

Магнитострикционный преобразователь

Магнитострикционный преобразователь, электромеханическое устройство, основанное на явлении магнитострикции и использующее в своей работе магнитострикционные материалы, для преобразования электрической энергии в механическую и наоборот.

Сразу после открытия первых законов электромагнетизма в 1820–1831 гг. было обнаружено (по некоторым данным в 1837), что при помещении подковы в соленоид появляется характерный шум, вызванный изменениями геометрических размеров материала подковы. Хотя наблюдатели, как часто бывает, не знали о своём открытии явления магнитострикции, они отметили это в отчёте и положили начало развитию нового направления в магнетизме и его применению в технике. Первый, основанный на явлении магнитострикции генератор был разработан в 1928 г., за которым последовал измеритель крутящего момента (1929) и гидролокатор (1935). Конструктивно магнитострикционный преобразователь представляет собой сердечник (преобразующий элемент) из магнитострикционного материала (никель, ферриты, пермаллой, алфер и др.) с электромагнитной обмоткой.

Материалы для магнитострикционных преобразователей

В 60–80-х гг. 20 в. были разработаны магнитные материалы, обладающие гигантской величиной магнитострикции. Один из таких материалов, часто используемых в магнитострикционных преобразователях, известен под торговой маркой Терфенол-D [английское название сплава TERFENOL-D расшифровывается как TERbium (TER), iron (Fe), US Naval Ordinance Labs (NOL) и Dysprosium (D)]. Изменение размеров образца терфенола-D может достигать 1,1 мм/м при давлении 1 МПа и 0,75 мм/м – при 58 МПа. Изначально материал разрабатывался в СССР и США для использования в сонарах (гидролокаторах) большой мощности, потому, что он мог обеспечивать более высокую плотность энергии по сравнению с другими материалами (в том числе с пьезокерамикой) и широкий частотный диапазон, а также обладал надёжностью в эксплуатации и долгим сроком службы (рис. 1). Терфенол-D с плотностью энергии 4,9–25 кДж/м³ и насыщением в магнитном поле 1 Тл стал доступен в коммерческих количествах (тоннах) с 1995 г. В 80-х гг. 20 в. предпринимались попытки устранить основной недостаток поликристаллических магнитострикционных стержней на основе терфенола-D путём изготовления текстурированных композиционных стержней на основе полимеров (аналогов магнитопластов – постоянных магнитов в полимерной матрице).

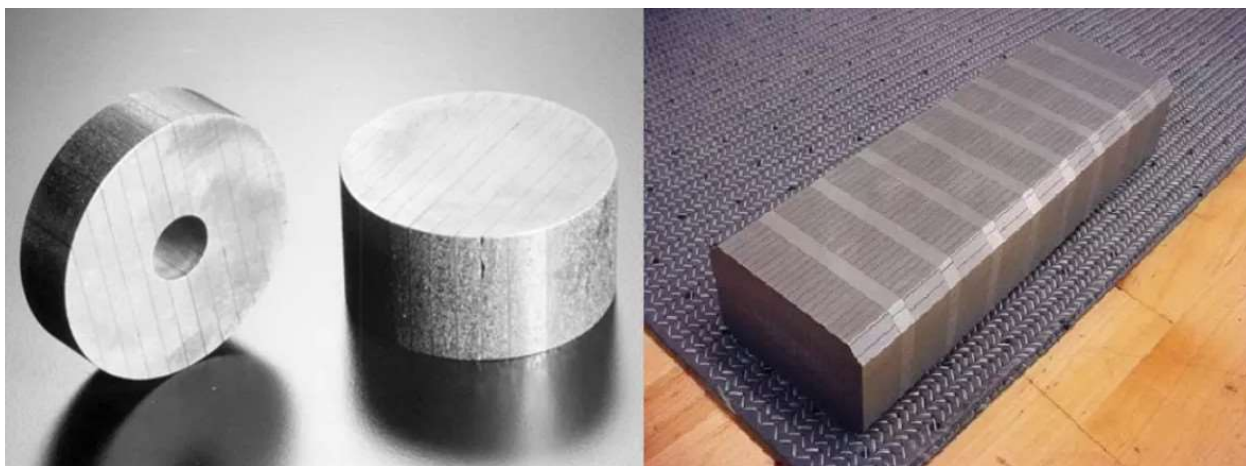


Рис. 1. Слоёные куски Терфенола-Д производства компании TdVib LLC, США.

