



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ANALÝZA OBROBITELNOSTI PRUŽINOVÝCH OCELÍ PO TEPELNÉM ZPRACOVÁNÍ

ON THE ANALYSIS OF SPRING STEEL MACHINABILITY AFTER A HEAT TREATMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FRANTIŠEK VAŠÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): František Vašíček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Analýza obrobitelnosti pružinových ocelí po tepelném zpracování

v anglickém jazyce:

On the analysis of spring steel machinability after a heat treatment

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza obrobitelnosti pružinových ocelí po tepelném zpracování, možnosti kontroly struktury a mechanických vlastností ve vztahu k obrobitelnosti.

Cíle bakalářské práce:

Úvod

1. Teoretický rozbor problému
2. Experimentální měření
3. Diskuze výsledků
4. Závěry

Seznam odborné literatury:

JECH, J. Tepelné zpracování ocelí : Metalografická příručka, 4. přeprac. dopl. vyd. - Praha : SNTL, 1983. 391 s.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, tisk FINAL TISK Olomoučany, 2001, 1. vyd., 516 s.,ISBN 80-7204-193-2.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu II. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, tisk FINAL TISK Olomoučany, 2001, 1. vyd., 360 s.,ISBN 80-7204-130-4.

ŠUŠTARŠIČ et al. Fatigue strength and microstructural features of spring steel. In: New trends in fatigue and fracture. Metz, 2010. [cit. 25. 10 2012].Dostupné na World WideWeb: <<http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk11/027-034-IVK1-2011-BS-PB-WE-GG-AJ-BS.pdf>>

Heat treatment of spring steels. [cit. 25. 10 2012]. Dostupné na World WideWeb <<http://ebookbrowse.com/he/heat-treatment-steel?page=4>>

HTUN, M.S. et al. Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel.Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.18 No.2 pp.191-197, 2008

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 27.1.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá obrobiteľnosťou pružinových ocelí po tepelnom spracovaní. Stručná rešerša je venovaná obrobiteľnosti ocelí so zaměřením na pružinové oceli, různým vlivům působících na materiál, a také vybraným druhům tepelného zpracování. Na příkladu zhoršené obrobiteľnosti Talířové pružiny jsou popsány metody materiálové analýzy, jejich provedení a vlivy působící na obrobiteľnost. Vyhodnocením výsledků analýzy byly identifikovány možné příčiny zhoršené obrobiteľnosti v oblasti tepelného zpracování – žihání na měkko. Závěrečná část práce rozebírá možná nápravná opatření v procesu žihání a navrhuje nedestruktivní metodu kontroly materiálové struktury.

Klíčová slova

pružinová ocel, obrobiteľnost, globulární perlit, žihání na měkko, struktura materiálu

ABSTRACT

This thesis deals with the machinability spring steel after heat treatment. Brief research is devoted to the machinability of steel with a focus on spring steel, various influences acting on the material and selected types of heat treatment. On the example of deteriorated workability of Disc spring are described methods of material analysis, performance and influences on machinability. By assessment of the results of the analysis were identified possible causes of deterioration of machinability from view of heat treatment – soft annealing. The final part discusses possible corrective actions in the annealing process and proposes a non-destructive method for controlling material structures.

Keywords

spring steel, machinability, globular pearlite, soft annealing, the structure of the material

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VAŠÍČEK, František. *Analýza obrobiteľnosti pružinových ocelí po tepelnom spracovaní*. Brno 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 21 s. příloh. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Analýza obrobitelnosti pružinových ocelí po tepelném zpracování** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

17. května 2013

Datum

František Vašíček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za ochotu, odborné rady a cenné připomínky při vypracování bakalářské práce, Kateřině Chvojsíkové za technickou pomoc, Martinu Peňákovi za přínosné konzultace a v neposlední řadě rodině a přátelům za podporu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 OBROBITELNOST PRUŽINOVÉ OCELI	10
1.1 Obrobitelnost	10
1.1.1 Vlastnosti materiálů	11
1.1.2 Rozdělení materiálů do tříd obrobitelnosti	16
1.2 Obrobitelnost pružinové oceli – chemické složení	17
1.3 Obrobitelnost pružinové oceli – mechanické vlastnosti.....	18
1.4 Obrobitelnost pružinové oceli – tepelné zpracování.....	20
2 ROZBOR VZORKŮ TALÍŘOVÉ PRUŽINY.....	25
2.1 Chemický rozbor.....	26
2.2 Mechanické vlastnosti - tvrdost	27
2.3 Strukturní analýza	29
2.3.1 Velikost zrna.....	30
2.3.2 Řádkovitá struktura	31
2.3.3 Stanovení čistoty oceli.....	32
2.3.4 Struktura po žihání na měkko	34
2.4 Shrnutí materiálové analýzy Talířové pružiny.....	36
3 ROZBOR VZORKU POLOTOVARU	37
3.1 Chemický rozbor.....	37
3.2 Tepelné zpracování – žihání na měkko	38
3.3 Mechanické vlastnosti - tvrdost	39
3.4 Strukturní analýza	40
3.4.1 Velikost zrna.....	40
3.4.2 Řádkovitost.....	40
3.4.3 Stanovení čistoty materiálu	41
3.4.4 Vyhodnocení struktury po žihání na měkko.....	42
3.5 Shrnutí materiálové analýzy vzorku.....	42
4 DISKUZE.....	43
ZÁVĚR.....	45
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	46

Seznam použitých symbolů a zkratk	48
SEZNAM PŘÍLOH	49

ÚVOD

Pružinové oceli reprezentují důležitou skupinu konstrukčních ocelí využívaných především v automobilovém průmyslu, a to v podobě závěsných pružin a stabilizátorů osobních automobilů. Další významnou oblastí využití je odpružení nákladních automobilů, užitkových vozidel a železničních vozů (obr. 1) a v neposlední řadě talířové a kroužkové pružiny [1].

Pružinové oceli jsou především využívány pro jejich odolnost střídavému namáhání (statickému a dynamickému) a pro jejich dobré mechanické vlastnosti - především tažnost, houževnatost a únavové vlastnosti. Těchto žádoucích vlastností můžeme dosáhnout vyšším obsahem uhlíku, nebo vhodnými legujícími prvky, případně vhodným tepelným zpracováním (žíhání, zušlechťování, kalení, popouštění).

Pro zachování pérových hodnot mají tyto oceli velký modul pružnosti a vysoké meze únavy se dosahuje při zvýšenou mezi pevnosti a kluzu [2,3].



Obr. 1 Přehled některých výrobků z pružinové oceli [1].

Vzhledem k velkému rozvoji automobilového průmyslu roste i poptávka po pružinové oceli. S nimi také roste potřeba tyto materiály opracovávat – obrábět. Pružinové oceli se řadí mezi materiály, které jsou dobře obrobitelné [1,4].

Cílem této práce je poskytnout ucelenou rešerši obrobitelnosti ocelí se zaměřením na pružinovou ocel. Na příkladu rozboru talířové pružiny z chrom-vanadové oceli 51CrV4 je posuzována obrobitelnost ve vztahu k chemickému složení materiálu, mechanickým vlastnostem, struktuře a tepelnému zpracování.

Výsledkem porovnávání jednotlivých vlivů na obrobitelnost a způsobů testování by měl být návrh vhodné metody testování polotovarů ocelí na predikci jejich obrobitelnosti.

1 OBROBITELNOST PRUŽINOVÉ OCELI

Téma „Analýza obrobitelnosti pružinové oceli po tepelném zpracování“ je zaměřeno na porovnání teoretických znalostí z oblasti obrobitelnosti a materiálových vlastností pružinových ocelí vzhledem ke vzorkům Talířové pružiny (viz obr. 2).



Obr. 2 Talířová pružina.

1.1 Obrobitelnost

Pojmem obrobitelnost se označuje souhrn technologických vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro výrobu součástí určitým způsobem obrábění, resp. jak jednoduché, případně obtížné je opracovávat obrobek při použití řezných nástrojů. Je to systémová vlastnost vyjadřující efektivitu procesu při nízkých nákladech a daných technologických podmínkách [5, 6].

Obrobitelnost úzce souvisí s řezivostí nástroje (technologická vlastnost materiálu břitů nástroje, určující jeho výkonnost při obrábění). Konečný výsledek procesu obrábění závisí kromě vlastností materiálu obrobku také na fyzikálních a chemických vlastnostech břitů nástroje (odebírání materiálu - viz obr. 3). Jedná se tedy o vzájemné působení materiálů obrobku a nástroje. Efektivita a kvalita obrobené plochy tak záleží na vhodném propojení obou těchto faktorů [7].

Zřejmě nejvýstižnější obecnou definicí obrobitelnosti by mohl být objem odebraného materiálu na jednotku výkonu [$\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$]. Ovšem tradiční postup vyhodnocování obrobitelnosti je spojován s obráběným materiálem a vztahuje se k trvanlivosti, opotřebení nástroje a k řezným rychlostem [6].

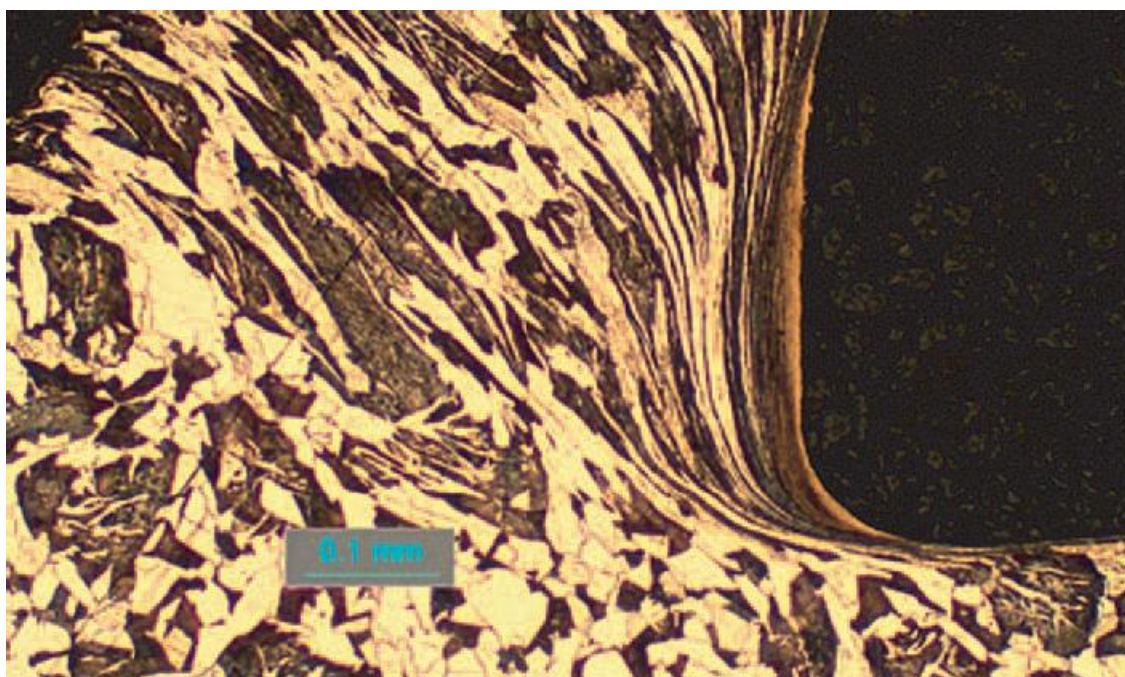
Nejdůležitější faktory obrobitelnosti vztahující se k materiálu obrobku [5, 7]:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu.

Z hlediska nástroje jsou důležitými faktory vlivu [5, 7]:

- trvanlivost bříty,
- utváření třísky,
- stav povrchové vrstvy,
- geometrie nástroje,
- řezné síly a momenty.

Dobrá, nebo naopak špatná obrobiteľnosť obrobku závisí na čítných proměnných, jako např.: druh materiálu, obráběcí stroj, způsob obrábění, nástroj, chladicí kapalina, řezné podmínky atd. Z těchto důvodů nelze obrobiteľnosť jednoznačně vymezit a definovat [5].



Obr. 3 Obrábění materiálu [6].

1.1.1 Vlastnosti materiálů

Posuzování obrobiteľnosti materiálu obrobku se zaměřuje na vlastnosti výrazně ovlivňující obráběcí proces (viz obr. 4).

