

Detektivem při vypracování bakalářské práce.

Kuksenko Yana

Ing. Jana Sobotová, Ph.D.

Abstrakt

Výsledky bakalářské práce na téma Vliv kalicího média na užitné vlastnosti nástrojové oceli X210Cr12 jsou určeny pro zákazníka, který dodal tepelně zpracované vzorky pro zkoušku rázem v ohybu a to po čtyřech režimech tepelného zpracování. Již při předání těchto vzorků zákazník zmínil obavu, že došlo k záměně experimentálního materiálu v případě dvou nebo tří vzorků, bližší nespecifikoval, kterých. Cílem předložené práce je v průběhu řešení experimentální části bakalářské práce určit konkrétní vzorky, u kterých došlo k záměně materiálu a následně odhad, o jaký materiál se ve skutečnosti jedná.

Klíčová slova

Nástrojová ocel, tepelné zpracování, zkouška rázem v ohybu.

1. Úvod

Požadované vlastnosti oceli jsou ve valné většině případů v technické praxi zajišťovány vhodně zvoleným postupem tepelného zpracování.

První kontrolou správnosti tepelného zpracování je přímo v kalírnách provedená zkouška tvrdostí. Tato zkouška je nedestruktivní a je možné jí provádět již na hotových výrobcích. Při zpracování většího počtu součástí bývá ke kontrole vybráno určité množství a to s ohledem na umístění v prostoru kalicí pece. Tímto způsobem je kontrolována nezávislost výsledných vlastností zpracovaného materiálu na uspořádání v peci [1]. Dále mohou nastat následující případy:

1. Pokud všechny kontrolované vzorky vykazují požadovanou výslednou tvrdost, lze konstatovat, že tepelného zpracování proběhlo v pořádku.
2. Všechny vzorky vykazují tvrdost odlišnou od předepsané. V takovém případě se může jednat o záměnu materiálu nebo špatně zvolené podmínky tepelného zpracování. Většina kalíren má možnost provést kontrolu chemického složení materiálu. Po provedení kontroly, mohou nastat dvě možnosti: materiál odpovídá nebo neodpovídá deklarované značce. Při záměně materiálu kalírna musí tuto skutečnost ohlásit dodavateli. Při ověření správného chemického složení se chyba stala při tepelném zpracování a pak kalírna musí provést opravnu ve formě tzv. překalení.
3. Nejhorším případem je, když jsou při kontrole zjištěny odlišné hodnoty tvrdostí jednotlivých součástí. Tato skutečnost by mohla být dána tím, že buď došlo k částečné záměně materiálu v rámci jedné vsázky, nebo v prostoru pece je nerovnoměrné rozložení teploty. Je známo, že celá vsázka musí být zpracována při stejných podmínkách [1]. Teplota v peci se obvykle kontroluje pomocí minimálně dvou termočlánků a třetí se vkládá do kritického místa tj. do středu vsázky. Pokud by kontrolní měření zpracovaných výrobků ukázalo na nerovnoměrné rozložení v peci, záležel by způsob řešení na kalírně. V každém případě by však musela být provedena kalibrace termočlánků. Řešení problému v případě částečné záměny materiálu v rámci jedné vsázky je velmi komplikované.

Výše uvedený rozbor v současné době nabývá na významu pro zakázkové kalírny, kterým zákazník dodává materiál s deklarovaným chemickým složením a kalírna dále s touto informací

pracuje při sestavení postupu tepelného zpracování, protože pro každý druh materiálu příslušná norma uvádí doporučené teploty tepelného zpracování [1].

2. Experimentální materiál

Pro experimentální část bakalářské práce na téma: Vliv kalicího média na užitné vlastnosti nástrojové oceli X210Cr12 bylo dodáno 12 vzorků pro zkoušku rázem v ohybu, chemické složení oceli udává tabulka 1 [2].

Tabulka 1. – Chemické složení oceli X210Cr12 [1].

Jakost	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
X210Cr12	1,8-2,05	0,2-0,45	0,2-0,45	max. 0,03	max. 0,035	11,0-12,5	max. 0,5

Podmínky tepelného zpracování a značení jednotlivých vzorků uvádí tabulka 2.

