

ÚVOD

Teplné zpracování nástrojových ocelí je klíčovou operací pro správné fungování daného nástroje. Různými postupy může být dosaženo výkresové tvrdosti, ale kombinace dalších mechanických vlastností nemusí být výhodná pro danou kombinaci nástroj/aplikace a vést tak k nižší životnosti. Moderní výrobní postupy nástrojových ocelí umožňují dosažení vysoké kvality struktury oceli i unikátního chemického složení. Dostupné podklady k těmto ocelím obvykle obsahují pouze popouštěcí křivky, které nemusí vždy být dostatečným zdrojem informací pro správné navržení tepelného zpracování vzhledem k použití nástroje. V rámci této práce se autor zaměřil na dvě nástrojové oceli pro práci za studena připravované práškovou metalurgií ASP 2023 a ASP 2005 s cílem nalézt vhodné tepelné zpracování pro razník. Použité režimy tepelného zpracování byly navrženy s ohledem na dosažení požadované tvrdosti 62+2 HRC a také, aby bylo možné vyhodnotit vliv teploty austenitizace a zmrzování. Výsledné vlastnosti byly hodnoceny pomocí tvrdosti, analýzy mikrostruktury včetně kvantifikace a kvalifikace karbidů, odolnosti proti opotřebení a odolnosti proti cyklickému namáhání.

CÍLE

- Na základě znalostí a předešlých prací navrhnout různé režimy tepelného zpracování včetně zařazení zmrzování pro dvě progresivní PM nástrojové oceli pro práci za studena tak, aby ve všech případech bylo dosaženo podobné tvrdosti.
- Provést podrobnou metalografickou analýzu taktó zpracovaných vzorků založenou na stanovení velikostního rozložení karbidů, jejich distribuci v oceli a stavu matrice pro jednotlivé režimy tepelného zpracování.
- Metodou Pin on disk hodnotit vliv podmínek tepelného zpracování na odolnost proti opotřebení sledovaných ocelí a jejich stavů.
- Pomocí zkoušek únavy simulovat dynamické namáhání razníku pracujícího za studena a sledovat tak vliv režimu tepelného zpracování na výslednou životnost nástroje.
- Soubor získaných dat použít pro predikci vhodného tepelného zpracování vybraných PM ocelí pro konkrétní nástroj ve vazbě na jeho výslednou životnost.

MATERIÁL A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

- Ve spolupráci se závodem SFS Group ve švýcarském Heerbruggu byly pro experimenty zvoleny dvě nástrojové oceli připravené práškovou metalurgií, určené pro práci za studena ASP 2023 a ASP 2005. Chemické složení a postup tepelného zpracování jsou vedeny v tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1 Chemické složení vybraných nástrojových ocelí dle výrobce

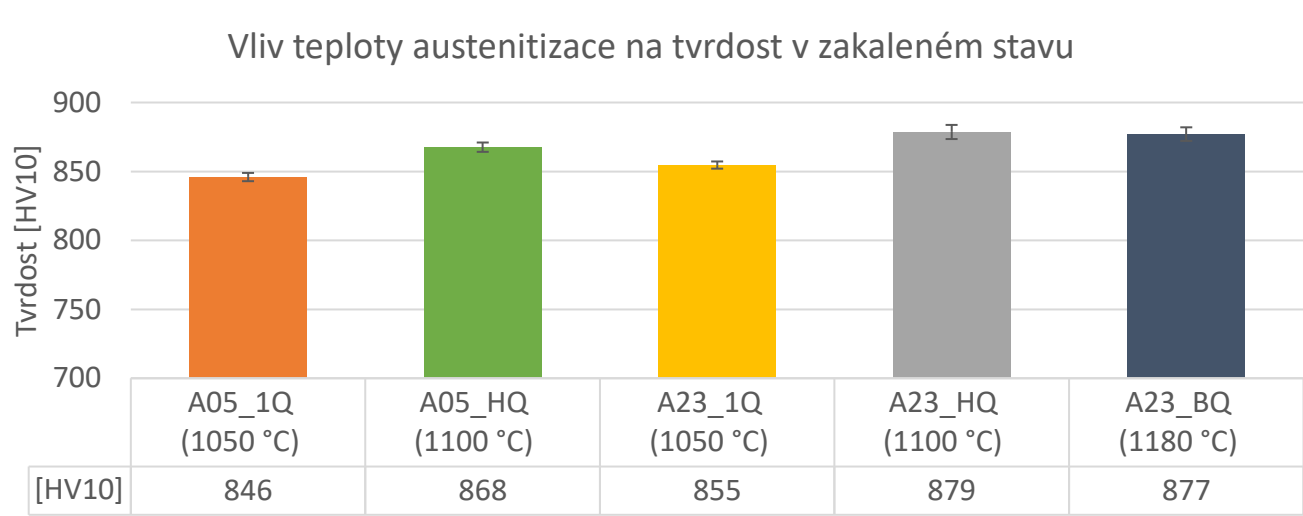
Ocel	Výroba	C	Cr	Mo	W	V	Co
ASP 2023 (1.3395)	PM	1,28	4,10	5,00	6,40	3,10	-
ASP 2005 (1.3377)	PM	1,50	4,00	2,50	2,50	4,00	-