Nejdůležitější vlastnosti ovlivňující obrobiteľnosť materiálu [5, 6]:

- mechanické vlastnosti – tvrdost a pevnost,
- tvárnost,
- tepelné vlastnosti,
- mechanické zpevnění,
- vměstky,
- chemické složení – obsah legujících prvků,
- struktura materiálu,
- původ a stav obrobku.



Obr. 4 Faktory ovlivňující obrobitelnost materiálu [6].

Tvrдость a pevnost

Tvrдость patří mezi důležité mechanické vlastnosti. Určuje se vtlačováním vnikajícího tělíska přesného geometrického tvaru (indentoru) definovanou silou do povrchu zkoušeného materiálu. Předností je relativní jednoduchost zkoušky, opakovatelnost a lze měřit i na předmětech nejmenších rozměrů. Z tvrdosti často usuzujeme na některé další vlastnosti materiálu (pevnost v tahu, obrobitelnost apod.). Vysoká tvrdost materiálu znamená vysoké řezné síly. Nízké hodnoty tvrdosti a pevnosti jsou výhodné pro obrábění [5, 8].

Tvárnost

Nízké hodnoty tažnosti mají pozitivní vliv na příznivé utváření třísky. Vyšší tvrdost, rovná se malá tažnost, a naopak. Dobrá obrobitelnost je výsledkem kompromisu mezi tvrdostí a tažností [5].

Tepelné vlastnosti

Z hlediska obrobitelnosti je vysoká hodnota tepelné vodivosti považována za výhodnou. Teplo je odváděno třískami [5].

Mechanické zpevnění

Zvýšení pevnosti je závislé na rychlosti, kterou tváření probíhá, a na sklonu materiálu ke zpevňování plastickou deformací. Vysoká rychlost zpevňování znamená rychlé zvyšování pevnosti v poměru k úbytku deformační rychlosti. Vysoké rychlosti zpevňování plastickou deformací znamenají velkou řeznou sílu potřebnou na utváření třísky. Je-li hloubka zpevněné zóny stejně velká jako posuv, znamená to vždy silné namáhání břitu [5, 6].

Vměstky

Vměstky výrazně snižují houževnatost a plasticitu ocelí. Při následném tváření dochází k usměrňování vměstků do řádku – tzv. řádkovitosti, což se projeví ve zvětšení anizotropie mechanických vlastností (břidličné, dřevité lomy). S ohledem na negativní vliv vměstků

na vlastnosti ocelí je nutné kvantifikovat znečištění materiálů vměstky. Používané metody hodnocení (ČSN EN 10247, DIN 50 602) zpravidla stanovují typy vměstků, jejich plošný podíl, velikost a distribuci. Údaje o mikročistotě současně poskytují i informace o kvalitě metalurgického procesu [9].

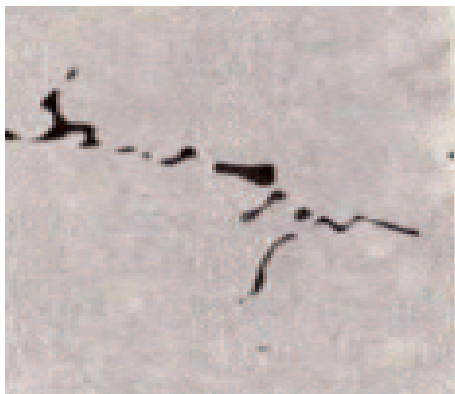
Typy vměstků [9]:

I. typ vměstků (obr. 5) – kulovité vměstky o průměru až několika desítek (stovek) μm , tvořeny oxidy Fe, Mn, S, Si. Vměstky jsou tvařitelné.

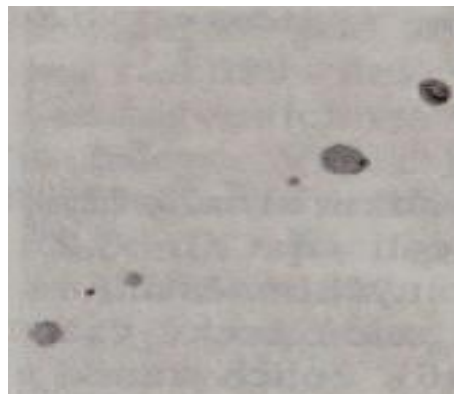
II. typ vměstků (obr. 6) – sulfidy Mn, oxidy Al_2O_3 . U nízkouhlíkových ocelí s obsahem Al $> 0,025 \%$. Sulfidy výrazně snižují houževnatost, příp. kontrakci, méně hodnoty plasticity, dobře tvařitelné.

III. typ vměstků (obr. 7) – sulfidy manganu nebo oxidy s polygonálním hranatým tvarem. Jejich vznik je podmíněn nízkým obsahem aktivního kyslíku, při obsahu Al $< 0,03 \%$ a obsahu C $> 0,2 \%$. Menší vliv na snížení houževnatosti než u II. typu.

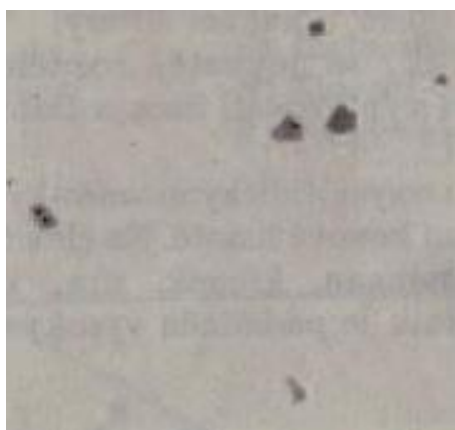
IV. typ vměstků (obr. 8) – konglomerát oxidů a sulfidů, průměr shluku jemných vměstků až stovky μm . U ocelí s velkým přebytkem dezoxidační přísady (Al a prvky vzácných zemin – Ce, La aj.), obsahem C $> 0,4 \%$ a Al $> 0,06 \%$. Jsou netvařitelné, snižují mechanické vlastnosti. Při válcování bývají příčinou povrchových vad.



Obr. 5 Vměstky I. typu
(zvětšeno 100 x) [9].



Obr. 6 Vměstky II. typu
(zvětšeno 100 x) [9].



Obr. 7 Vměstky III. typu
(zvětšeno 100 x) [9].



Obr. 8 Vměstky IV. typu
(zvětšeno 100 x) [9].

Rozdělení vměstků podle velikosti a obrobitelnosti [5]:

Makrovměstky (velikost nad 150 μm) jsou velmi tvrdé a abrazivní, jejich následkem je větší opotřebení nástroje a riziko vylomení řezné hrany. Pro další obrábění je doporučeno laboratorním rozbořem vzorku oceli eliminovat materiály s těmito vměstkami.

Mikrovměstky obsahuje prakticky každá ocel. Jejich vliv na obrobitelnost je možné rozdělit na:

- nežádoucí vměstky – oxidy hliníku (Al_2O_3) a karbidy titanu (TiC) – tvrdé a abrazivní,
- méně žádoucí, ale tolerované vměstky – oxidy železa a manganu (FeO a MnO), lze je odstranit odcházející třískou, vyšší schopnost tváření než u předchozí skupiny,
- žádoucí vměstky – silikáty, vytváří v zóně řezání vrstvu, která zpomaluje opotřebení bříty nástroje.

Chemické složení (vliv doprovodných prvků na vlastnosti slitin železa) [5, 6, 9]

Hlavní důvody legování slitin železa:

- zvýšení mechanických vlastností, především pevnosti a tvrdosti při zachování vyhovující houževnatosti (Mn, Si, Ni, Mo, V, W, Cr),
- zvýšení prokalitelnosti (Cr, Mn, Mo, V, Ni, B),
- zmenšení sklonu oceli k růstu austenitického zrna za vyšších teplot – dosažení jemnozrnné struktury vyloučením částic karbidů nebo nitridů (Al, Ti, Nb, Ta, V).

U ocelí je *uhlík* rozhodujícím prvkem, který v podstatné míře určuje mechanické vlastnosti a obrobitelnost. Další úpravu mechanických vlastností obrobku lze výrazně ovlivnit legujícími prvky.

Síra ve spojení s manganem vytváří sulfid manganu, tvořící oblast s malou pevností, ve které se snižuje energie potřebná k oddělení materiálu – zlepšuje obrobitelnost. Oceli se zlepšenou obrobitelností obsahují až několik desetin procenta síry – uměle přidávána.

Fosfor zvyšuje pevnost a tvrdost. Jeho vliv závisí na množství uhlíku. Při $C < 0,01 \%$ má vliv i na zvýšení tažnosti, při $C > 0,05 \%$ zvyšuje křehkost. U vysoce pevných ocelí snižuje fosfor mez únavy a zvyšuje sklon ke vzniku trhlin, prasklin a křehkých lomů.

Olovo se chová podobně jako síra. Obvykle se jako přísady používají sloučeniny olova a síry v různých kombinacích.

Nikl zvyšuje tvrdost, pevnost a tvárnost, ale zhoršuje obrobitelnost. Slitiny niklu vytváří nárůstek na bříty a mají sklon k „nalepování“. Používá se hlavně v ocelích, které mají mít vysokou houževnatost především při nízkých teplotách. Nevytváří karbidy.

Křemík zvyšuje pevnost, tvrdost a mez kluzu, nad 1 % snižuje plastické vlastnosti feritu. Zkracuje trvanlivost bříty, ale umožňuje kontrolované utváření třísky.

Mangan zvyšuje tvrdost, pevnost a houževnatost při zachování plastických vlastností. Způsobuje vyšší opotřebení nástroje. Je velmi abrazivní.

Chrom může vytvářet tvrdé karbidy, způsobující opotřebování nástroje. Zvyšuje rázovou pevnost.

Dalšími legujícími prvky jsou např. kobalt, vanad, molybden, niob, wolfram, měď atd. Stručný přehled vlivu legujících prvků na obrobitelnost znázorňuje tabulka 1.1.

Tabulka 1.1 Vliv legujících prvků na obrobiteľnosť [5].

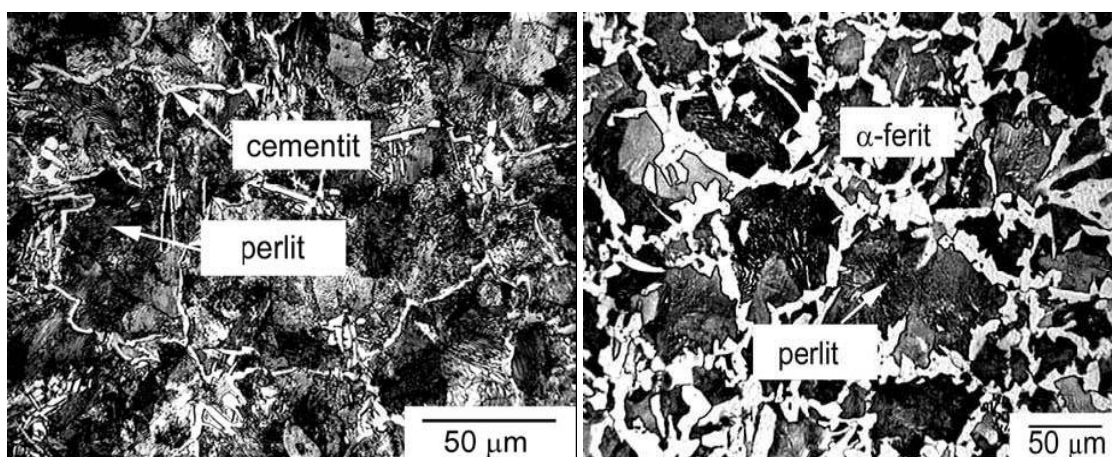
Negativní	Pozitivní
mangan	
nikl	olovo
kobalt	síra
vanad	fosfor
uhlík < 0,3 %	
uhlík > 0,6 %	uhlík 0,3 – 0,6 %
chrom	
molybden	
niob	
wolfram	

Struktura materiálu

V nezakaleném stavu při běžné teplotě rozlišujeme u materiálu tři druhy struktur, které mají přímý vliv na obrobiteľnosť [5]:

- ferit – měkký a tažný (obr. 9b),
- perlit – vyskytuje se v podobě tenkých plátků feritu a cementitu střídavě uložených; tvrdost perlitické struktury závisí na velikosti lamel, jemnější lamely mají větší tvrdost, než lamely hrubší (obr. 9a, 9b),
- cementit – nejtvrdší struktura, která lze dosáhnout (tvrdší než martenzit), vysoký abrazivní účinek, i malý podíl cementitu v oceli se projeví značně negativně na trvanlivosti břitu nástroje a tím i na obrobiteľnosti (obr. 9a).

