

## VPLYV HYDRODYNAMICKÉHO MAZANIA PRI ŤAHANÍ DRÔTOV ZA STUDENA NA ICH GEOMETRICKÉ PARAMETRE A SPOTREBU PRIEVLAKOV

**Viktor Tittel<sup>1</sup>, Miroslav Zelenay<sup>2</sup>**

**Kľúčové slová:** drsnosť povrchu, spotreba prievlakov, hydrodynamické mazanie, priamoťažný drôtoťah, ťahanie drôtu

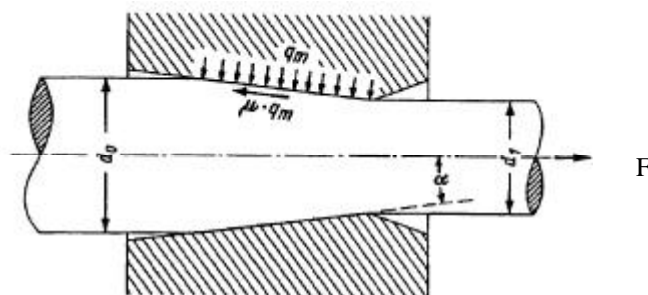
### Abstrakt:

Experimenty boli vykonávané priamo v praxi pri ťahaní oceľových drôtov  $\phi$  2,1 mm s obsahom uhlíka  $0,85 \div 0,87$  hmot. % C a povrchovou úpravou valcovaného drôtu  $\phi$  5,5 mm boraxovaním. Zisťované boli tieto geometrické parametre ťahaného drôtu: dodržiavanie tolerancie priemeru a ovality, ako i drsnosť povrchu. Zároveň bola sledovaná spotreba prievlakov. Experimenty boli vyvolané dosahovaním nedostatočných výsledkov kvality drôtu (priemeru a ovality), a vysokou spotrebou klasických prievlakov. Tieto experimenty boli vykonané na priamoťažnom drôtoťahu.

Experimentmi sa zistilo, že použitie hydrodynamického mazania znížilo spotrebu prievlakov 4,5 násobne oproti spotrebe klasických prievlakov. Zároveň boli dosiahnuté predpísané hodnoty tolerancie priemeru, ovality a zlepšená kvalita povrchu drôtu a to i pri zvýšenej rýchlosti.

### 1. Úvod

Do procesu ťahania drôtu cez prievlaky vstupuje mnoho faktorov, ktoré ovplyvňujú mechanické vlastnosti naťahaného drôtu, ťažnú silu, trvanlivosť prievlaku a efektivitu výrobného procesu. Jednou z možností znižovania ťažnej sily je znižovanie trenia a trecích síl, ktoré niekedy môže dosiahnuť hodnoty až 50% z celkovej ťažnej sily. Na obr.1 je znázornený princíp drôtu v ťažnom kuželi prievlaku [1]. Ťažná sila „F“ vyvoláva na kontaktnej ploche medzi prievlakom a drôtom tlak „q“. Súčin tlaku „q“, koeficientu trenia „ $\mu$ “ a kontaktnej plochy je trecia sila. Základnou podmienkou zníženia ťažnej sily je zníženie koeficientu trenia „ $\mu$ “ medzi povrchom drôtu a prievlakom. Ideálne trecie pomery nastávajú pri kvapalnom trení, kedy prievlak a drôt sú od seba oddelené súvislou vrstvou mazadla. Aby sa táto vrstva neporušila a vydržala vysoké tlaky, ktoré vznikajú pri tvárnení, musí byť v samostatnom mazadle vytvorený tento tlak. Tento je možné vytvoriť núteným alebo prirodzeným príivodom mazadla.



