

Príspevok k optimalizácii magnetizácie pri defektoskopickej kontrole ocelových lán

Stanislav Kropuch,¹ Pavel Peterka², Jozef Krešák,² Ján Vuľcha,²

The optimization of magnetization by the defectoscopic tests of the steel ropes

Article deals with methods of measurement of magnetic properties of steel wire. On the base of performed measurements mathematics model of magnetic process in steel wire was constructed. In the conclusion article is oriented on optimization of magnetization processes by the defectoscopic tests of the steel wires dependent on the velocity of steel wire during defectoscopic test in order to gain the maximum of the sensor head during tests. The results of the tests can be used for magnetization correction of the steel wires, during the defectoscopic control.

Key words : steel wire, optimization, magnetization, defectoscopic test.

Úvod

V súčasnej dobe, keď sa znižujú zásoby nerastných surovín je nevyhnutne potrebné zefektívňovať ich získavanie. Pred samotnou ťažbou je však potrebné ložisko pre ťažbu sprístupniť. V prípade ropy a jej príbuzných látok znamená sprístupnenie ložiska jeho navŕtanie. Pre tento účel sú v prevádzke vrtné súpravy. Bezpečnosť práce vrtných súprav je veľmi dôležitá ako z hľadiska ekonomického, tak aj ekologického, o možných úrazoch zamestnancov ani nehovoriac.

Jedným z najdôležitejších prvkov vrtnej sústavy je jej ťažný prvok – ocelové lano. Pre zvýšenie bezpečnosti práce lán je často využívaná defektoskopická kontrola, ktorá má tú výhodu, že zisťuje skutočný stav lana v prevádzke.

Opodstatnenosť defektoskopických kontrol potvrdzuje aj fakt, že pri kontrole kladkostrojových lán na vrtných súpravách v rokoch 1994-96 bolo vyradených z prevádzky 21,7 % lán [3] a v rokoch 1997 - 99 až 22,7 % lán [4].

Predložený príspevok sa zaoberá defektoskopickými kontrolami ocelových lán v prevádzke. Jedným z cieľov príspevku je zvýšenie úrovne kontrol určením magnetických materiálových parametrov ocelových lán. Stanovenie materiálových parametrov ocelových lán je nevyhnutný krok pre možnosť matematického modelovania magnetizačných procesov pri defektoskopickej kontrole ocelových lán. Doposiaľ sa, podľa našich informácií, komplexným výskumom magnetických materiálových parametrov ocelových lán nezaoberala žiadna dostupná práca. Realizované merania umožňujú nastavenie optimálneho pracovného bodu defektoskopického prístroja, a tým skvalitňujú diagnostiku ocelových lán.

Meranie vlastností feromagnetických materiálov

V súčasnosti doposiaľ chýba širšie preskúmanie magnetických vlastností konštrukčných materiálov v strojárstve. Z dôvodu rýchleho rozvoja a stále širšieho uplatňovania metód nedeštruktívnych kontrol konštrukčných materiálov v praxi, je preto nutné podrobnejšie poznanie ich magnetických vlastností.

Metódy merania

Magnetické vlastnosti a charakteristiky feromagnetických materiálov je možné zisťovať *striedavou, resp. jednosmernou magnetizáciou*

Pri zisťovaní základných charakteristík feromagnetických látok (magnetická hysterézia, diferenciálna permeabilita, krivka prvotnej magnetizácie), je nutné merať magnetickú indukciu B vo feromagnetiku a k tomu príslušnú intenzitu magnetického poľa H. Obe tieto veličiny je nutné merať nepriamymi metódami. Do samotnej vzorky nie je možné bez jej porušenia vložiť meraciu sondu.

Jednosmerná magnetizácia vzniká v prípade, ak sa intenzita magnetického poľa nemení, alebo sa mení pomaly. Metódy stanovenia charakteristík magneticky mäkkých a tvrdých materiálov pri jednosmernej magnetizácii sú uvedené v STN 34 5880 a STN 34 5881.