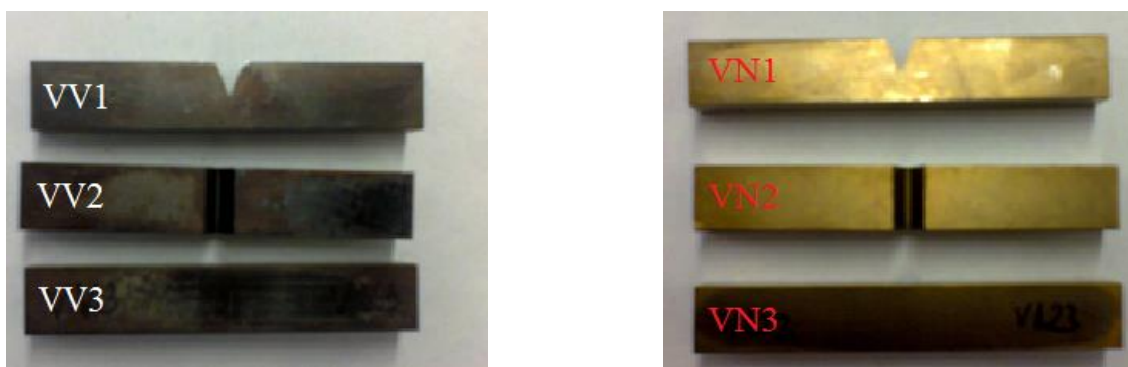
Tabulka 2. – Tepelné zpracování vzorků z oceli X210Cr12.

Označení vzorku	Austenitizace	Podmínky kalení	Teplota popouštění
VN1 – VN3	vakuum 1020 °C	přetlak dusíku 15 barr	1x2h/200 °C
VV1 – VV3			1x2h/500 °C
SN – SN3	ochranná atmosféra 930 °C	sůl AS140 teplota 160 °C	1x2h/200 °C
SV – SV3			1x2h/500 °C

Jako první byla provedena vizuální kontrola vzhledu vzorků, jejich fotografie s příslušným označením jsou na obrázcích 1 a 2.

Lze předpokládat, že vzorky kalené ve vakuu budou ve srovnání se vzorky kalenými do soli lesklé. Tento předpoklad splňují pouze vzorky VN. U vzorků VV (obr. 1a) je matný vzhled dle sdělení zákazníka dán použitím odlišné popouštěcí pece.

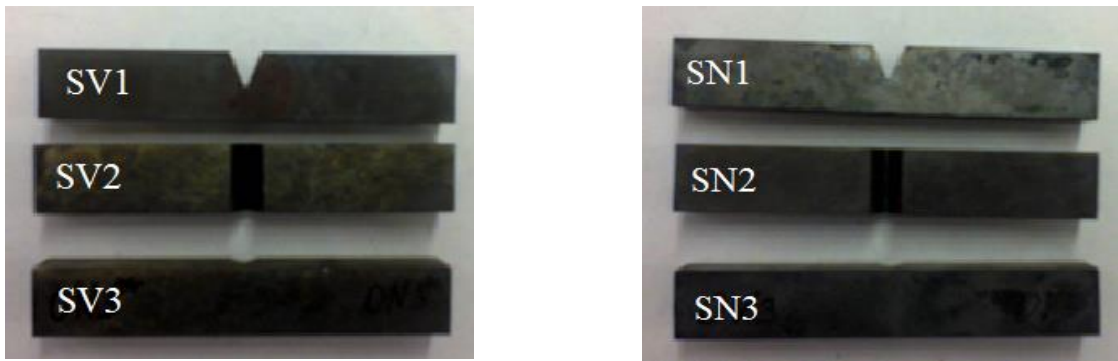
Vzhledově si odpovídají vzorky VV a VN (obr.1). V sérii SV je patrný mírně odlišný vzhled vzorků 2, v sérii SN vzorků 2 a 3.



Obr. 1. Materiál X210Cr12 vzorky pro zkoušku rázem v ohybu po vakuovém kalení (1020 °C).

a) popouštění 1x2h/500 °C

b) popouštění 1x2h/200 °C



Obr. 2. Materiál X210Cr12 vzorky pro zkoušku rázem v ohybu po kalení do soli.

a) popouštění 1x2h/500 °C

b) popouštění 1x2h/200 °C

V rámci experimentální části byla provedena zkouška rázem v ohybu, měření tvrdosti a metalografická analýza.

2.1 Zkouška rázem v ohybu

Zkouška rázem v ohybu spočívá v přeražení zkušební tělesa s vrubem jedním rázem kyvadlového kladiva dle Charpy za podmínek definovaných normou [3]. Dle normy musí mít vrub tvaru V hloubku 2 mm. Zákazník však dál vzorky s nevhodnou hloubkou pro vrub tvaru V a to 5 mm. Lze předpokládat, že zkušební tělesa pro zkoušku rázem v ohybu opatřená vrubem V5 budou vykazovat velmi nízké hodnoty nárazové práce.

Zkouška byla provedena kladivem o energii 250 J při teplotě v laboratoři 23 °C, byla měřena nárazová práce KV5.

2.2 Měření tvrdosti

Tvrdot byla měřena metodou podle Rockwella při stupnici C, byl použit tvrdoměr Emcotest M4C 075 63.

