

Metodika hodnocení opotřebení vybraných nástrojových ocelí s kryogenním zpracováním při práci za studena

Nikola Moravcová^{1,*}

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav materiálového inženýrství, Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2, Česká republika

Abstrakt

Tato práce se zabývá hodnocením a porovnáním opotřebení dvou různých nástrojových ocelí. Na základě dat od zadavatele o konkrétním problému v oblasti životnosti nástrojů na profilovací lince byla provedena analýza a její výsledky byly podkladem pro plánování experimentu. Pro tvářecí nástroje byly vybrány dva zkušební materiály. První volbou byla konvenčně vyrobená nástrojová ocel Sverker 21 a druhou byl Vanadis 23 – ocel vyrobená práškovou metalurgií. Na základě předchozích prací bylo do konvenčního tepelného zpracování u obou sledovaných materiálů zařazeno kryogenní zpracování mezi kalení a popouštění. Byla sledována velikost opotřebení nástrojů v závislosti na ujeté délce tvářeného plechu. Pro hodnocení velikosti opotřebení byla zvolena metoda měření rozměrů nástrojů pomocí optického měřicího přístroje MICRO VU Vertex 311 a softwaru SolidWorks. Pro kontrolu výsledků bylo navrženo měření váhových úbytků. Předložená práce je dílčí součástí diplomové práce.

Klíčová slova: opotřebení; Sverker 21; Vanadis 23; profilování; kryogenní zpracování

1. Úvod

Předložený příspěvek byl zpracován na základě spolupráce s firmou Nedcon Bohemia s.r.o. zabývající se výrobou regálových systémů. V jejich provozu pracuje několik tvářecích linek vyrábějících stojny a příčky (Obr. 1) pro regálové sestavy. Vybraná linka používaná ve firmě je rozdělena na 24 stanic, kde každá je osazena 2-4 tvářecími nástroji (dále rolny). Obr. 2 dokumentuje příklad jedné rolny, která konkrétně váží v původním stavu 1950 g. Náklady na takto velké nástroje jsou úměrné jejich velikosti, použitému materiálu a tepelnému zpracování [1], [2]. Zde je třeba uvést, že výměna rolny po opotřebení znamená odstavení tvářecí linky až na tři dny, což v konečném důsledku snižuje produktivitu výroby. Firma Nedcon zahájila projekt řešící návrh nového materiálu na rolny s cílem jejich větší životnosti. Tento požadavek je v souladu s aktuálními narůstajícími nároky na kvalitu a užité vlastnosti nástrojových materiálů [2], [3]. Proloužení času mezi jednotlivými odstávkami tvářecí linky je pro zadavatele prioritou.

Na základě předchozích prací [4] byla jako perspektivní pro tuto aplikaci navržena nástrojová ocel Vanadis 23 vyrobená práškovou metalurgií. Jurči [2] uvádí, že tento postup vede k odstranění závislosti mechanických vlastností na směru struktury, a dále ke zlepšení houževnatosti oceli a umožnění vyššího legování, např. uhlíku a vanadu. Pro porovnání byla použita současně ocel Sverker 21 vyrobená konvenčním způsobem. Je známo, že užité vlastnosti nástrojových ocelí jsou zaručeny vhodným způsobem tepelného zpracování [5], [6]. Z toho důvodu bylo do konvenčního cyklu tepelného zpracování roln vyrobených z obou uvedených materiálů zařazeno kryogenní zpracování. Dostupná literatura [7] ukazuje, že kryogenní zpracování vede ke zvýšení odolnosti proti opotřebení.

Cílem předložené práce je navržení metodiky pro hodnocení opotřebení nástrojů v závislosti na objemu výroby. Tato metodika musí splňovat požadavek minimálního omezení chodu výrobního provozu.



Obr. 1 Konečný výrobek – stojny a příčky



Obr. 2 Rolna s označením 183725-VB

* Kontakt na autora: Nikola.Moravcova@fs.cvut.cz

2. Návrh experimentu

2.1 Experimentální materiály

Jak již bylo zmíněno v úvodu, byly vybrány 2 druhy nástrojových ocelí, z každé byly vyrobeny 2 sady tvářecích kol pro vytipovanou stanici na dané tvářecí lince (podrobnosti viz níže).