¹ Ing. S. Kropuch, PhD., TU v Košiciach, F BERG, Katedra logistiky a výrobných systémov, Park Komenského 14, 043 84 Košice,

² Ing. P. Peterka, PhD., Ing. J. Krešák, PhD. a Ing. J. Vuľcha, TU v Košiciach, F BERG, Katedra ropného inžinierstva, Park Komenského 14, 043 84 Košice (Recenzované 10.7.2002)

Striedavá magnetizácia vzniká je v prípade, že tok feromagnetikom sa periodicky mení s vyššou frekvenciou ako 10 Hz. Môže byť dvojakého druhu, a to magnetizácia bez alebo s jednosmernou predmagnetizáciou. Pri predmagnetizácii jednosmerným poľom sa pracovný bod feromagnetika posúva po krivke prvotnej magnetizácie z počiatku do určitého bodu. Ak sa k tomu pridá striedavá zložka magnetizácie, bude pracovný bod obiehať po dynamicknej hysteréznej krivke s jedným jej vrcholom na komutačnej krivke, ktorá sa len málo líši od krivky prvotnej magnetizácie. Magnetizačné charakteristiky pri striedavej magnetizácii sú závislé na frekvencii magnetizácie a intenzite magnetického poľa. Pre porovnatelnosť meraní sa najčastejšie volí sinusový priebeh magnetizačnej intenzity. Priebeh magnetickej indukcie je v tomto prípade závislý **od permeability materiálu, ktorá nie je u feromagnetických materiálov konštantná**

Výber vzoriek

Na výskum magnetických vlastností lán bolo vybraných 13 vzoriek lanových drôtov. Pri výbere vzoriek na meranie bolo rešpektované, aby výber zahŕňal: používané pevnostné triedy drôtov oceľových lán, laná nové, skúšané skúšobňou pred naložením na ťažné, resp. dopravné zariadenie, laná naložené na banských ťažných zariadeniach a zariadeniach pre dopravu osôb.

Prehľad vybraných drôtov je uvedený v tabuľke 1. Dôraz pri výbere lán bol kladený aj na možnosť porovnania magnetických vlastností nových a používaných oceľových lán. Zároveň boli vybrané aj laná používané pre najčastejšie sa vyskytujúce zariadenia, ako sú ťažné zariadenia, sedačkové lanovky, lyžiarske vleky, ale aj vrtné súpravy. V technickej praxi sú známe orientačné hodnoty hlavných magnetických vlastností, napr. konštrukčných, uhlíkatých ocelí a valcovaného materiálu. Výber vzoriek bol volený tak, aby aspoň čiastočne pokryl oblasť magnetických vlastností lán pre potreby ďalšieho výskumu a praktickej magnetickej defektoskopie. Uvedený výskum prispieje aj k ďalšiemu pokroku pri matematickom modelovaní v tejto oblasti. Výsledky poslúžia pre nastavenie optimálnych parametrov pracovného bodu snímačej hlavy magnetickej defektoskopov.

Merania boli vykonané na meracej aparatúre, ktorá pozostávala zo zdroja jednosmerného prúdu, generátora, zosilňovača, budiacej cievky - valcového solenoidu, v ktorom boli umiestnené dve meracie valcové cievky, A/D prevodníka a počítača. Pre zabezpečenie dostatočne presných meraní priebehu dynamických hysteréznych slučiek bola pri meraniach volená vzorkovacia frekvencia 10 kHz a počet meraných bodov minimálne 10 000 pre každú slučku pri meraniach od 5 Hz do 40 Hz s krokom 5Hz. Pri meraniach s frekvenciami 5 a 10 Hz bolo nutné zvýšiť počet meraných bodov na 16 000. Počas merania bolo budiace napätie U_b , na budiacej cievke udržiavané na hodnote 600 mV. Pri meraní priebehu diferenciálnej permeability $\mu_{rel,dif}$ bola hysterézná slučka pri frekvencii 40 Hz meraná pri maximálne možnej hodnote napätia $U_b = 600$ mV. S klesajúcou frekvenciou sa hodnota budiaceho napätia znižovala tak, aby hodnota intenzity magnetického poľa H , t.j. U_H zostala konštantná.

Vyhodnotenie meraných vzoriek

Aby výsledky meraní boli použiteľné a mohli slúžiť ako základ pre analýzu magnetických vlastností oceľových lán pre potreby defektoskopických kontrol, bolo nutné spracovať čo najväčší počet meraní. Celkovo bolo vyhodnotených 624 meraní na 39-tich drôtoch.

Pre vyhodnotenie bol použitý matematický model, ktorý popisuje priebeh indukcie B u magnetických hysteréznych slučiek a priebeh relatívnej diferenciálnej permeability v závislosti od intenzity budiaceho poľa H .

Tab.1 Merané vzorky oceľových lán.

Tab.1 Measured samples of wire ropes.