Měření probíhalo po zkoušce rázem v ohybu na jedné polovině přeraženého vzorku. Na každém takovém vzorku bylo provedeno 5 měření. Výsledná hodnota byla stanovena jako průměr naměřených hodnot.

2.3 Metalografická analýza

Po provedení výše uvedených zkoušek jsem připravila vzorky pro metalografickou analýzu. Polovina přeražených vzorků po zkoušce rázem v ohybu byla fixována pro přípravu metalografického výbrusu dle obrázek 3. Vzorky byly postupně přebroušeny na brusce Materials Testing Hrazdil Kompakt 1030 (použité brusné papíry 60-1000 μm). Následně byly všechny vzorky vyleštěny na leštičce LECO – GPX 300.



Obr. 3. Příklad fixování metalografického vzorku.

Na vyleštěných vzorcích byla provedena kontrola mikročistoty při zvětšení 500x na světelném mikroskopu Carl Zeiss Jena Neophot 32. Pro strukturní analýzu bylo provedeno leptání, Nitalem (2% roztok HNO_3 v ethanolu). Vyhodnocení struktury materiálu bylo provedeno na stejném mikroskopu, ale při zvětšení 100x, tato analýza však není předmětem předpokládané práce.

3. Výsledky a jejich diskuze

Naměřené hodnoty tvrdosti a nárazové práce uvádí tabulka 3.

Tabulka 3. – Vlastností oceli X210Cr12 v závislosti na tepelném zpracování.

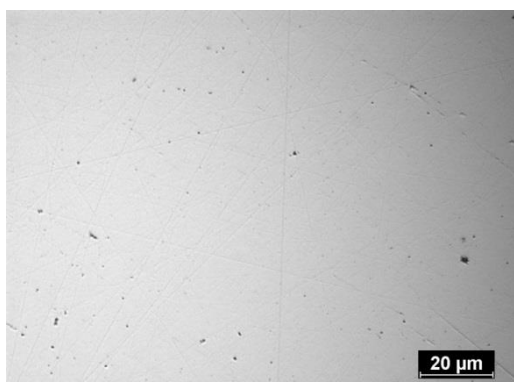
označení vzorku	KV 5[J]	HRC
VN1	2	56,652
VN2	2	57,028
VN3	2	56,818
VV1	5	44,588
VV2	5,5	44,606
VV3	5,5	44,662
SN1	2,5	61,206
SN2	4,5	50,336
SN3	3	49,998
SV1	3	43,992
SV2	4	51,81
SV3	5	43,608

Práce [4] uvádí pro ocel X210Cr12 dosažitelné hodnoty tvrdostí při různých podmínkách tepelného zpracování. Porovnání těchto informací s výsledky tvrdostí vzorků SN2 a SN3 jednoznačně u těchto vzorků potvrdilo záměnu materiálu. Po kalení do soli z teploty 930 °C lze totiž u sledovaného materiálu předpokládat výrazně vyšší tvrdost než 50 HRC. Vzhledem k výraznému rozdílu tvrdostí, lze rovněž jednoznačně vyloučit vliv nehomogenního rozložení

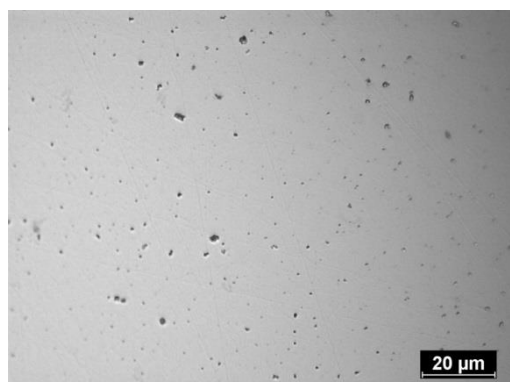
teploty v peci. Dále lze konstatovat, že v sérii s označením SV vzorek 2 vykazuje výrazně vyšší tvrdost, než zbývající vzorky.

Jak již bylo uvedeno, při zkoušce rázem v ohybu, byly použity vzorky s nevhodnou velikostí vrubu tvaru V. Dle předpokladu, jsou ve všech případech hodnoty nárazové práce velmi nízké. V takovém případě nelze tyto výsledky použít pro potvrzení záměny materiálu.

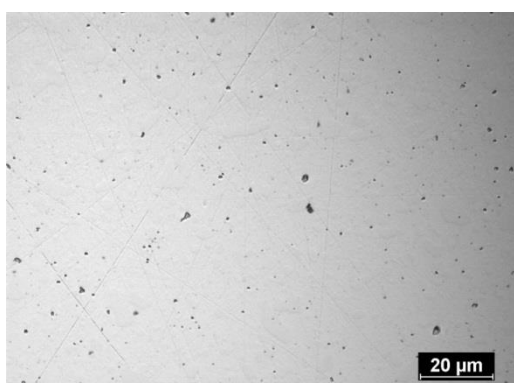
U všech vzorků byla provedena vizuální kontrola mikročistoty v nenaleptaném stavu. Na obrázku 4 je z každé série vybrán jeden snímek v nenaleptaném stavu, protože si vzhledově v jednotlivých sériích odpovídaly. Lze konstatovat, že mikročistota u všech sledovaných vzorků, je srovnatelná. Záměna materiálu se na mikročistotě neprojevila.