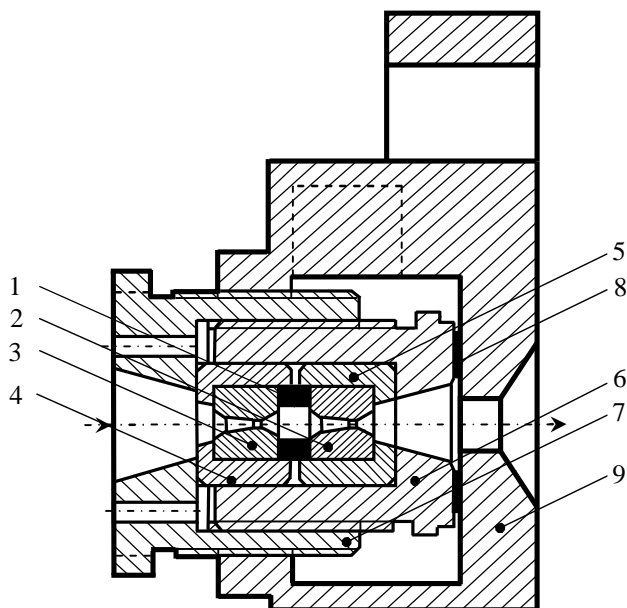
Obr. 1 Tlak a trenie na kontaktnej ploche drôt - prievlak [1]

<sup>1</sup> Doc. Ing. Viktor Tittel, CSc., Fakulta MTF STU so sídlom v Trnave, Ústav výrobných technológií, Katedra tvárnenia, J.Bottu 25, 917 24, Trnava, Slovensko, Tel.: 0918/646 051, email: vikor.tittel@stuba.sk

<sup>2</sup> Ing. Miroslav Zelenay (doktorand), Fakulta MTF STU so sídlom v Trnave, Ústav výrobných technológií, Katedra tvárnenia, J.Bottu 25, 917 24, Trnava, Slovensko

Príspevok sa zaoberá prirodzením prívodom mazadla (mazadlo je vťahované drôtom do prievlaku). Na vytvorenie tohto tlaku je potrebné vytvoriť zložený systém pozostávajúci buď z tlakovej trubice a ťažného prievlaku, alebo tlakového prievlaku a ťažného prievlaku, prípadne špeciálne konštruovaných objímok, do ktorých sa vkladajú len tlakové a ťažné jadrá. Vo svete existuje veľmi veľa variant tlakovej zostavy (tlakový prievlak a ťažný prievlak), ktoré sa líšia iba konštrukciou. Sú známe aj viacstupňové prievlaky, ktoré majú viac tlakových priestorov ako jeden [1], [2], [3], [4].

V našom prípade bola pri experimente použitá tlaková zostava podľa Obr. 2. Ide o tlakovú zostavu, ktorej základom sú dva prievlaky, z ktorých jeden je ťažný poz. 2 a 5 (pracovný) a druhý tlakový poz. 3 a 4 (má za úlohu umožniť mazadlu vniknúť do tlakového priestoru a čiastočne tento uzatvoriť, aby sa mazadlo nemohlo vracieť naspäť). Ako tlakový prievlak bol použitý klasický ťažný prievlak. Oba prievlaky sú v objímkach pevne spojené. Princípom vytvárania vysokého tlaku je neustále vnášanie mazadla do priestoru medzi dvomi prievlakmi (tlakovým a ťažným - poz. 2 a 3 Obr. 2). Úzka medzera medzi vstupujúcim drôtom a otvorom v tlakovom prievlaku neumožní vracanie mazadla von z tohto priestoru, resp. obmedzí spätný pohyb mazadla.



**Obr. 2** Principiálna schéma tlakovej zostavy - tlakový a ťažný prievlak [2]

1 - medená podložka, 2 – ťažný (pracovný) prievlak, 3 – tlakový prievlak, 4, 5 objímky prievlakov, 6, 7 – spojovacie matice, 8 – tesnenie, 9 - držiak prievlakov

Pre každý tlakový systém je veľmi dôležité, aby boli splnené niektoré podmienky:

1. dôkladné utesnenie medzi tlakovou a ťažnou časťou,
2. zvolenie takých podmienok ťahania (rýchlosť, dlhšie úbery a chladenie), aby neprichádzalo k spekaniu mazadla.
3. tlaková časť na výstupe musí byť o niečo väčšia ako vstupná časť ťažnej časti.