Porad. číslo	Evidenčné číslo lana	Norma	Pevnosť drôtu podľa HA, alebo nameraná - *	Priemer (rozmer) lana	Priemer drôtu	Poznámka	Naložené
P.č.	Sklad	STN	σ (MPa)	D (mm)	δ (mm)		
1	38/95	024380.04	1080	97 x 18	1,70	Používané	T
2	37/95	024380.04	1080	122 x 22	2,12	nové	T
3	8/00	024320.67	1960	16	1,60	nové	LV
4	42/97	024361.58	1770	25	1,50	Krútený drôt	T
5	42/97	024361.58	1770	25	1,50	nové	T
6	52/99	024361.58	1770	25	1,50	2 roky v prevádzke	T
7	47/95	024355.25	1270	22,4	1,80	nové	VS
8	1.95	024362.57	*1785-1889	50	1,90	Používané	T
9	15/95	024362.25	1370	31,5	1,18	nové	SL
10	16/95	024363.47	*1812-1851	22,4	1,60	Používané	VS
11	29/95	024365.54	*1824-1856	47,5	1,80	Používané	T
12	28/95	024362.54	*1824-1875	47,5	1,80	nové	T

13	40/95	024362.37	1570	30	1,80	Používané	T
----	-------	-----------	------	----	------	-----------	---

HA-hutný atest oceľového lana,* nameraná pevnosť drôtov T ťažné zariadenie, LV lyžiarsky vlek, SL-sedačková lanovka, VS- vrtná súprava

Pre účely regresnej analýzy magnetických hysteréznych slučiek a matematického modelovania ich priebehu bolo navrhnuté použitie účelovej funkcie podľa metódy najmenších štvorcov v tvare:

$$Y=A\arctg(B+Cx+Dx^2)+Ex \quad (1)$$

kde:

A, B, C, D , - sú koeficienty rovnice regresnej závislosti,

x - budiaci napätie na budiacej cievke solenoidu - U_b -odpovedá intenzite H magnetického poľa,

y - napätie na meracej cievke solenoidu - U_{mo} -odpovedá magnetickej indukčii B u hysteréznej slučky.

Vypočítané hodnoty koeficientov boli zostavené do tabuliek. Pre ukážku je znázornená časť tabuľky vypočítaných hodnôt.

Tab.2 Vypočítané koeficienty A-E, regresného modelu, získaného z nameraných hodnôt, štandardná odchýlka s, index korelácie K regresnej závislosti a hodnota maximálnej relatívnej diferenciálnej permeability $\mu_{r,dif}$

Tab.2 Calculated coefficient A-E of the regres model, gain values from measuring, standard divergence s, index of corellation K, of regress function and value of maximum relative differential permeability $\mu_{r,dif}$

Budiaca frekvencia	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz
Koeficient A	0,0198	0,0224	0,0244	0,0257
B	-2,2601	-2,0432	-1,8898	-1,6044
C	38,7249	33,1067	30,9559	24,7318
D	209,4890	153,0520	95,5633	101,2355
E	0,5450	0,5260	0,5071	0,4991
Štandardná odchýlka s	0,00087	0,00060	0,00044	0,00094
Index korelácie	0,999936	0,999933	0,999983	0,999925
Relatívna diferenciálna permeabilita $\mu_{r,dif}$	1575	1492	1396	1347

Pri vyhodnocovaní nameraných údajov boli použité nasledovné softwarové prostriedky:

- **Tabuľkový procesor Excel 97**

Program bol použitý pre nasledovné etapy vyhodnocovania meraní.

- Predspracovanie meraní, regresná a korelačná analýza v programe Curve expert.
- Generovanie hysteréznych slučiek, grafická derivácia regresných funkcií.
- Sumárne štatistické a grafické zhodnotenie vhodnosti použitia navrhnutého matematického modelu pri regresnej analýze.
- Sumarizácia nameraných údajov a vytvorenie databázy meraní.

- **Curve expert**

- Program je už svojím názvom určený pre prácu s funkciami a grafmi. Bol použitý na regresnú analýzu – hľadanie vhodnej závislosti nahrádzajúcej namerané hodnoty.

Zhodnotenie meraní a matematického modelu

Použitý matematický model fyzikálneho procesu magnetizácie feromagnetických materiálov s použitím rovnice (1) je možné hodnotiť ako veľmi dobrý o čom svedčia dosiahnuté korelačné koeficienty regresného modelu, ktorých stredné hodnoty sú uvedené v tabuľke č 3.