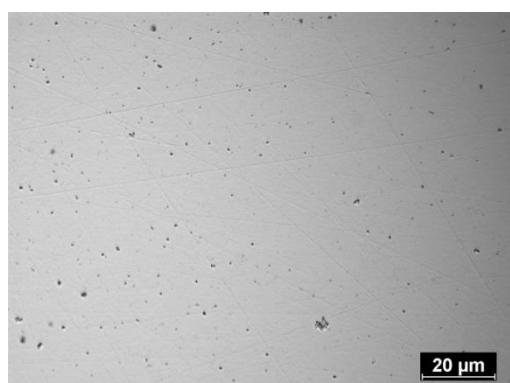
VV2, nenaleptáno



VN3, nenaleptáno



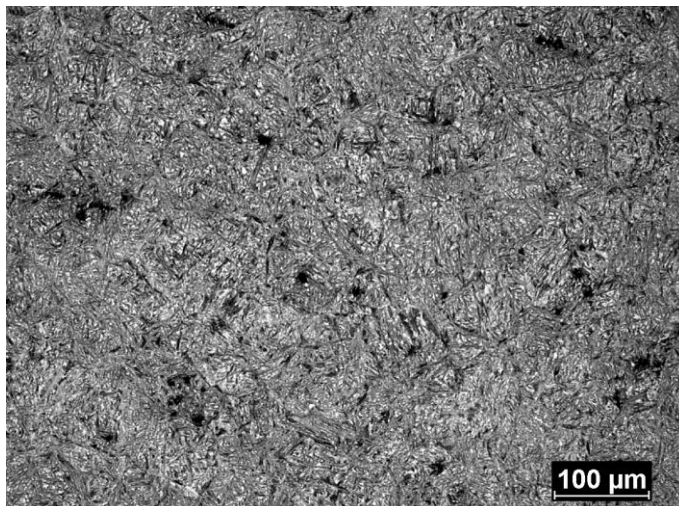
SV2, nenaleptáno



SN3, nenaleptáno

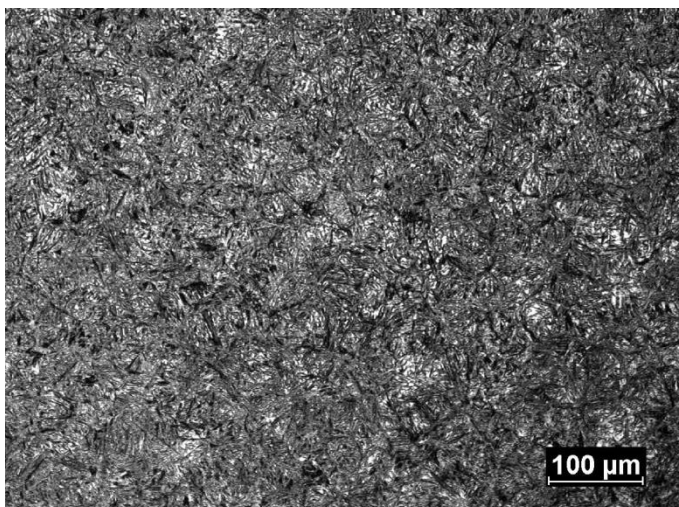
Obr. 4. Mikročistota sledované oceli.

