

Zvýšení tvrdosti cementovaných dopravníkových řetězů za použití zmrazování

Hardness Increasing of Casehardened Chain Hoists by Using Freezing Treatment

Ing. Lukáš Pindor, Ph.D.¹; Ing. Vratislav Bártek, Ph.D.²; Ing. Miroslav Melkus²; Ing. Petr Kleiner²

¹ TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s., Průmyslová 1000, 73970 Třinec, Česká republika

² ŘETĚŽÁRNA, a.s., Polská 48, 790 81 Česká Ves, Česká republika

Cementované řetězy pro dopravníky jsou jedním ze špičkových výrobků Řetězárny, a.s., jejichž hlavní předností je vysoká odolnost proti otěru. S ohledem na rostoucí požadavky zákazníků je snaha také u tohoto výrobku zvyšovat kvalitu. V tomto směru a v rámci interního výzkumného projektu Třineckých železáren, a.s. zaměřeného na zvyšování užitečných vlastností vysokopevných řetězových ocelí a řetězů samotných byl proveden experiment, kdy bylo do konvenčního tepelného zpracování dopravníkových řetězů zařazeno zmrazování. Účelem tohoto experimentu bylo ověřit, zdali zmrazování pomocí tekutého dusíku nebo suchého ledu přinese zvýšení tvrdosti a tím i otěruvzdornosti cementovaných dopravníkových řetězů. Obdržené výsledky ukázaly, že oba typy zmrazování, které byly provedené po kalení do oleje, přinesly nárůst tvrdosti v nauhličené vrstvě těchto řetězů.

Klíčová slova: dopravníkové řetězy; otěruvzdornost; tekutý dusík; suchý led

Casehardened chain hoists are one of the top products of the chain making company Řetězárna, a.s., The main advantage of these chains is their high abrasion resistance. However, due to the growing demands of customers it is also necessary to strive to enhance the quality of this product. In this regard and in the context of an internal research project of the steelmaking company Třinecké železáren, a.s., which was focused on increasing the service properties of high strength chain steels and chains themselves, an experiment was conducted, in which freezing was included in the conventional thermal treatment of conveyor chains. The goal of this experiment was to determine, whether the freezing by liquid nitrogen or dry ice will increase the hardness and thus wear resistance of the casehardened chain hoists. The obtained results then showed that both types of freezing, which were included after oil hardening, brought an increase in the hardness of the carburized layer of these chains.

As part of the experiment was a conveyor chain 30×108 type R35C14 was manufactured from the conventional case hardening steels 18CrNiMo7-6 (Wr. n. 1.6587). Three groups of samples were prepared from this chain, which were collectively carburized and quenched in oil. Two groups of these samples were then frozen after quenching by dry ice and liquid nitrogen. The final heat treatment was the same for all three groups and it consisted of conventional tempering. All the samples were then subjected to a tensile test, hardness measurement and measurement of the width of the hardened layer after etching.

The results showed that the use of freezing with dry ice and/or in liquid nitrogen increased hardness in the surface layer of these samples. For the samples that were frozen in liquid nitrogen the surface hardness increased up to 250 HV and the hardness of the core also increased. This is attributed to the transformation of residual austenite to martensite in the carburized surface layer.

Key words: chain hoists; wear resistance; liquid nitrogen; dry ice

Zmrazováním se označuje operace při tepelném zpracování oceli, kdy je zakalený ocelový výrobek ochlazován na teplotu pod bodem mrazu. Tato operace se používá hlavně u nadeutektoidních ocelí, jejichž teploty konce martenzitické přeměny (Mf) leží pod 0 °C. Tedy při kalení např. do předpisově zahřáté olejové lázně nedochází u těchto ocelí ke kompletní martenzitické přeměně, a po ochlazení tak ve struktuře zůstává zbytkový austenit. Zbytkový austenit je většinou nežádoucí, neboť jeho přítomnost snižuje tvrdost zakalené oceli a dále zároveň dochází k jeho pozvolné přeměně na martenzit, která může probíhat při normální teplotě i několik let. Je

provázána objemovými změnami, které zvyšují vnitřní pnutí, způsobují deformace a změny rozměrů. Přeměna zbytkového austenitu může být také podpořena i dynamickým zatěžováním dané oceli [1].