Tab. 2 Přehled parametrů tepelného zpracování jednotlivých sérií

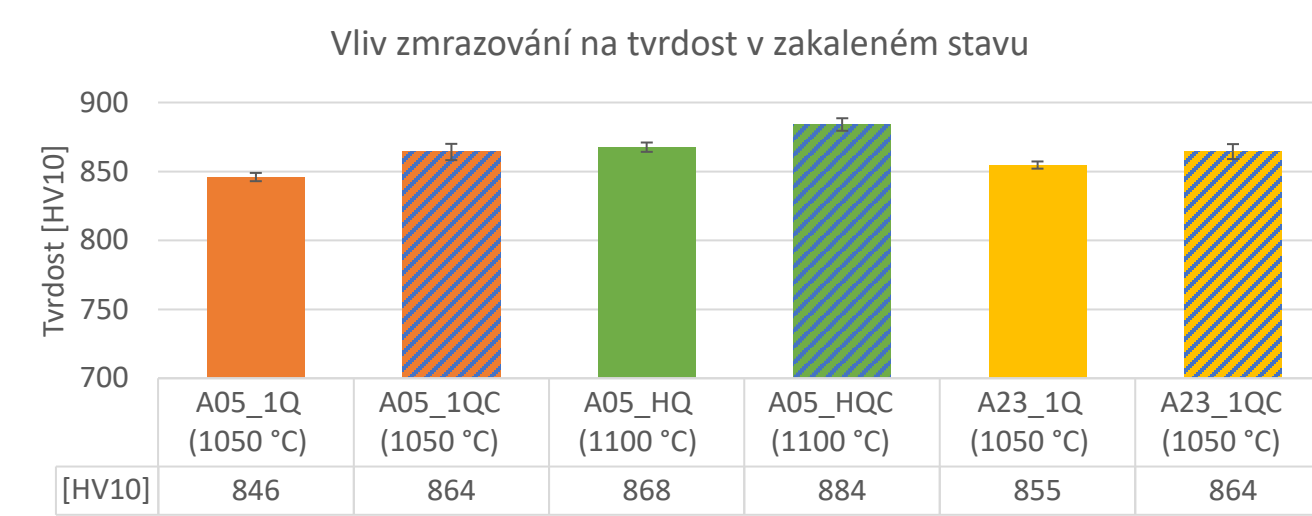
Označení	Ocel	Austenitizace	Zmrzování	1. pop.	2. pop.	3. pop.
A23_1QCT	ASP2023	1050 °C	-	540 °C	520 °C	520 °C
A23_1QCT	ASP2023	1050 °C	-80 °C	540 °C	-	-
A23_HQT	ASP2023	1100 °C	-	560 °C	560 °C	560 °C
A23_BQT	ASP2023	1180 °C	-	560 °C	560 °C	560 °C
A05_1QT	ASP2005	1050 °C	-	540 °C	520 °C	520 °C
A05_1QCT	ASP2005	1050 °C	-80 °C	540 °C	-	-
A05_HQT	ASP2005	1100 °C	-	560 °C	560 °C	560 °C
A05_HQCT	ASP2005	1100 °C	-80 °C	540 °C	-	-

TVRDOST

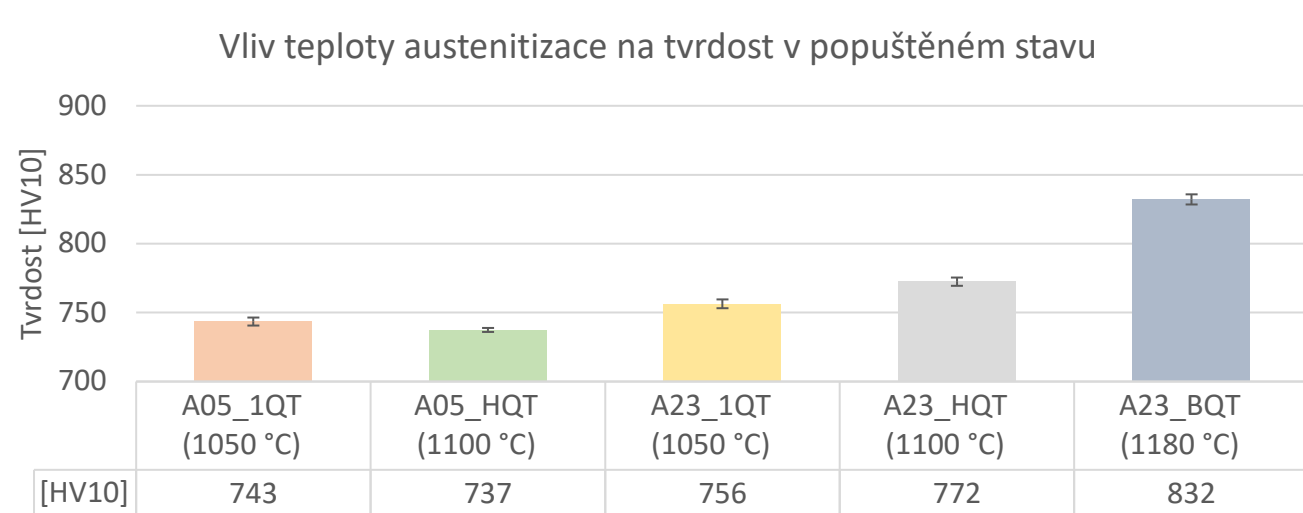
- Zkouška tvrdosti byla provedena dle Vickerse se zátěžnou silou 10 kp (98,06 N) v souladu s normou ČSN EN ISO 6507 na zařazení Duramin AC1.
- V rámci série bylo provedeno 12 měření



