

DEFORMAČNÉ STARNUTIE OCELÍ PO ŤAHANÍ DRÔTU

HARDNESS AGING OF STEELS AFTER WIRE DRAWING

Autor: **Ing. Viktor Tittel, CSc.**

Pracovisko: **Katedra tvárnenia, Materiálovotechnologická fakulta STU**

Adresa: **Bottova 23, 917 24 Trnava, SR**

Tel.: **00421 33 5521007** E-mail: viktor.tittel@stuba.sk

Abstract

Zvyšovanie rýchlosti ťahania drôtu za studena spôsobuje zároveň i zvyšovanie jeho teploty. Teplota drôtu nad cca 150-200 °C spôsobuje zhoršenie plastických vlastností drôtu. Jednou z možností, ako tomu zabrániť, je intenzívnejší odvod tepla napr. priamym chladením drôtu ihneď po výstupe z prievlaku. V článku sú výsledky zisťovania vplyvu priameho chladenia drôtu po ťahaní za studena na mechanické vlastnosti. Pri experimentoch bolo zistené, že i pri zvýšení ťažnej rýchlosti zo 4,35 na 8,6 m.s⁻¹ a použití priameho chladenia sú plastické vlastnosti (ťažnosť, počet krutov a počet ohybov) ešte lepšie ako pri rýchlosti 4,35 m.s⁻¹ bez použitia priameho chladenia.

Increasing of wire cold drawing speed results in temperature rising. The temperature being above 150-200 °C effects the degradation of plastic properties of wire. One of the possibilities how to prevent this is more intensive heat removal for example by direct cooling of wire just after leaving the wiredrawing bench. The paper contains the results dealt with the study of effect of direct cooling of wire on its mechanical properties. It has been shown that increasing of drawing speed from 4,35 till 8,6 m.s⁻¹ by direct cooling provides better plastic properties (elongation, count of torsions and bends) than those at 4,35 m.s⁻¹ speed but without direct cooling.

Key words

drôt oceľový ťahaný za studena, chladenie drôtu priame, vlastnosti drôtu mechanické

cold drawn steel wire, direct wire cooling, mechanical properties of wire

Úvod

Ťahaním drôtu za studena cez prievlak vzniká teplo, ktoré zohrieva nástroj - prievlak i samotný drôt. Drôt i prievlak sú zohrievané predovšetkým premenou deformačnej práce na teplo. Ďalším zdrojom tepla je trenie medzi prievlakom a ťahaným drôtom. Na teplo sa mení až 90% energie potrebnej na ťahanie drôtu. Maximálne 5-10% tohto tepla je možné odvieť prievlakom a zvyšok tepla je odvádzaný drôtom, ktorý je ním zohrievaný. Teplota, ktorá je na stykovej ploche drôt - prievlak sa nazýva tzv. hraničná teplota. Po prechode drôtu prievlakom sa teplota ustáli na tzv. vyrovnávaciu teplotu. Táto teplota ovplyvňuje vlastnosti ťahaného drôtu a je pre prácu ťahania smerodajná. Stanovením rovníc na výpočet hraničných a vy-

rovnávacích teplôt sa zaoberali autori [3]. Množstvo vznikajúceho tepla a teplotu drôtu ovplyvňuje veľa faktorov. Sú to hlavne trenie, veľkosť pretvorenia, rýchlosť ťahania, medza pevnosti, povrchová úprava, použité mazivo, geometria a drsnosť prievlakov, úroveň chladenia prievlakov, drôtu a ťažných bubnov, technický stav drôtoťahu, a iné [1]. Teplota drôtu nad 150-200 °C pre ocele s hmot. % C nad 0,3 % je nepriaznivá a môže vyvolať deformačné starnutie. V závislosti na dobe zotrvania na tejto teplote dochádza k blokovaniu dislokačných systémov precipitáciou fáz na báze interstitických prvkov (dusíka a uhlíka). Toto deformačné starnutie je doprevádzané krehnutím drôtu, zvýšením medze pevnosti, klzu, pružnosti a znížením plastických vlastností [1]. Stanovením doby a teploty, kedy už vzniká starnutie v oceli sa zaoberali japonskí odborníci [2]. Výsledky ich bádania sú získané pri ťahaní ocele 0,8 hmot. % C, ťahanej z $\varnothing 1,8$ na $\varnothing 1$ mm a sú uvedené v tabuľke 1.