Zmrazování však také způsobuje precipitaci jemných, v celém objemu vyloučených karbidů, které přispívají ke zvýšení pevnosti a tvrdosti materiálu vlivem precipitačního zpevnění [2].

Zmrazování se provádí tak, že se daný předmět ochladí na teplotu nižší než Mf. Pro účely zmrazování se v praxi používá směs lihu a tuhého CO₂ (-78 °C), nádob

s tekutým vzduchem (-183 °C) nebo nejčastěji dusíkem (-196 °C). Doba ochlazování by měla být přiměřeně dlouhá, aby došlo k vyrovnání teploty v celém průřezu předmětu. Po zmrazování je nezbytně nutné zařadit popouštění [3].

Lze tedy říci, že zmrazování komplikuje tepelné zpracování ocelí, ale může být účelné tam, kde snížení podílu zbytkového austenitu přináší výhody (zvýšení oteřuvzdornosti, tvrdosti, pevnosti) a kde jej nelze odstranit popouštěním. Proto je vhodné zejména u výrobků, kde je vyžadována větší rozměrová stálost, hlavně u legovaných ocelí s vyšším obsahem uhlíku (přesné nástroje, měřidla) a u cementovaných součástí ze slitinových ocelí [4].

V rámci interního výzkumného projektu Třineckých železáren, a.s. zaměřeného na zvyšování užitečných vlastností vysokopevných řetězových ocelí a řetězů samotných byl v Řetězárně, a.s. proveden experiment, kdy bylo do konvenčního tepelného zpracování po cementaci dopravníkových řetězů zařazeno zmrazování. Cílem této operace bylo ověřit možnosti a hlavně přínos technologie zmrazení na tvrdost nauhličené povrchové vrstvy dopravníkových řetězů.

Dopravníkové řetězy

Dopravníkové řetězy jsou standardním výrobkem Řetězárny, a.s. patří do skupiny Třinecké železářny - Moravia Steel.

Jedná se o cementované článkové řetězy pro dopravníky se speciálními vlastnostmi, které jsou určeny zejména pro korečkové dopravníky a dopravní zařízení v různých odvětvích průmyslu a zemědělství. Tyto řetězy nesmí být použity jako součást vázacích řetězů a prostředků pro uchopení a manipulaci s břemeny.

Řetězy pro dopravníky mají logicky v důsledku cementace povrchovou tvrdost vyšší než je tvrdost ve středu článku. Konkrétní hodnoty povrchové tvrdosti, hloubky zakalení a použitého materiálu nejsou dány jednotnou normou a každá řetězárna vydává tyto parametry pod svou podnikovou normou: např. Řetězárna a.s. pod PN 36-15 (typ řetězu R40C9 a R35C14) a PN 40-13 (typ řetězu RC4 a RC5). Požadavky na řetěz jsou však u většiny řetězárén stejné. Rozměrové parametry jsou převážně převzaté z norem DIN 764, DIN766 a DIN 22 252.

Za špičkový dopravníkový řetěz lze označit typ R35C14. Požadavky na dopravníkové řetězy jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Vlastnosti dopravníkových řetězů dle PN 36-15 a PN 40-13

Tab. 1 Properties of chains hoists according to the PN 36-15 and PN40-13

Typ řetězu	RC4	RC5	R40C9	R35C14
zkušební napětí (N·mm ⁻²)	140	185	240	210
napětí při přetržení (N·mm ⁻²)	280	370	400*	350*
povrchová tvrdost v ohbí (HV30)	min. 800		800 ± 40	
tvrdost jádra (HV30)	cca. 450		-	-
hloubka nauhličení HTÄ (mm)	0,1·d ± 0,1·d		0,09·d ± 0,1·d nad ø28 = 0,085·d	0,14·d ± 0,1·d nad ø28 = 0,12·d
hloubka cementace Eht (min. 550 HV30)	0,06·d nad ø28 = 0,05·d		0,05·d nad ø28 = 0,045·d	0,09·d nad ø28 = 0,08·d

Jak je z tab. 1 patrné, jednou z nejdůležitějších vlastností u těchto typů řetězů je povrchová tvrdost měřená v ohbí.