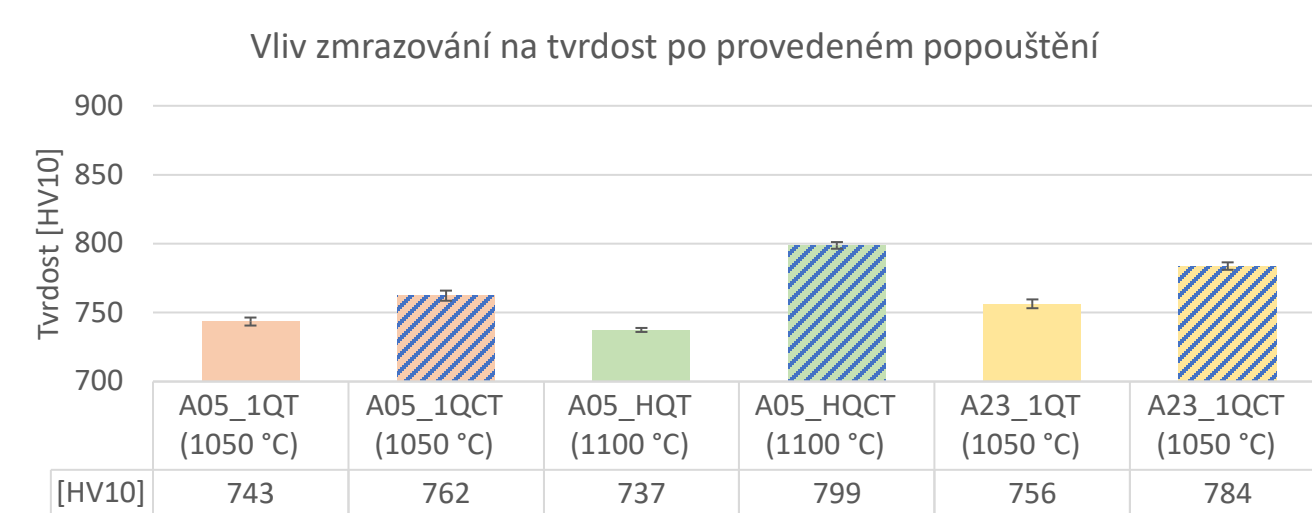
Obr. 1 Vliv teploty austenitizace na tvrdost v zakaleném stavu



Obr. 2 Vliv zmrzování na tvrdost v zakaleném stavu



Obr. 3 Vliv teploty austenitizace na tvrdost v popuštěném stavu



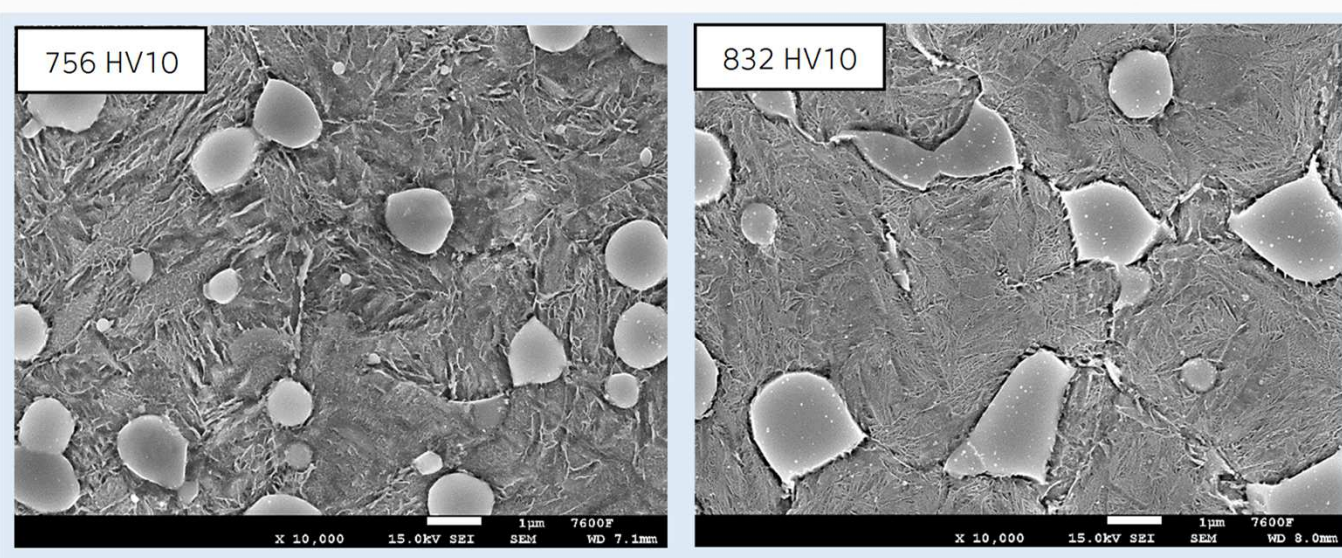
Obr. 4 Vliv zmrzování na tvrdost po provedeném popuštění

- Vyšší teplota austenitizace vede ke vyšší tvrdosti v zakaleném stavu tak i v popuštěném stavu.
- ASP 2005 dosahuje nižší tvrdosti při stejném tepelném zpracování než ASP 2023