DOBA POTREBNÁ NA VZNIK DEFORMAČNÉHO STARNUTIA PRI RÔZNYCH TEPLOTÁCH [2] Tabuľka 1

Teplota	Výdrž na teplotu	Teplota	Výdrž na teplotu	Teplota	Výdrž na teplotu
[°C]	[s]	[°C]	[s]	[°C]	[s]
100	7000	220	1,50	340	0,0080
140	320	260	0,20	380	0,0020
180	20-30	300	0,04	420	0,0007

Nárast teploty pri zvyšovaní rýchlosti a s tým spojené deformačné starnutie limituje možnosť zvyšovania rýchlosti ťahania. Riešenie, ako zamedziť zvyšovaniu teploty, je možné viacerými spôsobmi:

A - Znížiť vývin tepla v prievlaku:

- Zmenšením dielčieho úberu v prievlaku.
- Optimalizáciou ťažného procesu (mazivo, geometria a materiál prievlaku a pod.).

B - Zvýšiť odvod vzniknutého tepla:

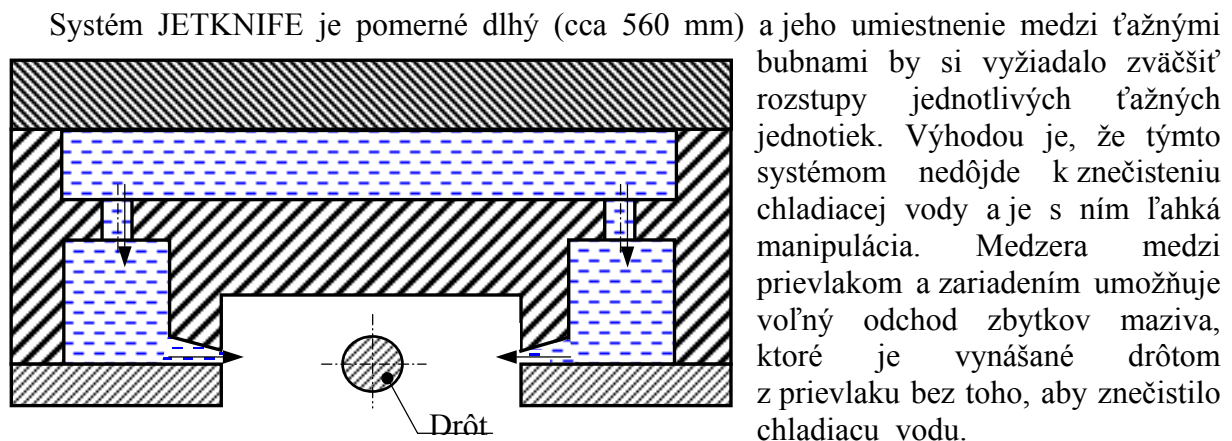
- Použitím kvalitného intenzívneho vodného chladenia (prievlaku, ťažného bubna s drôtom), prípadne i vzduchového chladenia ťažného bubna s drôtom.
- Použitím prídavného (priameho) chladenia drôtu ihneď po výstupe drôtu z prievlaku.

Prvý bod spôsobu A je síce reálny a v praxi odskúšaný, má však negatívny dopad na efektívnosť výroby v nutnosti investovania do viacťahových drôtoťahov [2]. Prvý bod spôsobu riešenia B vyžaduje kvalitný chladiaci systém s intenzívnym odvodom tepla. Udržovanie chladiacich systémov strojov bez vodného kameňa a nečistôt. Vodný kameň sťažuje prenos tepla z drôtu na ťažný bubon a z ťažného bubna do chladiacej vody. Nečistoty môžu spôsobiť upchatie dýz, alebo potrubí a tým vyradenie chladiaceho systému z prevádzky. Druhý bod spôsobu B je realizovaný prostredníctvom prídavných vodných chladiacich zariadení, ktoré odoberajú teplo z drôtu ihneď po jeho výstupe z prievlaku.