VN1



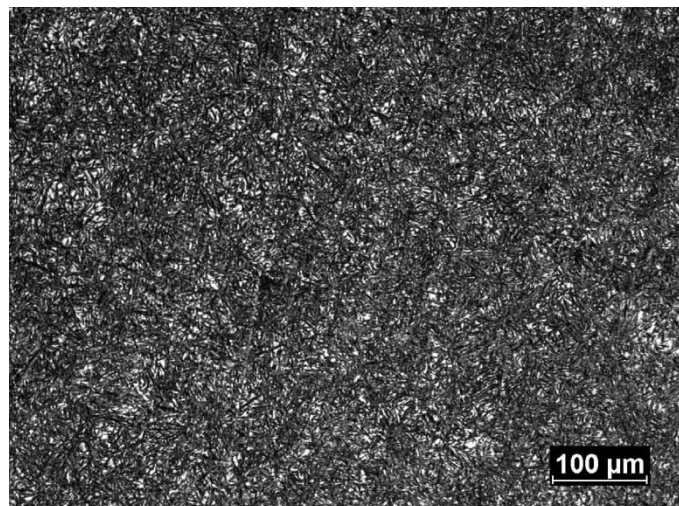
56,65 HRC
KV5 = 2 J

VN2



57,03 HRC
KV5 = 2 J

VN3

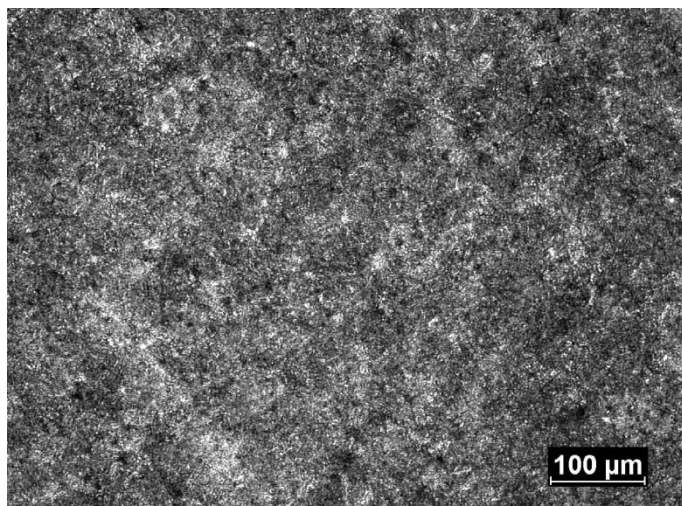


56,82 HRC
KV5 = 2 J

*Obr. 5. Ocel X210Cr12, kaleno ve vakuu na teplotu 1020 °C,
popouštěno na teplotu 500 °C, leptadlo Nital.*

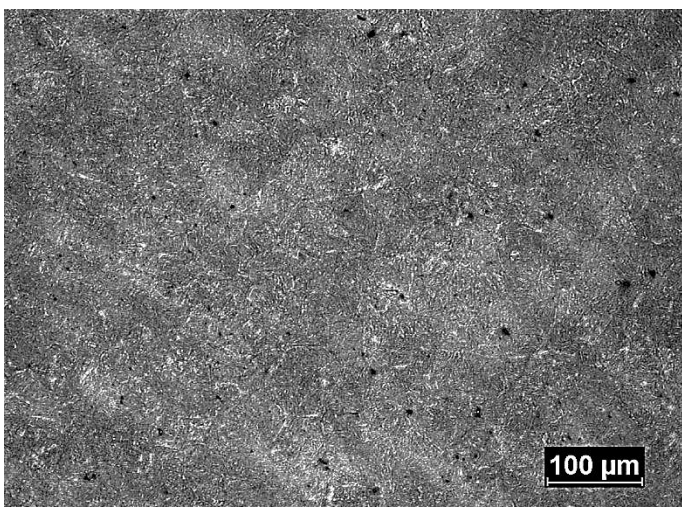
Obrázek 5 dokumentuje strukturu vzorků série VN, snímky jsou doplněny hodnotami sledovaných mechanických vlastností. Je možné konstatovat, že naměřené tvrdosti, hodnoty nárazové práce a charakter struktury si u vzorků série VN odpovídají.