Ocel Sverker 21, vyrobená konvenční metalurgií, je molybdenem a wolframem legovaná nástrojová ocel s vysokým obsahem uhlíku a chromu. Její typické vlastnosti jsou vysoká odolnost proti opotřebení, pevnost v tahu, rozměrová stálost a dobrá prokalitelnost i odolnost proti popouštění [8].

Ocel Vanadis 23 je Cr-Mo-W-V legovaná rychlořezná ocel, pro kterou jsou charakteristické následující vlastnosti: vysoká odolnost proti abrazivnímu opotřebení, pevnost v tlaku, houževnatost a velmi dobrá prokalitelnost, rozměrová stálost při kalení i odolnost proti popouštění [9].

Chemické složení použitých ocelí zobrazuje Tabulka 1. Ekvivalentní označení použitých ocelí podle různých norem uvádí Tabulka 2.

Tabulka 1 Chemické složení ocelí [8], [9]

Materiál	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]	W [%]
Sverker 21	1.55	0.3	0.4	11.	0.8	0.8	-
Vanadis 23	1.28	-	-	4.2	5.0	6.4	3.1

Tabulka 2 Ekvivalentní označení použitých ocelí [8], [9]

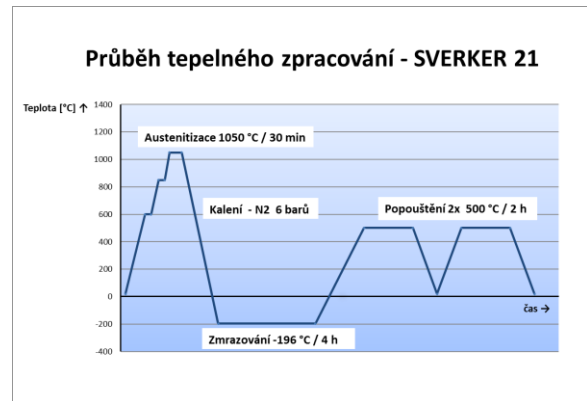
Uddeholm	AISI	ČSN	EN ISO	W.-Nr.
Sverker 21	D2	19 573	X155CrVMo12-1	1.2379
Vanadis 23	M2:3	19 837	HS6-5-3	1.3344

Podmínky a postup tepelného zpracování jsou uvedeny v Tab. 3 a schéma obou procesů TZ na Obr. 3 a Obr. 4.

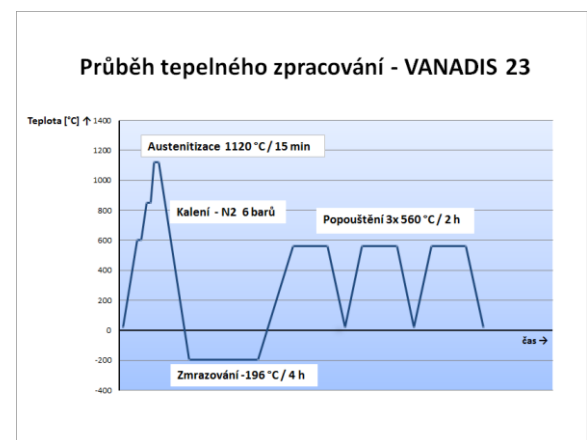
Kryogenní zpracování při teplotách $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ je v literatuře označováno zkratkou DCT (Deep Cryogenic Treatment) [7]. V případě sledovaných nástrojů bylo DCT vloženo mezi kalení a popouštění.

