

Aplikácia solenoidu pri magnetickom tvárnení

Ján Moravec, doc. Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2764

Application of solenoid in magnetic forming

Abstract: In the contribution, the theoretical part points out the known starting points for calculating the inductance of a long cylindrical coil. In the practical part, the method of application of magnetic forming in the production of tins in lead samples is presented. The results confirm the correctness of the hypothesis.

Keywords: solenoid, samples, forming.

ÚVOD

Cieľom príspevku je poukázať na rozličné okolnosti a danosti vstupujúce do výpočtov indukčnosti dlhej valcovej cievky - solenoidu so závitmi navinutými tesne pri sebe. V monografii [1] som sa na stranách 33 až 36 venoval problematike stanovenia magnetickej intenzity na osi jednovrstvovej cievky. V ďalšom texte bude prebraný problém výpočtu indukčnosti takejto cievky.

1 TEORETICKÉ POZNATKY

Približný výpočet indukčnosti dlhej valcovej cievky, ktorá má závitov tesne pri sebe.

Pre silu magnetického poľa vo veľmi dlhej cievke bolo odvodené [1-6]:

$$F_m \doteq \frac{z \cdot I}{l}. \quad (1)$$

Indukcia je:

$$B = \mu_o \cdot F_m = \mu_o \cdot \frac{z \cdot I}{l}. \quad (2)$$

Pre magnetický tok vychádza:

$$\phi = B \cdot S = \mu_o \cdot \frac{z \cdot I}{l} \cdot F, \quad (3)$$

Indukčnosť:

$$L = \frac{\psi}{I} = \frac{z \cdot \phi}{I} = \frac{\mu \cdot z^2 \cdot S}{l}. \quad (4)$$

Pre vzduch je:

$$\mu_o = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}. \quad (5)$$

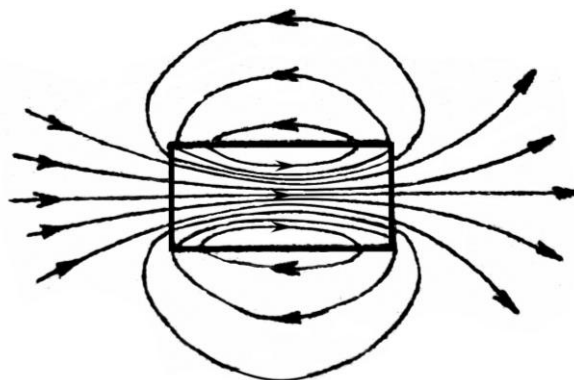
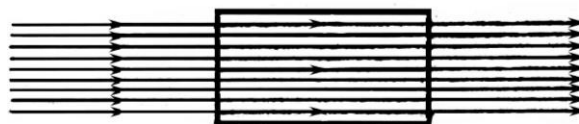
Takže napokon:

$$L = \frac{1,256 \cdot z^2 \cdot F}{l} \cdot 10^{-6} \left[\text{m}^2, \text{m}, \text{H} \right], \quad (6)$$

Nepresnosť výpočtu spočíva v tom, že sila magnetického poľa H , stanovená podľa uvedeného vzťahu neplatí celkom presne pre celý vnútorný priestor cievky [7-9]. Podobne neplatí presne ani výpočet celkového magnetického toku podľa bežného vzorca:

$$\oint = B \cdot S. \quad (8)$$

Názorne je to uvedené na obr.1 hore, kde je naznačený predpokladaný tvar poľa, zatiaľ čo skutočný tvar je na obr. 1 dolu.



Obr. 1. Tvar magnetického poľa

Presnejší výpočet ponúka vzorec:

$$L = \frac{1,256 \cdot z^2 \cdot F}{l} \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot R}{3 \cdot \pi \cdot l} + \frac{R^2}{2 \cdot l \cdot \xi} \right) 10^{-6}, \quad (7)$$

$$\frac{l}{\xi} = 1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{4} \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi \cdot \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2} + \frac{15}{16} \cdot \sin \varphi + \dots \right) \quad (8)$$

$$\sin \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + l^2}}$$

1.1 Aplikácia

Dané: $z = 606$, $R = 0,0854$ m, $l = 0,834$ m.