## 2. Cieľ experimentov

Cieľom experimentu bolo overiť priamo vo výrobe:

1. spotrebu a životnosť prievlakov u systému zloženého z tlakového a ťažného prievlaku a vykonať porovnanie oproti spotrebe a životnosti u ťažných prievlakov,
2. u vytypovaných drôtov porovnať mechanické parametre drôtov naťahovaných na tlakových prievlakoch a ťažných prievlakoch,
3. u naťahovaných drôtov odsledovať okrem spotreby a životnosti prievlakov u tlakového systému tiež postupnú zmenu povrchovej drsnosti a perimeter.

### 2.1. Popis experimentu

Náš experiment bol zameraný na overenie spotreby a životnosti prievlakov pri ťahaní vysokouhlíkatého drôtu priemeru  $\varnothing 2,10$  mm s obsahom uhlíka C 0,85 hmot. %. Jednou z hlavných požiadavok na ťahanie tohto drôtu bola rýchlosť ťahania, stanovená na  $v = 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pri dodržaní rozmerovej a povrchovej kvality. Proces ťahania prebiehal na priamoťažnom drôtoťahu, ktorý konštrukčne umožňoval ťahanie pri tejto rýchlosti a takomto obsahu uhlíka. Ťahanie tohto druhu drôtu sa spočiatku uskutočňovalo na jednoduchých ťažných prievlakoch priamo z valcovaného drôtu na osem ťahov. Pri ťahaní na požadovanej rýchlosti  $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  sa začali vyskytovať kvalitatívne problémy.

Naťahovaný drôt vykazoval po každej druhej až tretej naťahanej cievke zvýšenú ovalitu, prekročenú toleranciu priemeru, lesklý resp. zaostrený povrch (pozri Obr. 1), ktorý pri následnom patentovaní spôsoboval problém s vynášaním olova. Tento jav môže nastať v nasledovných prípadoch ak:

- je príliš vysoká rýchlosť ťahania a povrch drôtu nevniesie dostatočné množstvo mazadla do pracovnej časti prievlaku, a tak navzájom neoddelí povrchy prievlaku a drôtu od seba,
- je nedostatočné chladenie prievlaku alebo ťažného bubna a teplota povrchu drôtu je taká vysoká, že dochádza k postupnému spekaniu mazadla v pracovnej časti prievlaku,
- nekvalitná povrchová úprava (nosič mazadla), ktorá neumožňuje pri daných ťažných podmienkach vnos mazadla do pracovnej časti prievlaku,
- príliš veľká redukcia.

Počas ťahania uvedeného drôtu museli operátori veľmi často znižovať rýchlosť ťahania na 6 m.s<sup>-1</sup>, aby dosiahli požadovanú rozmerovú a povrchovú presnosť a nemuseli predčasne vymieňať opotrebované prievlaky. Preto okrem kvalitatívnych problémov vznikal aj problém s prestojmi v dôsledku častej výmeny opotrebovaných prievlakov a tým straty výrobných kapacít.

Na základe týchto skutočností vznikla požiadavka zlepšiť proces ťahania spomínaného druhu drôtu, znížiť prestoje a spotrebu prievlaku a tiež zlepšiť kvalitu naťahovaných drôtov a celkovú životnosť prievlakov. Jednou z možných ciest v rámci zlepšovania procesu ťahania bolo experimentálne odskúšať tlakový prievlak pri ťahaní tohto druhu drôtu a naplniť tak horeuvedené ciele.

Proces ťahania sa realizoval celkovo na 8 ťahoch s celkovou redukciou 85,42 %. Úberová sada bola nasledovná – Tab. 1

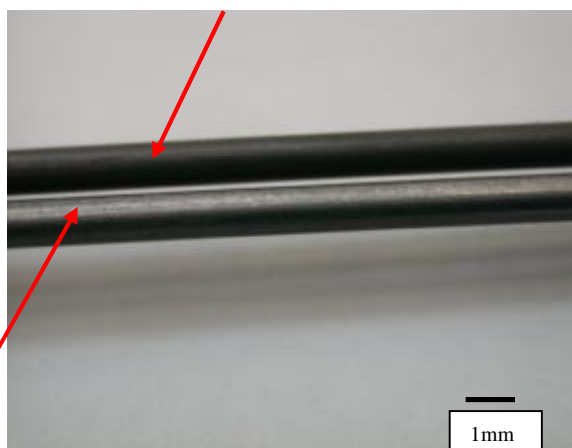
**Tab. 1** Úberová sada pre ťahanie drôtu  $\varnothing 5,5$  na  $\varnothing 2,1$  mm