Cieľom riešenia bolo získať poznatky o tomto spôsobe chladenia, zistiť vplyv tohto chladenia na mechanické vlastnosti ťahaného drôtu a taktiež zistiť možnosť zvýšenia ťažných rýchlostí bez negatívneho dopadu na zmenu mechanických vlastností ťahaného drôtu.

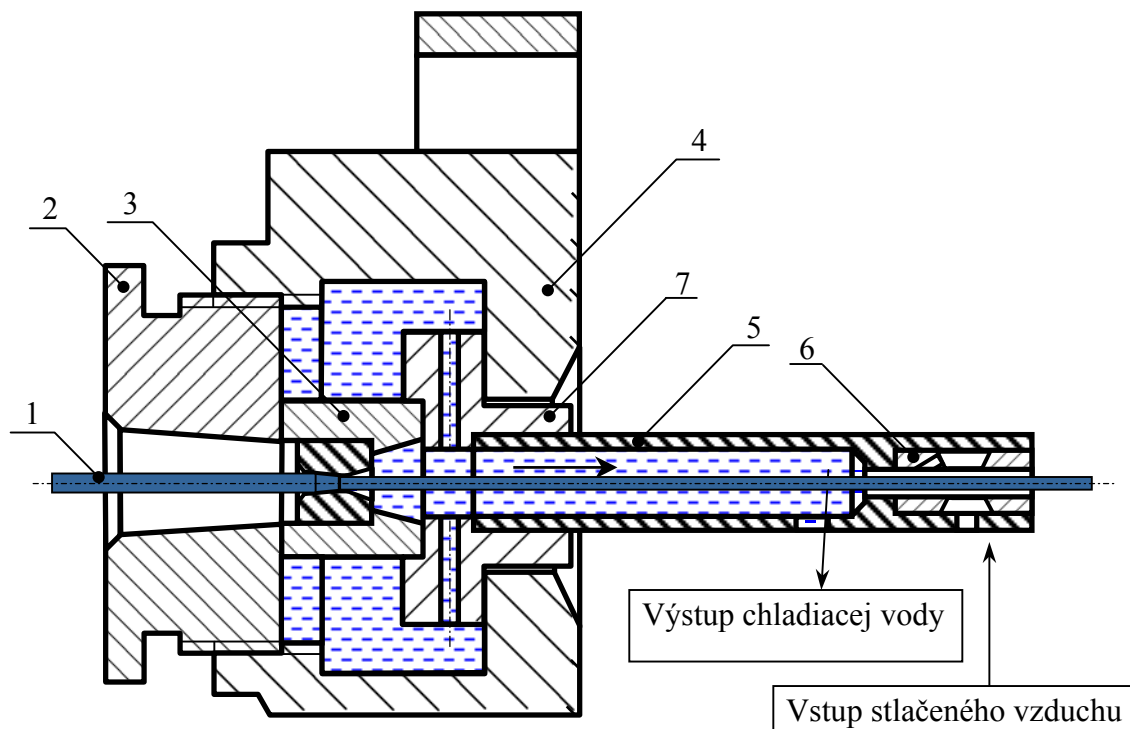
Vo svete sú najznámejšie dva typy prídavných chladiacich systémov. Tieto systémy sú známe pod názvami JETKNIFE a KOBE. Princíp systému chladenia JETKNIFE je na obr. 1. Zariadenie je umiestnené v krátkej vzdialenosti za prievlakom. Ťahaný drôt vychádzajúci

z prievlaku vchádza do zariadenia, kde je ostrekovaný vodou z dvoch protiľahlých strán. Odstraňovanie zvyškov vody je zabezpečené tlakovým vzduchom.