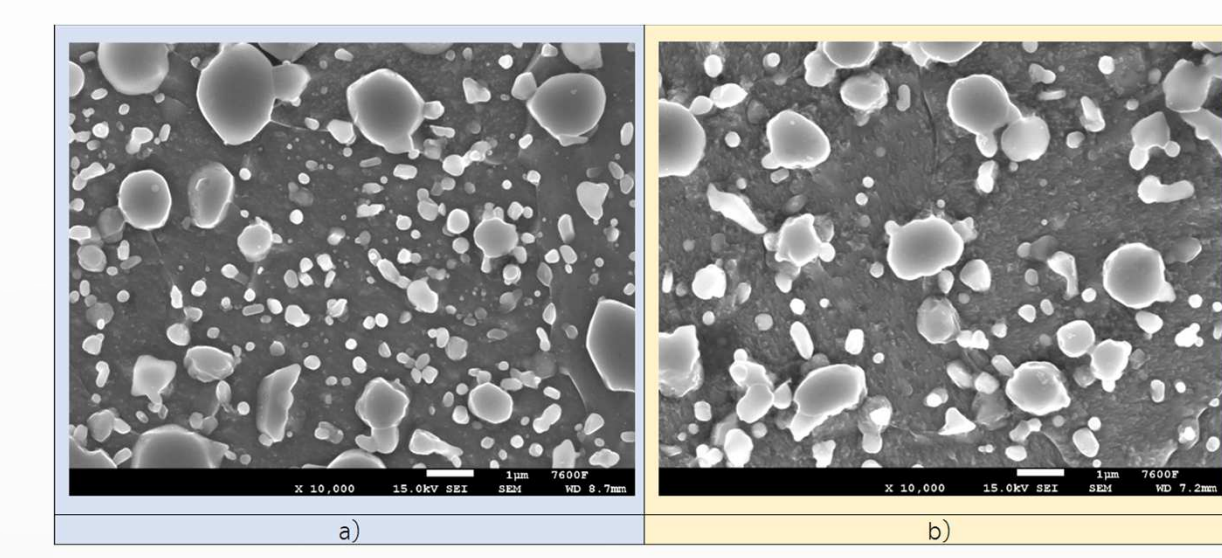
- Zmrzování mírně zvýšilo tvrdost v zakaleném stavu
- Zmrazení materiál dosahoval vyšší tvrdosti i po popuštění

METALOGRAFIE

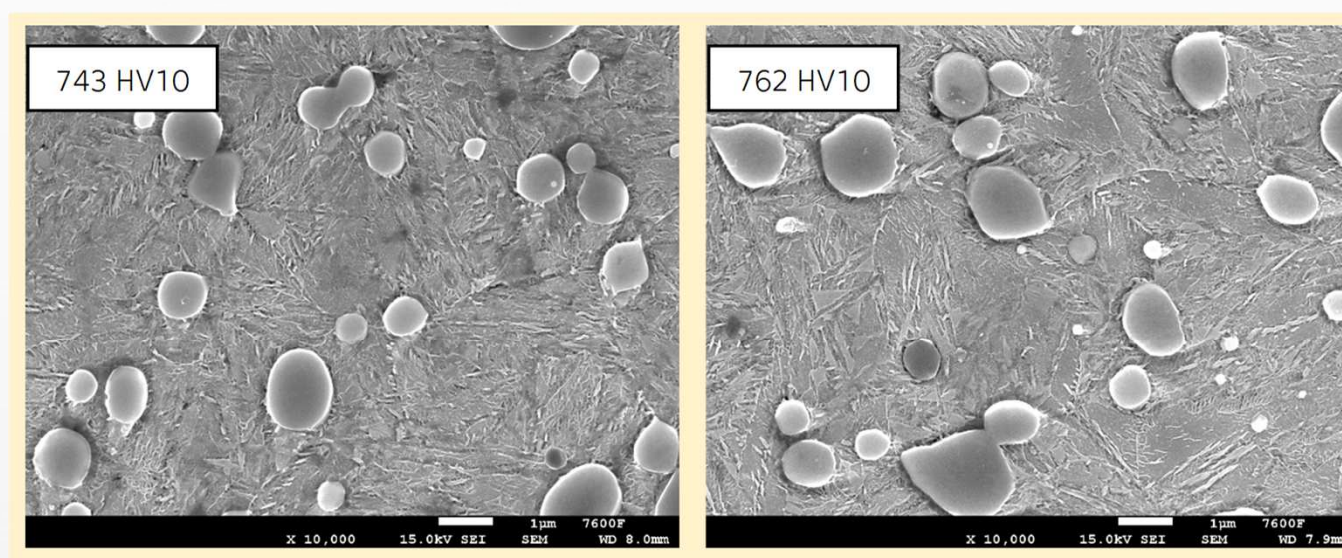
- Struktura byla hodnocena pomocí světelného mikroskopu NEOPHOT 32 a elektronového mikroskopu JOEL 7600 F
- Pro kvalifikaci karbidů byla použit EDX detektor Oxford Inca
- Velikostní hodnocení karbidů bylo zpracováno pomocí obrazového analyzátoru NIS Elements
- V rámci série bylo provedeno 12 měření



Obr. 6. SEM, leptadlo Nital 2 %, struktura oceli ASP 2023 při různých teplotách austenitizace



