяемость приложенного момента к сердечнику. Кроме того, задаваемый крутящий момент контролируется с помощью датчика крутящего момента.

5. Результаты исследований изменений магнитных параметров при приложении крутящего момента к кольцевому сердечнику из металлического стекла $Fe_{78}Si_{13}B_9$

На рис. 3 представлено влияние крутящего момента M_s на величину максимальной индукции B_m для заданных значений намагничивающего поля H_m .

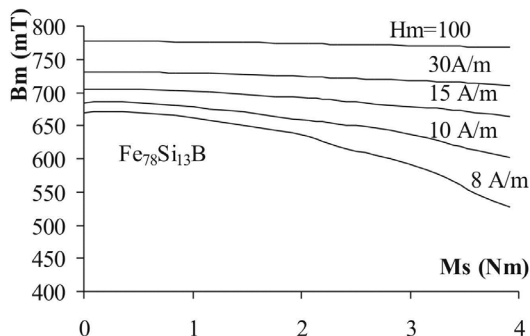


Рис. 3. Зависимость максимальной индукции B_m от крутящего момента M_s при фиксированных значениях намагничивающего поля H_m

Видно, что влияние крутящего момента M_s на значение максимальной индукции B_m при меньших амплитудах намагничивающего поля H_m значительно больше. Для случая $H_m = 8$ А/м (0,8 H_c), максимальная

индукция B_m уменьшается на 150 мТл при изменении крутящего момента от нуля до 4 Нм. В противоположном случае, когда $H_m = 100$ А/м (10 H_c), максимальная индукция B_m изменяется только на 15 мТл.

На рис. 4 показано влияние крутящего момента M_s на форму петли гистерезиса исследуемого металлического стекла $Fe_{78}Si_{13}B_9$. Исследование было проведено при намагничивании $H_m = 8$ А/м, что составляет 0,8 H_c .

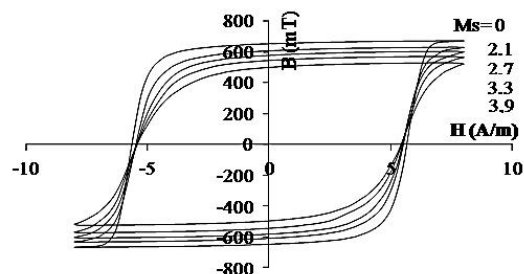


Рис. 4. Влияние крутящего момента M_s на петлю гистерезиса из металлического стекла $Fe_{78}Si_{13}B_9$

В результате изменения крутящего момента M_s от нуля до 4 Нм магнитная индукция B_m изменялась от 670 мТл до 520 мТл. В таких же границах изменений значения крутящего момента M_s коэрцитивная сила H_c изменялась от 5,6 А/м до 5,4 А/м. Значительные изменения магнитных параметров в кольцевом сердечнике из ленты из металлического стекла под действием крутящего момента позволяют использовать его в качестве датчика крутящего момента.

6. Выводы

В работе представлена методика передачи крутящего момента к скрученному из полосы сердечнику из металлического стекла состава $Fe_{78}Si_{13}B_9$. Выполнено исследование влияния крутящего момента на магнитные свойства исследуемого сердечника.

Установлено, что:

- существует практическая возможность использования кольцевого сердечника из металлического стекла в качестве датчика крутящего момента;
- разработанная методика исследований позволяет определять распределение напряжений в кольцевом сердечнике вдоль замкнутого магнитопровода;
- кольцевой сердечник из ленты из металлического стекла, в качестве датчика крутящего момента, характеризуются значительными изменениями магнитных параметров (например, при изменении крутящего момента от 0 до 4 Нм магнитная индукция изменяется примерно на 30 %).

Литература

1. Lachowicz, H. Magnetyki amorficzne [Text] / H. Lachowicz // Metody wytwarzania, właściwości, zastosowanie techniczne. Materiały I Krajowego Seminarium na temat Magnetycznych Materiałów Amorficznych, Instytut Fizyki PAN, Warszawa, 1983.
2. O'Handley, R. Modern magnetic materials – principles and applications [Text] / R. O'Handley. – John Wiley & sons, New York, 2000. – 768 p.
3. Bienkowski, A. Magnetoelastic Villari Effect in Nanocrystalline $Fe_{73.5}Nb_3Cu_1Si_{13.5}B_9$ Alloy [Text] / A. Bienkowski, R. Szewczyk // Physica Status Solidi A. – 2002. – Vol. 189, Issue 3. – P. 821–824. doi: 10.1002/1521-396x(200202)189:3<821::aid-pssa821>3.0.co;2-n
4. Huang, R. Theoretical exploration on the magnetic properties of ferromagnetic metallic glass: An Ising model on random recursive lattice [Text] / R. Huang, L. Zhang, C. Chen, C. Wu, L. Yan // The European Physical Journal Plus. – 2015. – Vol. 130, Issue 7. – P. 127. doi: 10.1140/epjp/i2015-15127-0