Množství feritu, perlitu a cementitu ve struktuře oceli se řídí převážně podílem uhlíku. Obecně platí, že obrobiteľnosť feritických ocelí je lepší, než ocelí martenzitických [5].



Obr. 9 Struktury: a) perlitická zrna obklopená sekundárním cementitem, b) feriticko – perlitická (perlit je lamelární směs α -feritu a cementitu) [10].

Původ a stav obrobku

Původ materiálu je charakterizován materiálovými normami. Nejčastěji dodávané polotovary jsou ve stavu [4, 5]:

- válcovaný za tepla,
- normalizačně žíhaný,
- žíhaný na měkko,
- tažený za studena,
- zušlechtěný.

Po *válcování za tepla* má materiál často nehomogenní a hrubou strukturu. Materiál je vystaven delší čas vysokým teplotám, čímž se vytváří hrubá struktura. Negativně působí na obrobiteľnosť [5].

Normalizačním žíháním se přemění hrubá struktura, vzniklá při válcování za tepla, na strukturu homogennější a dochází ke zjemnění austenitického zrna. Zlepšuje se houževnatost materiálu a zrovnoměněním struktury i obrobiteľnosť [9].

Žíháním na měkko se snižuje tvrdost a zejména zlepšuje obrobiteľnosť oceli. Při tomto procesu se přemění lamely cementitu obsažené v perlitu na globulární cementit. Výsledkem je feritická struktura se stejnoměrným rozptýlením globulárního cementitu – struktura s výrazně sníženou tvrdostí. Oceli s vysokým obsahem uhlíku by měly být žíhány na měkko, aby se tak zaručila jejich optimální obrobiteľnosť. Při nižším obsahu uhlíku je perlit v určitém množství užitečný. Čím nižší je podíl uhlíku v oceli, tím optimálnější je při vyšším podílu perlitu obrobiteľnosť [3, 9].

Zpevňováním za studena se zvyšuje pevnost oceli. Proces zpevňování za studena lze z hlediska obrobiteľnosti považovat za příznivý. Z toho vyplývají některé přednosti [5]:

- zlepšená kvalita povrchu,
- menší tvorba nárůstku,
- zredukovaný vznik otřepů.

Zušlechtování zvyšuje houževnatost a snižuje tvrdost ocelí. Vyvážená kombinace obou těchto mechanických vlastností má pozitivní vliv na obrobiteľnosť [3].

1.1.2 Rozdělení materiálů do tříd obrobiteľnosti

Technické konstrukční materiály jsou pro potřeby vyhodnocování obrobiteľnosti rozděleny do devíti základních skupin, které se značí malými písmeny [11]:

- a – litiny,
- b – oceli,
- c – těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi),
- d – lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku),
- e – plastické hmoty,
- f – přírodní nerostné hmoty,
- g – vrstvené hmoty,
- v – tvrzené litiny pro výrobu válců.

Pro každou skupinu je vybrán jeden konkrétní materiál, který slouží jako etalon obrobiteľnosti. S tímto etalonem je porovnávána relativní obrobiteľnosť všech materiálů dané skupiny. Pro oceli je to materiál 12 050.

Hodnocení je dáno indexem obrobitelnosti v_{cT} , pro který platí [11]:

$$i_o = \frac{v_{cT}}{v_{cT \text{ etalon}}} [-] \quad 1.1$$

kde: v_{cT} $[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ – řezná rychlost při dané trvanlivosti pro obráběný materiál

$v_{cT \text{ etalon}}$ $[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ – řezná rychlost při dané trvanlivosti pro etalon

Třídy jsou označovány číslem a písmenem (např. 11a, 14b apod.). Jednotlivé třídy jsou odstupňovány podle střední hodnoty indexu obrobitelnosti s kvocientem $q=10^{1/10}=1,26$ (třída etalonového materiálu má index $q = 1$), tj. hodnota řezné rychlosti v_{cT} je v určité třídě vždy 1,26 x vyšší (nižší) než ve třídě sousední. Materiály v nižších třídách mají horší obrobitelnost než materiály s vyšším zařazením [11].

Přehled tříd obrobitelnosti a indexů obrobitelnosti je uveden v tabulce 1.2.

Tabulka 1.2 Přehled tříd obrobitelnosti [11].

Index obrobitelnosti i_o			Materiál			
Vyjádřeno kvocientem	Střed	Rozsah	Litiny	Oceli	Slitiny	
					mědi	hliníku
$1,26^{-13}$	0,050	0,045÷0,054		1b		
$1,26^{-12}$	0,065	0,055÷0,069		2b		
$1,26^{-11}$	0,080	0,070÷0,089		3b		
$1,26^{-10}$	0,10	0,09÷0,11	1a	4b		
$1,26^{-9}$	0,13	0,12÷0,14	2a	5b	2c	
$1,26^{-8}$	0,16	0,15÷0,17	3a	6b	3c	
$1,26^{-7}$	0,20	0,18÷0,22	4a	7b	4c	
$1,26^{-6}$	0,25	0,23÷0,28	5a	8b	5c	4d
$1,26^{-5}$	0,32	0,29÷0,35	6a	9b	6c	5d
$1,26^{-4}$	0,40	0,36÷0,44	7a	10b	7c	6d
$1,26^{-3}$	0,50	0,45÷0,56	8a	11b	8c	7d
$1,26^{-2}$	0,63	0,57÷0,71	9a	12b	9c	8d
$1,26^{-1}$	0,80	0,72÷0,89	10a	13b	10c	9d
$1,26^0$	1,00	0,90÷1,12	11a	14b	11c	10d
$1,26^1$	1,26	1,13÷1,41	12a	15b	12c	11d
$1,26^2$	1,59	1,42÷1,78	13a	16b	13c	12d
$1,26^3$	2,00	1,79÷2,24	14a	17b	14c	13d
$1,26^4$	2,50	2,25÷2,82		18b	15c	14d
$1,26^5$	3,15	2,83÷3,55		19b		15d
$1,26^6$	4,00	3,56÷4,47		20b		16d

1.2 Obrobitelnost pružinové oceli – chemické složení

Rozdělení podle chemického složení [9]:

- ušlechtilé nelegované oceli (např. C40, C60, C85E, 80Mn4),
malá prokalitelnost, nízké hodnoty mechanických vlastností, méně namáhané pružiny pracující za normální teploty,

- oceli legované křemíkem (např. 46Si7, 60Si7, 54SiCr6),
- oceli legované chromem, popř. chromem a vanadem, nebo niklem (např. 51CrV4, X30Cr13).

Chemické složení a obrobitelnost vybraných jakostí pružinových ocelí je uvedeno v tabulce 1.3.

Tab. 1.3 Chemické složení a obrobitelnost vybraných jakostí pružinových ocelí [4].

Značka	Číslo DIN	Chemické složení v [hm. %]					obrobitelnost *
		C	Si	Mn	Cr	V	
C85E	1.1269	0,80 - 0,90	0,35	0,20 - 0,60			12b
46Si7	1.5024	0,42 - 0,52	1,50 - 1,90	0,50 - 0,80	max. 0,30		13b
60Si7	1.5027	0,58 - 0,68	1,50 - 1,90	0,65 - 0,90	max. 0,30		13b
54SiCr6	1.7102	0,50 - 0,60	1,30 - 1,60	0,50 - 0,80	0,50 - 0,70		11b
80Mn4	1.1259	0,70 - 0,80	0,15 - 0,35	0,90 - 1,20	max. 0,30		12b
51CrV4	1.8159	0,47 - 0,55	max. 0,40	0,70 - 1,10	0,90 - 1,20	0,10 - 0,25	12b

*- platí pro stav polotovaru žhánáno na měkko

Některé důležité prvky:

Uhlík významně působí na obrobitelnost. Pružinové oceli jsou převážně oceli se středním až vysokým obsahem uhlíku ($C_{\text{střední}} = 0,25 \div 0,55 \%$, $C_{\text{vysoký}} = 0,55 \div 0,8 \%$), který zlepšuje obrobitelnost – mírně zvyšuje tvrdost, mez pružnosti a snižuje tvárnost. Tyto oceli často obsahují mangan jako přísadu pro zvyšování prokalitelnosti a meze kluzu. Běžně se používá hmotnostní obsah do 2 % [5, 9].

Křemík zvyšuje tvrdost a pevnost, při tváření za tepla tvoří SiO_2 – zvyšuje abrazivní opotřebení nástroje. V zušlechťeném stavu zvyšuje mez pružnosti a tvárnosti a zároveň zvyšuje odolnost proti působení dynamických sil (péra, pružiny). Má pozitivní vliv na utváření třísky. Ve spojení s chromem a molybdenem zvyšuje žárovevnu a žáruvzdornost ocelí [5, 9].

Chrom je karbidotvorný prvek ovlivňující prokalitelnost, pevnost, tvrdost a rázovou houževnatost. Zvyšuje otěruvzdornost a odolnost proti tvorbě okují [9].

Vanad má příznivý vliv na zlepšení únavových vlastností, zvyšuje odolnost proti opotřebení a mez plasticity. Příznivý vliv na jemnozrnnou strukturu vyloučením částic karbidů, nitridů. [5, 9].

Pro zlepšení obrobitelnosti slouží relativně zvýšený obsah *síry* (0,025 – 0,035 %). Způsobuje lámavost třísky, hladší povrch obrobku, menší opotřebování nástroje [5].

1.3 Obrobitelnost pružinové oceli – mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti mohou být obecně ovlivňovány různými vlivy. Pro pružinovou ocel to je především jakost materiálu, chemické složení, nečistoty, struktura materiálu po tepelném zpracování, vhodné tepelné zpracování, povrchové a strukturální vady [12].

Důležité mechanické vlastnosti:

- pevnost R_m [MPa],
- smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa],
- kontrakce Z [%],
- tažnost A [%],
- nárazová práce KV [J],
- tvrdost HB (žíháno na měkko).

Vliv zvýšených hodnot mechanických vlastností a nečistot na obrobitelnost pružinových ocelí – viz tabulka 1.4.

Tabulka 1.4 Vliv zvýšených hodnot mechanických vlastností a nečistot na obrobitelnost [5].

Zvýšené hodnoty mechanických vlastností	Vliv na obrobitelnost
tvrdost a pevnost	-
tvárnost	-
tepelná vodivost	+
zpevnění za studena	-
vměstky	+/-
případy pro zlepšení obrobitelnosti	++

Všechny pružinové oceli jsou snadno obrobitelné. Dobrá obrobitelnost je dána především vysokou mezí kluzu, nižšími hodnotami tažnosti, kontrakce a vrubové houževnatosti a vhodným tepelným zpracováním. Tabulka 1.5 zobrazuje porovnání mechanických vlastností vybraných pružinových ocelí s dobře obrobitelnou uhlíkovou ocelí DIN 1.1191 [5, 12].

Tabulka 1.5 Porovnání vybraných mechanických vlastností [4].

DIN	1.1191	1.0535	1.1259	1.5024	1.5028	1.7102	1.8159
Značka	C45E	C55	80Mn4	46Si7	60Si7	54SiCr6	51CrV4
$R_{p0,2}$ [MPa] min.	370	420	1030	1080	1080	1150	900
R_m [MPa]	630 - 780	700 - 850	1270-1520	1270-1470	1370-1570	1350-1600	1100-1300
tažnost A_5 [%] min.	17	15	7	6	6	6	9
kontrakce Z [%] min.	45	40	20	30	25	25	40
nárazová práce KV [J] min.	25			21	14	14	30
tvrdost HB *	max. 207	max. 171	max. 239	max. 230	max. 240	max. 248	max. 248

*- platí pro stav polotovaru žíháno na měkko

Tyto požadované vlastnosti se v první řadě dosahují vyšším obsahem uhlíku nebo vhodnou kombinací legujících prvků, a následně také tepelným zpracováním - nejčastěji zušlechťováním - jednotlivých pružinových ocelí. Podmínky pro provádění tepelného zpracování jsou uvedeny v materiálových normách.