Позднее, в 1999 г., был разработан магнитострикционный сплав $\text{Fe}_{81.6}\text{Ga}_{18.4}$ (гальфенол, или *galfenol*), состоящий из элементов железа (Fe) и галлия (Ga), положенных в основу его названия, и сочетающий в себе механическую прочность Ni и гигантский магнитострикционный эффект терфенола-D. В настоящее время (20-е гг. 21 в.) он изготавливается не только в виде объёмного слоёного материала, но и в виде листа (путём прокатки) и проволоки (волочением). Сплав не содержит дорогостоящих редкоземельных материалов (тербия и диспрозия) и, имея в своём составе 81,6 % железа, имеет большую коммерческую привлекательность для гражданских применений, но более низкую плотность энергии (0,3–0,6 кДж/м³) и насыщается в магнитном поле до 1,6 Тл.

Применение магнитострикционных преобразователей



Рис. 2. Примеры использования Терфенола-Д в магнитострикционных преобразователях. Фото из статьи: Pinkham M. Etrema Products Inc. Finds Success with TERFENOL-D // Elements. 2001, V. 2, N. 123, P. 4–6.

Рынок гражданских применений магнитострикционных преобразователей стал развиваться с 1987 г. в 16 различных отраслях промышленности, в том числе в станкостроении, приборостроении, автомобильной (управление топливными форсунками автомобилей на природном газе), химической, аэрокосмической промышленности, электронике и нефтедобыче (рис. 2). Инженеры компании Saab Dynamic AB (Швеция) показали, что с помощью магнитострикционных преобразователей можно контролировать движение статора привода. Максимальная выходная мощность этого устройства была оценена в 713 Вт, максимальный крутящий момент до 338 Нм, а максимальный КПД до 46 % (рис. 3). Отметим, что КПД синхронных электромашин на основе постоянных магнитов достигает 98,5 %.



Рис. 3. Магнитострикционный привод, разработанный компанией Saab Dynamic AB, с 12 штоками из Терфенола-D. Фото из книги: Mohsen Torabzadeh-Tari. Analysis of Electro-Mechanical Actuator Systems in More Electric Aircraft Applications. Stockholm, 2005.

Магнитострикционный привод (сонар) компании TdVib LLC (США) работает в широком частотном диапазоне (от постоянного тока до 20 кГц), может охлаждаться сжатым воздухом и имеет несколько совместимых вариантов рупоров и источников питания (рис. 4).

Большие величины динамической магнитострикции обусловили заметное распространение магнитострикционных приводов в станкостроении, как самых быстрых и точных сервосистем инструмента, в которых твёрдое положение инструмента контролируется удлинением чрезвычайно жёсткого магнитострикционного стержня. Это важно, например, при производстве эллиптических поршней, валов, обработке кулачков, дисков с дроссельными заслонками и т. п. Большая величина динамической магнитострикции также крайне важна для позиционирования линз, зеркал и т. п.



Рис. 4. Сонар компании TdVib LLC.

Магнитострикционные преобразователи с большой плотностью энергии могут быть использованы в дорожном строительстве для уплотнения дорожного полотна или в нефтеразведке – для межскважинного прозвучивания. Прототипы последних устройств были разработаны на физическом факультете МГУ имени М. В. Ломоносова ещё в 80-х гг. 20 в.

Тишин Александр Метталинович

Библиография:

- Белов К. П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. – Москва : Наука, 1987. – (Проблемы науки и технического прогресса).
- Qvarnström L. Analysis and evaluation of a magnetostrictive flex spline actuator : master thesis. – Stockholm, 2003.