Obr. 5 SEM, leptadlo Nital 2 %, struktura oceli a) ASP 2023, b) ASP 2005

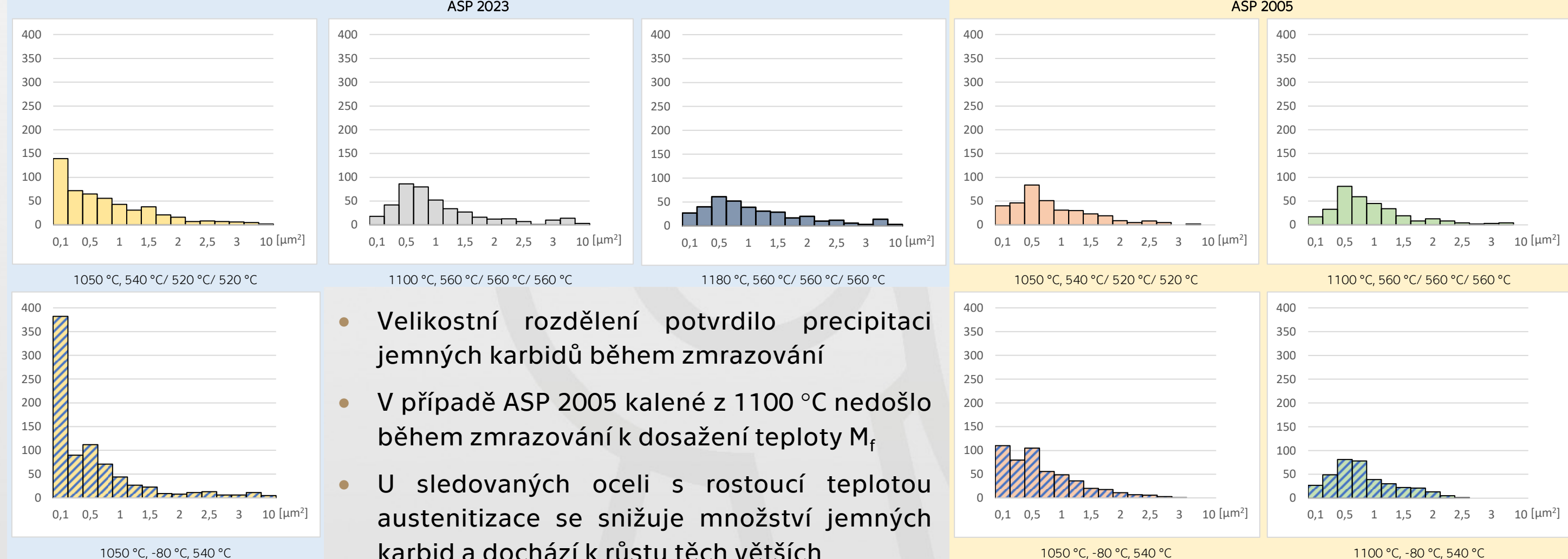


Obr. 7. SEM, Leptadlo Nital 2 %, struktura oceli ASP 2005 bez zmrzování a se zmrzováním

- S rostoucí teplotou austenitizace se více uplatňuje růst karbidů ve směru hranic původních austenitických zrn
- Jemné karbidy se při vyšších teplotách austenitizace rozpouští

- U obou ocelí při teplotě austenitizace 1050 °C byly po zmrzování pozorovány ve struktuře jemné karbidy

Obr. 8. Velikostní rozdělení karbidů obou ocelí po kompletním tepelném zpracování



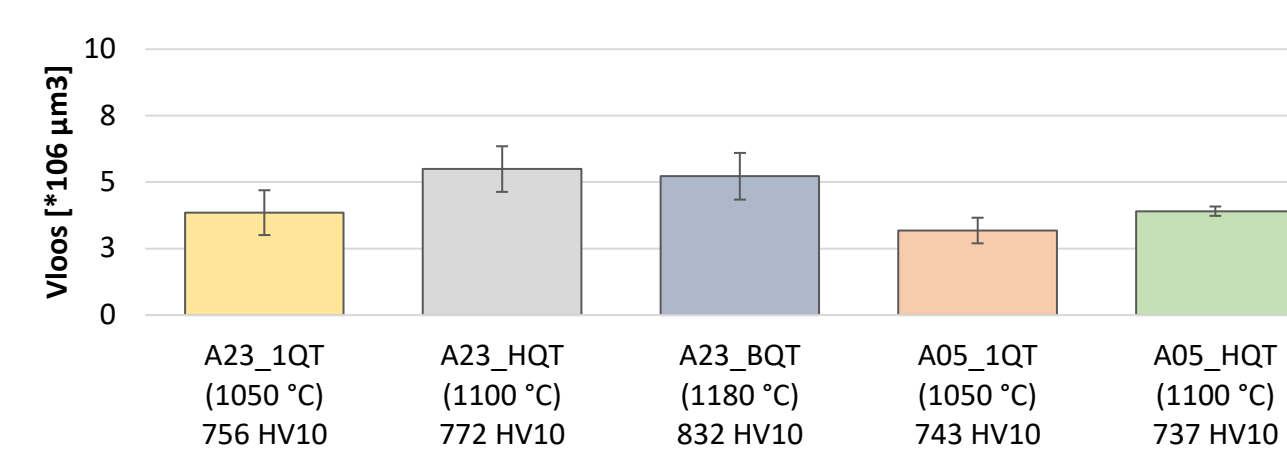
- Velikostní rozdělení potvrdilo precipitaci jemných karbidů během zmrzování
- V případě ASP 2005 kalené z 1100 °C nedošlo během zmrzování k dosažení teploty M_f
- U sledovaných ocelí s rostoucí teplotou austenitizace se snižuje množství jemných karbidů a dochází k růstu těch větších

