

УДК 519.711.3

Э.В. Карпухин, С.Б. Демин, В.С. Дятков, А.А. Дюдюкин

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ
ДЕСТАБИЛИЗирующих ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ
МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

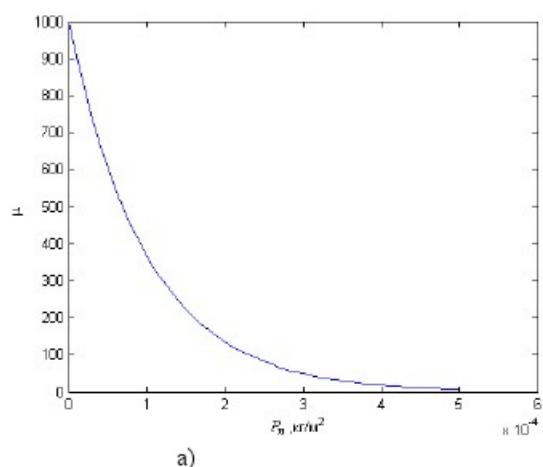
Магнитострикционные преобразователи перемещений (МПП) нашли применение во многих отраслях современной промышленности. Работая в составе систем автоматического регулирования, они позволяют решать широкий круг задач и гарантируют высокую точность полученных результатов. Их отличает широкая область возможного применения, низкая себестоимость, простота конструкции, высокое быстродействие и разрешающая способность [1, 2].

Принцип работы МПП основан на возбуждении и считывании акустических сигналов в среде магнитострикционного звукопровода [1, 2].

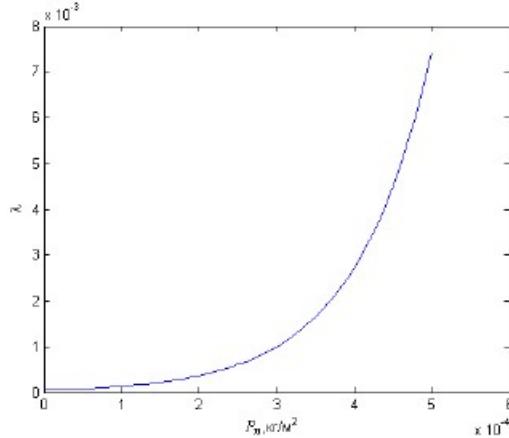
Известно, что на этот процесс в наибольшей степени оказывают влияние внешние дестабили-

зирующие факторы среды, такие как температура T и упругие напряжения P_n [2]. В связи с этим возникает необходимость учета этих факторов при проведении математического моделирования МПП на УЗВ кручения.

Создание в среде ферромагнетика продольных P_n или крутильных P_k напряжений приводит к нарушению исходной доменной структуры в результате сложных обменных энергетических процессов, зависящих от предыстории состояния материала. Это в свою очередь вызывает изменение магнитной восприимчивости χ , магнитной проницаемости μ , коэффициента магнитострикции λ , удельного электрического сопротивления ρ_3 ма-

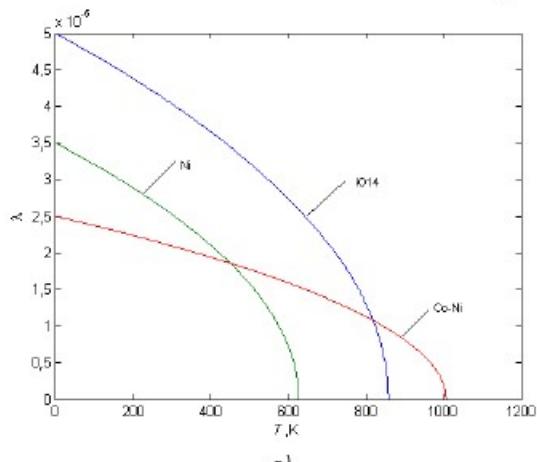


а)