Tabulka 3 Tepelné zpracování nástrojů

Materiál	Kalení	DCT	Popouštění
Sverker 21	$1050\text{ }^{\circ}\text{C} / 30\text{ min}$	$-196\text{ }^{\circ}\text{C} / 4\text{ h}$	$2 \times 500\text{ }^{\circ}\text{C} / 2\text{ h}$
Vanadis 23	$1120\text{ }^{\circ}\text{C} / 15\text{ min}$	$-196\text{ }^{\circ}\text{C} / 4\text{ h}$	$3 \times 560\text{ }^{\circ}\text{C} / 2\text{ h}$



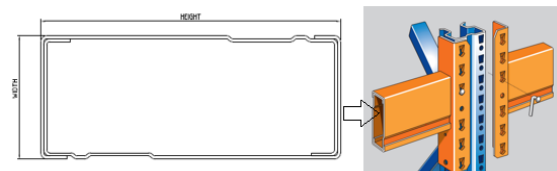
Obr. 3 Schéma TZ Sverker 21



Obr. 4 Schéma TZ Vanadis 23

2.2 Konfigurace testování

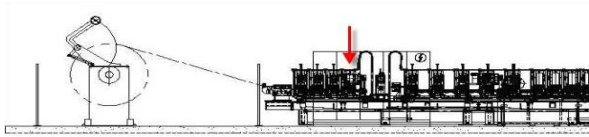
Testování připravených rolen probíhalo na průběžné tvářecí lince, která vyrábí důležitou produktovou rodinu, a to sice polotovary pro výrobu příček pro regálové systémy. Konkrétní konečný výrobek včetně tvaru profilu je zobrazen na Obr. 5. Jedná se o geometricky podobný produkt v různých poměrech stran: šířka = 40,50,60 mm, délka = 90,110,130,150 mm.



Obr. 5 Konečný produkt vyráběný na testované lince

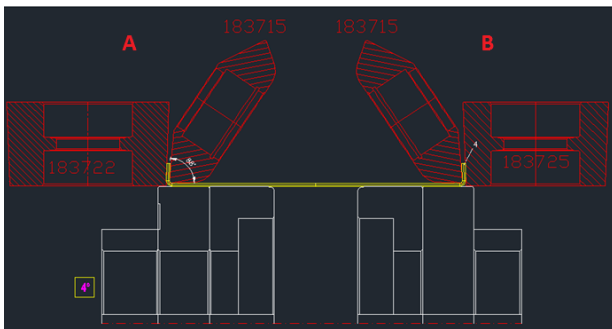
Sledovaná linka zpracovává černou (nemořenou) ocel o tloušťce 1,5 a 2 mm v kvalitě S275JR a S355MC. Celý proces profilování probíhá pod emulzí. Při běhu linky jsou pomocí vhodně orientovaných trysek oplachována místa styku materiálu s rolnami, což snižuje tření a teplo. Rychlost výroby se pohybuje okolo 40 m/min.

Zkoumané nástroje byly nasazeny na stanici č. 4. Dle zadavatele zde dochází k největšímu opotřebení nástrojů v rámci sledované linky. Její umístění na profilovacím úseku linky dokumentuje Obr. 6 (naznačeno šipkou).



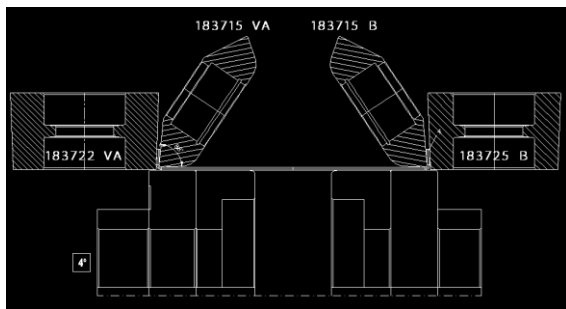
Obr. 6 Umístění stanice č. 4 v rámci sledované linky

Na této stanici dochází k ohýbání plechu pomocí postranní rolny s vertikální osou otáčení a pomocí vnitřních roln, které tvoří oporu pro tváření. Operace na této stanici spočívá v přetvoření úhlu ohybu plechu ze 106° na 88° viz Obr.7.