Č. ťahu	1	2	3	4	5	6	7	8
Priemer prievlaku [mm]	4,85 (6,00)	4,28	3,79	3,36	2,98	2,65	2,36 (3,00)	2,10 (2,60)
Dielčí úber $\varepsilon_d$ [%]	22,24	22,12	21,59	21,40	21,34	20,92	20,69	20,82
Celkový úber $\varepsilon_c$ [%]	22,24	39,44	52,52	62,68	70,64	76,79	81,59	85,42

Poznámka: Rozmery v zátvorkách platia pre tlakové prievlaky

Pri experimente sme museli urobiť určitý kompromis a to, že nie všetky ťahy boli osadené tlakovými prievlakmi. Bolo to z dôvodu, že sme nemali k dispozícii upínacie objímky pre tlakové prievlaky na všetkých ťahoch. Pre tento experiment sme mali k dispozícii len 3 upínacie držiaky tlakových prievlakov. Preto sme museli veľmi dobre zvážiť, na ktoré ťahy ich umiestniť. Rozhodnutie o umiestnení tlakových prievlakov padlo pre prvý, predposledný a posledný ťah. Bolo to z dôvodu, že prvý prievlak pri ťahaní môže najviac prispieť k dostatočnému náberu mazadla na povrch drôtu a posledné prievlaky môžu veľmi ovplyvniť kvalitu naťahovaného drôtu, pokiaľ ide o rozmer, geometrický tvar a povrchový vzhľad. Ostatné prievlaky, ktoré boli osadené na drôtoťahu a umiestnené v strede prievlakovej sady, boli len štandardnými ťažnými prievlakmi. Pre tlakové prievlaky bol zvolený tzv. mäkký režim, čo znamená, že vôľa medzi povrchom drôtu a povrchom tlakového prievlaku bola v rozsahu 0,575 až 0,25 mm.

Normálny (matný) povrch



Lesklý povrch s ryhou

**Obr. 3** Drôt priemeru  $\varnothing 2,10$  mm, 0,85 hmot. %C so zaostreným (ryhovaným, zodratým) povrchom

### 3. Výsledky a zhodnotenie experimentu

Pred týmto experimentom sme si všimli, že pri zmene priemeru drôtu dochádza aj k povrchovým zmenám. Na optickom mikroskope sme začali sledovať a porovnávať povrch drôtu u tých drôtov, ktoré mali kvalitatívne dobrý (matný) povrch, s priemerom, ktorý neprekročil predpísané tolerancie a nevykazoval rozmerovú ovalitu, oproti drôtom, ktoré mali rozmerové, geometrické vlastnosti (ovalita) ale aj povrchový vzhľad neprijateľný. Pri mikroskopických pozorovaniach sme zistili, že drôty s tzv. lesklým povrchom (pozri Obr. 3), ktoré boli z výroby vyradené do separátorov mali značné ryhovaný povrch oproti drôtom, ktoré vykazovali dobré rozmerové, geometrické aj povrchové vlastnosti.

Ako už bolo spomenuté v popisnej časti experimentu jedným z dôvodov, prečo sme sa rozhodli použiť tlakové prievlaky pri ťahaní tohto druhu drôtu bolo zlepšiť proces ťahania, kvalitu naťahovaných drôtov a znížiť prestoje v dôsledku vymieňania prievlakov. Preto pri tomto experimente sme okrem spotreby a životnosti prievlakov začali sledovať aj povrchové zmeny drôtu (zmenu drsnosti povrchu drôtu –  $R_a$  a hodnotu  $P$ ) v závislosti od počtu naťahovaných cievok pri tlakom mazaní. Pre meranie drsnosti [7] sme odobrali vzorky z naťahovaných cievok s poradovým číslom 1, 9 a 25, na ktorých sme vykonali už spomínané meranie (pozri Obr. 4).



**Obr. 4** Časť povrchu naťahného drôtu priemeru  $\varnothing 2,10$  mm (a – z cievky č. 1; b – z cievky č. 9; c – z cievky č. 25). Zväčšenie 1000 krát.

