MAGNETIZAČNÉ PROCESY POČAS DEFEKTOSKOPICKEJ KONTROLY OCEĽOVÝCH LÁN

Kropuch S., Peterka P., Krešák J.
Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Skúšobňa oceľových lán SKTC 147, Park Komenského 14, 043 84 Košice, Slovensko, e-mail:stanislav. kropuch@tuke.sk

MAGNETISING PROCESSES DURING NONDESTRUCTIVE STEEL WIRE ROPES TESTING

Kropuch S., Peterka P., Krešák J.
Technical university of Košice, Faculty of Mining, ecology, process control and geotechnology, Testing centre for steel wire ropes, SKTC-147, Park Komenského 14, 043 84 Košice, Slovakia
e-mail:stanislav.kropuch@tuke.sk

Abstract

Steel wire ropes are because of their working properties very often used in the industries as mining, engineering , building or power engineering as well as in the personal transport or as anchoring and hoisting ropes in the ship transport. During the life of the steel wire rope it is exposed to different negative forces [3]. Because of these forces the working environment in which the rope is used is very rough. From the reliability point of view rope must be one of the safest parts of the equipment. From the operating point of view very high requirements are imposed on ropes, besides their high safety also the possibility of their testing in the operation.

Nondestructive testing of the ropes, mainly magnetic nondestructive methods of tests can contribute to the high quality ropes testing during the life of the rope.

Nondestructive testing of the steel wire ropes used on drilling rigs, mining hoisting equipment, cable railways and cranes is very important from the safety point of view of this equipment. The article is dealing with magnetising processes of the ropes during their nondestructive testing. In order to determine optimal magnetising it is necessary to know the maximum value of the measured rope differential permeability in which neighbourhood the maximal signal during the nondestructive testing at the sensor can be found. So far the magnetic properties of the steel wire ropes can be found only in the technical papers. For this reason we have performed 624 measurements of the steel wire ropes in our laboratory. The results were stored in the database in the form of mathematic-physical model for steel wire ropes magnetic properties. The database is the basis for the determination of the steel wire ropes optimum magnetising during nondestructive tests.

13 types of ropes were used for the primary research on magnetic properties. By sample selection it was respected that the selection included different strength classes of steel wire ropes, new ropes tested before their loading on the hoisting or transport equipment, the ropes loaded on the mining hoisting equipment and on the equipment used for personnel transport. The ropes summary is shown in the table 1. It was emphasised to have possibility to compare magnetic properties of new and used steel wire ropes. At the same time the ropes used in the most often equipment as the hoisting equipment, ski lifts, cable ways and drilling rigs were

selected. In the literature are published the approximate values of magnetic properties for structural steel, cylindrical material but the values for the field of steel wire ropes are missing. The selection was chosen in order to at least partially covered the field of steel wire ropes for the needs of the next research and practical magnetic defectoscopy. Measured magnetic material parameters are used as a basis for mathematical modelling of magnetising processes and for the development of the equipment used in the steel wire ropes testing at the same time.Used mathematical model of the physical process of ferromagnetic materials magnetising expressed in the equation (4) can be evaluated as very good as the results of the acquired correlation coefficient of the regress model in the range 0,99943-0,99999 reflect. The created physical-mathematical models of the hysteresis loops and the behaviour of the differential permeability preserve with the sufficient accuracy the behaviour of the magnetic parameters (B-H a μ-H) of the measured ropes by the necessity to store the minimum amount of data. For the magnetising parameters behaviour (B-H and μ-H) plot it is only necessary to input in the computer programme Excel appropriate coefficients A-E and $H_{max.}$ (Tab.2) and the it is possible to plot the requested behaviour of the hysteresis loops or the behaviour of the differential permeability for the steel wire rope.Database of the measurements is available for the determination of the steel wire rope magnetising optimum intensity and the settings of the optimal working point of the defectoscopic equipment. It was confirmed by measurements that the magnetic properties of the steel wire ropes are approaching to the properties of the steel sheets in the direction of their rolling. By the change of the maximal differential permeability depending on the magnetising frequency (after adjusting to the relative velocity of the rope and the defectoscopic equipment) the value of the optimum magnetising intensity is changing . That means that by testing it is necessary to make corrections of the steel wire rope magnetising H with taking into the account its relative velocity to the idle value H_o.