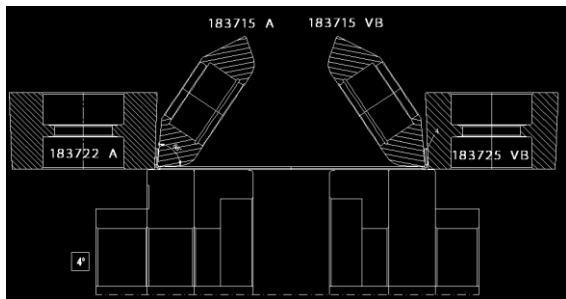


Obr. 7 Schéma stanice č. 4 a umístění jednotlivých nástrojů

Testování připravených roln probíhalo ve dvou fázích. V každé fázi byly testovány 2 rolly z materiálu Sverker 21 a 2 rolly z materiálu Vanadis 23. Každý materiál byl nasazen jednou na stranu A a podruhé na stranu B. V druhé fázi tomu bylo naopak. Umístění roln v první fázi zobrazuje Obr. 8 (konfigurace 1) a rozvržení v druhé fázi je ukázáno na Obr. 9 (konfigurace 2). Souhrnný přehled označení všech roln udává Tabulka 4.



Obr. 8 Konfigurace 1



Obr. 9 Konfigurace 2

Tabulka 4 Označení roln podle jejich čísla a materiálu

Materiál	183722 (A)	183715 (A)	183715 (B)	183725 (B)
Sverker 21	183722_A	183715_A	183715_B	183725_B
Vanadis 23	183722_VA	183715_VA	183715_VB	183715_VB

Tento průběh experimentu byl navržen z důvodu lepší porovnatelnosti opotřebení jednotlivých roln. I když jsou obě strany geometricky velmi podobné, jejich zatěžování je různé. Vnitřní rolly jsou totožné, ale vnější rolly stejné nejsou. Rolna s označením 183722 má větší průměr než rolna 183725. Nástroje na straně A byly podle zkušeností obsluhy linky vždy opotřebovávány o něco rychleji než na straně B.

3 Metodika hodnocení

U všech sledovaných nástrojů byla před jejich nasazením naměřena tvrdost zkouškou dle Rockwella [10] na zařízení EMCOTEST M4C 075/750. Pokaždé bylo provedeno 5 měření, stanovena průměrná hodnota a směrodatná odchylka.

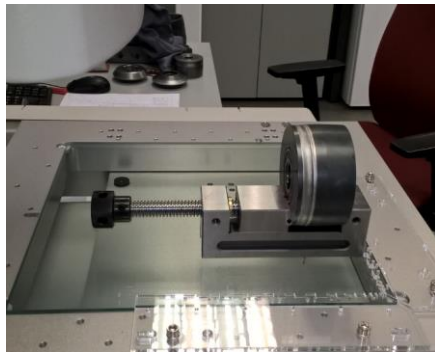
Hlavním úkolem tohoto experimentu bylo navržení vhodné metody pro sledování velikosti opotřebení na jednotlivých rolnách. Vzhledem k omezení vyplývajících ze skutečnosti, že testování probíhalo v reálném provozu a jednotlivé proměřování v průběhu experimentu bylo časově omezeno na 2-3 hodiny, byl zvolen následující postup.

Před začátkem experimentu byl u každé rolly v definované pozici (viz Obr.2) změřen její přesný profil na optickém přístroji MICRO VU Vertex 311 a následně vytvořen její model v programu SolidWorks.

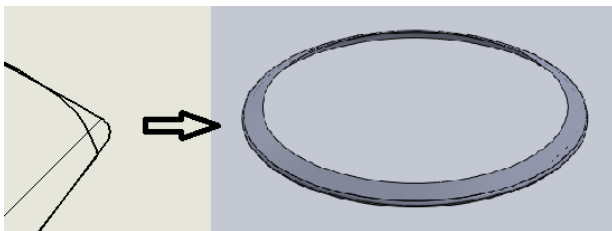
V rámci výroby je sledována délka a materiál pásu, který byl linkou zpracován. Průběžná vyhodnocování opotřebení se prováděla po cca 3 týdnech provozu nasazených roln, vždy však po domluvě s plánovačem tak, aby měření spojené s odstávkou linky neomezilo plán výroby.