OPOTŘEBENÍ

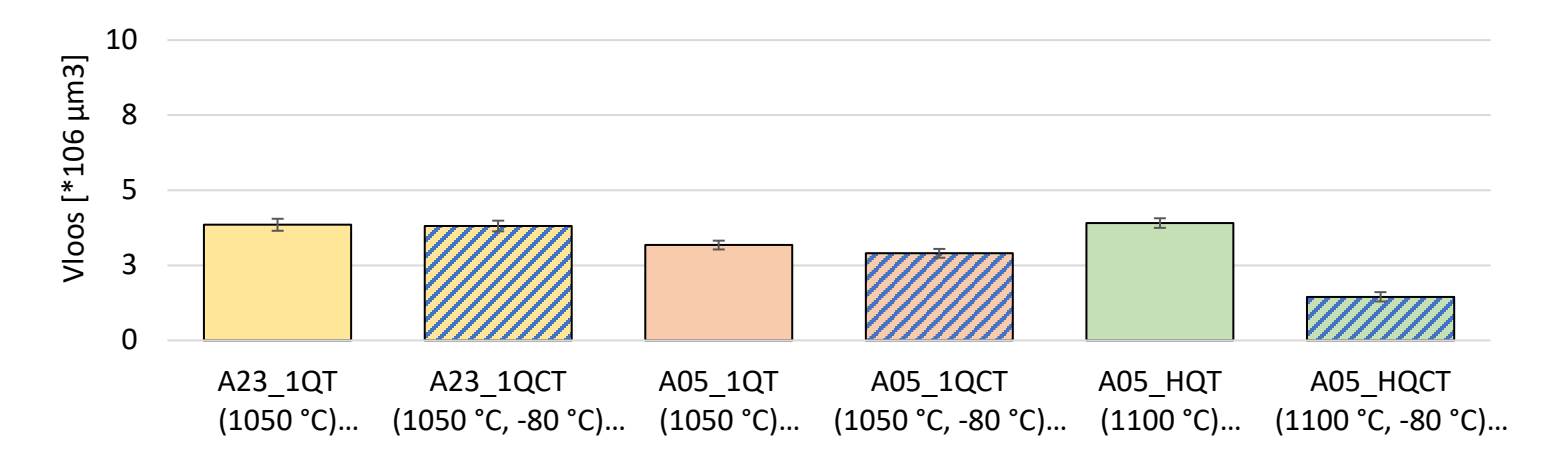
- Odolnost proti opotřebení byla hodnocena metodou Pin on Disk
- Vzniklá drážka byla hodnocena pomocí světelné mikroskopie a drsnoměru
 - Hodnocení světelnou mikroskopií je zatíženo značným zkreslením hodnocení drážky
 - Odečet pomocí drsnoměru dosahoval přesnějších výsledků
- Parametry zkoušky jsou uvedeny v tab. 3
 - Zátěž 5 N se ukázala jako nedostatečná a vzniklá drážka byla mělká a nebylo možné určit objemový úbytek materiálu

Tab. 3. Parametry zkoušky Pin on Disk

Parametr	1.	2.
Teplota	22 °C	22 °C
Vlhkost	25-30 %	25-30 %
Mazivo	-	-
Materiál pinu (kuličky)	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Poloměr pinu (r)	3 mm	3 mm
Poloměr drážky (R)	2 mm	2 mm
Celková drážka	100 m	200 m
Rychlost (w)	6,4 cm/s	6,4 cm/s
Zatížení (F)	5,0 N	10,0 N



Obr. 9 Vliv austenitizace na objemový úbytek po zkoušce PoD



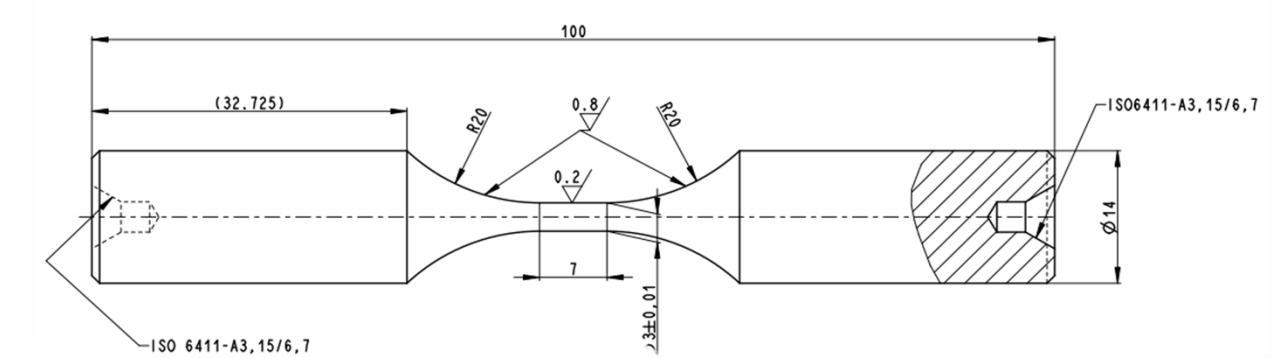
Obr. 10 Vliv zmrzování na objemový úbytek po zkoušce PoD

- Vyšší teplota austenitizace vede ke snížení oteruvzdornosti
- ASP 2005 dle očekávání dosahuje nižšího opotřebení než ASP 2023