Indukčnosť vypočítaná podľa jednoduchého vzorca bude: $L = 12,68$ m·H. Pri použití presnejšieho vzťahu je: $L = 11,59$ m·H. Rozdiel je 8,6 %. Otázka je, prečo je potrebné sa zapodievať takýmito údajmi. Odpoveď dáva presne to isté, čo už *S. Mikovíni* povedal pred 300 rokmi. Prosím o pozretie citátu na začiatku tohto čísla *Technológa*.

2 EXPERIMENT

2.1 Použitie zariadenie pre tvárnenie magnetickým rázom

Experimentálne práce boli vykonané na zariadení prezentovanom na obr. 1. Tvárnilo sa desať kusov vzoriek. Tvárnenie bolo aplikované s voľným jadrom, kedy sa tvárnili olovené vzorky hranatého tvaru s rozmermi 35x35 mm s hrúbkou 7 mm.



Obr. 1. Zariadenie pri experimentálnom tvárnení voľným jadrom

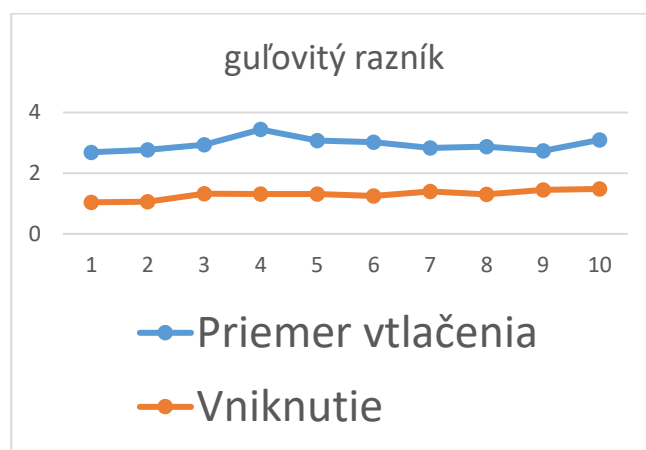
2.2 Experimentálne výsledky-vtláčanie polguľovitého razníka

Výsledky dosiahnuté pri experimentoch s aplikovaním voľného jadra (razníka) ukazujú, že takýto spôsob tvárnenia je vhodný z viacerých dôvodov. Prvým je rýchlosť procesu, kedy ide pri samotnej práci o časový úsek vyjadrený v stotínach sekúnd. V našom prípade je to 0,03 s. Druhá prednosť je z pohľadu ľahkej automatizácie pri použití tohto druhu tvárnenia. Pri analýze výsledkov z tab. 1 sa ukazuje, že ide o relatívne stabilný proces, keďže rozdiel medzi maximálnou hodnotou 3,44 mm a minimálnou hodnotou 2,69 mm je pri priemere vtláčania 0,77 mm. Rozdiel medzi maximálnou hodnotou 1,48 mm a minimálnou hodnotou 1,04 mm je pri parametre vniknutia 0,44 mm. Hodnoty sú pre

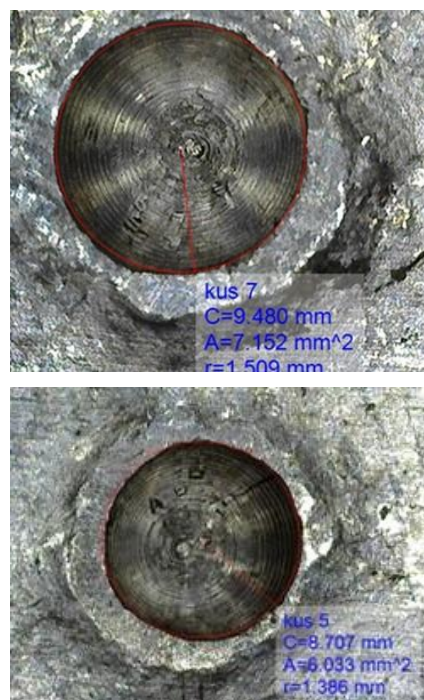
tento úsek vyrovnané a stabilné. Vzorky boli merané na zariadení *Dino-Lite*.