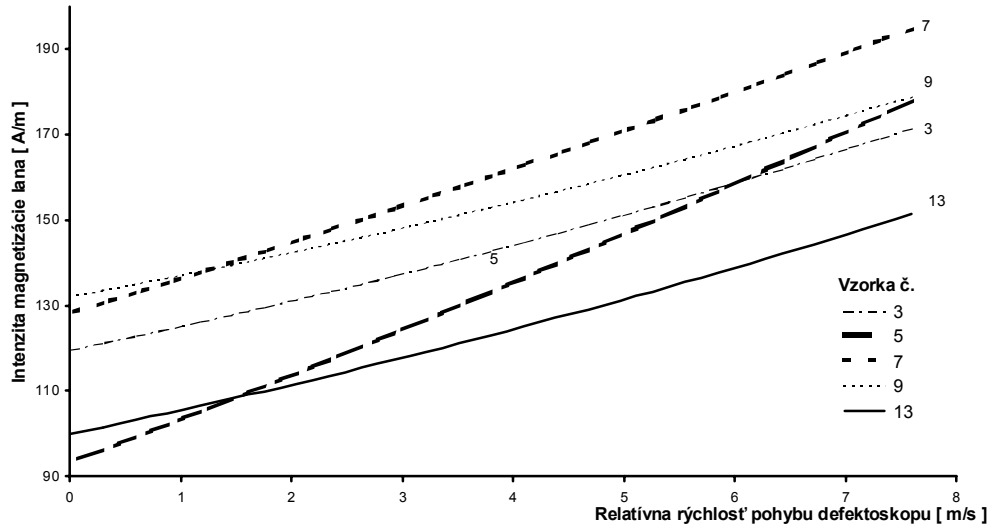
Tab.3 Rozsahy indexov korelácie pre relatívnu permeabilitu a B-H krivky.

Tab.3 Index of corellation for relative permeability and B-H curve .

Vyhodnotenie meraní	Diferenciálna permeabilita	Hysterézne slučky
Index korelácie	0,99988-0,99998	0,99943 –0,99999
K_{stred}	0,99995	0,99991

Ak uvážime, že aj jednosmerná magnetizácia sa pri vzájomnom pohybe lana a defektoskopu mení na striedavú, je potom nutné pri defektoskopických kontrolách uvažovať aj s touto skutočnosťou. Najväčší zisk signálu na snímači dosiahneme ak diferenciálna permeabilita dosahuje maximálnu hodnotu-t.j. lano je optimálne zmagnetizované. Zmenou hodnoty diferenciálnej permeability v závislosti od frekvencie magnetovania (viď. tab. 2) (resp po prepočítaní na relat. rýchlosť lana a defektoskopu) sa mení aj hodnota optimálnej intenzity magnetizačného poľa. Pri meraní je teda potrebné urobiť korekciu magnetizácie lana H pri pohybe oproti

kľudovej hodnote H_0 . Na obr. 1 je znázornená závislosť optimálnej intenzity magnetizácie lana od relatívnej rýchlosti lana a defektoskopu pre vybrané merané vzorky podľa tabuľky č.1.



Obr.1 Závislosť optimálnej magnetizácie lana na rýchlosti defektoskopu. (čísla pri krivkách značia číslo vzorky).
Fig.1 Dependence of optimal magnetization of steel wire ropes on velocity of defectoscope equipment.

Záver

Teoretické práce v oblasti základného výskumu a mapovania magnetických vlastností materiálov používaných v strojárstve a vlastností oceľových lán sú dôležité, nielen z hľadiska vývoja nových defektoskopických prístrojov pre kontrolu oceľových lán a potrubí [2], [5], ale aj z hľadiska praktického vykonávania defektoskopických kontrol v praxi.

Literatúra

- [1] Janík, M., Pištora, J., Lesňák, M.: Defektoskop oceľových lán s kontinuálnym nastavením magnetizmu. *XI. konferencia "Výskum, výroba a použitie oceľových lán," Hotel Permon, Podbanské, 2000. s. 103-107, ISBN 80-7099-592-0.*
- [2] Krešák, J., Peterka, P., Novák, L., Kováč, J.: Vývoj a výskum nových defektoskopických prístrojov na fakulte BERG, TU v Košiciach. In: *Zborník prednášok "Diagnostika strojov"- DIS 2000. na CD. Košice, s. 34-38. ISBN 80-7099-446-0.*
- [3] Kropuch, S.: Defektoskopická kontrola oceľových lán a overovanie defektoskopických prístrojov na kalibračnom stende. In: *Výskum, výroba a použitie oceľových lán. Zborník prednášok. Podbanské, 2000, s. 133-137. ISBN 80-7099-592-0.*
- [4] Peterka, P., Kropuch, S., Krešák, J.: Defektoskopické kontroly oceľových lán. In: *NDT Bulletin 4/2001, str. 32-37.*
- [5] Štroffek, E., Leško, I., Krešák, J., Budiš, J.: Defektoskopické kontroly oceľových lán v ukotvení. In: *Lavex info, roč. XXVII, 4/2000, s. 18-19.*