1.4 Obrobitelnost pružinové oceli – tepelné zpracování

Pro výrobu se využívají pružinové oceli v rozmezí pevnosti 1 200 – 1 800 MPa. Nejvyšší úroveň pevnosti ocelí vyžaduje vhodnou jemnozrnnou mikrostrukturu bez segregace, vměstků i povrchových defektů. Výsledná kvalita vyrobené pružiny však nezáleží pouze na kvalitě oceli. Je potřeba klást důraz i na samotnou výrobu pružin (válcování za tepla, resp. profilování, očkování atd.), stejně jako na tepelné zpracování a povrchové úpravy. Proto se nedá říci, že ocel (polotovary) se statutem vysoké kvality zajišťuje pružinu (konečný výrobek) vysoké kvality [12].

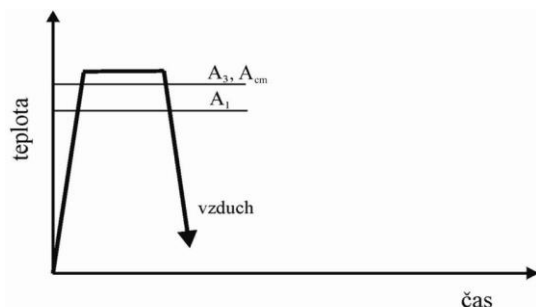
Nejběžnějšími polotovary jsou tyče válcované za tepla, tyče tažené za studena, dráty tažené za studena, plechy válcované za tepla. Pro lepší obrobitelnost se žíhají na měkko.

Tepelným zpracováním se ovlivňují mechanické vlastnosti (pevnost, tvrdost, tažnost, vrubová houževnatost,...), stejně jako struktura materiálů.

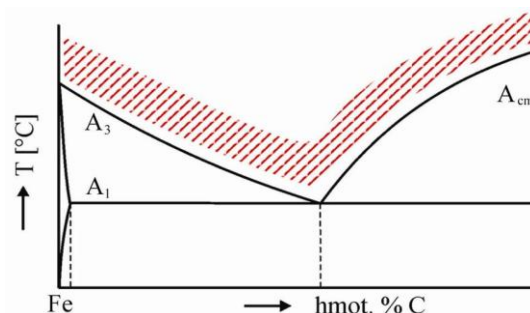
Nejběžnější způsoby tepelného zpracování pro pružinové oceli [9]:

1. *Normalizační žíhání* – zjemnění austenitického zrna a zrovnoměnění sekundární struktury. Provádí se ohřev 30 až 50°C nad A_3 s ochlazením na klidném vzduchu, nebo s pozvolným ochlazováním v peci (obr. 10). Vhodnou volbou rychlostí ochlazování v oblasti perlitické přeměny lze rozpadem austenitu při malém přechlazení dosáhnout hrubší, tvárnější a měkčí struktury, při větším přechlazení se dosáhne struktura jemnější, pevnější a tvrdší (obr. 11).

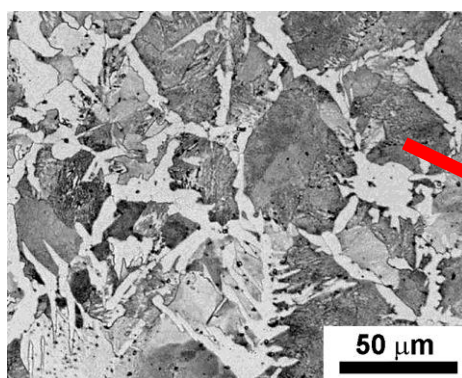
Schéma tepelného zpracování



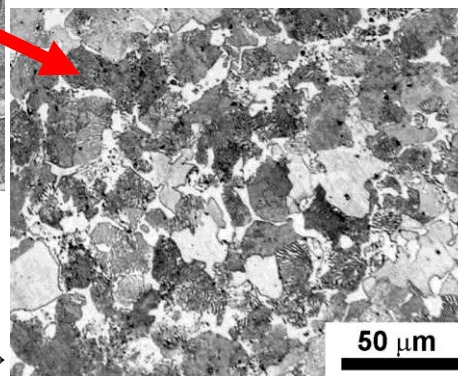
Pásmo žíhacích teplot



Obr. 10 Normalizační žíhání – schéma a oblast žíhacích teplot [13].



← Východí stav, Widmannstättenova struktura

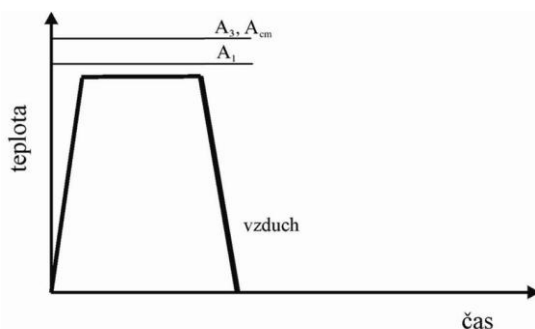


Struktura po normalizačním žíhání →

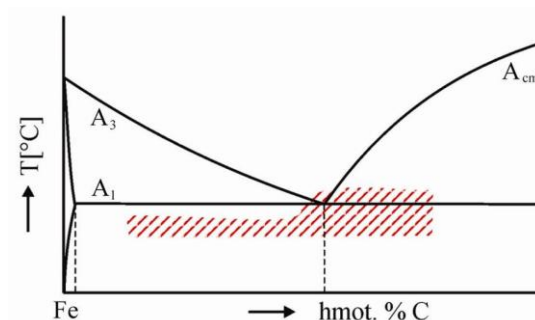
Obr. 11 Normalizační žíhání – struktura [13].

2. *Žihání na měkko* – snížení tvrdosti a zejména zlepšení obrobitelnosti. Dochází k sferoidizaci perlitického, popř. i sekundárního cementitu za teplot v oblasti A_1 . Žihání probíhá v intervalu teplot 680 až 720°C (pod A_1 – obr. 12) po dobu 4 i více hodin s následným pomalým ochlazováním v peci. Lamelární perlit se při tomto režimu mění na perlit zrnitý (obr. 13).

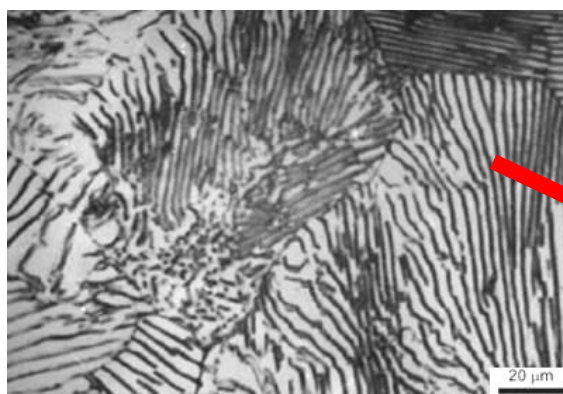
Schéma tepelného zpracování



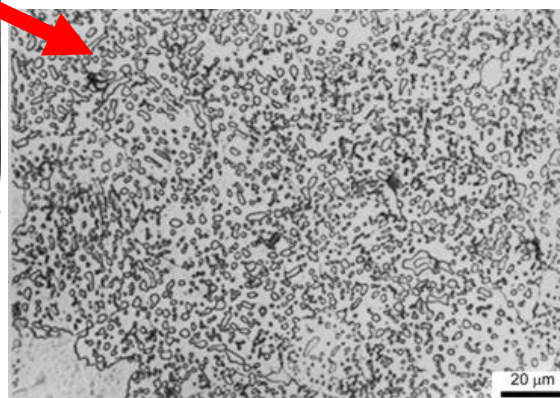
Pásma žíhacích teplot



Obr. 12 Žihání na měkko – schéma a oblast žíhacích teplot [13].

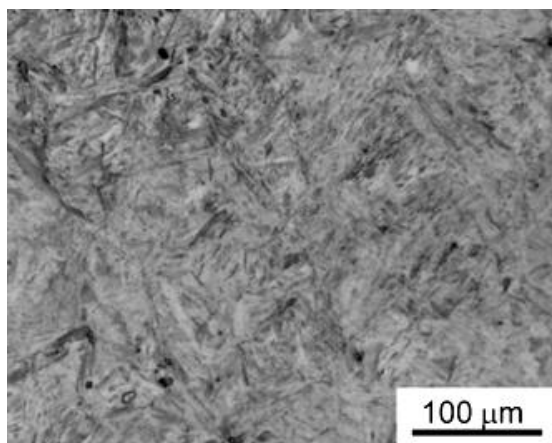
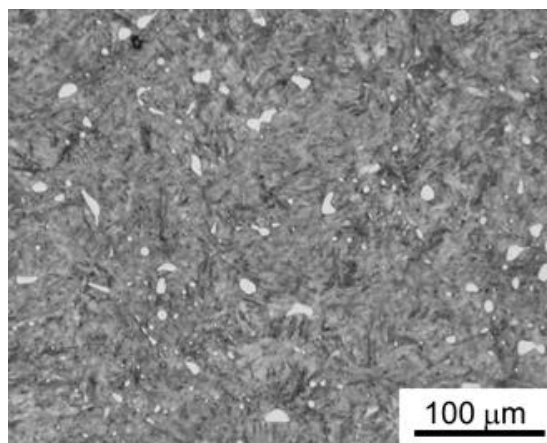


← Výchozí stav, lamelární perlit

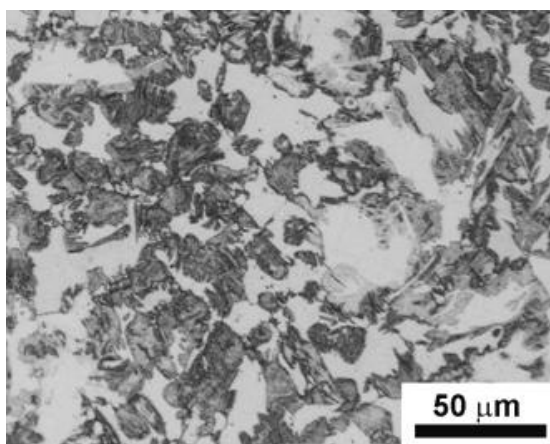
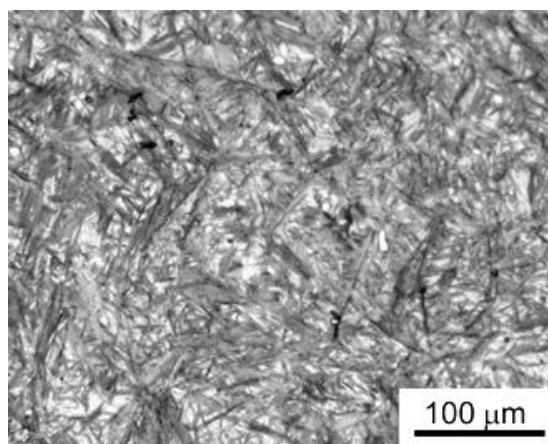
Globulární (zrnitý) perlit
po žíhání na měkko →

Obr. 13 Žihání na měkko – struktura [13].

3. *Kalení (zušlechťování)* – cílem je dosažení nerovnovážných stavů ocelí. Podle převažující strukturní složky se kalení dělí na martenzitické a bainitické, přičemž nejčastěji je cílem kalení struktura martenzitická. Porovnání správně a nesprávně zakalené struktury je na obr. 14 a 15.