VV1



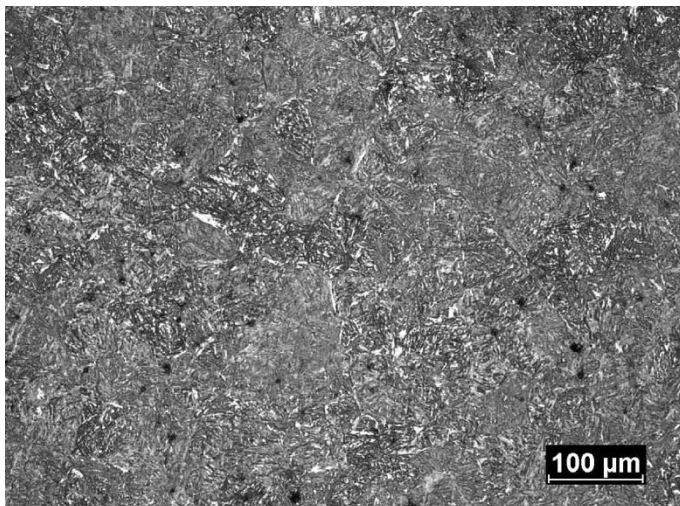
44,59 HRC
KV5= 5 J

VV2



44,61 HRC
KV5= 5,5 J

VV3

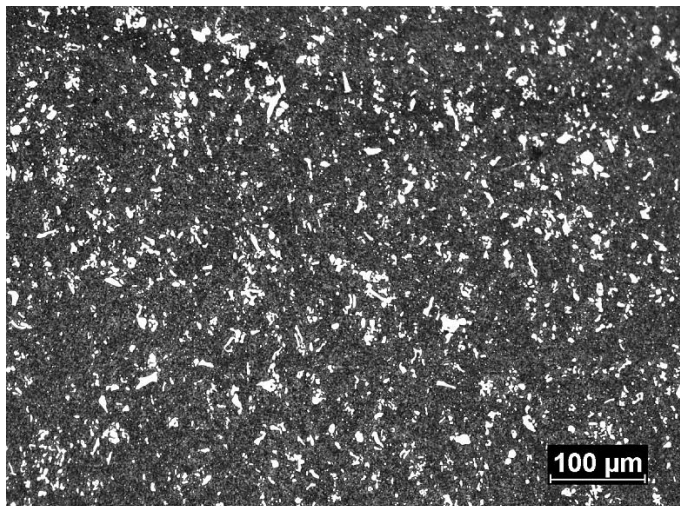


44,66 HRC
KV5= 5,5

*Obr. 6. Ocel X210Cr12, kaleno ve vakuu na teplotu 1020 °C,
popouštěno na teplotu 500 °C, leptadlo Nital.*

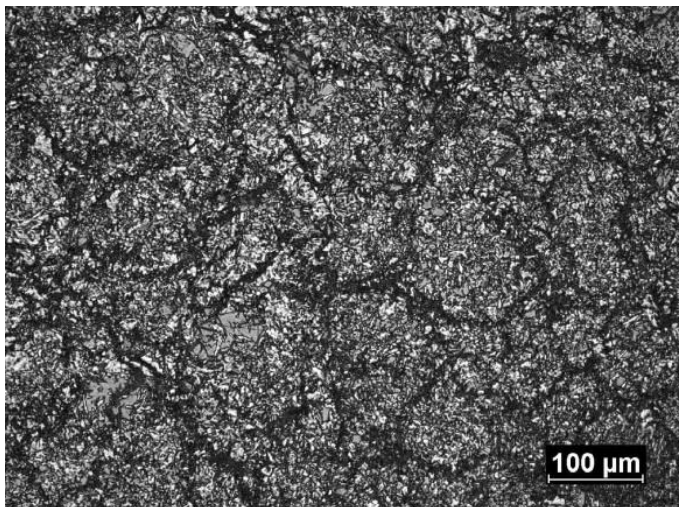
Obrázek 6 dokumentuje strukturu vzorků série VV, snímky jsou doplněny hodnotami sledovaných mechanických vlastností. Je možné konstatovat, že naměřené tvrdosti, hodnoty nárazové práce a charakter struktury si u vzorků série VV odpovídají.

