

ДИНАМИКА ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕКТА ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ И ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ЗАГОТОВКИ

У статті розглянуто динаміку деформації циліндричної трубки під впливом дії на неї магнітного поля з урахуванням пластичності матеріалу та температурної дії.

В статье рассмотрена динамика деформации цилиндрической трубки при воздействии на неё магнитного поля с учетом пластичности материала и температурного воздействия.

В [1] рассмотрены вопросы, связанные с деформацией алюминиевой трубки в процессе магнитно-импульсной обработки материала. Там же показано, что механические напряжения, возникающие в заготовке, значительно превышают предел упругости материала. Так же в [1] показано, что тепловая мощность, выделяемая в заготовке, значительна. В этой связи возникают вопросы:

1) Как на деформацию влияет нагрев заготовки вихревыми токами?

2) В какой мере учет пластичности материала влияет на деформацию заготовки?

Ответы на поставленные вопросы и являются целью данной статьи, в процессе написания которой были решены следующие задачи: проведен расчет температуры нагрева заготовки вихревыми токами в процессе разряда накопителя энергии на индуктор; решена мультифизическая задача пластической деформации заготовки под действием электромагнитных сил с учетом температуры нагрева.

Расчетная модель показана на рис. 1 и подробно описана в [1].



Рис. 1. Расчетная модель

Для решения первой задачи, уравнения электромагнитного поля в заготовке были дополнены уравнением теплопроводности [4]:

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial t} - \nabla \cdot (\kappa \cdot \nabla \vartheta) = Q, \quad (1)$$

где c – теплоёмкость; ρ – плотность; κ – теплопроводность; ϑ – температура; Q – объёмные источники тепла.

Расчет проводился до момента времени 0,9 мс, исходя условия достижения заготовкой максимума деформации. В связи с кратковременностью нагрева на границах области были заданы условия термоизоляции.

На рис. 2 приведено распределение температуры по толщине заготовки (2 мм) на оси симметрии (наиболее нагретая зона). Как следует из рис. 2, температура нагрева за расчетное время достигает значения 130 °С. Максимум температуры находится на наруж-

ной поверхности заготовки.

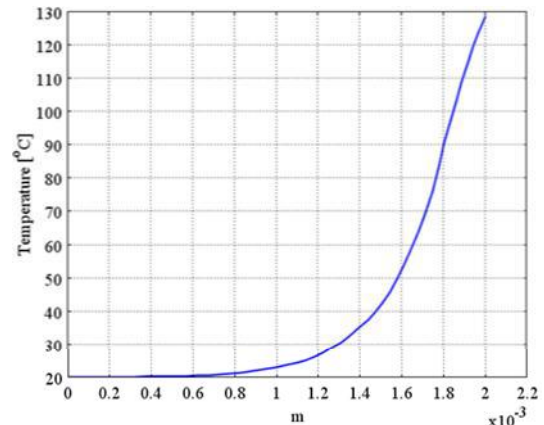


Рис. 2. Распределение максимальной температуры по толщине заготовки в конечный момент расчетного времени

Следовательно, для рассматриваемой задачи за расчетное время температура не может существенно повлиять на значения деформации в заготовке, так как снижение прочностных характеристик происходит при более высоких температурах и более обширных объёмах нагрева.

Для решения второй задачи необходимо знать функциональную зависимость модуля упругости в случае упругих и упругопластических деформаций. В таких случаях для расчета широко применяется упрощенная диаграмма зависимости между механическим напряжением и относительной деформацией. Большинство материалов отвечает билинейная диаграмма, показанная на рис. 3.

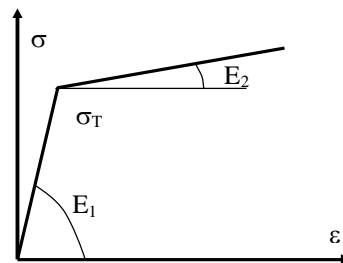


Рис. 3. Упрощенная диаграмма деформаций

В упрощенной диаграмме рис. 3: E_1 – модуль Юнга в области упругих деформаций, равный $70 \cdot 10^9$ Н/м²; E_2 – модуль Юнга в области упругопластических деформаций, равный $7 \cdot 10^9$ Н/м²; σ_T – предел текучести материала, равный $2 \cdot 10^8$ Н/м².

Расчеты проводились для мультифизической зада-

чи с учетом уравнений: электромагнитного поля [2], теории упругости [3], теплопроводности [4], электрической цепи разрядного конденсатора. На рис. 4 показаны характерные расчетные точки поверхности заготовки, а на рис. 5 показано распределение напряжений в заготовке и ее деформация при трехкратном увеличении.

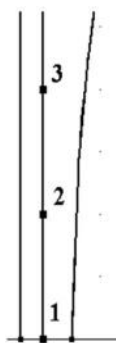


Рис. 4. Расчетные точки на поверхности заготовки

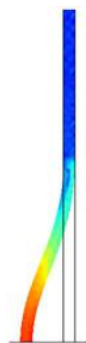


Рис. 5. Напряжения и деформации в заготовке

На рис. 6 показана временная зависимость нарастания температур точек, расположенных на поверхности заготовки (рис. 4).