Keywords: steel wire ropes, diagnostics, optimal magnetising

Abstrakt

Oceľové laná sú pre svoje úžitkové vlastnosti používané od baníctva cez strojárstvo, hutníctvo, stavebníctvo, energetiku, miestnu a rekreačnú dopravu osôb a ako kotviace a ťažné laná v lodnej doprave. Počas prevádzky na laná pôsobia rôzne negatívne vplyvy Z uvedeného dôvodu prevádzkové podmienky lana sú vo väčšine prípadov ich použitia veľmi ťažké. Z hľadiska spoľahlivosti musia byť jedným z najbezpečnejších prvkov strojných zariadení. Z prevádzkového hľadiska sú na oceľové laná kladené vysoké požiadavky, a to okrem ich vysokej bezpečnosti aj možnosť ich kvalitnej kontroly v prevádzke.

Práve v oblasti kvalitnej kontroly môže pomôcť bezdemontážna diagnostika a hlavne magnetické metódy ich kontroly v prevádzke. Defektoskopická kontrola oceľových lán vrtných súprav, banských ťažných zariadení, lanových dráh a žeriavov je veľmi dôležitá z hľadiska bezpečnosti prevádzky týchto dopravných zariadení. Príspevok sa zaoberá magnetovacími procesmi lán počas ich magnetickej defektoskopickej kontroly v prevádzke. Pre určenie optimálneho magnetovania počas kontrol je dôležité poznať maximálnu hodnotu diferenciálnej permeablity meraného lana, v okolí ktorej dostaneme maximálny zisk signálu na snímači porúch u defektoskopu počas kontroly. Doposiaľ z literatúry nám nie sú známe magnetické vlastnosti oceľových lán. Z uvedeného dôvodu sme na pracovisku vykonali 624 meraní na

drôtoch oceľových lán a výsledky boli uložené v databáze, vo forme matematicko – fyzikálneho modelu magnetických vlastností oceľových lán.

Pre prvotný výskum magnetických vlastností bolo použitých 13 druhov lán. 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 lán je uvedený v tabuľke 1. Dôraz pri výbere lán bol kladený na možnosť porovnania magnetických vlastností nových a používaných oceľových lán. Zároveň boli vybraté aj laná používané pre najčastejšie sa vyskytujúce zariadenia, ako sú ťažné zariadenia, sedačkové lanovky, lyžiarske vleky a vrtné súpravy. V literatúre sú publikované orientačné hodnoty magnetických vlastností, napr. konštrukčných, uhlíkatých ocelí, valcovaného materiálu, chýbajú však hodnoty pre oblasť oceľových lán. Výber vzoriek bol volený tak, aby aspoň čiastočne pokryl oblasť magnetických vlastností lán pre potreby ďalšieho výskumu a praktickej magnetickej defektoskopie.

Namerané magnetické materiálové parametre lanových oceľových drôtov sú zároveň aj podkladom pre matematické modelovanie magnetizačných procesov pri magnetickej defektoskopii lán a pri vývoji nových prístrojov na ich kontrolu.

Použitý matematický model fyzikálneho procesu magnetovania feromagnetických materiálov s použitím rovnice (4) je možné hodnotiť ako veľmi dobrý o čom svedčia dosiahnuté korelačné koeficienty regresného modelu, ktorých hodnoty sú v rozmedzí 0,99943 - 0,99999. Vytvorené fyzikálno - matematické modely magnetických hysteréznych kriviek a priebehov diferenciálnej permeability s dostatočnou presnosťou uchovávajú priebehy magnetických parametrov (B-H a μ-H) meraných lán pri nutnosti uchovávať minimálny počet údajov. Pre vykreslenie priebehu magnetizačného procesu je nutné do programu Excel vložiť len príslušné koeficienty A-E, a Hmax. (Tab.2) a následne je možné jednoducho vykresliť požadovaný priebeh hysteréznej slučky, resp. priebeh diferenciálnej permeability pre oceľové lano.