SN1



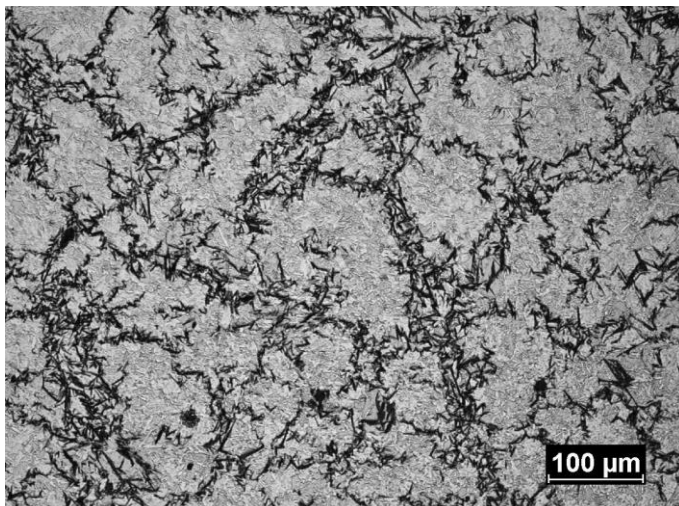
61,21 HRC
KV5= 2,5 J

SN2



50,34 HRC
KV5= 4,5 J

SN3

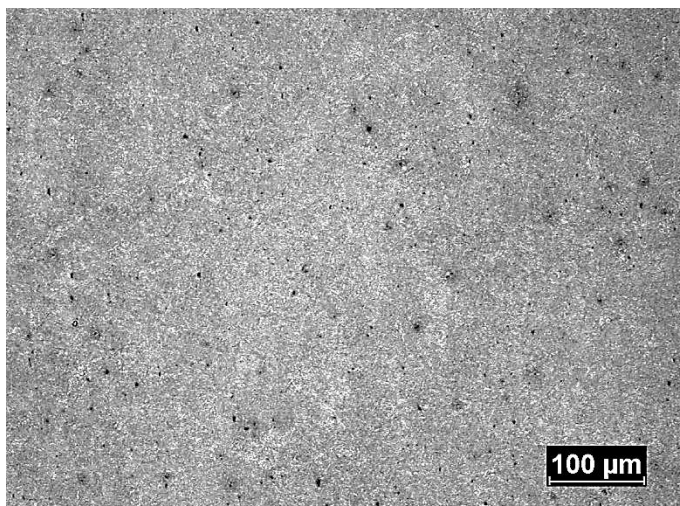


49,99 HRC
KV5= 3 J

Obr. 7. Ocel X210Cr12, kaleno v ochranné atmosféře 930 °C do soli ASI40 při teplotě 160 °C, popouštěno na teplotu 200 °C, leptadlo Nital.

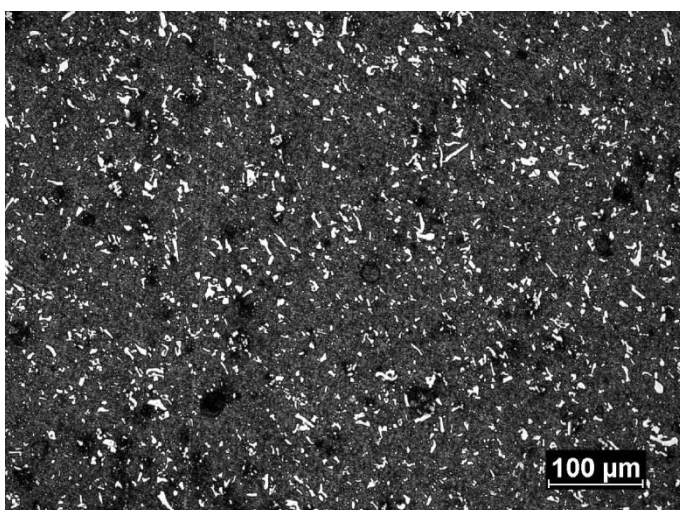
Obrázek 7 dokumentuje strukturu vzorků série SN, snímky jsou doplněny hodnotami sledovaných mechanických vlastností. Odlišná struktura vzorků 2 a 3 potvrdila již dříve předpokládanou záměnu materiálu v souladu s výsledky měření tvrdosti.

SV1



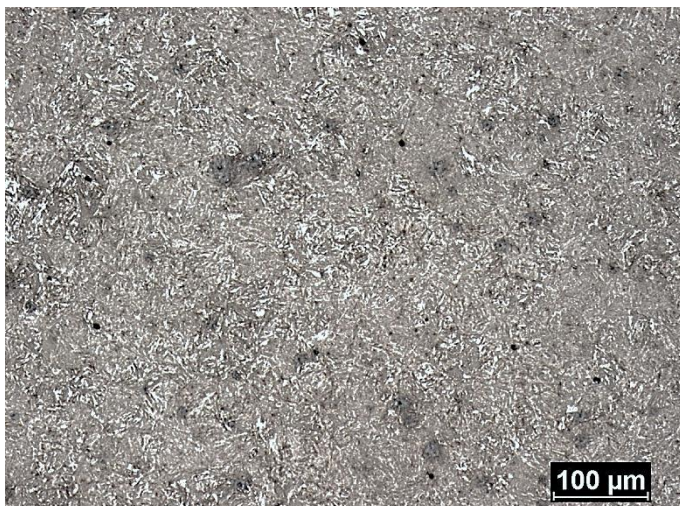
43,99 HRC
KV5= 3 J

SV2



51,81 HRC
KV5= 4 J

SV3



43,61 HRC
KV5= 5 J

Obr. 8. Ocel X210Cr12, kaleno v ochranné atmosféře 930 °C do soli AS140 při teplotě 160 °C, popouštěno na teplotu 500 °C, leptadlo Nital.

Obrázek 8 dokumentuje strukturu vzorků série SV, snímky jsou doplněny hodnotami sledovaných mechanických vlastností. Vzhledem k charakteru struktury a hodnotám naměřených tvrdostí, lze předpokládat, že k záměně materiálu došlo u vzorků SV1 a SV3.

Na základě výše uvedených výsledků byla provedena spektrální analýza vzorků SN2, SN3, SV1 a SV3, u kterých byla jednoznačně potvrzena záměna materiálu. Spektrální analýza, vzhledem k její vysoké ceně byla provedena pouze u těchto vzorků a to až po mechanických zkouškách. Výsledek měření udává tabulka 4.