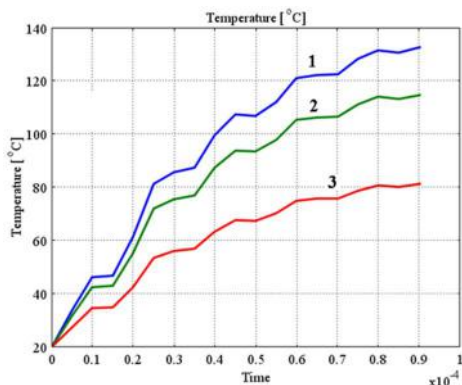


Рис. 6. Временная зависимость температуры на поверхности заготовки

Максимальная температура наблюдается на оси симметрии алюминиевой заготовки (т.1).

На рис. 7 показана радиальная деформация, которую претерпевают точки на поверхности заготовки (рис. 4). Необходимо отметить, что смещение точек с учетом упругопластической деформации существенно больше чисто упругой деформации (примерно в три раза). На рис. 8 показаны скорости деформации характерных точек заготовки в соответствии с рис. 4.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. За время деформации заготовки температура нагрева не достигает значений, которые могут существенно повлиять на прочностные характеристики деформируемого материала.

2. Для расчета деформаций заготовки необходимо учитывать упругопластические деформации.

3. Одной из проблем точного расчета деформаций является определение динамических модулей упругости, соответствующим скоростям деформации несколько десятков метров в секунду.

4. Так как динамическая и статическая диаграммы растяжения материала неодинаковы, то остаётся открытым вопрос о значении напряжений, при которых

происходит разрушение заготовки, значения которых можно получить только экспериментальным путем.

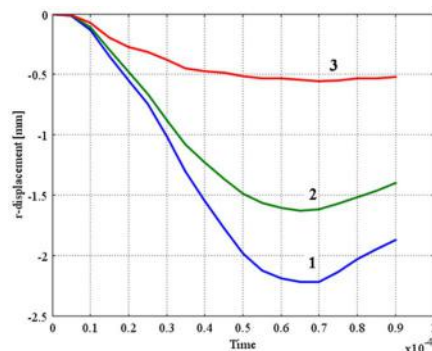


Рис. 7. Радиальная деформация поверхности заготовки

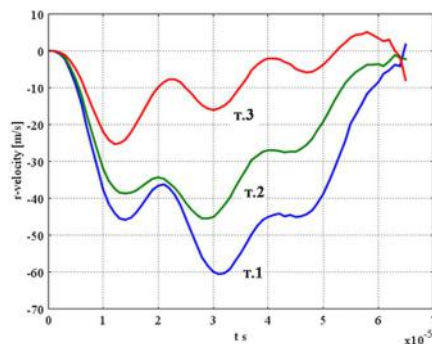


Рис. 8. Скорость деформации характерных точек заготовки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байда Е.И. Динамика деформации объекта при магнитно-импульсной обработке материала // *Электротехника і електромеханіка*. – 2010. – № 6. – С. 56-59.
2. Рамо С., Уиннери Д. Поля и волны в современной радиотехнике. – М.-Л.-д.:ОГИЗ. Главная редакция технико-теоретической литературы, 1948. – 631 с.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ. / Под ред. Шапиро Г.С. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 560 с.
4. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.-Л.-д.: Государственное энергетическое издательство, 1956. – 392 с.

Bibliography (transliterated): 1. Bajda E.I. Dinamika deformacij ob'ekta pri magnitno-impul'snoj obrabotke materiala // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2010. - № 6. - S. 56-59. 2. Ramo S., Uinneri D. Polya i volny v sovremennoj radiotekhnike. - M.-L.-d.:OGIZ. Glavnaya redakciya tehniko-teoreticheskoy literatury, 1948. - 631 s. 3. Timoshenko S.P., Gud'er Dzh. Teoriya uprugosti: Per. s angl. / Pod red. Shapiro G.S. - M.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1979. - 560 s. 4. Miheev M.A. Osnovy teploperedachi. - M.-L.-d.: Gosudarstvennoe `energeticheskoe izdatel'stvo, 1956. - 392 s.

Поступила 27.01.2011

Байда Евгений Иванович, к.т.н., доц.
Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт"
кафедра "Электрические аппараты"
61002, Харьков, ул. Фрунзе 21
тел. (057) 707-69-76, e-mail: baida@kpi.kharkov.ua

Bayda E.I.
Object deformation dynamics under magnetic-pulse treatment of material with allowance for the workpiece plastic strain and heating temperature.

In the article, the dynamics of cylindrical tube deformation is considered under magnetic field action taking into account plastic strain and heating temperature of the workpiece.

Key words – magnetic-pulse treatment, electromagnetic force and pressure, deformation.