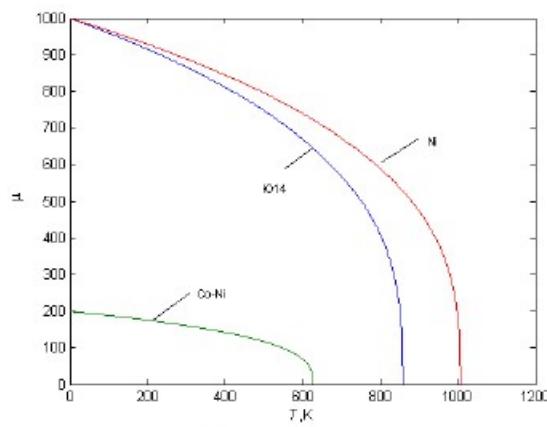


б)

Рис. 1. Влияние растягивающего усилия P_n на магнитную проницаемость μ (а) и коэффициент магнитострикции λ (б) сплава Ю14



а)



б)

Рис. 2. Зависимости коэффициента магнитострикции λ (а) и магнитной проницаемости μ (б) от температуры T

териала [3].

Установлено, что изменение магнитной восприимчивости χ ферромагнитного материала звукопровода МПП под действием растягивающих напряжений P_n происходит по закону [2]:

$$\chi_{P_n} = \pm \left[\chi_0 + G_r (1 + k_{P_n})^2 \right], \quad (1)$$

где χ_0 – начальная магнитная восприимчивость материала, G_r – коэффициент энергетических потерь на гистерезис, k_{P_n} – коэффициент продольного напряжения.

Изменение магнитной восприимчивости χ_{P_n} (1) приводит к изменению магнитной проницаемости μ_{P_n} и коэффициента магнитострикции λ_{P_n} в соответствии с выражениями [2]:

$$\mu_{P_n} = \mu(1 - k_{P_n}), \quad (2)$$

$$\lambda_{P_n} = \pm \lambda(1 + k_{P_n}). \quad (3)$$

Графики зависимостей (2 - 3) для сплава Ю14 приведены на рис. 1, откуда видно, что с ростом растягивающих напряжений P_n магнитная проницаемость μ уменьшается, а коэффициент магнитострикции λ увеличивается.

Другим фактором, заметно влияющим на параметры магнитострикционного звукопровода МПП, является температура T окружающей среды. Её воздействие учитывается через коэффициент температурного изменения k_T , определяемый в соответствии с выражением [2]:

$$k_T = \left(1 - \frac{T}{T_c} \right)^{1/n}, \quad (4)$$

где T – текущее значение температуры, T_c – температура фазового перехода второго рода (точка Кюри), $n = 2, 3, 4$ – показатель влияния температуры на параметр материала.

Исследования показывают, что повышение температуры T , приводит к изменению коэффициента магнитострикции λ_T по зависимости [2]:

$$\lambda_T = \pm \lambda \sqrt{1 - \frac{T}{T_c}}, \quad (5)$$

а магнитная проницаемость μ_T материала магнитострикционного звукопровода МПП изменяется в соответствии с выражением [2]:

$$\mu_T = \mu \cdot 3 \sqrt{1 - \frac{T}{T_c}}. \quad (6)$$

Результаты моделирования (5) и (6) для различных магнитострикционных материалов звукопровода МПП приведены на рис. 2.

Еще одним фактором, влияющим на коэффициент магнитострикции λ материала магнитострикционного звукопровода МПП, является гистерезис магнитострикции, возникающий при наличии продольного магнитного поля постоянного магнита в зоне магнитоупругого преобразования. При этом коэффициент магнитострикции λ меняется в зависимости от напряженности $H_{o.p.}$ продольного поля согласно известному выражению [2]

$$\lambda_H = |\lambda| \left[\frac{k_c}{H_c} \cdot \frac{(H_{o.p.} - H_c)^2}{K_H + (H_{o.p.} - H_c)^2} \right], \quad (7)$$

где k_c – коэффициент коэрцитивности, K_H – коэффициент напряженности магнитного поля, H_c – коэрцитивная сила ферромагнетика.

Для учета совместного влияния рассмотренных дестабилизирующих факторов, воспользовавшись выражениями (2 - 7), окончательно запишем:

$$\mu_{P_n, T} = \mu(1 - k_{P_n}) \sqrt{1 - \frac{T}{T_c}}, \quad (8)$$

$$\lambda_{P_n, T, H} = \lambda_H (1 + k_{P_n}) \sqrt{1 - \frac{T}{T_c}}. \quad (9)$$

Модели выражений (8), (9) для сплава Ю14 приведены на рис. 3.