Tabulka 4. – Naměřené chemické složení vzorků SN2, SN3, SV1, SV3.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
0,924	1,972	0,085	0,019	0,004	0,123	0,022

Naměřené chemické složení vzorků SN2, SN3, SV1, SV3 potvrzuje již dříve předpokládanou záměnu materiálu. Materiál těchto vzorků v porovnání s materiálem X210Cr12 viz tabulka 1 má poloviční obsah uhlíku, výrazně větší obsah manganu a nižší obsah křemíku. Největší rozdíl je v obsahu chromu, materiál vzorků SN2, SN3, SV1, SV3 má přibližně stokrát nižší obsah chromu. Na základě výsledku chemického složení v tabulce 4 je možné předpokládat, že u vzorků SN2, SN3, SV1, SV3 se jedná o materiál 90MnV8, jehož chemické složení udává tabulka 5, doporučené parametry tepelného zpracování pak jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 5. – Chemické složení nástrojové oceli 90MnV8 [5].

Jakost	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	V
90MnV8	0,8-0,9	0,75-2,1	0,15-0,35	max.0,03	0,035	0,2-0,4	max.0,35	0,1-0,2

Tabulka 6. – Tepelné zpracování nástrojové oceli 90MnV8 [5].

Značka ocelí	Doporučené parametry TZ	Tvrdość HRC
90MnV8	kalení - 740÷780 °C/olej popouštění - 100÷300 °C	55-62

Z porovnání tabulek 2 a 6 je patrný výrazný rozdíl doporučených parametrů tepelného zpracování pro experimentální a zaměněný materiál. Podrobnější rozpor není předmětem předpokládané práce.

Pro kontrolní analýzu chemického složení zbývajících vzorků, u kterých je předpokládán materiál X210Cr12, byl vybrán vzorek SV2. Výsledek analýzy je uveden v tabulce 7.

Tabulka 7. – Naměřené chemické složení pro vzorek SV2.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
2,101	0,251	0,212	0,023	0,006	11,82	0,058

Na základě porovnání tabulky 1 a tabulky 7 lze konstatovat, že v SV2 v rámci chemického složení odpovídá deklarovanému materiálu X210Cr12. Z porovnání struktury vzorků SN1 a SV2 lze předpokládat, že se jedná o stejný materiál.

4. Závěr

- Je-li v rámci jedné série vzorků z požadovaného materiálu a po stejném tepelném zpracování naměřena tvrdość s rozdílem 10 HRC jednoznačně se jedná o záměnu materiálu.

- Záměna materiálu se neprojevila na mikročistotě jednotlivých vzorků.
- Vzhledem k nevhodné velikosti vrubu tvaru V, měření tvrdosti je vhodnější metodou pro diagnostiku záměny materiálu než měření nárazové práce.
- Naměřené tvrdosti, hodnoty nárazové práce a charakter struktury si u vzorků série VV a VN odpovídají. Lze předpokládat, že tyto vzorky byly vyrobeny ze stejného materiálu. Nelze však s jistotou říci, o jaký materiál se jedná, protože u nich nebyla provedena spektrální analýza.
- Měření tvrdosti, charakter struktury a spektrální analýza jednoznačně potvrdily záměnu materiálu u vzorků SN2, SN3, SV1, SV3.
- Podle chemického složení vzorků SN2, SN3, SV1, SV3 lze předpokládat, že místo z oceli X210Cr12 byly vyrobeny z oceli 90MnV8.
- Na základě zjištěných skutečností bude nutné experimentální část bakalářské práce opakovat. Zákazník opatřil nový materiál, u kterého bude nejprve zkontrolováno chemické složení a následně vyrobeny nové vzorky pro zkoušku rázem v ohybu a to dle platné normy (vrub V2).
- Díky předložené práci jsem si osobně ověřila platnost starého českého pořekadla: „Důvěřuj, ale prověřuj“, u nás doma říkáme: „Доверяй, но проверяй“

Seznam symbolů

<i>h</i>	hloubka vrubu tvaru V	(mm)
<i>KV5</i>	nárazová práce	(J)
<i>T</i>	teplota	(°C)
-	hodiny	(h)
<i>HRC</i>	Tvrlost dle Rockwella při stupnici C	-

Seznam použité literatury

- [1] KRAUS, Vaclav. Tepelné zpracování a slinování. 2. Vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999, 273 s. ISB 80-708-2582-0
- [2]] lentus. *ocel.cz*. [online]. Dostupné z: <http://www.lentus-ocel.cz/tridy-oceli/19-4363.htm>
- [3] ČSN ISO 148 – Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu meodou Charpy – Čast 1 : Zkušební metoda. Praha: Český normalizační institut, 2010
- [4] AUTORSKÝ KOLEKTIV POLDI. SANP KLADNO. *Násrojové oceli poldi a jejich použití. 1 dil.* Kladno: Poldi - Spojené ocelárny, 1986. ISBN 06-082-86
- [5] bolzano. <http://www.bolzano.cz/>. [online]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/assets/files/NO/1.2842%20%C4%8Cesky.pdf>