**Podeutektoidní ocel****Nadeutektoidní ocel**

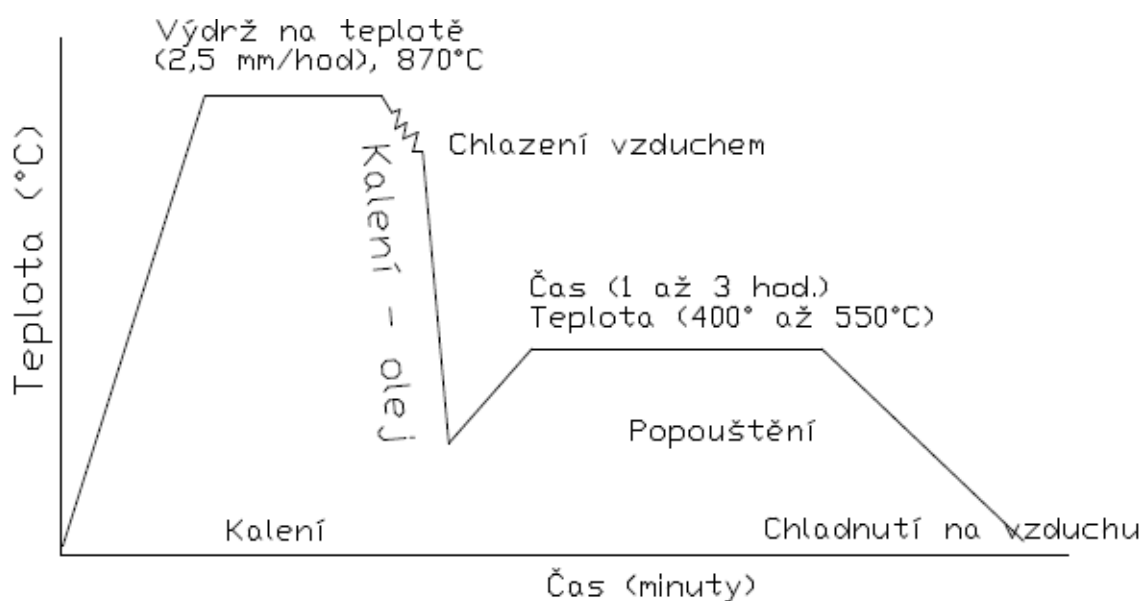
Obr. 14 Správná martenzitická struktura po zakalení [13].

**Podeutektoidní ocel****Nadeutektoidní ocel**

Obr. 15 Nesprávně zakalená (hrubá) martenzitická struktura [13].

Proces kalení (obr. 16) se skládá z ohřevu na kalicí teplotu, dostatečné výdrže na této teplotě a následného ochlazení rychlostí o málo větší, než je rychlost kritická. Pásmo kalicích teplot podeutektoidních ocelí leží v rozmezí 20 až 40°C nad teplotou A_{c3} , což odpovídá kompromisu mezi požadavkem na dosažení homogenního austenitu v co nejkratším čase a zachování jemného austenitického zrna. Důležité je zabránění oduhličení.

Optimální ochlazovací prostředí by mělo umožňovat ochlazování příslušných objemů nadkritickou rychlostí. Intenzita ochlazování je hlavním kritériem hodnocení kalicích prostředí. Nejběžnější jsou voda, olej, solná lázeň, vzduch. Pro jednotlivé oceli je možné upravovat kalicí prostředí přidávkem různých polymerů, které upravují ochlazovací schopnost lázně. Teplota kalicího oleje je doporučena okolo 60°C [12].



Obr. 16 Tepelné zpracování pružinových ocelí [12].

Fázové přechody teplot pro nízkolegované oceli s obsahem uhlíku méně než 0,6 % lze odhadnout podle následujících rovnic [12]:

$$A_{c1} = 727 - 16,9Ni + 29,1Si + 6,38W - 10,7Mn + 16,9Cr + 290As \quad 1.2$$

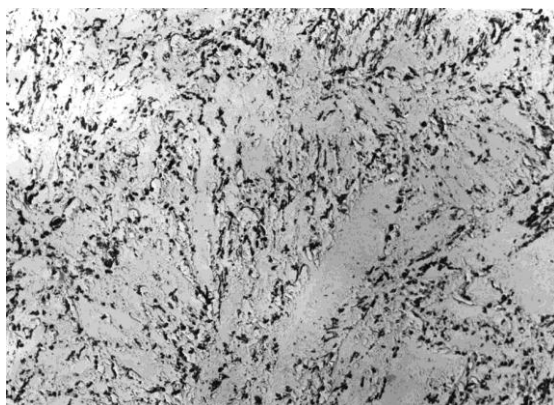
$$A_{c3} = 910 - 203\sqrt{C} + 44,7Si - 15,2Ni + 31,5Mo + 104V + 13,1W - 30Mn + 11Cr + 20Cu - 700P - 400Al - 120As - 400Ti \quad 1.3$$

$$M_s = 539 - 423C - 30,4Mn - 17,7Ni - 12,1Cr - 11Si - 7Mo \quad 1.4$$

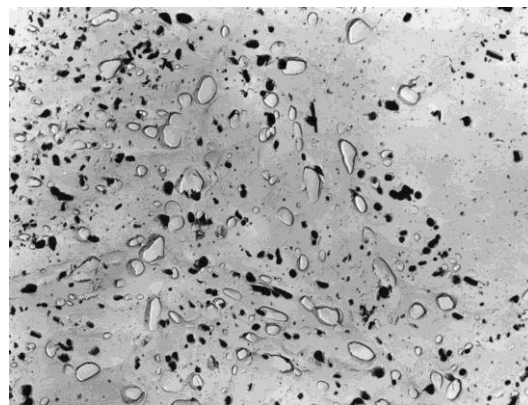
$$B_s = 830 - 270C - 90Mn - 37Ni - 70Cr - 83Mo \quad 1.5$$

kde: A_{c1} – rovnovážná teplota austenitizace – start [°C]
 A_{c3} – rovnovážná teplota austenitizace – konec [°C]
 M_s – začátek teploty martenzitické transformace [°C]
 B_s – začátek teploty bainitické transformace [°C]

4. *Popouštění* – snížení vnitřního pnutí a křehkosti po kalení (popř. i získání struktury s dobrou houževnatostí), výsledné hodnoty tvrdosti a pevnosti. Popouštění se provádí bezprostředně po kalení. Dochází k precipitačnímu rozpadu martenzitu a zbytkového austenitu, k relaxaci vnitřních pnutí (zejména v intervalu teplot 300 až 450°C). Ve feritické fázi pak při vyšších teplotách dochází k zotavení až k rekrystalizaci. Za teplot nad 400°C až do A_{c1} vzniká jemnozrnná struktura s kuličkovým cementitem v základní feritické hmotě - sorbit (obr. 17).



Jemný sorbit



Hrubý sorbit

Obr. 17 Jemný a hrubý sorbit (rep.)[13].

Z hlediska popouštěcích teplot rozeznáváme:

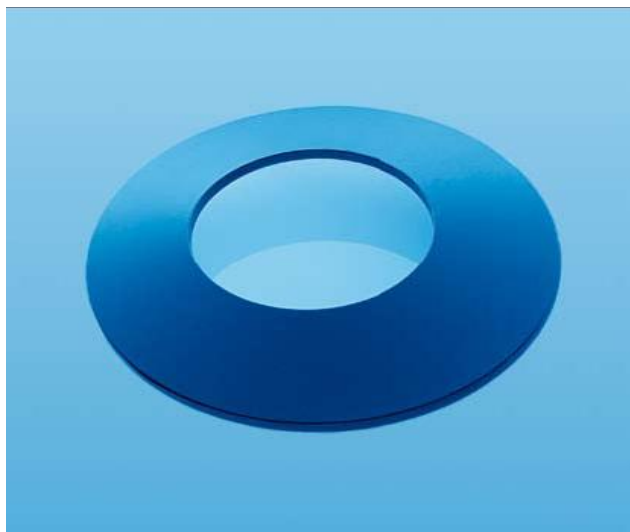
- nízkoteplotní popouštění (asi do 350°C),
- vysokoteplotní popouštění (350 až 700°C) – ve spojení s kalením nazýváme tento proces *zušlechťování*.

Během tepelného zpracování (kalení) by struktura měla dosáhnout 100 % martenzitu, abychom dosáhli maximální tvrdosti. Je ovšem velmi křehká, a proto kalené pružinové oceli jsou ve strojírenství málo využívány. Nejrozšířenější způsob je *zušlechťování*. Vhodným popouštěním se mohou vlastnosti kalené oceli upravit, čímž je možné snížit její tvrdost a zvýšit houževnatost, a také postupně ovlivnit další mechanické vlastnosti [2].

Vhodné tepelné zpracování představuje obrovské výhody pro výrobu vysoce namáhaných pružin. Volba správné kombinace chlazení a popouštěcích teplot při dostatečné výdrži na teplotě nám nabízí optimální kombinaci tažnosti s houževnatostí při navýšení únavových vlastností [12]. Z hlediska obrobitelnosti je důležité žíhání na měkko, které by se mělo provádět na dodávaných polotovarech.

2 ROZBOR VZORKŮ TALÍŘOVÉ PRUŽINY

Talířové pružiny (obr. 18) jsou mělké kuželovité kroužky s osovým zatížením, které mohou být v závislosti na využití vystaveny střídavému zatížení (statické, dynamické). Využívají se v různých odvětvích průmyslu, jako jsou strojírenství, ropný průmysl, automobilový průmysl, letectví a kosmonautika [14].



Obr. 18 Talířová pružina [14].

Díky své univerzálnosti nachází široké spektrum uplatnění, a to od systémů pojistných ventilů v hloubce 3 000 metrů pod mořem až po satelity ve výšce 36 000 km nad Zemí. Musí fungovat při teplotách od $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14].

Rozbor

K rozboru bylo použito 2 talířových pružin (obr. 19).

Označení pružin: a – talířová pružina neobrobená
 b – talířová pružina obrobená



Obr. 19 Vzorky talířových pružin.

2.1 Chemický rozbor

Přístroj

Stolní jiskrový optický emisní spektrometr (viz obr. 20).



Obr. 20 Spektrometr Q4 – TASMAR [15].

Metoda

Chemický rozbor se provádí na jiskrovém optickém emisním spektrometru Q4 TASMAR a odpovídá ČSN EN 10083-3 (42 0931). Na základě vyzářeného spektra vyhodnotí speciální optické CCD detektory procentuální obsah jednotlivých prvků v materiálu (až 20 prvků). Chemické rozborů vzorků *a* i *b* jsou uvedeny jako příloha 1 a 2.

Vyhodnocení

Výsledky chemických rozborů odpovídají materiálu 51CrV4 (DIN 1.8159) – viz obr. 21, což je nízkolegovaná ušlechtilá chrom-vanadová ocel s vysokou prokalitelností pro velmi namáhané strojní díly. Chrom zvyšuje prokalitelnost a tvrdost. Mangan příznivě ovlivňuje pevnostní vlastnosti, snižuje tažnost a zvyšuje prokalitelnost, rozpouští se ve feritu a působí také na zjemnění lamel perlitu a cementitu. Vanad příznivě působí na zjemnění zrna. Ve stavu žíhaném na měkko je tento materiál dobře obrobitelný [3, 4].

V zušlechtěném stavu má velmi příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu, avšak oproti Cr-Mo ocelím nižší houževnatost. Vyznačuje se vysokými hodnotami meze únavy při střídavém namáhání. Je proto vhodná i pro výrobu zušlechtěných pružin, ale také čepů, podložek, hřídelí a vřeten. Vysoce namáhané pružiny a pružné elementy pro automobily a kolejová vozidla, dále zkrutné tyče a listová pera. Kalí se převážně do oleje nebo do roztoků syntetických polymerů [3, 4].