Během každé takové odstávky byl zaznamenán počet ujetých kilometrů a nástroje byly vyjmuty pro zdokumentování jejich stavu. Pomocí výše zmiňovaného optického přístroje byl ve stejné definované pozici opět naměřen profil rolly (Obr. 10) a vytvořen její model v softwaru SolidWorks. Tímto způsobem byla dokumentována dvě místa opotřebení u každé rolly (z pravé a levé strany). Pomocí porovnání původního a aktuálního modelu byla získána velikost opotřebení jako objem úbytku materiálu rolly (Obr. 11). Výsledná hodnota opotřebení byla stanovena z průměrné velikosti úbytku objemu na pravé a levé straně modelu rolly. Tyto dvě hodnoty se od sebe lišily maximálně o 10 %. Po provedených měřeních byly všechny 4 rolly znovu osazeny na linku a pokračovalo se ve výrobě. Odstávka byla provedena třikrát během první fáze testování. Po ukončení této fáze byly vyměněny rolly na všech stanicích linky za nové, aby byly zajištěny stejné výchozí podmínky pro obě konfigurace. Během

druhé konfigurace proběhlo kontrolní měření také celkem třikrát.



Obr. 10 Měření profilu rolny na přístroji Vertex 311



Obr. 11 Vpravo: porovnání původního a aktuálního modelu rolny, vlevo: model objemu úbytku materiálu

Jako kontrolní metoda pro hodnocení opotřebení těchto nástrojů bylo navrženo měření hmotnostních úbytků. Všechny rolny byly před zahájením experimentu zváženy v laboratořích Ústavu materiálového inženýrství na ČVUT. Váhy v Nedconu nedosahovali dostatečné přesnosti pro tyto účely. Bohužel, během osazování nástrojů do tvářecí linky musel být u všech roln zvětšen jejich vnitřní průměr, čímž byl výsledek hmotnostních úbytků znehodnocen. Z toho důvodu nemohla být metoda v rámci experimentu použita.

4 Výsledky experimentu a zhodnocení

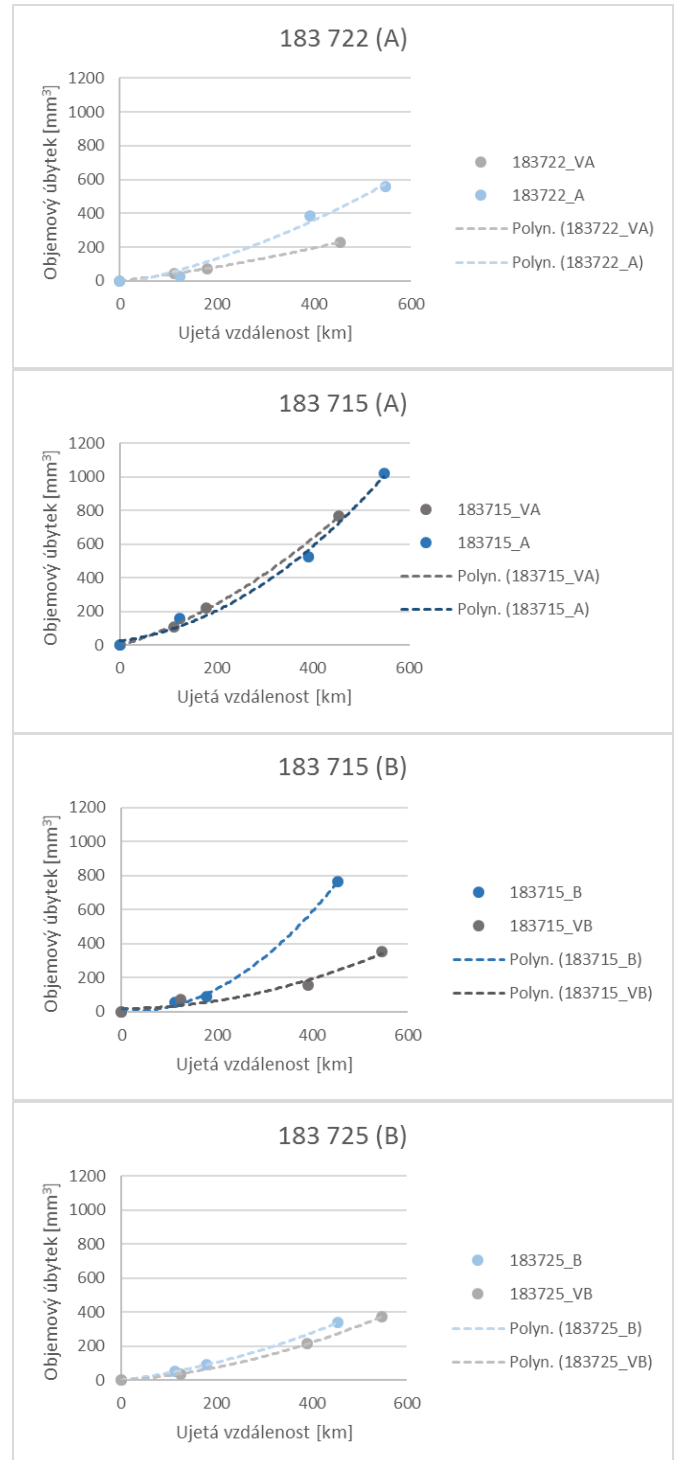
V Tabulce 5 jsou uvedeny výsledné naměřené tvrdosti nástrojů. Hodnoty u materiálu Sverker 21 jsou o 2-3 HRC nižší než u materiálu Vanadis 23. Tyto výsledky jsou v souladu s informacemi z materiálových listů obou ocelí [8], [9].