Obr. 1. Systém priameho chladenia drôtu JETKNIFE

Upravený systém KOBE pre drôtoťah UDZSA 2500 je na obr. 2 a skladá sa z rúrky (poz. 5) cca 150 mm dlhej, ktorá je uchytená v držiaku prievlaku (poz. 4) pomocou upínacieho krúžku (poz. 7), ihneď za prievlakom (poz. 3). Rúrkou preteká chladiaca voda, ktorá predtým chladila prievlak. Na konci rúrky je vzduchový stierač (poz. 6) na stieranie zvyškov vody z drôtu (poz. 1). Výhodou tohto systému je jeho jednoduchosť. Nevýhodou je, že existuje možnosť znečistenia chladiaceho systému, čomu sa dá zabrániť buď samostatným vodným chladiacim systémom, alebo zaradením usadzovacej nádrže na čistenie vody.



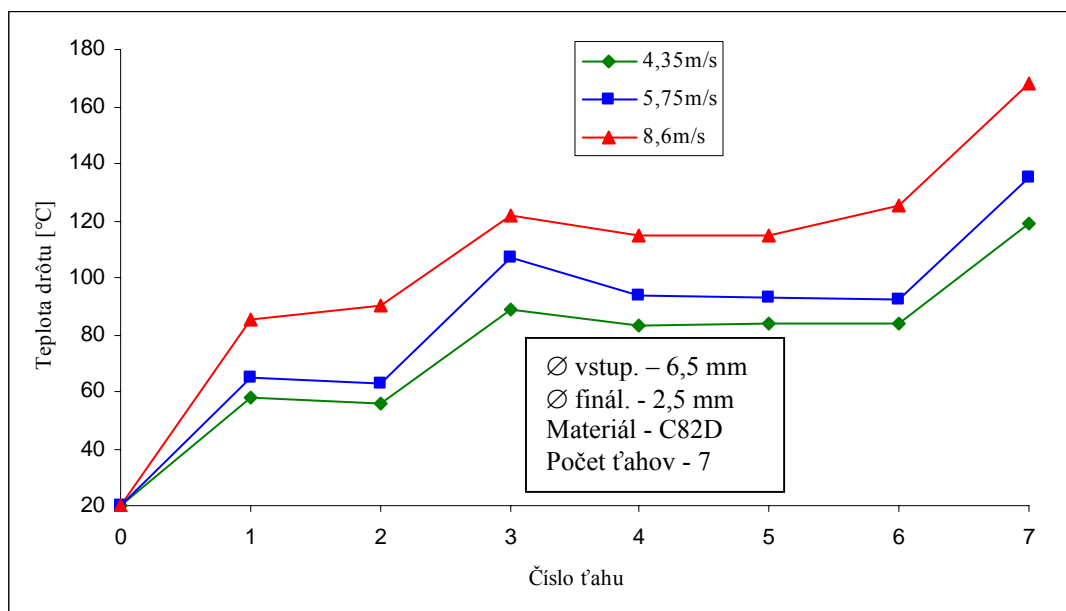
Obr. 2. Upravený systém priameho chladenia drôtu KOBE na drôtoťah UDZSA 2500
1 - drôt; 2 - matica; 3 - prievlak; 4 - držiak prievlaku; 5 - teleso chladiča; 6 - vzduchová dýza; 7 - upínací krúžok