Experiment

Vlastní experiment byl proveden na dopravníkovém řetězu 30×108 typu R35C14 (rozměry dle DIN 22 252), který byl vyroben z cementační oceli 18CrNiMo7-6 (rozsah chemického složení v tab. 2).

Tab.2 Rozsah chemického složení oceli 18CrNiMo7-6

Tab.2 The range of chemical composition of the steel 18CrNiMo7-6 (wt. %)

Ocel		(hm. %)					
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
18CrNiMo7-6	Min	0,15		0,50	0,50	0,25	1,40
	Max	0,21	0,40	0,90	1,80	0,35	1,70

Z daného řetězu byly vyrobeny 3 skupiny vzorků, přičemž každou skupinu tvořil 4× pětičlánkový a 4× jednočlánkový vzorek (uvedený počet vzorků byl volen z důvodů opakovatelnosti), které se lišily následujícím způsobem:

skupina č. 1: vstup řetěz 30×108 dle PN 36-15, typ R35C14, standardně vyroben;

skupina č. 2: vstup řetěz 30×108 dle PN 36-15, typ R35C14, standardně vyroben a do tepelného zpracování zařazeno zasypání vzorků suchým ledem po dobu cca 30 min, teplota cca -78 °C;

skupina č. 3: vstup řetěz 30×108 dle PN 36-15, typ R35C14, standardně vyroben a do tepelného zpracování zařazeno ponoření vzorků do nádoby s tekutým dusíkem po dobu cca 15 min, teplota lázně cca -196 °C.

Všechny vzorky byly cementovány a kaleny do oleje najednou, dále však bylo pouze u dvou skupin vzorků (skupina č. 2 a č. 3) použito zmrazování v suchém ledu a tekutém dusíku (snímek vzorků vytažených z tekutého dusíku na obr. 1). Konečné tepelné zpracování se skládalo z konvenčního popouštění.

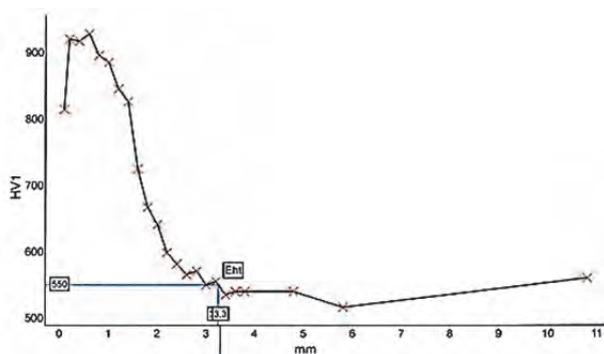


Obr. 1 Vzorky řetězu 30x108 vytažené z tekutého dusíku
Fig. 1 Samples of chain 30x108 extracted from liquid nitrogen

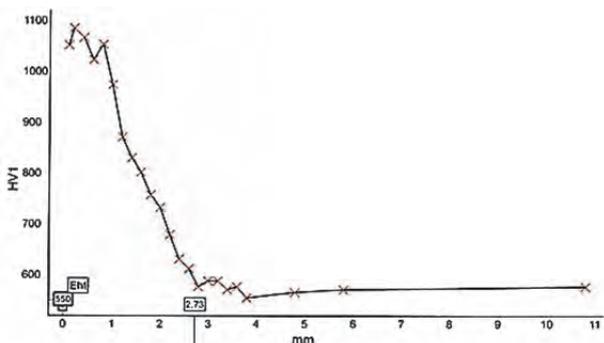
Výsledky a diskuse

Vzorky po konečné operaci byly podrobeny měření tvrdosti a šířky cementační vrstvy po makroleptu. Výsledky měření tvrdosti HV1 dle ČSN EN ISO 2639 jsou graficky shrnuty na obr. 2.