Označení oceli		Chemické složení (hmotnostní %) ^{a)}									
Značka	Číselné označení	C	Si max.	Mn	P max.	S	Cr	Mo	Ni	V	B
Oceli bez bору ^{b)}											
36Cr2	1.7003	0,35 až 0,42	0,40	0,50 až 0,80	0,025	max. 0,035	0,40 až 0,60	-	-	-	-
46Cr2	1.7006	0,42 až 0,50	0,40	0,50 až 0,80	0,025	max. 0,035	0,40 až 0,60	-	-	-	-
34Cr4	1.7033	0,30 až 0,37	0,40	0,60 až 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 až 1,20	-	-	-	-
34CrS4	1.7037	-	-	-	-	0,020 až 0,040	-	-	-	-	-
37Cr4	1.7034	0,34 až 0,41	0,40	0,60 až 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 až 1,20	-	-	-	-
37CrS4	1.7038	-	-	-	-	0,020 až 0,040	-	-	-	-	-
41Cr4	1.7035	0,38 až 0,45	0,40	0,60 až 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 až 1,20	-	-	-	-
41CrS4	1.7039	-	-	-	-	0,020 až 0,040	-	-	-	-	-
25CrMo4	1.7218	0,22 až 0,29	0,40	0,60 až 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 až 1,20	0,15 až 0,30	-	-	-
25CrMoS4	1.7213	-	-	-	-	0,020 až 0,040	-	-	-	-	-
34CrMo4	1.7220	0,30 až 0,37	0,40	0,60 až 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 až 1,20	0,15 až 0,30	-	-	-
34CrMoS4	1.7226	-	-	-	-	0,020 až 0,040	-	-	-	-	-
42CrMo4	1.7225	0,38 až 0,45	0,40	0,60 až 0,90	0,025	max. 0,035	0,90 až 1,20	0,15 až 0,30	-	-	-
42CrMoS4	1.7227	-	-	-	-	0,020 až 0,040	-	-	-	-	-
50CrMo4	1.7228	0,46 až 0,54	0,40	0,50 až 0,80	0,025	max. 0,035	0,90 až 1,20	0,15 až 0,30	-	-	-
34CrNiMo6	1.6582	0,30 až 0,38	0,40	0,50 až 0,80	0,025	max. 0,035	1,30 až 1,70	0,15 až 0,30	1,30 až 1,70	-	-
30CrNiMo8	1.6580	0,26 až 0,34	0,40	0,50 až 0,80	0,025	max. 0,035	1,80 až 2,20	0,30 až 0,50	1,80 až 2,20	-	-
35NiCr6	1.5815	0,30 až 0,37	0,40	0,60 až 0,90	0,025	max. 0,025	0,80 až 1,10	-	1,20 až 1,60	-	-
36NiCrMo16	1.6773	0,32 až 0,39	0,40	0,50 až 0,80	0,025	max. 0,025	1,60 až 2,00	0,25 až 0,45	3,6 až 4,1	-	-
39NiCrMo3	1.6510	0,35 až 0,43	0,40	0,50 až 0,80	0,025	max. 0,035	0,60 až 1,00	0,15 až 0,25	0,70 až 1,00	-	-
30NiCrMo16-6	1.6747	0,26 až 0,33	0,40	0,50 až 0,80	0,025	max. 0,025	1,20 až 1,50	0,30 až 0,60	3,3 až 4,3	-	-
51CrV4	1.8159	0,47 až 0,55	0,40	0,70 až 1,10	0,025	max. 0,025	0,90 až 1,20	-	-	0,10 až 0,25	-
Oceli s bórem											
20MnB5	1.5530	0,17 až 0,23	0,40	1,10 až 1,40	0,025	max. 0,035	-	-	-	-	0,0008 až 0,0050
30MnB5	1.5531	0,27 až 0,33	0,40	1,15 až 1,45	0,025	max. 0,035	-	-	-	-	0,0008 až 0,0050
38MnB5	1.5532	0,36 až 0,42	0,40	1,15 až 1,45	0,025	max. 0,035	-	-	-	-	0,0008 až 0,0050
27MnCrB5-2	1.7162	0,24 až 0,30	0,40	1,10 až 1,40	0,025	max. 0,035	0,30 až 0,60	-	-	-	0,0008 až 0,0050
33MnCrB5-2	1.7185	0,30 až 0,36	0,40	1,20 až 1,50	0,025	max. 0,035	0,30 až 0,60	-	-	-	0,0008 až 0,0050
39MnCrB6-2	1.7189	0,36 až 0,42	0,40	1,40 až 1,70	0,025	max. 0,035	0,30 až 0,60	-	-	-	0,0008 až 0,0050

^{a)} Prvky neuvedené v této tabulce se nesmí bez souhlasu odběratele úmyslně přidávat do oceli, výjimku tvoří prvky, které jsou nezbytné ke konečné tepelné úpravě a ovlivňují působení bору na prokalitelnost. Je třeba provést všechna přiměřená opatření, aby se zabránilo zanesení takových prvků do oceli ze šrotu a dalších surovin používaných během výroby, které by mohly ovlivnit mechanické vlastnosti a použití oceli.

^{b)} Pokud jsou požadavky na prokalitelnost (viz tabulky 5 a 6) nebo na mechanické hodnoty v zušlechťeném stavu (viz tabulka 8) jsou povoleny nepatrné odchylky rozmezí pro rozbor tavby, výjimkou uhlíku, fosforu a síry; odchylky nepřekročí specifikaci podle tabulky 4.

^{c)} Oceli se zlepšenou obrobiteľností v důsledku vyššího obsahu síry až kolem 0,10 % S (včetně nasítení oceli s kontrolovaným obsahem vměsíků (například zpracování Ca)) mohou se dodávat na požádání. V tomto případě se může zvýšit horní mez obsahu manganu o 0,15 %.

Obr. 21 Chemické složení oceli 51CrV4 [3].

2.2 Mechanické vlastnosti - tvrdost

Přístroj

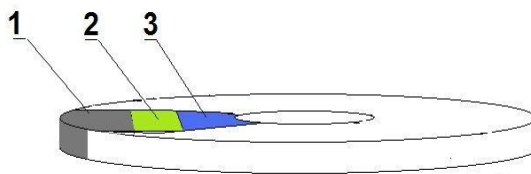
- řezání vzorků – rozbrušovací pila Discotom 6 (příloha 3),
- lisování – automatický metalografický lis CitoPress-1 (příloha 4),
- broušení a leštění – automatická metalografická bruska / leštička Tegramin 25 (příloha 5),
- univerzální plně automatický mikrotvrdoměr DuraScan 80 s automatickou kamerou (obr. 22).



Obr. 22 DuraScan 80 [16].

Metoda

Byly provedeny 3 výřezy ze vzorků *a* i *b* (viz obr. 23) – označení *1a*, *2a*, *3a* a *1b*, *2b*, *3b*, ze kterých byly připraveny výbrusy pro měření tvrdosti (obr. 24). Měření byla provedena univerzálním mikrotvrdoměrem DuraScan 80 s automatickou kamerou. Na každém vzorku byly provedeny 4 vpichy.



Obr. 23 Očíslování výřezu vzorku.



Obr. 24 Vybroušené a zaleštěné vzorky.

Vyhodnocení

Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí 195 – 215 HV1 (185 – 204 HB). Přepočet byl proveden dle normy EN ISO 18265. Záznam tvrdostí je součástí přílohy 6 a 7.

Pro materiál žíhaný na měkko je dle normy ČSN EN 10083-3 max. tvrdost pro polotovary dodávané ve stavu „žíhané na měkko (+A)“ 248 HB (tab. 2.1). Naměřené hodnoty 195 - 215 HV 1 (185 – 204 HB) odpovídají požadavku.

Tabulka 2.1 Mechanické vlastnosti oceli 51CrV4 [4].

Mechanické vlastnosti				
Rozměr t, d [mm]	≤ 16	17–40	41–100	101–160
Stav	zušlechťený			
Mez kluzu R _e [MPa] min	900	800	700	650
Mez pevnosti R _m [MPa]	1 100–1 300	1 000–1 200	900–1 100	850–1 000
Tažnost A ₅ [%] min	9	10	12	13
Kontrakce Z [%] min	40	45	50	
Nárazová práce KV [J] min	30			
Tvrdost HB	–			
Rozměr t, d [mm]	–		≤ 3	
Stav	žíhaný na měkko		zušlechťený ¹⁾	
Mez kluzu R _e [MPa]	–		–	
Mez pevnosti R _m [MPa]	max 740		1 400–2 000	
Tažnost A ₅ [%] min	10		–	
Kontrakce Z [%]	–		–	
Nárazová práce [J]	–		–	
Tvrdost HB max	248		–	
Tvrdost HV	–		415–590	

2.3 Strukturní analýza

Přístroje

- řezání vzorků – rozbrušovací pila Discotom 6,
- lisování – automatický metalografický lis CitoPress-1,
- broušení a leštění – automatická metalografická bruska / leštička Tegramin 25,
- metalografický invertovaný mikroskop Axiovert 40 MAT (obr. 25).



Obr. 25 Carl Zeiss Axiovert 40 MAT [17].

2.3.1 Velikost zrna

Zrno je jednotlivý prostorově rozlehlý krystalit uvnitř metalického materiálu. Skládá se z fází austenitu nebo feritu. V ocelích s přeměnou γ/α může být velikost zrna austenitu před přeměnou zjištěna jen nepřímou. V rovině řezu leptaných metalografických výbrusů se jednotlivá zrna jeví jako plochy, které se ve srovnání s jinak směřovanými sousedními zrnými odlišují markantními hranicemi zrn. U ocelí není tvar ani objem zrn nikdy stejný [18, 19].

Metoda

Velikost zrna se stanovuje automatickou vyhodnocovací metodou Grains – Automatic dle normy ČSN EN ISO 643:2003, v programu AxioVision. Zkoumány byly 2 vzorky – 2a a 2b (obr. 26). Přehled velikostí zrn je uveden v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2 Velikost a množství zrn (platí pro zvětšení $g = 1$) [20].

Číslo velikosti zrna	Střední plocha řezu zrna [mm ²]	Počet zrn na 1 mm ²			Počet zrn v 1 mm ³	Průměr zrna				Povrch hranice zrn v 1 mm ³
		mini-mální	jmeno-vitý	maxi-mální		střední průměr [mm]	maxi-mální [mm]	jmeno-vitý [mm]	mini-mální [mm]	
G	a	$m_{\min}$	m_{nom}	$m_{\max}$	N_v	d_m	$m_{\max}$	m_{nom}	$m_{\min}$	S_v
-7	16	0,046	0,0625	0,093	0,015	4.000	4.170	3.552	2.934	0,563
-6	8	0,093	0,125	0,187	0,044	2.820	2.934	2.510	2.086	0,797
-5	4	0,187	0,25	0,375	0,125	2.000	2.086	1.776	1.466	1,126
-4	2	0,375	0,50	0,75	0,354	1.410	1.466	1.255	1.044	1,594
-3	1	0,75	1	1,5	1,0	1.000	1.044	0.888	0.732	2,252
-2	0,5	1,5	2	3	2,8	0.707	0.732	0.627	0.522	3,190
-1	0,25	3	4	6	8,0	0.500	0.522	0.444	0.366	4,504
0	0,125	6	8	12	22,6	0.353	0.366	0.313	0.260	6,390
1	0,0625	12	16	24	64	0.250	0.260	0.222	0.184	9,009
2	0,0312	24	32	48	181	0.177	0.184	0.157	0.130	12,74
3	0,0156	48	64	96	512	0.125	0.130	0.111	0.0919	18,02
4	0,00781	96	128	192	1448	0.088	0.0919	0.0785	0.0651	25,48
5	0,00390	192	256	384	4096	0.062	0.0651	0.0555	0.0459	36,04
6	0,00195	384	512	768	11585	0.044	0.0459	0.0392	0.0325	51,02
7	0,00098	768	1024	1536	32768	0.031	0.0325	0.0277	0.0229	72,20
8	0,00049	1536	2048	3072	92682	0.022	0.0229	0.0196	0.0163	102,0
9	0,000244	3072	4096	6144	262144	0.016	0.0163	0.0139	0.0115	143,9
10	0,000122	6144	8192	12288	741485	0.011	0.0115	0.00980	0.00811	204,1
11	0,000061	12288	16384	24576	2097152	0.0078	0.00811	0.00693	0.00575	288,6
12	0,000030	24576	32768	49152	5931008	0.0055	0.00575	0.00489	0.00403	409,0
13	0,000015	49152	65536	98304	16777216	0.0039	0.00403	0.00345	0.00287	579,7
14	0,0000075	98304	131072	196608	47449064	0.0027	0.00287	0.00244	0.00201	819,7



Obr. 26: a) vzorky pro hodnocení velikosti zrna, b) označení vzorků.

Vyhodnocení

Vzorky 2a, 2b jsou tvořeny jemnozrnnou strukturou o velikosti zrna $G = 13,54$, což z hlediska obrábění není zcela optimální. Jako jemnozrnná struktura se hodnotí zrna o velikosti $G \geq 5$ dle normy ČSN EN 10083-1 [21]. Protokoly o vyhodnocení jsou uvedeny jako příloha 8 a 9.

2.3.2 Řádkovitá struktura

Řádkovitá struktura je struktura kovaných a válcovaných ocelí, u nichž zpracování za tepla skončilo za podkritických teplot. Projevuje se uspořádáním jedné nebo několika strukturních složek do řádků, obvykle ve směru podélného tváření za tepla (řádky perlitu ve feriticko-perlitické oceli, řádky nekovových vměstků). Řádkovitost se projevuje zhoršením mechanických vlastností, zejména houževnatostí.