Databáza meraní je využiteľná pre určenie optimálnej intenzity magnetovania oceľového lana, a nastavenia optimálneho pracovného bodu defektoskopického prístroja.Meraniami bolo potvrdené že, magnetické vlastnosti oceľových lán sa čiastočne blížia k vlastnostiam oceľových plechov v smere ich valcovania. Zmenou hodnoty maximálnej diferenciálnej permeability v závislosti od frekvencie magnetovania (resp po prepočítaní na relatívnu rýchlosť lana a defektoskopu) sa mení aj hodnota optimálnej intenzity magnetovania. Pri meraní je teda potrebné urobiť korekciu magnetovania lana H s prihliadnutím na rýchlosť jeho pohyb oproti kľudovej hodnote Ho.

1. Úvod

V oblasti kvalitnej kontroly oceľových lán v prevádzke sú nenahraditeľné magnetické defektoskopické kontroly. Opodstatnenosť defektoskopických kontrol potvrdzuje aj fakt, že pri defektoskopických kontrolách kladkostrojových lán na vrtných súpravách v rokoch 1994-96 bolo vyradených z prevádzky 21,7 % lán [2] a v rokoch 1997 - 99 až 22,7 % lán [3].

Pre potreby magnetoinduktívnych defektoskopických kontrol je dôležité poznanie základných magnetických parametrov kontrolovaných predmetov, v našom prípade oceľových lán ktoré sú kontrolované priamo v prevádzke a to aj počas ich práce.

Feromagnetické látky majú závislosť B-H nelineárnu a ich permeabilita a susceptibilita *závisia* od intenzity magnetického poľa. Magnetizačné charakteristiky, t.j. závislosť B - H a závislosť μ - H charakterizujú materiál a je ich nutné zisťovať experimentálne. Pre potreby

magnetickej defektoskopie je najdôležitejšia max. hodnota diferenciálnej permeability a k tejto hodnote prislúchajúca zmena magnetickej indukcie B_{max} a intenzita budiaceho magnetického poľa H [4]. Okolo uvedeného bodu intenzity magnetického poľa H je možné dosiahnuť aj najvyšší zisk signálu u snímačov registrujúcich poruchy vo feromagnetickom materiály.

Permeabilita feromagnetických látok je materiálová konštanta ktorá charakterizuje magnetické vlastnosti materiálu prostredníctvom IV. Maxwelovej rovnice.

$$B = \mu * H \tag{1}$$

Vo všeobecnosti rozlišujeme niekoľko druhov permeabilít (relatívna permeabilita počiatočná permeabilita, maximálna relatívna permeabilita, reverzná permeabilita, diferenciálna permeabilita a pri striedavom magnetovaní tiež amplitúdová permeabilita, komplexná a imaginárna permeabilita). Ako bolo vyššie uvedené pre potreby magnetickej defektoskopie je veľmi dôležitá d*iferenciálna permeabilita* μ_{dif} *resp. jej relatívna hodnota* μ_{rdif}. [5].

<u>*Diferenciálna permeabilita*</u> μ_{dif} -je definovaná ako smernica dotyčnice v každom bode magnetizačnej krivky.

$$\mu_{dif} = \lim_{\Delta H \to 0}\left(\frac{\Delta B}{\Delta H}\right) = \frac{dB}{dH}. \tag{2}$$

V oblasti nasýtenia je $\mu_{dif}=\mu_0$. častejšie je používana relatívna permeabilita:

$$\mu_{rdif} = \frac{\mu_{dif}}{\mu_0} \tag{3}$$

Zisťuje sa v jednotlivých bodoch magnetizačnej krivky. Je používaná pre body krivky prvotnej magnetizácie tak aj pre body hysteréznej slučky. Dve najčastejšie druhy permeabilít sú zobrazené na Obr. č. 1.