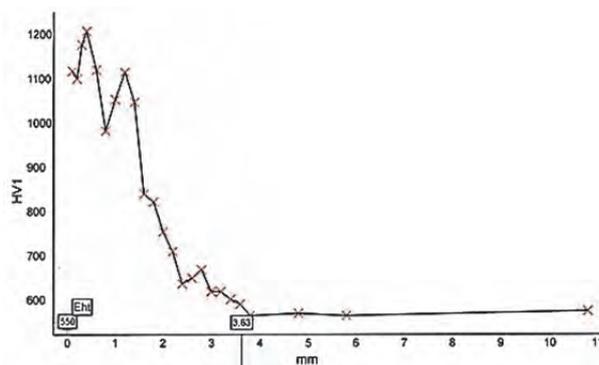
Skupina č. 1



Skupina č. 2



Skupina č. 3



Obr. 2 Výsledky měření tvrdosti nauhličené vrstvy
Fig. 2 Results of hardness measurement of carburized layer

Z průběhu tvrdosti po průřezu vzorků na obr. 2 je patrné, že vlivem zmrazování se zvýšila významně tvrdost v povrchové vrstvě těchto vzorků řetězů.

V tab. 3 je uveden souhrn získaných výsledků. Ukázalo se, že zmrazením vzorků řetězů 30x108 v tekutém dusíku došlo k výraznému vzrůstu povrchové tvrdosti, avšak také se zvýšila tvrdost jádra. Zajímavá je i skutečnost, že se zvýšila u skupiny č. 3 hloubka nauhličení. Tento poznatek lze však považovat za orientační, protože hloubka nauhličení byla odvozena pouze z měření tvrdosti.

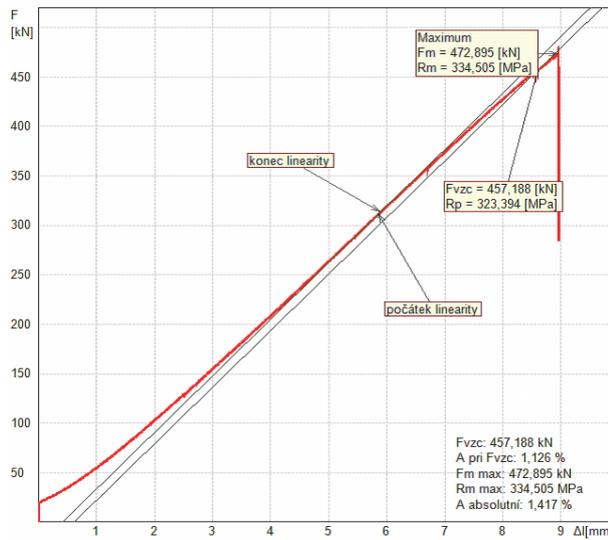
Tab. 3 Vlastnosti řetězů PN 36-15, jakost R35C14
Tab. 3 Properties of chains PN 36-15, quality R35C14

Vlastnost	Skupina č. 1	Skupina č. 2	Skupina č. 3
max. povrchová tvrdost v ohbí (HV30)/hloubka (mm)	920/0,2	1085/0,2	1206/0,4
tvrdost jádra (HV1)	541	574	568
hloubka nauhličení HT _A (mm)	3,5	3,5	3,7

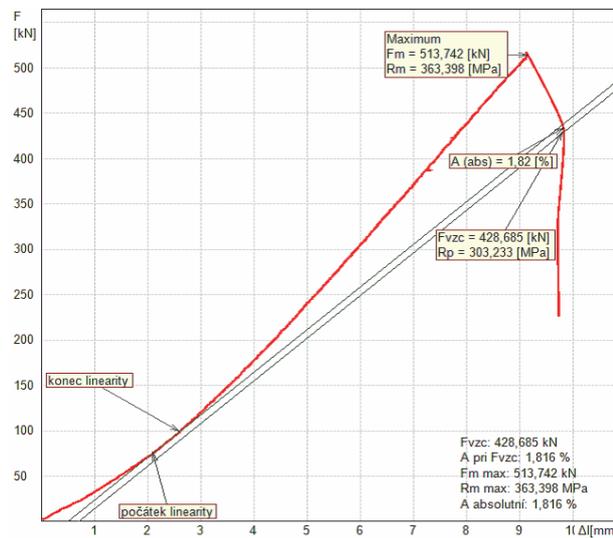
Tepelně zpracované pětičlánkové řetězy byly podrobeny tahové zkoušce (obr. 3). Výsledky ukázaly, že i napětí při přetržení F_m a mez pevnosti R_m , je stejné nebo nepatrně větší u vzorků, které byly zmrazené (skupina č. 2 a skupina č. 3). Zkoušky byly provedeny na automatickém zkušebním zařízení Labortech 400 t.