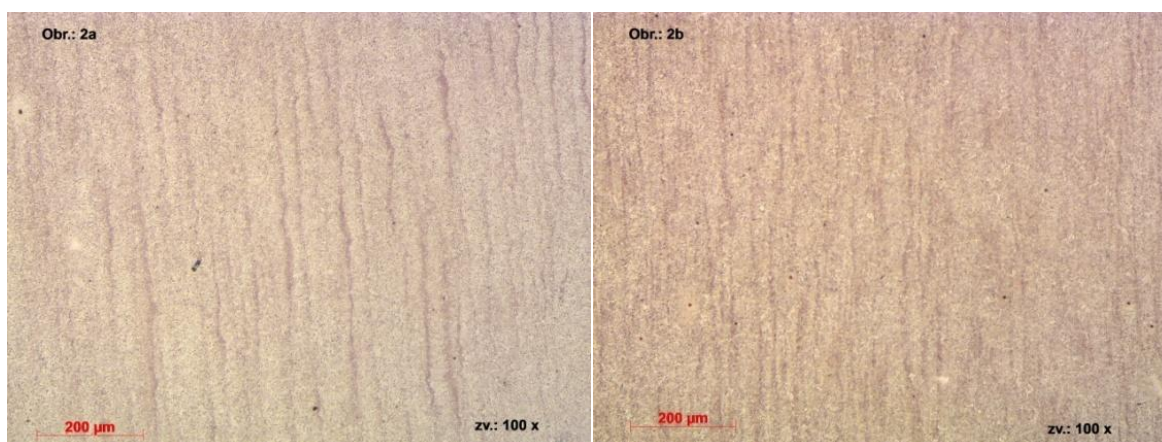
Tabulka 2.3 Popis strukturních etalonů pro řádkovitost [8].

STUPEŇ	Popis – rozsah řádkovitosti
0	rovnoměrně rozložená zrna bez výskytu řádkovitosti
1	několik nespojitých řádků
2	několik nespojitých řádků a 1 až 3 spojitě řádky, procházející celým zorným polem
3	několik spojitých řádků, procházející celým zorným polem
4	několik nespojitých řádků a spojitě řádky, rozložené rovnoměrně v celém zorném poli
5	výrazné řádky, procházející celým zorným polem

Metoda

Hodnocení metalografické struktury se řídí dle ČSN 42 0469. Řádkovité uspořádání feritu a perlitu se porovnává s etalonovými řadami (viz příloha 10) při stonásobném zvětšení. Pro hodnocení je směrodatný nejvyšší stupeň řádkovitosti, zjištěný nejméně na třech místech výbrusu [8]. Pro analýzu struktury byly použity vzorky označené 1a – 3b, které byly

naleptány 4 % Nitalem (4 % roztok HNO_3 v etanolu). Naleptané vzorky 2a, 2b jsou vyfoceny na obr. 27.



Obr. 27 Řádkovitost vzorků 2a, 2b.

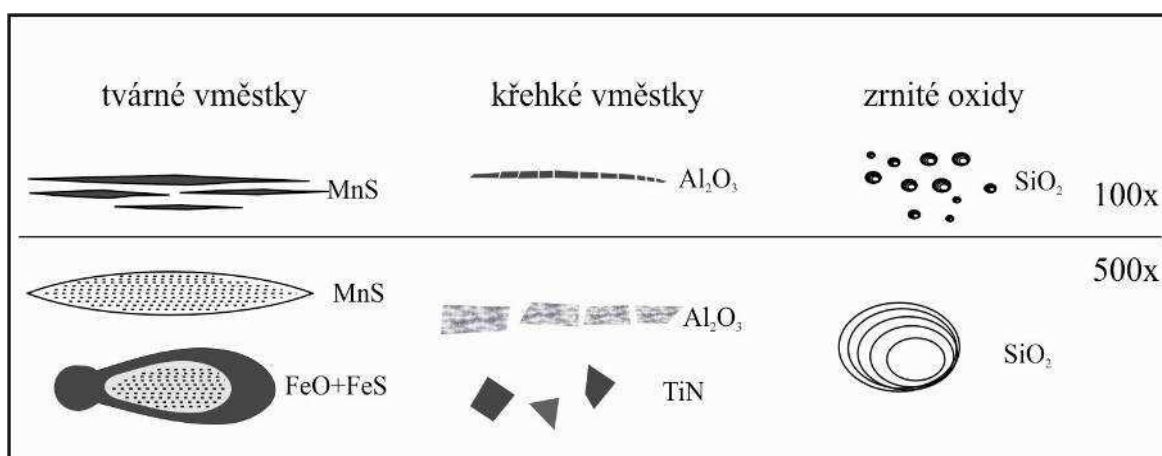
Vyhodnocení

Zkoumané vzorky 1a – 3b, u nichž byla analyzována řádkovitost, vykazují viditelné stopy po válcování. Odpovídají etalonu stupně 2 – dobrá obrobitelnost. Popis jednotlivých stupňů je uveden v tabulce 2.3.

2.3.3 Stanovení čistoty oceli

Metoda

Metalografické stanovení čistoty oceli dle metody K - DIN 50602. Tato norma popisuje zkoušení ušlechtilých ocelí na nekovové součásti ve formě sulfidů a oxidů. Schematické znázornění nekovových vměstků při stonásobném a pětisetnásobném zvětšení je na obr. 28. Zkouška byla provedena na metalografickém mikroskopu Axiovert 40 MAT při stonásobném zvětšení na vzorcích 1a, 2a, 3a (obr. 29). Požadavky na stanovení obsahu nekovových vměstků se uplatňují vždy, ale ověření vyžaduje zvláštní dohodu. U ocelí s předepsaným minimálním obsahem síry se dohody týkají pouze oxidů [4].



Obr. 28 Schematické znázornění vměstků [22].



Obr. 29: a) Vzorky pro analýzu vměstků, b) číslování vzorků.

Vyhodnocení

Na hodnocených vzorcích jsou patrné nekovové vměstky (oxidy) převážně globulárního tvaru, místy eliptické (obr. 30). Pro porovnání je hodnocená mikrostruktura zvětšená 100 x a 500 x uvedena v přílohách 11 a 14. K analýze čistoty byla použita metoda K dle DIN 50602, která eviduje všechny nekovové vměstky od určité stanovené vměstkové velikosti a uvádí stupeň čistoty strusky nebo výrobku pomocí shrnující charakteristické hodnoty K – značící plošný obsah vměstků. Požadavky na stupeň čistoty jsou uvedeny v tabulce 2.4.



Obr. 30 Mikrostruktura s vměstký – vzorky 1a, 2a, 3a (zvětšeno 100 x).

Vzorec pro výpočet hodnoty – podle K [19]:

$$\frac{[\Sigma(S_i \cdot f_{gi}) + \Sigma(O_i \cdot f_{gi})] \cdot 1\,000}{S_c} = K \quad 2.1$$

kde: $\Sigma(S_i \cdot f_{gi})$ - součet charakteristických velikostí vměstků sulfidů násobených faktorem f_g
 $\Sigma(O_i \cdot f_{gi})$ - součet charakteristických velikostí vměstků oxidů násobených faktorem f_g
 S_c - celková plocha výbrusu vzorků [mm²]
 K - výsledná hodnota je přepočtena na brusnou plochu 1 000 mm²

Celková charakteristická hodnota pro dané vzorky $K_0 = 2,3$ (O: 2,3; S: 0). Vyhodnocovací tabulka je uvedena v příloze 13. Vzhledem k velikosti a množství vměstků lze stanovit mikrostrukturu jako vyhovující.

Tab. 2.4 Požadavky na mikroskopický stupeň čistoty při zkoušení podle DIN 50602 (metoda K) [21]

Tyče průměru d mm	Celková charakteristická hodnota K (oxidy) pro jednotlivou tavbu
$140 < d \leq 200$	$K4 \leq 50$
$100 < d \leq 140$	$K4 \leq 45$
$70 < d \leq 100$	$K4 \leq 40$
$35 < d \leq 70$	$K4 \leq 35$
$17 < d \leq 35$	$K3 \leq 40$
$8 < d \leq 17$	$K3 \leq 30$
$d \leq 8$	$K2 \leq 35$

2.3.4 Struktura po žihání na měkko

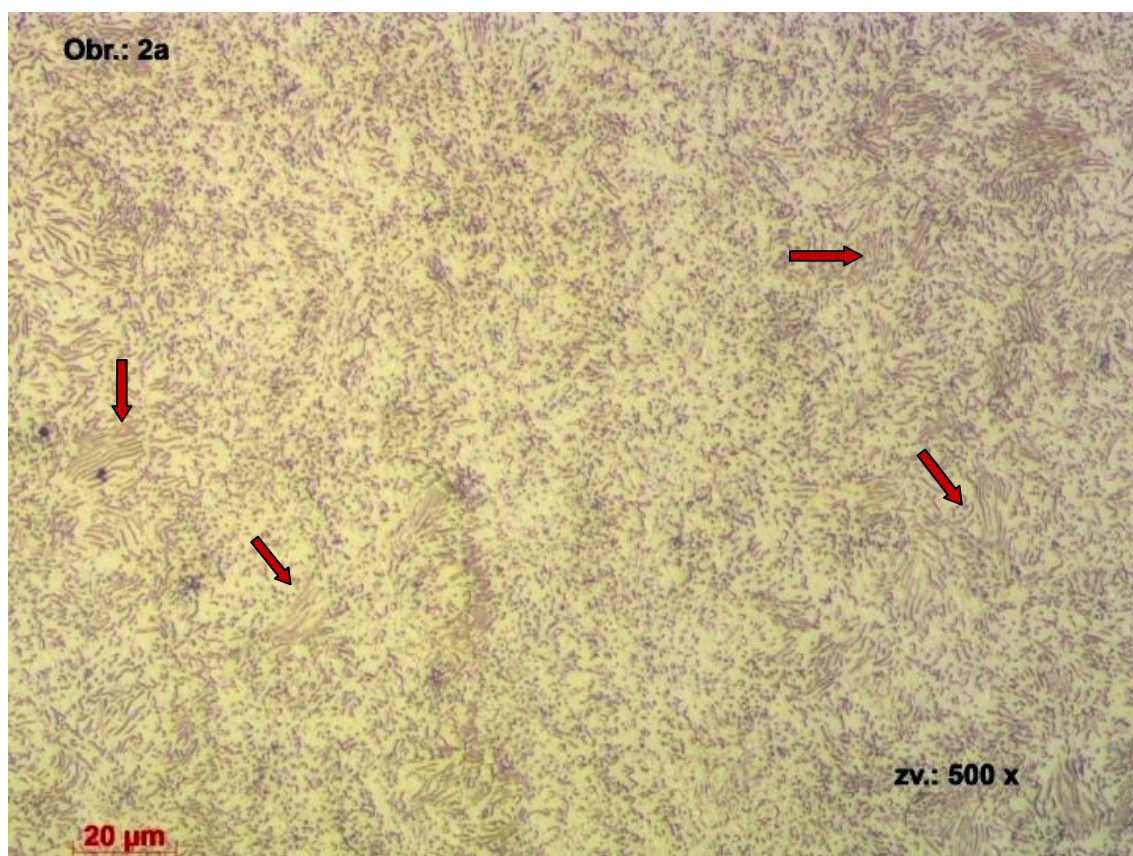
Vyhodnocení mikrostruktury po žihání na měkko. Cílem tohoto tepelného zpracování je získání struktury obvykle s hrubým a globulárním perlitem, velmi měkké, poměrně málo pevné a dobře obrobitelné.

Metoda

Pro účely analýzy byly použity vzorky 1a, 2a, 3a (obr. 30), zvětšené 500 x (vzorek 2a je na obr. 31) a naleptány 4 % Nítalem. Všechny tři mikrostruktury jsou uvedeny v příloze 14.