Experimentálna časť

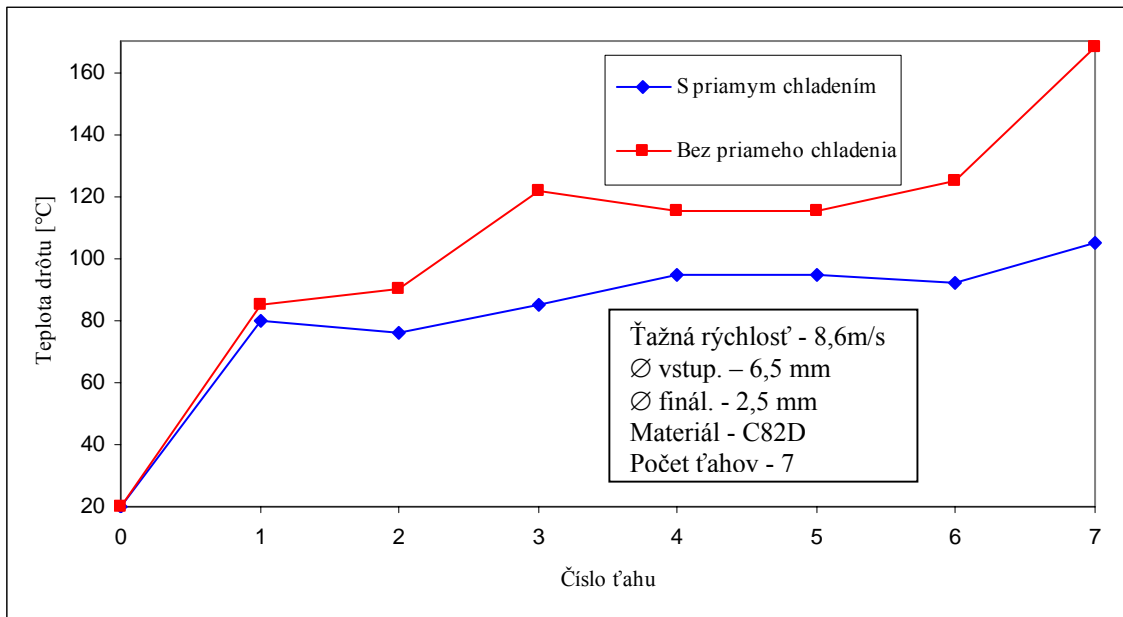
Experimenty boli vykonané systémom KOBE, ktorý bol upravený na podmienky použitia na drôtoťahoch typu UDZSA 5000/2 + UDZSA 2500/5. Na tento drôtoťah boli upravené zariadenia nainštalované na ťahy č. 2 až 7. Po vývoji samotného zariadenia v ktorom boli optimalizované rozmery zariadenia, hlavne veľkosť dýz na vodu a vzduch a doriešenie čistenia chladiacej vody, bol skúmaný vplyv priameho chladenia na mechanické hodnoty ťahaného drôtu. Zisťovali sme vplyv priameho chladenia drôtu na zmenu pevnosti drôtu, ťažnosť, počet ohybov a počet krutov. Experimenty boli realizované pri ťahaní drôtu na predpätú výstuž, kde zvyšovaniu ťažnej rýchlosti bránilo zhoršovanie plastických vlastností a to hlavne ťažnosti. Valcovaný drôt \varnothing 6,5 mm akosti C82D STN 10 016-2 [5] bol ťahaný siedmymi ťahmi na \varnothing 2,5 mm ťažnými rýchlosťami 4,35; 5,75; a 8,6 m.s⁻¹. Pri experimente sme merali teploty drôtov na ťažných bubnoch a cievke pomocou dotykového teplomera pri zastavení stroja. Meranie bolo vykonané za rovnakých podmienok- miesto a čas merania. Meranie bolo realizované i bezdotykovým spôsobom merania prístrojom Gulon. Rozdiel teplôt meraných bezdotykovým teplomerom za chodu stroja a dotykovým teplomerom po zastavení stroja bol asi 22 - 25 °C. Meranie týchto teplôt bezdotykovým teplomerom bolo veľmi problematické (presne stanovenie emisného koeficienta a jeho zmena v priebehu ťahania). Teplota vstupujúcej chladiacej vody bola 20 °C. Pri výstupe bola meraná teplota vody a sledovaná tiež týmto spôsobom účinnosť priameho chladenia [4].