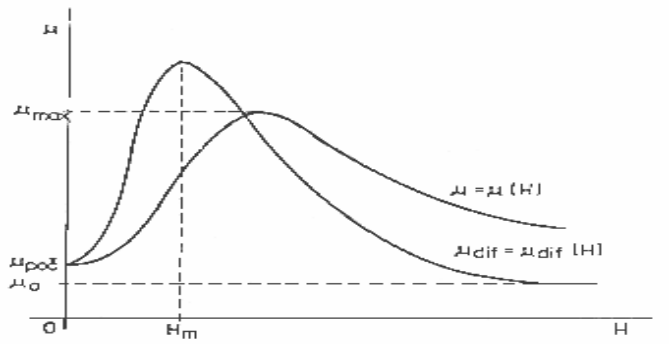

Fig.1 Characteristic curves of the magnetic permeability μ and differential permeability μ_{dif}.

2. Výber vzoriek amMeranie magnetických vlastností oceľových lán

Pre prvotný výskum magnetických vlastností bolo použitých 13 druhov lán. Pri výbere vzoriek na meranie bolo rešpektované, pravidlo 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 lán je uvedený v tabuľke 1. Dôraz pri výbere lán bol kladený na možnosť porovnania magnetických vlastností nových a používaných oceľových lán. Zároveň boli vybraté aj laná používané pre najčastejšie sa vyskytujúce zariadenia, ako sú ťažné zariadenia, sedačkové lanovky, lyžiarske vleky a vrtné súpravy. V literatúre sú publikované orientačné hodnoty magnetických vlastností, napr. konštrukčných, uhlíkatých ocelí, valcovaného materiálu, chýbajú však hodnoty pre oblasť oceľových lán. Výber vzoriek bol volený tak, aby aspoň čiastočne pokryl oblasť magnetických vlastností lán pre potreby ďalšieho výskumu a praktickej magnetickej defektoskopie [6].

Skúmaním magnetických vlastností oceľových lán, ktoré vplývajú na proces ich nedeštruktívnej magnetickej defektoskopickej kontroly sa doposiaľ nezaoberala žiadna nám známa práca. Realizované merania umožnia nastavenie optimálnej intenzity magnetovania oceľového lana pre dosiahnutie maximálneho zisku snímačov porúch na lane t.j. nastavenie optimálneho pracovného bodu defektoskopického prístroja [7]. Tým sa skvalitní defektoskopická kontrola oceľových lán.

Table 1 Measured samples of steel wire

No.:	Strength of wire Pevnosť drôtu	Diameter of the wire Priemer, rozmer lana	Note Poznámka
P. č.	σ (MPa)	D (mm)	
1	1080	97 x 18	P-T
2	1080	122 x 22	N-T
3	1960	16	N-LV
4	1770	25	K-T
5	1770	25	N-T
6	1770	25	P/2-T
7	1270	22,4	N-VS
8	*1785-1889	50	P-T
9	1370	31,5	N-L
10	*1812-1851	22,4	P-VS
11	*1824-1856	47,5	P-T
12	*1824-1875	47,5	N-T
13	1570	30	P-T

Legend: P- used, P/2- used for 2 years, N - new, K- twisted wire, T- hoisting, LV- ski lift, L- cable railway, VS- drilling rig.

Magnetické vlastnosti a charakteristiky feromagnetických materiálov sú zisťované meraniami. Pri zisťovaní základných charakteristík feromagnetických látok (magnetická hysterézia, priebeh diferenciálnej permeability, krivka prvotnej magnetizácie), je nutné merať magnetickú idukciu B vo feromagnetiku a k tomu príslušnú intenzitu magnetického poľa H. Merania je možné realizovať jednosmerným resp. striedavým magnetovaním. Pri ďalej uvedených meraniach bolo použité striedavé magnetovanie. Magnetizačné charakteristiky pri striedavom magnetovaní sú závislé na frekvencii a intenzite magnetického poľa. Pre porovnateľnosť meraní sa najčastejšie volí sínusový priebeh magnetovacej intenzity. Priebeh magnetickej indukcie je potom závislý od permeability materiálu [8].

2.1 Meranie magnetických charakteristík oceľových lán pomocou valcovej cievky

Z dôvodu pomerne jednoduchej prípravy vzoriek na meranie magnetických charakteristík touto metódou bola táto alternatíva merania vybratá ako najperspektívnejšia a najrýchlejšia pre meranie magnetických parametrov drôtov oceľových lán.