Lze tedy předpokládat, že dané zvýšení tvrdosti, potažmo i pevnosti (u vzorků skupiny č. 2) bylo způsobeno rozkladem zbytkového austenitu v důsledku použití zmrazování. Protože se však jednalo o pilotní zkoušky, které byly zaměřeny pouze na ověření mechanických vlastností, nebyla provedena metalografická analýza vzorků před a po zmrazování. Důslednější ověření bude součástí dalších prací v tomto výzkumu.

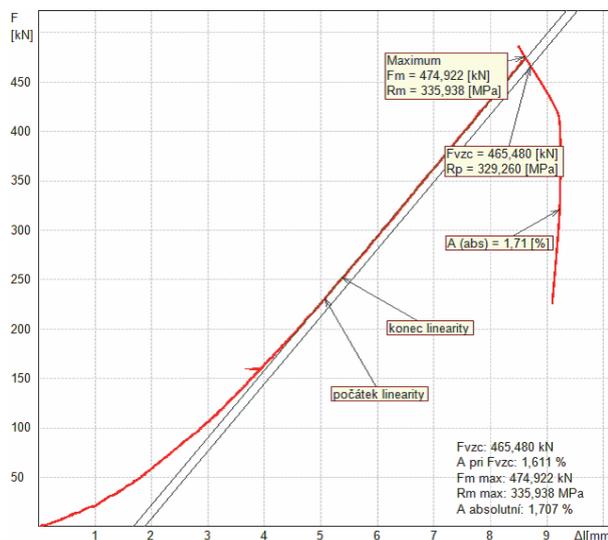
Skupina č. 1



Skupina č. 2



Skupina č. 3



Obr. 3 Výsledky tahových zkoušek pro jednotlivé skupiny řetězů
Fig. 3 Results of tensile tests for individual groups of chains

Závěr

V rámci interního výzkumného projektu Třineckých železáren, a.s. zaměřeného na zvyšování užitných vlastností vysokopevných řetězových ocelí a řetězů samotných byl proveden experiment, kdy bylo do konvenčního tepelného zpracování dopravníkových řetězů zařazeno zmrazování.

Výsledky ukázaly, že pomocí tekutého dusíku a suchého ledu, kdy byly vzorky dopravníkového řetězu 30×108 typu R35C14 po kalení do oleje zchlazeny, došlo k výraznému nárůstu povrchové tvrdosti i pevnosti, což je připisováno rozkladu zbytkového austenitu na martenzit.

Další práce v této oblasti budou zaměřeny na detailnější zkoumání mikrostruktury dopravníkových řetězů tepelně zpracovaných za použití zmrazování, a to na hodnocení mikrostruktury, měření množství zbytkového austenitu a hodnocení charakteru precipitátů.

Literatura

- [1] RYŠ, P., CENEK, M., MAZANEC, K., HRBEK, A. *Nauka o materiálu*. Praha: Nakladatelství Československé Akademie věd, 1975.
- [2] MENG, F. et al. Role of Eta-carbide Precipitations in the Wear Resistance Improvements of Fe-12Cr-Mo-V1.4C Tool Steel Cryogenic Treatment *ISIJ International*, 34 (1994) 2, 205–210.
- [3] BARRON, F.R. Yes – Cryogenic Treatments Can Save You Money! Here's Why". *Tapi*, 57 (1974), 35–40.
- [4] SUSHEEL, K. Cryogenic Processing: A Study of Materials at Low Temperatures. *Journal of Low Temperature Physics*, 158 (2010) 5-6, 934–945, DOI: 10.1007/s10909-009-0058-x.