Namerané hodnoty

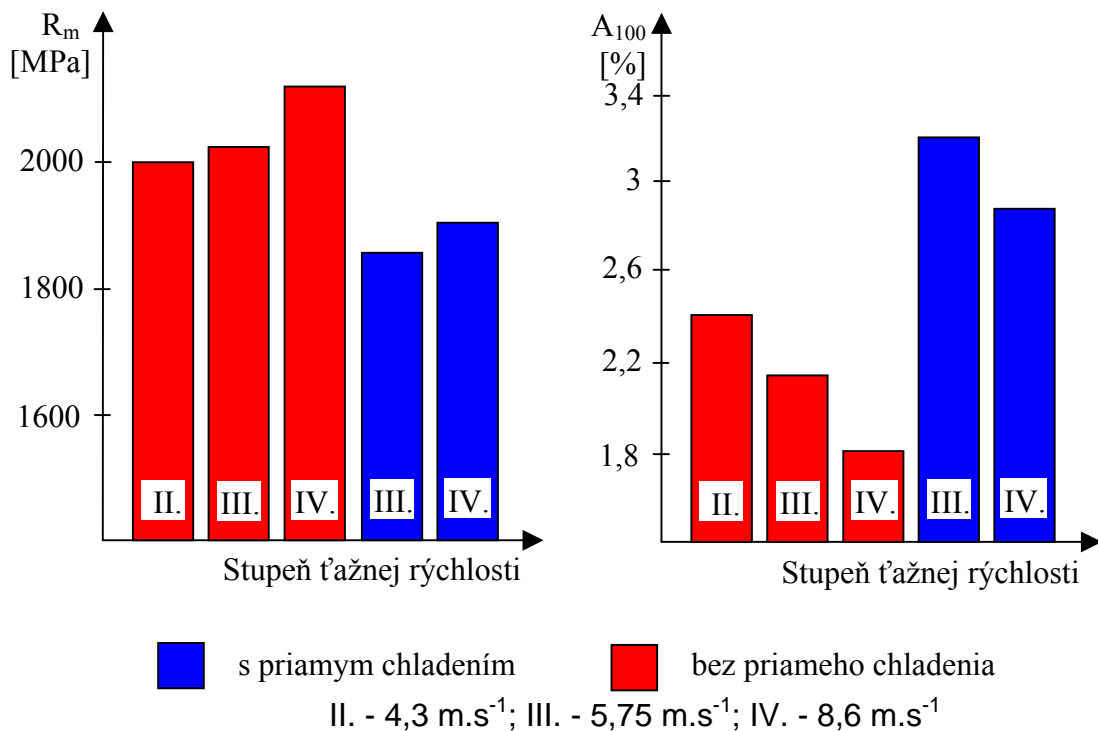
Hodnoty teplôt drôtu na jednotlivých valcoch pri rôznych rýchlostiach ťahania sú na obr. 3. Na obr. 4 je vplyv priameho chladenia drôtu na jeho teplotu v priebehu ťahania. Na obr. 5 je vplyv priameho chladenia drôtu na jeho medzu pevnosti – R_m a ťažnosť – A_{100} . Na obr. 6 je vplyv priameho chladenia drôtu na jeho počet ohybov – N_o a počet krutov – N_k .



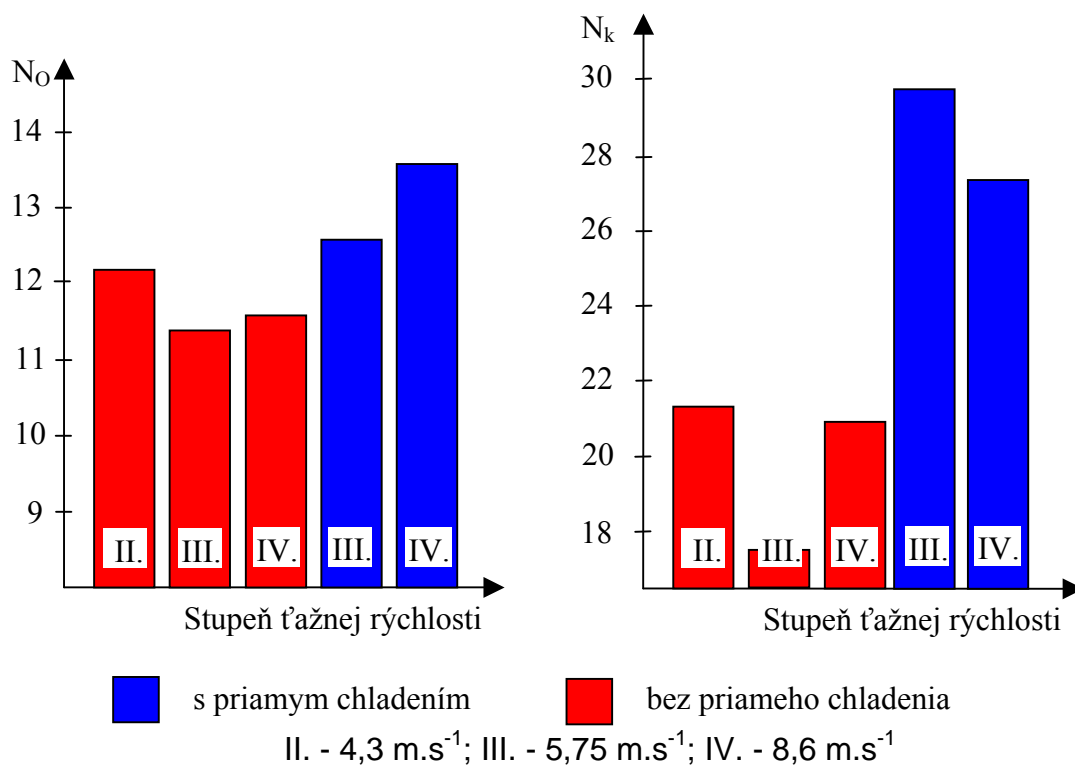
Obr. 3. Vplyv ťažnej rýchlosti na teplotu drôtu