- Zmrzování vedlo k mírnému zvýšení oteruvzdornosti

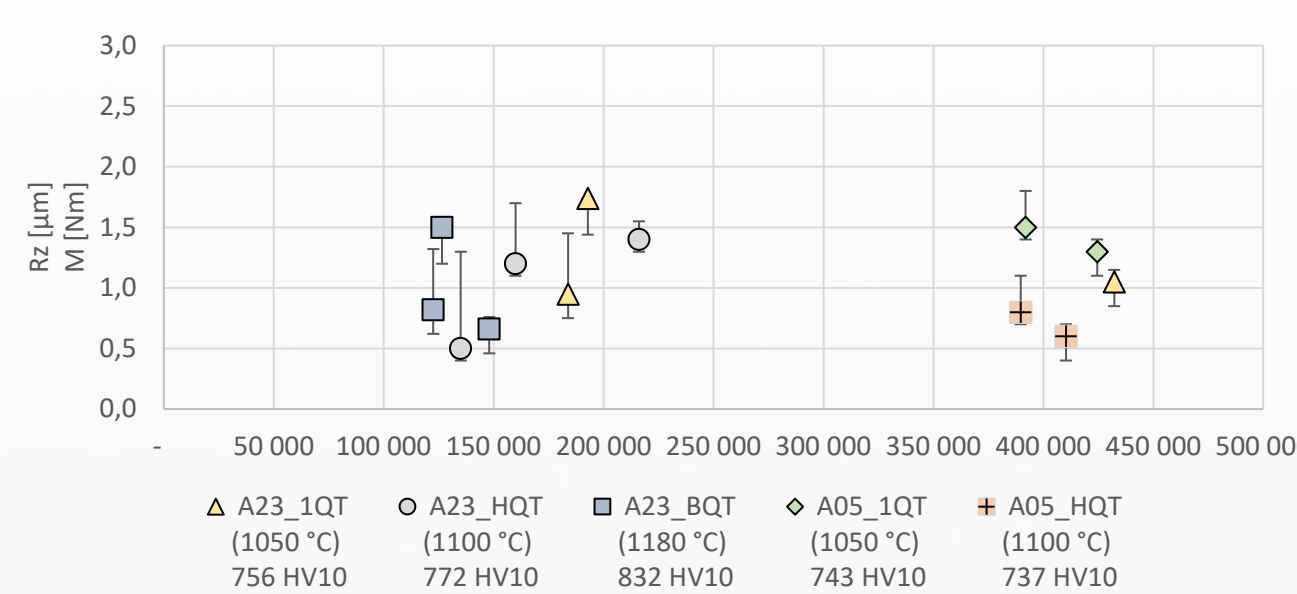
ÚNAVA

- Vzorky byly vyrobeny v souladu s normou ASTM E606/E606M-21
- Zkouška byla provedena na stojí LabTech 6.25H.8.01.1
- Parametry zkoušky: zátěžná síla 0 – 12 kN, frekvence 10 Hz

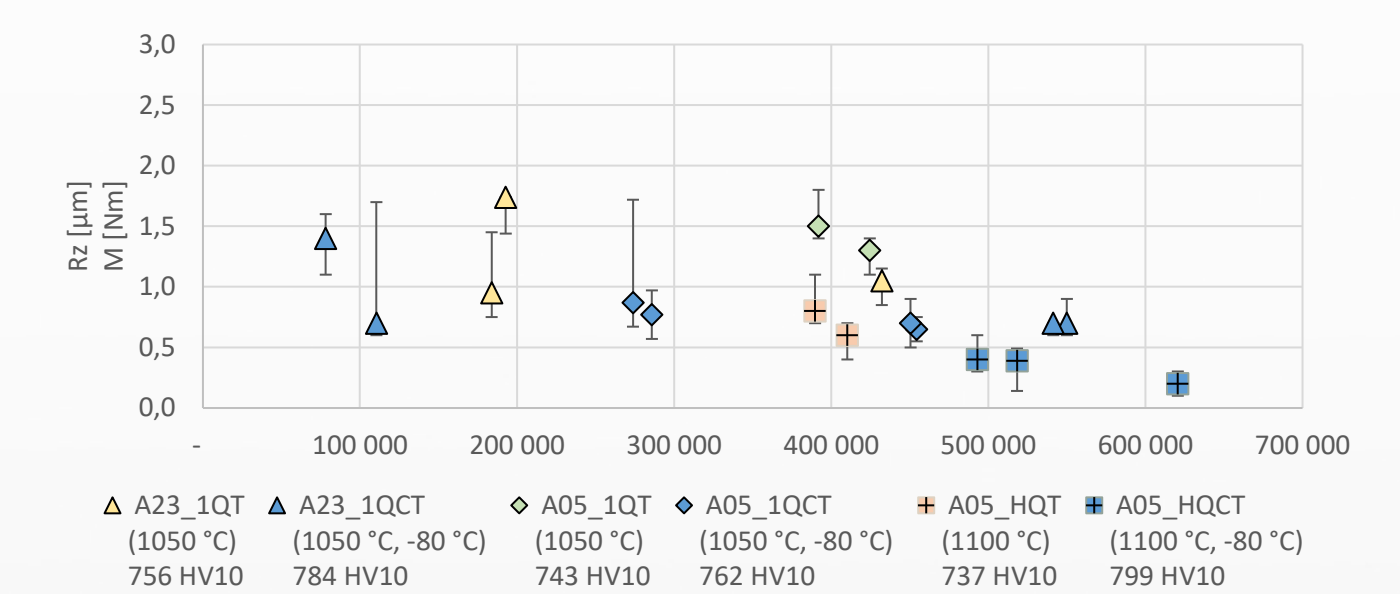


Obr. 11 Ukázka tvaru vzorku na zkoušku únavy

- Uvedené grafy zobrazují počet cyklů do porušení v závislosti na kvalitě povrchu reprezentované parametrem R_a , chybová úsečka u jednotlivých hodnot reprezentuje moment síly indukovaný během každého cyklu [Nm]