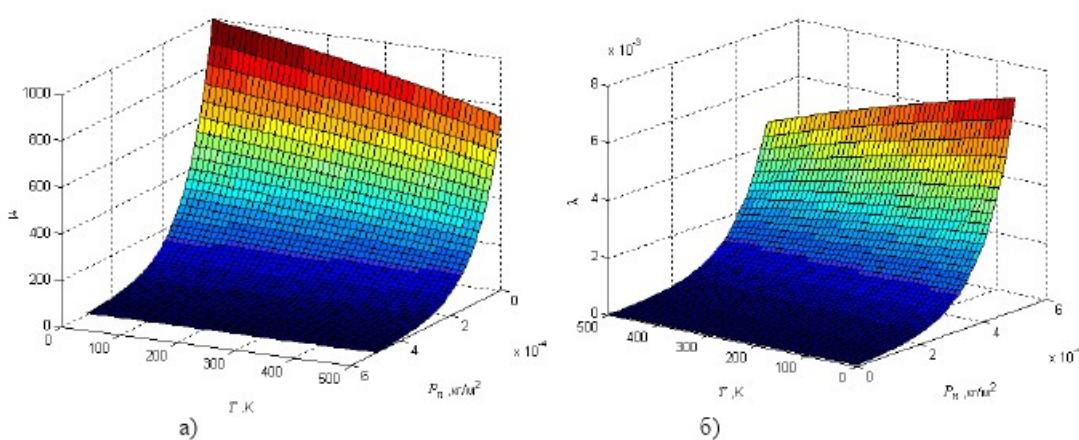


Рис. 3. Совместное влияние температуры T и растягивающих усилий P_n на магнитную проницаемость μ (а) и коэффициент магнитострикции λ (б)

Как было показано в ряде работ [2, 3], влияние отмеченных внешних дестабилизирующих факторов среды на электрические параметры магнитострикционного звукопровода МПП, является не-значительным и при моделировании им можно пренебречь.

В результате, под действием геликоидального магнитного поля в среде магнитострикционного звукопровода МПП формируются УЗВ кручения, распространяемые в обе стороны от места прямого магнитострикционного преобразования.

Таким образом, проведенное моделирование показывает, что изменение температуры T и наличие растягивающих усилий P_n в значительной степени влияют на основные характеристики МПП на УЗВ кручения. При этом увеличение упругих напряжений P_x , можно использовать в качестве температурной компенсации, для поддержания значения коэффициента магнитострикции λ в рабочем диапазоне и тем самым расширить температурный диапазон данного вида преобразователей перемещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпухин Э.В. Моделирование магнитных полей магнитострикционных преобразователей перемещений/ Э.В. Карпухин, С.Б. Демин, А.А. Воронцов, Н.А. Ермолаев// Наука и образование - 2011: Сб. статей международной НТК. – Мурманск: МГТУ, 2011. – С.85-91.
2. Демин С.Б. Магнитострикционные системы для автоматизации технологического оборудования: Монография. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2002. – 182 с.
3. Надеев А.И. Математическая модель прохождения магнитострикционного импульса по цилиндрическому звукопроводу/А.И. Надеев, А.И. Мащенко, И.П. Мащенко// Сборник научных трудов АГТУ. Серия «Морская техника и технология». – Астрахань: АГТУ, 2000. – С.150-155.

□Авторы статьи:

Карпухин
Эдуард Владимирович ,
аспирант Пензенской
государственной техно-
логической академии,
тел. (8412)49-62-97.
Email: edvar1@rambler.ru

Демин
Станислав Борисович,
докт. техн. наук, профессор
(Пензенская государствен-
ная технологическая
академия),
тел. (8412)49-62-97.

Дятков
Владимир Станиславович,
доцент (Пензенская государ-
ственная технологическая
академия),
тел. (8412)49-62-97.

Дюдюкин
Алексей Алексеевич,
канд. техн. наук, доцент
(Пензенский госуд. уни-
верситет архитектуры и
строительства),
тел. (8412)49-62-97.