Tabulka 5 Hodnoty naměřených tvrdostí a jejich směrodatné odchylky

Materiál	183722 (A)	183715 (A)	183715 (B)	183725 (B)
Sverker 21	58,60 ± 0,45 HRC	58,20 ± 0,46 HRC	59,25 ± 0,21 HRC	58,43 ± 0,35 HRC
Vanadis 23	62,09 ± 0,35 HRC	61,49 ± 0,54 HRC	61,41 ± 0,38 HRC	62,06 ± 0,60 HRC

Vyhodnocené objemové úbytky materiálu v závislosti na ujeté vzdálenosti při tváření plechu jsou uvedeny na Obr. 12. Každý z grafů zobrazuje výsledky pro jednot-

livé pozice roln ve stanici č. 4. Naměřenými body je proložen polynom druhého stupně s počátkem v nule, pro přesnější proložení by bylo třeba provést větší počet měření. Modrá barva představuje rolny ze Sverkeru 21, šedá z Vanadis 23. Tmavší odstín obou barev byl použit pro vnitřní rolny, světlejší pro vnější rolny.



Obr. 12 Podrovnání závislosti objemových úbytků z hlediska materiálu nástroje a jeho umístění ve sledované stanici tvářecí linky

Získané naměřené hodnoty pro stejnou pozici rolny nelze mezi sebou přímo porovnávat, protože jednotlivé

velikosti objemových úbytků byly odečteny při různé ujeté vzdálenosti. Pro snadnější porovnání byly získanými body tedy proloženy křivky.

Z předložených grafů vyplývá, že do vzdálenosti 200 km se nástroje opotřebovávají téměř shodně nezávisle na použitém materiálu. U vnějších rolén dochází k menšímu opotřebování v porovnání s vnitřními rolénami, což je v souladu s očekáváním. Rozdíl v namáhání je dán způsobem styku rolén s tvářeným materiálem.

Při vyhodnocování odolnosti proti opotřebování materiálu Sverker 21 a Vanadis 23 je třeba brát zřetel i na skutečnost, že v případě konfigurace 1 byl na lince zpracováván větší podíl pevnějšího materiálu S355MC, a to o 10 %. Ze zkušeností operátorů je známo, že větší podíl tohoto materiálu má za následek snížení životnosti nástrojů. S ohledem na tuto skutečnost, výsledky testů potvrzují, že materiál Vanadis 23 prokazuje větší odolnost proti opotřebování než materiál Sverker 21, což je v souladu s předchozími studiemi [3], kde ocel Vanadis 23 prokazovala až čtyřikrát nižší opotřebování než ocel Sverker 21 při stejném tepelném zpracování.

Lze tedy konstatovat, že pro použitou aplikaci se vyšší tvrdost nástrojů z oceli Vanadis 23 projeví z hlediska menšího opotřebování, pokud linkou projede více jak 200 km tvářeného plechu.