V rámci merania drsnosti na každej vzorke drôtu bol povrch rozdelený na niekoľko častí tak, aby pokryl značnú časť povrchu asi (50 ÷ 75)%. Pri pozorovaní sme vyhodnocovali hodnotu  $R_a$  a hodnotu  $P$ . Tá je udaná v percentách a udáva nám pomer dĺžky profilu voči dĺžke výseku. Pre meranie hodnôt  $R_a$  a  $P$  bol okrem optických prístrojov (mikroskop Olympus a kamera) použitý aj špeciálny software pomocou ktorého bolo možné určiť a vyhodnotiť hodnoty drsnosti  $R_a$  a  $P$ . Povrch drôtu sme merali pri 1000 násobnom zväčšení.

Matematické vyjadrenie hodnoty  $P$  je nasledovné:

$$P = \frac{P_r - L}{L} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde:  $P_r$  – dĺžka profilu  
 $L$  – dĺžka výseku

Dôvodom, prečo je potrebné merať aj hodnotu  $P$  je, že drsnosť povrchu môže byť podľa Obr. 5 rovnaká medzi horným aj dolným obrázkom, ale hodnota  $P$  na dolnom obrázku bude väčšia.



**Obr. 5** Rozdiel medzi drsnosťou povrchu a hodnotou  $P$

V nasledujúcej tabuľke je vidieť priemerné hodnoty drsnosti a hodnoty P zo všetkých troch pozorovaných cievok.

**Tab. 2** Priebeh drsnosti a hodnoty P na posudzovaných vzorkách drôtu

Vyhodnotenie	Vzorka č. 1		Vzorka č. 9		Vzorka č. 25	
	Drsnosť povrchu Ra	Hodnota P	Drsnosť povrchu Ra	Hodnota P	Drsnosť povrchu Ra	Hodnota P
	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]
$\bar{x}$	0,67	37,79	0,29	31,09	0,42	28,41
s	0,18	7,93	0,10	6,84	0,18	7,14
max	0,96	54,37	0,45	41,09	0,95	44,92
min	0,33	23,62	0,11	20,12	0,22	16,49
n	18	18	18	18	18	18

Ako vidieť z tabuľky hodnota drsnosti povrchu drôtu bola na začiatku horšia ako pri ťahaní deviatej aj 25 cievky. To možno vysvetliť tým, že nové prievlaky na začiatku ťahania neboli ešte dostatočne zaleštené

Pri tomto experimente sme naťahali na tlakových prievlakoch 27 kvalitatívne dobrých cievok s celkovou hmotnosťou 22 000 kg pri rýchlosti 8 m.s<sup>-1</sup>. To je vidieť aj z Tab. 2, kde drsnosť povrchu a vzhľad povrchu po 25. cievke boli ešte veľmi dobré a to pri zachovaní tolerancie priemeru a ovality. Problém nastal pri poslednej 28. cievke, kedy pri kontrole chladenia prievlaku neprišlo k otvoreniu ventilu, čo bolo príčinou, že posledná cievka nebola vyrobená v príslušnej kvalite. Tento jav spôsobil zaostrený (lesklý) povrch drôtu a prekročenie tolerancie priemeru drôtu, vyrobená cievka drôtu sa musela separovať od dobrej výroby a na drôtoťahu sa museli vymeniť nevyhovujúce prievlaky za nové.

Na potvrdenie vhodnosti využívať tlakové prievlaky pri výrobe tohto druhu drôtu sme sa rozhodli tento experiment ešte raz zopakovať hneď na nasledovnej zákazke o rovnakom množstve. Využili sme ten istý drôtoťah a zabudovali sme ho novými tlakovými prievlakmi úplne rovnako ako v predchádzajúcom prípade a zopakovali sme celý experiment na rovnako veľkej zákazke. Pri zopakovaní experimentu nenastali žiadne problémy a bolo naťahovaných všetkých 28 kvalitatívne dobrých cievok s celkovou hmotnosťou cca 23 000 kg. V rámci tohto experimentu sme spracovali celkovo takmer 46 ton drôtu.