Obr. 12 Vliv drsnosti RZ a momentu síly na výsledek zkoušky únavy vzorků s různou teplotou austenitizace



Obr. 13 Vliv drsnosti RZ a momentu síly na výsledek zkoušky se zmrzováním a bez zmrzováním

- Rostoucí teplota austenitizace snižuje odolnost proti únavě
- Ocel ASP 2005 dosahovala vysokého počtu cyklů i s horší kvalitou povrchu než ocel ASP 2023 při odpovídající teplotě austenitizace
- Zdá se, že zmrzování vedlo u obou ocelí k zvýšení citlivosti počtu cyklů na kvalitu povrchu či moment

ZÁVĚRY

- Ve všech sledovaných případech tepelného zpracování bylo dosaženo požadované tvrdosti 62 +2 HRC.
- V souladu s teoretickými předpoklady, s rostoucí teplotou austenitizace roste výsledná tvrdost u obou sledovaných ocelí.
- Zařazení zmrzování na -80 °C u sledovaných ocelí vedlo k mírnému nárůstu výsledné tvrdosti.
- Strukturální analýza potvrdila, že:
 - Míra rozpouštění jemných karbidů roste s rostoucí teplotou austenitizace.
 - V průběhu austenitizace dochází k růstu primárních karbidů ve směru hranic zrn. Intenzita růstu roste s vyšší austenitizační teplotou.
 - Při dosažení teploty M_f během zmrzování dochází k precipitaci jemných karbidů o velikosti do 0,50 µm².
 - Zdá se, že u oceli ASP 2005 je teplota M_f nižší než -80 °C v při austenitizaci 1100 °C.
- Odolnost proti opotřebení s rostoucí teplotou austenitizace klesá u obou sledovaných ocelí.
- Při zkoušce PoD se zátěžnou silou 5 N nebylo možné určit opotřebení na základě hloubky drážky, protože vzniklá drážka vystoupala nad volný povrch. Vystoupení drážky bylo způsobeno tepelnou oxidací povrchu v místě kontaktu pinu a disku.
- Ve všech sledovaných případech mělo zmrzování pozitivní vliv na odolnost proti opotřebení ve srovnání s nezmrazenými vzorky
- Zdá se, že opotřebení po zkoušce PoD určené na základě hloubky drážky je zatíženo menší chybou než v případě odečtu na základě šířky drážky.
- Výsledek zkoušky únavy je u nástrojových ocelí velmi citlivý na kvalitu povrchu činné části, kdy se doporučuje provádět závěrečné broušení ve směru namáhání vzorku.
- Vyšší vypovídající hodnotu pro popis stavu povrchu pro zkoušku únavy má parametr R_z než R_a .
- Zdá se, že růst karbidů během austenitizace ve směru hranic zrn se negativně projevuje na výsledné odolnosti proti únavě.
- V souladu s předpoklady, ocel ASP 2005 dosahuje při stejné teplotě austenitizace vyšší odolnosti proti únavě než ocel ASP 2023.
- Zmrzování mělo ve všech sledovaných případech negativní vliv na citlivost výsledku zkoušky únavy ve vztahu ke kvalitě povrchu.
- Sledované oceli dosahují lepších mechanických vlastností vhodných pro práci za studena při aplikování nižší austenitizační teploty. Zařazení zmrzování s následným jedním popuštěním nepřineslo zvýšení odolnosti proti únavě.

TEMATICKÉ PUBLIKACE AUTORA

- KUŘÍK, M., J. LACZA, T. VLACH a J. SOBOTOVÁ. Study of the properties and structure of selected tool steels for cold work depending on the parameters of heat treatment. *Materiál in technológje*. 2017, 51(4), 585-589. ISSN 15802949. Dostupné z: doi:10.17222/mit.2016.120
- KUŘÍK, M., J. SOBOTOVÁ a M. MORAVCOVÁ. Study of Differences between Results from Laboratory Tests and Tests of Real Tools for Selected Cold Work Tool Steels. *Defect and Diffusion Forum*. 2019, 395, 113-123. ISSN 1662-9507. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/DDF.395.113
- SOBOTOVÁ, J., M. KUŘÍK a J. CEJL. Influence of Heat Treatment Conditions on Properties of High-Speed P/M Steel Vanadis 30. *Key Engineering Materials*. 2015, 647, 17-22. ISSN 1662-9795. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.647.17
- SOBOTOVÁ, J., M. KUŘÍK a J. LACZA. Effect of Chemical Composition and Heat Treatment Parameters on the Structure and Properties of Vanadis 23 and Vanadis 30 PM High-Speed Steels. *Solid State Phenomena*. Trans Tech Publications Ltd, 2017, 2017(270), 258-264. ISSN 16629779. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.270.258
- SOBOTOVÁ, J., M. KUŘÍK, Z. KOLÁŘ a P. PŘIKNEROVÁ. Effect of Conditions of Cryogenic Treatment on the Properties of Selected Cold Work Tool Steels. *HTM Journal of Heat Treatment and Materials* [online]. 2017, 7(2), 99-103 [cit. 2018-08-27]. ISSN 1867-2493. Dostupné z: doi:10.3139/105.110318