5 Závěry

1. Byl proveden návrh metodiky průběžného, provozního hodnocení velikosti opotřebování nástrojů tvářecí linky na základě požadavků zákazníka
2. Dle konzultace s operátory sledujícími změnu kvality produktů této linky v závislosti na míře opotřebování nástrojů byly výsledky této studie v souladu s jejich pozorováními.
3. Navržená metoda hodnocení opotřebování splnila požadavky společnosti Nedcon i v rámci minimalizace omezení provozu a bude dále používána pro další testování, které má za úkol zmapovat opotřebovávání rolén z dosavadně používaného materiálu a případně dalších perspektivních nástrojových materiálů.
4. V následujícím projektu bude ověřena možnost kontrolního měření velikosti opotřebování sledovaných nástrojů měřením váhových úbytků.
5. Všechny získané výsledky budou sloužit jako podklady při rozhodování o optimalizaci kvality výrobků a produktivity sledované linky.

Poděkování

Na závěr bych chtěla velmi poděkovat své vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Janě Sobotové, PhD. a Ing. Martinovi Kuříkovi za cenné rady a připomínky při psaní mé práce, a dále kolegům ze společnosti Nedcon Bohemia s.r.o. za umožnění provedení experimentu a spolupráci na jeho průběhu.

Seznam symbolů

C	chemická značka - uhlík
Cr	chemická značka - chrom
Mn	chemická značka - mangan
Mo	chemická značka – molybden
Si	chemická značka – křemík
V	chemická značka – vanad
W	chemická značka – wolfram
DCT	hluboké kryogenní zpracování (z aj. Deep Cryogenic Treatment)
HRC	jednotka tvrdosti dle Rockwella
TZ	tepelné zpracování

Literatura

- [1] Uddeholm tool steels for cold work tooling. © UDDEHOLMS AB, 2010. Firemní katalog společnosti Uddeholm. [cit. 6.4. 2017] Dostupné z: http://www.uddeholm.com/files/AB_cold_work_eng.pdf
- [2] JURČI, P. Nástrojové oceli ledeburitického typu. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009, 221 s. ISBN 978-80-01-04439-1.
- [3] KUŘÍK, M., J. SOBOTOVÁ, N. MORAVCOVÁ a J. LACZA. Study of differences between results from laboratory tests and test of real tools for selected tool steels. In: In: The 24th IFHTSE Congress 2017. Nice, 2017.
- [4] KUŘÍK M., J. LACZA, T. VLACH a J. SOBOTOVÁ. Study of the Properties and Structure of the Selected Tool Steels for cold Work Depending on the Parameters of Heat Treatment. In: 3th International Conference on Heat Treatment and Surface Engineering in Automotive Applications. Čerčany: Asociace pro tepelné zpracování kovů, 2016.
- [5] JURČI P. Tepelné zpracování nástrojových ocelí: Heat treatment of tool steels. V Praze: České vysoké učení technické, 2005. ISBN 8001033708.
- [6] LACZA, J. Vliv chemického složení a parametrů tepelného zpracování na vlastnosti a strukturu vybraných P/M rychlerezných ocelí. Praha, 2016. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Doc. Ing. Jana Sobotová, Ph.D..
- [7] AKINCIOĞLU, S., H. GÖKKAYA a İ. UYGUR. A review of cryogenic treatment on cutting tools. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology [online]. 2015, 78(9-12), 1609-1627 [cit. 2017-04-07]. DOI: 10.1007/s00170-014-6755-x. ISSN 0268-3768. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00170-014-6755-x>
- [8] Materiálový list Sverker 21. Uddeholm, 2006. Dostupné také z: <http://www.uddeholm.cz/czech/files/sverker21.pdf>
- [9] Materiálový list Vanadis 23. Uddeholm, 2006. Dostupné také z: <http://www.uddeholm.cz/czech/files/vanadis-23.pdf>
- [10] ČSN EN ISO 6508-1. Metallic materials - Rockwell hardness test. 2005. Prague: Czech Standards Institute, 2006.