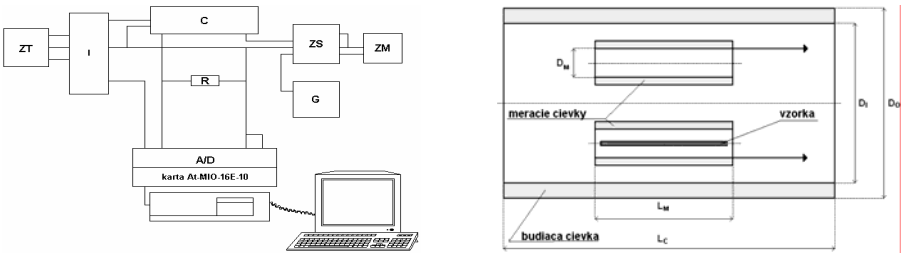

Fig.2 Diagram of the measurement equipment (left), diagram of the measuring coil (right).
Legenda: ZM - zdroj Manson EP 925 , ZT - zdroj Tesla BK 125 , ZS - zosilovač , G - generátor AFG 5101 C meracia cievka , R odpor , A/D - D/A prevodník , I integrátor.

Bloková schéma zapojenia meracej sústavy je na obr. 2. V meracej aparatúre je použitá 1m dlhá valcová budiaca cievka, ktorá ma navinuté tri vrstvy budiaceho vinutia. V jej dutine sú symetricky umiestnené štyri meracie cievky so vzduchovým jadrom, s rovnakými parametrami. Sú symetricky rozložené okolo osi budiacej cievky. (Ich uloženie je znázornené na obr. č. 2.) Počas merania sú používané dve osovo súmerné meracie cievky v diferenciálom zapojení, aby bola zabezpečená kompenzácia vzduchovej medzery v meracej cievke. Týmto spôsobom je možné merať magnetické vlastnosti drôtov vložených do jednej meracej cievky.

Pred meraním bola meracia aparatúra kalibrovaná prostredníctvom referenčnej vzorky so známou magnetickou charakteristikou.

Pri meraniach bola volená vzorkovacia frekvencia 10 kHz a počet meraných bodov minimálne 10 000 pre každú slučku od 15 Hz do 40 Hz s krokom 5Hz. Pri meraniach s frekvenciami 5 a 10 Hz bolo nutné zvýšiť počet meraných bodov na 16 000 [9].

Počas merania bola budiaca cievka napájaná striedavým napätím s amplitúdou 600 mV, čo zodpovedá intenzite magnetického poľa 650 Am^{-1}, pričom sa menila frekvencia napájacieho prúdu. Sada hysteréznych slučiek nám poskytla frekvenčnú charakteristiku meranej vzorky.

Pri meraní priebehu diferenciálnej permeability $\mu_{rel.dif.}$ bola hysterézna slučka pri frekvencii 40 Hz meraná pri maximálne možnej hodnote budiaceho napätia s amplitúdou +/-600 mV, čo zodpovedá intenzite magnetického poľa 650 Am^{-1}. S klesajúcou frekvenciou magnetovania sa maximálna hodnota budiaceho napätia znižovala tak, aby hodnota intenzity magnetického poľa H zostala konštantná. Sada nameraných hysteréznych slučiek nám poskytla amplitúdovú charakteristiku meranej vzorky.

Celkovo bolo vyhodnotených 624 meraní z trinástich druhov lán

Pre vyhodnotenie bol použitý matematický model [10], ktorý popisuje priebeh Indukcie B u magnetických hysteréznych slučiek a po grafickom zderivovaní aj priebeh relatívnej diferenciálnej permeability v závislosti od intenzity budiaceho poľa H.

Pre účely regresnej analýzy magnetických hysteréznych slučiek a matematického modelovania ich priebehu bolo navrhnuté použitie účelovej funkcie v tvare [10,11]:

$$Y=A\,\mathrm{arctg}(B+Cx+Dx^2)+Ex \qquad (4)$$

kde:

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

x - napätie na budiacej cievke U_b ,resp. intenzita H magnetického poľa,

y - napätie na meracej cievke U_{mo}, resp. magnetická indukcia B u hysteréznej slučky.