5. Hentschel, H. G. E. Barkhausen noise in metallic glasses with strong local anisotropy: Model and theory [Text] / H. G. E. Hentschel, V. Ilyin, I. Procaccia, B. S. Gupta // Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment. – 2014. – Vol. 2014, Issue 8. – P. P08020. doi: 10.1088/1742-5468/2014/08/p08020
6. Gutiérrez, J. Induced anisotropy and magnetoelastic properties in Fe-rich metallic glasses [Text] / J. Gutiérrez, V. Muto, P. T. Squire // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2001. – Vol. 287, Issue 1–3. – P. 417–420. doi: 10.1016/s0022-3093(01)00599-3
7. Ferenc, J. Mechanical testing of iron based bulk metallic glasses and their suitability for force sensors [Text] / J. Ferenc, M. Kowalczyk, T. Erenc-Sędziak, G. Cieślak, T. Kulik // EPJ Web of Conferences. – 2013. – Vol. 40. – P. 16001. doi: 10.1051/epjconf/20134016001
8. Ferenc, J. Magnetostrictive iron-based bulk metallic glasses for force sensors [Text] / J. Ferenc, M. Kowalczyk, G. Cieślak, T. Kulik // IEEE Transactions on Magnetics. – 2015. – Vol. 50, Issue 4. – P. 1–3. doi: 10.1109/tmag.2013.2287240
9. Chiriac, H. Sensor applications of amorphous glass-covered wires [Text] / H. Chiriac, C. S. Marinescu, T. A. Óvari, M. Neagu // Sensors and Actuators A: Physical. – 1999. – Vol. 76, Issue 1–3. – P. 208–212. doi: 10.1016/s0924-4247(99)00032-1
10. Hristoforu, E. Amorphous magnetostrictive wires used in delay lines for sensing applications [Text] / E. Hristoforu // Journal of magnetism and magnetic materials. – 2002. – Vol. 249, Issue 1–2. – P. 387–392. doi: 10.1016/s0304-8853(02)00563-2
11. Bydzowski, J. Strain sensors based on stress-annealed $\text{Co}_{69}\text{Fe}_2\text{Cr}_7\text{Si}_8\text{B}_{14}$ amorphous ribbons [Text] / J. Bydzowski, L. Kraus, P. Svec, M. Pasquale, M. Kollar // Sensors and Actuators A: Physical. – 2004. – Vol. 110, Issue 1–3. – P. 82–86. doi: 10.1016/j.sna.2003.09.042

Розроблено модель руху розплаву полімеру в зоні дозування одношнекового екструдера, яка передбачає, що розплав рухається у вигляді «корки». Отримано рівняння розрахунку зони дозування, що враховують пристінну в'язкість (адгезію) розплаву до поверхні шнека і циліндра. Виконано порівняльний аналіз з класичним рівнянням екструзії ньютонівської рідини. Показані переваги використання моделі «коркового» течія – більш загальний характер, простота сприйняття, облік нових параметрів процесу

Ключові слова: ньютонівська рідина, екструзія, шнек, модель течія, тертя розплаву

Разработана модель движения расплава полимера в зоне дозирования одношнекового экструдера, которая предполагает, что расплав движется в виде «пробки». Получены уравнения расчета зоны дозирования, учитывающие пристенную вязкость (адгезию) расплава к поверхности шнека и цилиндра. Выполнен сравнительный анализ с классическим уравнением экструзии ньютоновской жидкости. Показаны преимущества использования модели «пробкового» течения – более общий характер, простота восприятия, учет новых параметров процесса

Ключевые слова: ньютоновская жидкость, экструзия, шнек, модель течения, трение расплава

УДК 678; 532.135

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51338

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА ПОЛИМЕРА В ЭКСТРУДЕРЕ

В. В. Леваничев

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра системной инженерии
Восточноукраинский национальный
университет им. В. Даля
пр. Советский, 59-а,
г. Северодонецк, Украина, 93400
E-mail: levanichev@yandex.ru

1. Введение

В настоящее время моделирование процесса течения расплава полимера в зоне дозирования шнека экструдера требует доработок и уточнений.

Совершенствование конструкции одношнекового экструдера идет в направлении модификации геометрии шнека и цилиндра, повышения чистоты и твердости их поверхности. Разработаны и повсеместно применяются биметаллические пары шнек-цилиндр, причем марки покрытия адаптируются под задачи повышения абразивной или коррозионной стойкости, подобраны различные сочетания покрытий шнека и цилиндра для оптимальной работы экструдера [1].

Значительное повышение производительности одношнекового экструдера достигнута за счет применения барьерного шнека в сочетании с продольными

канавками вдоль всего цилиндра. Такой экструдер получил название Helibar extruder и рассматривается как одно из эффективных средств ресурсосбережения при переработке пластмасс [2].

Эти практические результаты во многом не стыкуются с современным теоретическим представлением работы зоны дозирования как насоса для перекачки жидкости.

Очень часто теория в процессах переработки пластмасс отстает от практики, возможно одна из причин в том, что расплав рассматривается как жидкость, а реальное движение ближе к скольжению твердого тела по поверхности. В работе [3] впервые получено уравнение полной реологической кривой течения, на основе физической модели, при этом движение расплава представляется как «пробка», которая скользит по стенкам канала.