Tab. 1. Výsledky experimentov guľovitý razník

Číslo vzorky	Priemer vtláčania [mm]	Vniknutie [mm]
1	2,69	1,04
2	2,77	1,06
3	2,94	1,32
4	3,44	1,31
5	3,08	1,31
6	3,02	1,25
7	2,83	1,40
8	2,88	1,30
9	2,74	1,45
10	3,10	1,48



Obr. 2. Graf podľa tab. 1



Obr. 3. Dutiny vo vzorkách pri meraní na prístroji *Dino-Lite*

Tvárnenie v oblasti objemového spektra je možné a ukazuje sa ako produktívne a takisto schodné pri vytváraní dutín a vtlačkov, reliéfov a úpravy povrchov. Olovené vzorky celkom vhodne poslúžili ako modelový materiál pre túto oblasť a základe dosiahnutých výsledkov sa dá usudzovať, že riešenie je vhodné pre priemyselné využitie pri použití výkonnejších zariadení [10].

3 DISKUSIA

1. Prienik (vtlačenie) bolo dosiahnuté pri veľkom zrýchlení razníka a tiež jeho vplyv tu má, samozrejme, jeho geometrický tvar. Opísané experimenty jasne ukazujú, že aplikácia magnetického impulzu je vhodná na tvorbu dutín.
2. Tvárnenie v oblasti objemového spektra je možné a ukazuje sa ako produktívne a tiež realizovateľné pri vytváraní dutín. Dôležité je spomenúť aj ekologickú stránku procesu. Potrebná elektrická energia dodávaná do zariadenia môže byť aj z alternatívneho zdroja a pracovisko nezaťažuje životné prostredie ako napr. v prípade použitia klasického tvárniaceho stroja a celokovových tvárniacich nástrojov.

ZÁVER

V príspevku bola pozornosť zameraná na využitie magnetických javov v technológii výroby dutín vo vzorkách. Ciele experimentov možno hodnotiť ako dosiahnuté a splnené. Publikované zariadenie zabezpečilo vykonávanie experimentov na tvorbe dutín vo vzorkách. Laboratórne experimentálne riešenie ukázalo spôsob, akým sa dajú fyzikálne poznatky pohodlne aplikovať v priemyselnej výrobe. Potvrdilo sa, že pomerne jednoduché riešenie s aplikáciou magnetického poľa zabezpečí presné, rýchle a kvalitné vytváranie dutín v kovových materiáloch. Získané výsledky potvrdili aj vhodnosť tohto riešenia pre aplikáciu vo výrobnom procese. Vytváranie dutín je jednou z najvýznamnejších prác pri výrobe, napr. dutinových nástrojov. Realizácia

tohto druhu práce v sebe spája niekoľko výhod: rýchlosť výroby, presnosť, veľmi dobrá výsledná kvalita dutín a tiež dobrá reprodukovateľnosť výsledkov. Popísané riešenie dopĺňa a zároveň rozširuje sféru objemového tvarovania. Možno dodať, že práca s voľným jadrom je jednoduchá a spoľahlivá. Publikované výsledky budú určite dobrým základom pre ďalšiu výskumnú prácu v tejto oblasti.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 022ŽU4/2021 Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR.

LITERATÚRA

- [1] MORAVEC, J. (2023): *Aplikácie magnetického rázu v tvárnení*. ŽU Žilina, ISBN 978-80-554-1064-0.
- [2] FEYNMAN, R. P. (1988): *Feynmanove prednášky z Fyziky 3*. ALFA Bratislava
- [3] HAJKO, V. - POTOCKÝ, L. - ZENTKO, A. (1982): *Magnetizačné procesy*. ALFA Bratislava.
- [4] KOLÁČEK, P. (1904): *Elektřina a magnetismus*. Praha.
- [5] TIRPÁK, A. (1999): *Elektromagnetismus*, Polygrafia SAV Bratislava, ISBN 80-88780-26-8.
- [6] KNEPP, L. (1988): *Magnetické pole*, SVŠT Bratislava.
- [7] KRISTENSSON, G. (2017): *Scatering of Electromagnetics waves by Obstacles*. University Lund, Sweden, 760 pp, ISBN 978-1-613353-8.
- [8] FUKA, B. - HAVELKA, J. (1978): *Elektromagnetické pole*, SPN Praha, 522 strán.
- [9] KUBRYCHT, J. (1974): *Magnetismus a elektromagnetismus*. SNTL Praha.
- [10] MORAVEC, J. (2016): *Magnetic Field Application in Area of Sheet Metal Forming*. In: 25th Anniversary International Conference on Metallurgy and materials, May 25th -27th, Brno, p, 303-310, ISSN 978-80-87294-67-3.