Pred realizáciou experimentu boli v priemere vymieňané 2 – 3 prievlaky (väčšinou koncové) po každej 2. cievke (2 x 815 kg). Z toho vyplýva, že spotreba štandardných prievlakov pri ťahaní tohto druhu drôtu je 122,7 ks/100 ton výroby.

Pri našom experimente sme po naťahaní 22 ton vymenili posledné 3 prievlaky (3 tlakové + 3 ťažné). Z toho vyplýva, že spotreba prievlakov je 27,2 ks/100 ton výroby vrátane tlakových aj ťažných prievlakov, čo je 4,5 krát menej.

Pokiaľ ide o životnosť prievlakov do ich vyradenia tak pred experimentom bola životnosť prievlakov za daných podmienok ťahania asi 2,08 hodiny nepretržitého ťahania.

Pri experimente s tlakovými prievlakmi sa dosiahla životnosť prievlakov do ich vyradenia 28 hodín nepretržitého ťahania, čo je 14 krát viac ako pri štandardných, ťažných prievlakoch.

#### 4. Záver

V príspevku sú zhodnotené výsledky z experimentu, ktorý bol zameraný na sledovanie a porovnanie tlakových a ťažných prievlakov. Pri experimente bolo predikované, že použitím tlakových prievlakov salepší proces ťahania, zníži spotreba prievlakov a odbúrajú sa prestoje v dôsledku častého nahrádzania opotrebovaných prievlakov. Naša predikcia sa plne potvrdila. Pri experimente sme využili metódu pre meranie drsnosti a hodnoty P a posudzovali sme povrch drôtu na základe merateľných hodnôt a nie len na základe subjektívnych hodnotení. Potvrdili sa niektoré literárne uvádzané údaje, že tlakovým mazaním v procese ťahania sa znižuje pevnosť a zvyšujú sa plastické vlastnosti ťahaného materiálu oproti materiálom, ktoré sú ťahané na štandardných ťažných prievlakoch. Okrem toho možno všeobecne konštatovať, že pri použití tlakových prievlakoch sa znižuje spotreba prievlakov a zvyšuje sa ich životnosť oproti štandardným.

Pri našom experimente sa spotreba prievlakov znížila dokonca o viac ako 4,5 krát a životnosť prievlakov zvýšila o viac ako 14 krát. Na základe dosiahnutých výsledkov možno reálne predpokladať, že pri použití tlakových prievlakoch na všetkých ťahoch a dobrom chladení prievlakov a chladení ťažných bubnov môže táto zmena v procese ťahania priniesť značné úspory.

Naším príspevkom sme sa snažili vyzdvihnúť prednosti používania tlakových prievlakov a tlakového mazania pri výrobe drôtu z vysokouhlíkatého drôtu, ktorý bol cielene vyrábaný pre špeciálne aplikácie lán určených pre banský priemysel.

#### **Literatúra:**

- [1] MARCOL, J. Tažený ocelový drát. Bohumín: ŽDB, a.s. Bohumín 1996. 500 s.
- [2] TITTEL, V.: Technológia ťahania drôtu. - 1. vyd. - Trnava : AlumniPress, 2009. - 83 s. - e-monografia. - ISBN 978-80-8096-087-2 (<http://www.mtf.stuba.sk>).
- [3] ENHANG, P. Steel wire technology, Repro Örebro university, Örebro, Sweden 2005. 311p. ISBN 91-631-1962.
- [4] PILARCZYK, W., GOLIS, B et al.: Drawing practice of steel wires with pressure dies, Wire Journal, April 1997, s. 54-67.
- [5] TITTEL, V., ZELENAY, M.: A comparison of dies geometry in the drawing process. In: Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava. - ISSN 1336-1589. - Č. 26 (2009), s. 81-86.
- [6] MOLNÁR, V., STANOVÁ, E., FEDORKO, G., DRUTAROVSKÝ, M.: The Diameter of a strand in steel rope optimalization. Transport i logistika Transport & Logistics 5/03, Beograd 2003, s. 65-69, ISSN 1451-107X.
- [7] STN EN ISO 4287 Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS) Charakter povrchu: Profilová metóda – Termíny, definície a parametre povrchu, December 1999.

**Recenzia/Review:** *doc. Ing. Jozef Krešák, PhD.*