Obr. 4. Vplyv priameho chladenia drôtu na jeho teplotu



Obr. 5. Vplyv priameho chladenia drôtu na medzu pevnosti R_m a ťažnosť A_{100}



Obr. 6. Vplyv priameho chladenia drôtu na počet ohybov N_o a počet krutov N_k

Diskusia k dosiahnutým výsledkom

Pri experimentoch sme na drôte na predpätú výstuž overovali, či väčší pokles ťažnosti drôtu pri zvýšenej rýchlosti ťahání nespôsobuje práve zvýšená teplota drôtu. Zvýšenie rýchlosti sa jednoznačne prejavilo zvýšením teploty drôtu až do hodnôt, ktoré môžu podľa autorov [1] spôsobovať starnutie oceli a tým i zhoršenie plastických vlastností. Pri rýchlosti $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ bola zistená teplota drôtu nad $160 \text{ }^\circ\text{C}$, pričom ide o teplotu zmeranú na povrchu drôtu. Podľa autora [2] sa stanovením teploty, kedy už dochádza k starnutiu oceli zaoberali v USA a stanovili ju na $130 \text{ }^\circ\text{C}$ a v Japonsku na $110 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota drôtu pri ťahání na obr. 2 s jeho zvyšujúcou rýchlosťou ťahania stúpala. Pri rýchlosti $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ bola po siedmom ťahu až $168 \text{ }^\circ\text{C}$, čo prekračuje autorom [2] stanovené teploty. Použitím priameho chladenia drôtu podľa obr. 2 sa teplota znížila. Na obr. 4 je závislosť teploty pri rýchlosti ťahania drôtu $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ a to bez použitia priameho chladenia a s použitím priameho chladenia. Teplota drôtu na poslednom ťahu poklesla zo $168 \text{ }^\circ\text{C}$ na $105 \text{ }^\circ\text{C}$ t.j. o $63 \text{ }^\circ\text{C}$. Zistené poklesy teplôt boli prekontrolované i pomocou tepelnej bilancie chladiacej vody. K tomu účelu bola meraná vstupná a výstupná teplota chladiacej vody. Bez použitia priameho chladenia sa voda chladením prievlaku zahriala z 20 na $25 \text{ }^\circ\text{C}$, pri použití priameho chladenia z 20 na $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Prietok vody na chladenie jedného prievlaku bol $3,2 \text{ l.min}^{-1}$. Tento prietok bol rovnaký pri ťahání bez priameho chladenia i pri ťahání s priamym chladením.