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

Table 2 Calculated coefficients A-E of the regression model and statistical evaluation of calculations

Magnetising frequency Magnetovacia frekvencia	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz
A	0,0198	0,0224	0,0244	0,0257
B	-2,2601	-2,0432	-1,8898	-1,6044
C	38,724	33,106	30,9559	24,7318
D	209,48	153,05	95,5633	101,2355
E	0,5450	0,5260	0,5071	0,4991
Standard deviation Štandná odchýlka	0,00087	0,0006	0,00044	0,00094
Coefficient of correlation koeficient korelácie	0,99993	0,9999	0,99998	0,999925
Relative differential permeability – $\mu_{r\,dif}$	1575	1492	1396	1347

Samotné merania boli vykonané v nasledujúcich krokoch:

a. meranie priebehu hysteréznej slučky, (HS)

b. vylúčenie meraní s veľkým rozptylom nameraných hodnôt,

c. úprava nameraných hodnôt - extrakcia polovice HS,

d. regresná analýza HS v programe Curve Expert zistenie koeficientov A - E, korelačného koeficientu a rozptylu podľa funkcie

e. uloženie získaných koeficientov do tabuľky,

Opätovná rekonštrukcia HS, resp. po derivácii priebeh diferenciálnej permeability Obr. č. 3.

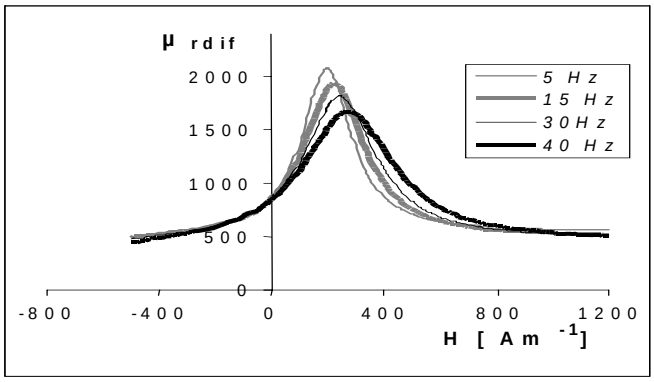

Fig. 3 Characteristic curves of differential permeability for steel wire ropes number 10

Pri spracovaní a vyhodnocovaní nameraných údajov boli použité nasledovné softwarové prostriedky:

- *Tabuľkový procesor Excel 97*

Program bol použitý pre nasledovné etapy vyhodnocovania meraní.
- Predspracovanie meraní, pre analýzu 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 korelačnú a regresnú analýzu – hľadanie vhodnej závislosti nahradzujúcej namerané hodnoty.

3. Analýza dosiahnutých výsledkov

- Použitý matematický model fyzikálneho procesu premagnetovania feromagnetických materiálov s použitím rovnice (4) je možné hodnotiť ako veľmi dobrý o čom svedčia dosiahnuté korelačné koeficienty regresného modelu, ktorých hodnoty sú v rozmedzí 0,99943 - 0,99999.
- Vytvorené fyzikálno - matematické modely magnetických hysteréznych kriviek a priebehov diferenciálnej permeability s dostatočnou presnosťou uchovávajú priebehy magnetických parametrov (B-H a μ-H) meraných lán pri nutnosti uchovávať minimálny počet údajov.
- Pre vykreslenie priebehu je nutné do programu Excel vložiť len príslušné koeficienty A-E, a $H_{max.}$ a následne je možné jednoducho vykresliť požadovaný priebeh hysteréznej slučky, resp diferenciálnej permeability pre oceľové lano.
- Uvedená knižnica (databáza) meraní je využiteľná pre určenie optimálnej intenzity magnetovania oceľového lana, a nastavenia optimálneho pracovného bodu defektoskopického prístroja.
- Prínosom meraní je aj vytvorenie počiatočnej databázy - katalógu magnetických vlastností oceľových lán potrebných pri ich defektoskopických kontrolách.
- Meraniami bolo potvrdené že, magnetické vlastnosti oceľových lán sa čiastočne blížia k vlastnostiam oceľových plechov v smere ich valcovania.
- Zmenou hodnoty maximálnej diferenciálnej permeability v závislosti od frekvencie magnetovania (resp po prepočítaní na relatívnu rýchlosť lana a defektoskopu) sa mení aj hodnota optimálnej intenzity magnetovania. Pri meraní je teda potrebné urobiť korekciu magnetovania lana H s prihliadnutím na rýchlosť jeho pohyb oproti kľudovej hodnote H_o.