Vplyv priameho chladenia drôtu je na medzu pevnosti ťahaného drôtu R_m a ťažnosti A_{100} je na obr. 5. Z grafov je vidieť, že vplyvom priameho chladenia drôtu dochádza k znižovaniu medze pevnosti drôtu a zvyšovaniu ťažnosti. Pri rýchlosti $5,75 \text{ m.s}^{-1}$ bola zistená nižšia

pevnosť o 144 MPa, čo predstavuje zníženie o 7,1%. Pri rýchlosti $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ o 218 MPa, čo predstavuje zníženie o 10,2 %. Ťažnosť A_{100} sa vplyvom zvyšovania rýchlosti, bez použitia priameho chladenia, výrazne znižovala. Pri rýchlosti $4,3 \text{ m.s}^{-1}$ bola 2,4%, pri rýchlosti $5,75 \text{ m.s}^{-1}$ 2,15 % a pri rýchlosti $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ len 1,8 %. Ak sme použili i priame chladenie bola táto ťažnosť pri rýchlosti $5,75 \text{ m.s}^{-1}$ bola 3,2% a pri rýchlosti $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ 2,8 %. Relatívne táto ťažnosť vzrástla pri rýchlosti $5,75 \text{ m.s}^{-1}$ o 46,3% a pri rýchlosti $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ o 56,6 %.

Vplyv priameho chladenia drôtu je na počet ohybov N_o a počet krutov N_k je na obr. 6. Počet ohybov N_o vzrástol pri rýchlosti $5,75 \text{ m.s}^{-1}$ o 1,2, čo je zvýšenie o 10,5 %. Pri rýchlosti $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ o 2, čo je 17,4 %. Počet krutov vzrástol pri rýchlosti $5,75 \text{ m.s}^{-1}$ o 11,8, čo je 66,6 %. Pri rýchlosti $8,6 \text{ m.s}^{-1}$ o 6, čo je 28,3 %.

Jednoznačne sa preukázal kladný vplyv priameho chladenia drôtu na jeho mechanické vlastnosti. Bolo zistené, že chladenie drôtu ihneď po výstupe z prievlaku má kladný vplyv na mechanické vlastnosti a zvyšovaním ťažnej rýchlosti sa tento efekt u ťažnosti A_{100} ešte zväčšoval. Priame chladenie tak poskytuje možnosť zvyšovania ťažnej rýchlosti bez negatívneho dopadu na mechanické vlastnosti. Pri zvýšení rýchlosti o cca 100 % (zo $4,35$ na $8,6 \text{ m.s}^{-1}$) a použitia priameho chladenia drôtu boli dosiahnuté ešte lepšie mechanické vlastnosti ako pri pôvodnej rýchlosti bez priameho chladenia (viď. obr. 5 a 6). Systém priameho chladenia bol dopracovaný tak, aby nedošlo ku znečisteniu chladiacej vody v systéme.

Záver

Experimentmi sme dokázali, že zvyšovanie rýchlosti ťahania má vplyv na zvyšovanie teploty drôtu a zmenu jeho mechanických vlastností. Tieto zmeny sú podľa uvedenej literatúry spôsobené starnutím po deformácií a v tomto prípade starnutím po ťahaní. Skúšky preukázali možnosť kladného ovplyvnenia teploty priamym chladením drôtu a tým i jeho mechanických vlastností. Skúšky preukázali i možnosť zvyšovania rýchlosti bez negatívneho dopadu na mechanické vlastnosti. Podstatou toho, aby nedošlo k starnutiu ocele a tým i k zhoršeniu hlavne plastických vlastností je zabránenie zohriatiu drôtu nad stanovené teploty. Jednou z možností je i priame chladenie.

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] MARCOL, J. *Ťažený ocelový drát*. Bohumín: ŽDB, a.s. Bohumín, 1996.
- [2] STEJSKAL, E. Uplatnění poznatku výzkumu při volbe vícenásobných drátotahů. In *Technická konference oboru drátoveství*. Podolanky, 1987.
- [3] SCHNEIDER, F. LANG, G. und and. *Stahldraht Herstellung und Anwendung*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1973, 421 s.
- [4] TITTEL, V. *Intenzívne mazanie a chladenie prievlakov. Priame chladenie drôtu*. Záverečná správa. Hlohovec, 1978.
- [5] STN EN 10016:2001 *Valcovaný drôt z nelegovanej ocele na ťahanie a/alebo valcovanie za studena*.
- [6] BÍLIK, J., BAČA, J., ŽATKOVIČ, J. Fyzikálny model merania teploty v mieste tvárnenia materiálu. In *TRANSFER 2004, medzinárodná vedecká konferencia*. Trenčín, 2004.