Záver

Vzhľadom na to, že od kvality defektoskopickej kontroly závisia ľudské životy a značné materiálne hodnoty, je nutné uvedené kontroly vykonávať čo najprecíznejšie.Práve v oblasti ich kvalitnej kontroly v prevádzke sú nenahraditeľné aj magnetické defektoskopické kontroly. Kvalita týchto kontrol, ktorá je založená na už spomenutom magnetickom princípe však predpokladá značné skúsenosti pracovníkov nielen pri vyhodnocovaní jednotlivých meraní, ale aj znalosť magnetických vlastností kontrolovaných lán za účelom nastavenia optimálnych parametrov magnetovania lana počas jeho kontroly pre dosiahnutie maximálneho zisku signálu od mechanických porúch na kontrolovanom úseku lana. Optimálna magnetizácia je dôležitá hlavne u hrubších lán vzhľadom na magnetické tienenie povrchovou vrstvou oceľových drôtov a zlomy nachádzajúce sa v strede oceľového lana sú pomerne ťažko identifikovaťeľné aje dôležité zabezpečiť maximálnu citlivosť prístroja. Optimálne nastavenie intenzity magnetovania je možne zabezpečiť použitím realizovanej knižnice (databázy) vykonaných meraní magnetických

vlastností oceľových lán. Prínosom meraní je aj potvrdenie čiastočnej podobnosti magnetických vlastností drôtov oceľových lán a oceľových plechov.

Literatúra

[1] Bereźinskij, V.I., Kudrjavcev, E.M.: Improwement of instruments for mesurement of decrease of metalic cros section of steel wire ropes. In. Zborník prednášok X. medzinárodná konferencia. "Výskum, výroba a použitie oceľových lán." Podbanské, hotel Permon, 1998, s. 168 – 192

[2] Boroška, J.: Činitele ovplyvňujúce životnosť a bezpečnosť prevádzky oceľových lán. In. Zborník

[3] 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.

[4] Kawecki, Z., Stachurski, J.,: Defektoskopia magentyczna lin stalowych. ŠLASK, Katowice, 1969

[5] 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.

[6] Kropuch, S.: Hodnotenie prevádzkyschopnosti oceľových lán z pohľadu defektoskopických kontrol . In Zborník prednášok DIAGO 2000, Ostrava 2000, str.78-83, ISBN 80-7078-749-X

[7] Kropuch, S.:Zhodnotenie životnosti kladkostrojových lán vrtných súprav, In. Zborník prednášok IX. medzinárodná konferencia. "Výskum, výroba a použitie oceľových lán, hotel Permon, Podbanské 1997, s. 139- 143.

[8] Meľnij, M.,A.:Formuly dľja opisanja nelinejnich i gistereznychsvojstv feromagnetikov. Defektoskopija, N° 11, 1987, s. 87-94.

[9] Peterka, P., Kropuch, S., Krešák, J.,: Defektoskopické kontroly oceľových lán. In: NDT Bulletin 4/2001, Betis s.r.o., Praha str. 78-80, ISSN 1213- 3825.

[10] prednášok XI. medzinárodná konferencia. "Výskum, výroba a použitie oceľových lán, hotel Permon, Podbanské 2000, s. 15-22.

[11] Tytko, A.: Modelovanie zužycia zmeczeniowego i diagnostika lin stalowych. AGH Krakow, 1998.

[12] Věchet, M.: Defektoskopie v otázkach a odpovědích. SNTL, Praha, 1989