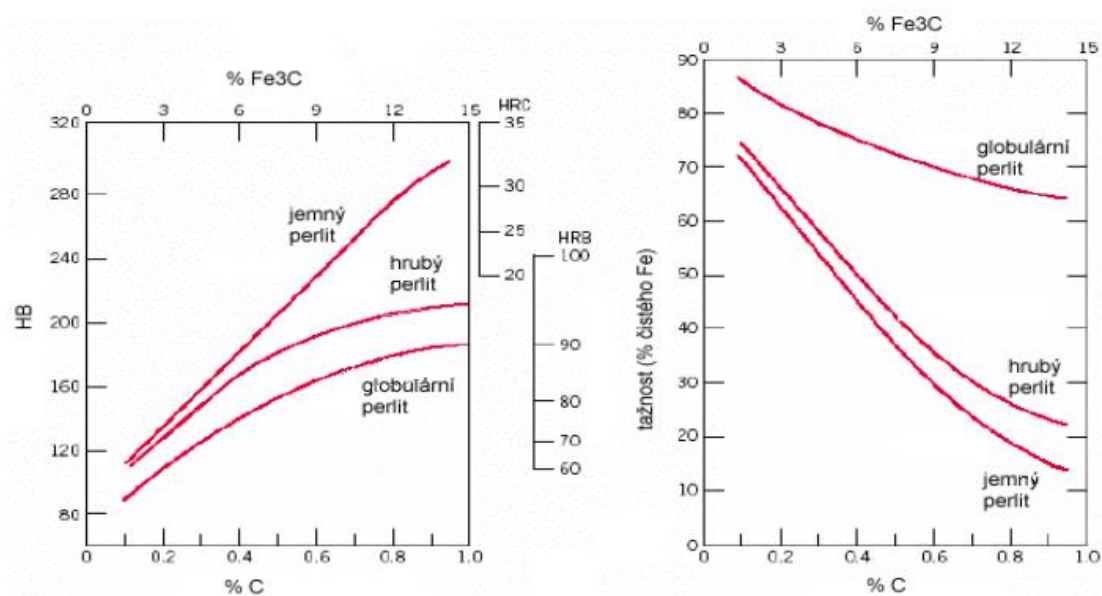
Vyhodnocení

Jedná se o jemnozrnnou feriticko-perlitickou strukturu s převážně koagulovaným (sferoidizovaným) perlitem a zbytky lamelárního perlitu. Z tohoto pohledu vyplývá, že žihání na měkko bylo provedeno. Relativně větší množství zbytkového lamelárního perlitu může být způsobeno nedostatečnou výdrží na žihací teplotě (těsně pod bodem A_{c1}) – krátký čas na přeměnu lamel perlitu na globulární perlit. Další možností je vysoká žihací teplota, nebo příliš dlouhá výdrž na teplotě, které způsobují velkou homogenizaci austenitu, což při následném pomalém ochlazování může způsobit vznik dalšího lamelárního perlitu [3].



Obr. 31 Vzorek 2a s vyznačenými lamelami perlitu – zvětšeno 500 x.

Vliv tvaru perlitu na obrobitelnost materiálu s ohledem na některé mechanické vlastnosti je zobrazen na obr. 32.



Obr. 32 Vliv tvaru perlitu na vlastnosti materiálu [22].

2.4 Shrnutí materiálové analýzy Talířové pružiny

- materiál 51CrV4 (1.8159),
- feriticko-perlitická struktura tvořená částečně sferoidizovaným perlitem a zbytky lamelárního perlitu,
- žíháno na měkko – naměřené hodnoty $185 \div 204$ HB ($195 \div 215$ HV1) vyhovují,
- velikost zrna $G = 13,54$ – jemnozrná struktura,
- řádkovitost dle etalonu ČSN 42 0469 je stupeň 2,
- mikroskopický stupeň čistoty podle metody K DIN 50602 je $K0 = 2,3$.

3 ROZBOR VZORKU POLOTOVARU

Pro porovnání výsledků rozboru Talířové pružiny byl použit 1 ks vzorku tyčového polotovaru materiálu 15 260 (DIN 1.8159) – válcovaná tyč Ø 30 mm, dodáno po tváření za tepla ve stavu tepelně nezpracovaném. Následně bylo provedeno žíhání na měkko. Vzorek označen 15 260.

3.1 Chemický rozbor

Přístroj

Stolní jiskrový optický emisní spektrometr (obr. 34).



Obr. 34 Spektrometr Q4 TASMAN s kalibrovacím etalonem.

Metoda

Chemický rozbor byl proveden na jiskrovém optickém emisním spektrometru. Vyhodnocení odpovídá ČSN EN 10083-3 (42 0931).

Vyhodnocení

Tabulka 3.1 Chemické složení materiálu 15 260 (DIN 1.8159) [4].

Chemické složení [hm. %]							
C	Mn	Si	Cr	V	Ni	P	S
0,47–0,55	0,70–1,00	0,15–0,40	0,90–1,20	0,10–0,20	max 0,30	max 0,035	max 0,035

Chemické složení vzorku (obr. 35) odpovídá materiálu 15 260. Protokol s naměřenými hodnotami jednotlivých prvků je součástí přílohy 15.



Obr. 35 Hodnocený vzorek materiálu 15 260.

3.2 Tepelné zpracování – žíhání na měkko

Pro zkoumaný vzorek byly nastaveny parametry žíhání podle stanovených normativů (tab. 3.2) pro materiál 15 260:

- žíhací teplota 710°C,
- výdrž na teplotě 4 hod. (doporučená výdrž na teplotě 4-8 hod. [3])
- chladne v peci s ochrannou atmosférou max. 50°C/hod. do 400°C,
- potom chladne na volném vzduchu.

Tabulka 3.2 Parametry tepelného zpracování pro materiál 15 260 [3].

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ			
normalizační žíhání	850–890 °C	ochlazovat na vzduchu	
kalení	820–860 °C	ochlazovat do oleje	
popouštění	550–690 °C	ochlazovat do vody, tvarově složité součásti do oleje	
žíhání na měkko	680–720 °C	ochlazovat v peci	
teploty přeměn	$A_{C1} \sim 740 \text{ °C}$	$A_{C3} \sim 770 \text{ °C}$	$M_s \sim 260 \text{ °C}$
povrchová tvrdost při povrchovém kalení	$\leq \varnothing 40 \text{ mm}$	60 ± 2 HRC	
	$\varnothing 41\text{--}100 \text{ mm}$	58 ± 2 HRC	

Žíhání bylo provedeno v žíhací peci s ochrannou dusíkovou atmosférou IPSEN DAC-4-ER (obr. 36).

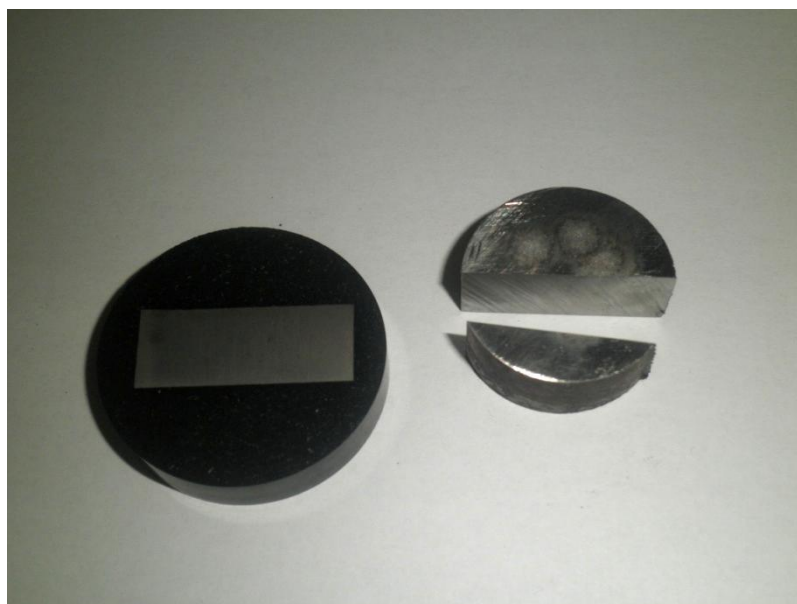


Obr. 36 Žihací pec IPSEN DAC-4-ER.

3.3 Mechanické vlastnosti - tvrdost

Metoda

Byl proveden výřez ze zkoumaného vzorku žíhaném na měkko – označení 15 260, ze kterého byl připraven výbrus pro měření tvrdosti (obr. 37). Měření byla provedena univerzálním mikrotvrdoměrem DuraScan 80 s automatickou kamerou. Na vzorku byly provedeny 4 vpichy.



Obr. 37 Výbrus vzorku 15 260.

Vyhodnocení

Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí 182 – 199 HV1 (173 – 189 HB). Přepočet byl proveden dle normy EN ISO 18265. Pro zkoumaný materiál je dle normy ČSN EN 10083-3 maximální tvrdost ve stavu „žíhané na měkko (označení +A)“ 248 HB (tab. 2.1). Zjištěné hodnoty 182 - 199 HV1 (173 – 189 HB) odpovídají požadavku. Záznam tvrdostí je součástí přílohy 16.

3.4 Strukturní analýza

3.4.1 Velikost zrna

Metoda

Velikost zrna byla stanovena automatickou vyhodnocovací metodou Grains – Automatic dle normy ČSN EN ISO 643:2003, v programu AxioVision. Přehled velikostí zrn je uveden v tabulce 2.2.

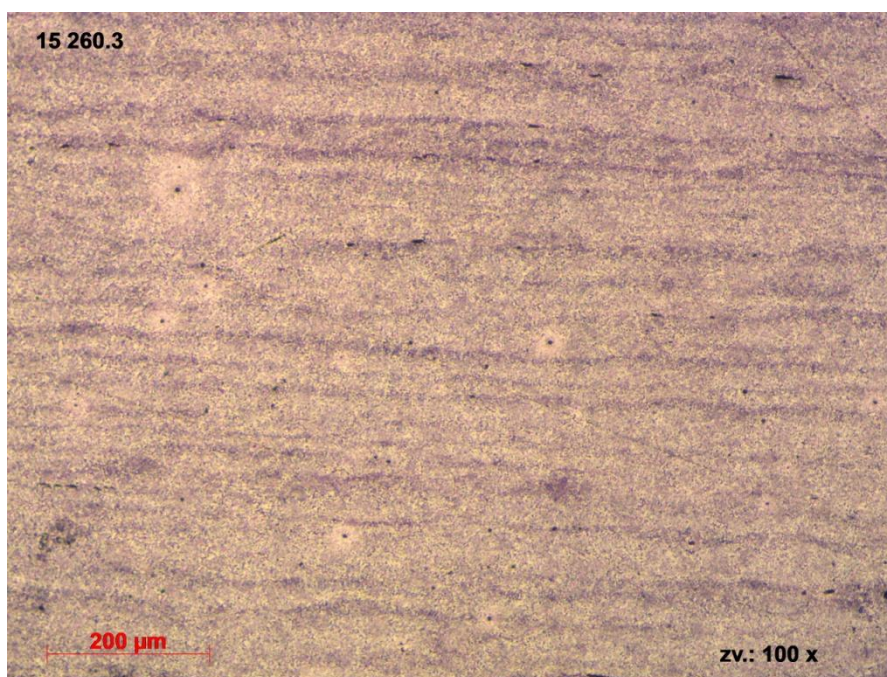
Vyhodnocení

Zkoumaný vzorek je tvořen strukturou o průměrné velikosti zrna $G = 9,70$. Jako jemnozrná struktura se hodnotí zrna o velikosti $G \geq 5$ dle normy ČSN EN 10083-1 [21]. Protokol vyhodnocení velikosti zrna je uveden jako příloha 17.

3.4.2 Řádkovitost

Metoda

Hodnocení metalografické struktury se řídí dle ČSN 42 0469. Řádkovité uspořádání feritu a perlitu se porovnává s etalonovými řadami (viz příloha 10) při stonásobném zvětšení. Pro hodnocení je směrodatný nejvyšší stupeň řádkovitosti, zjištěný nejméně na třech místech výbrusu [8]. Pro analýzu struktury byl použit vzorek 15 260, který byl naleptán 4 % Nitemem (4 % roztok HNO_3 v etanolu). Naleptaná struktura je vyfocena na obr. 38.



Obr. 38 Naleptaná struktura vzorku 15 260 (zv. 100 x).

Vyhodnocení

Vzorek z hlediska řádkovitosti struktury vykazuje viditelné stopy po válcování. Odpovídá etalonu stupně 2 – dobrá obrobiteľnosť. Popis jednotlivých stupňů je uveden v tabulce 2.3.

3.4.3 Stanovení čistoty materiálu

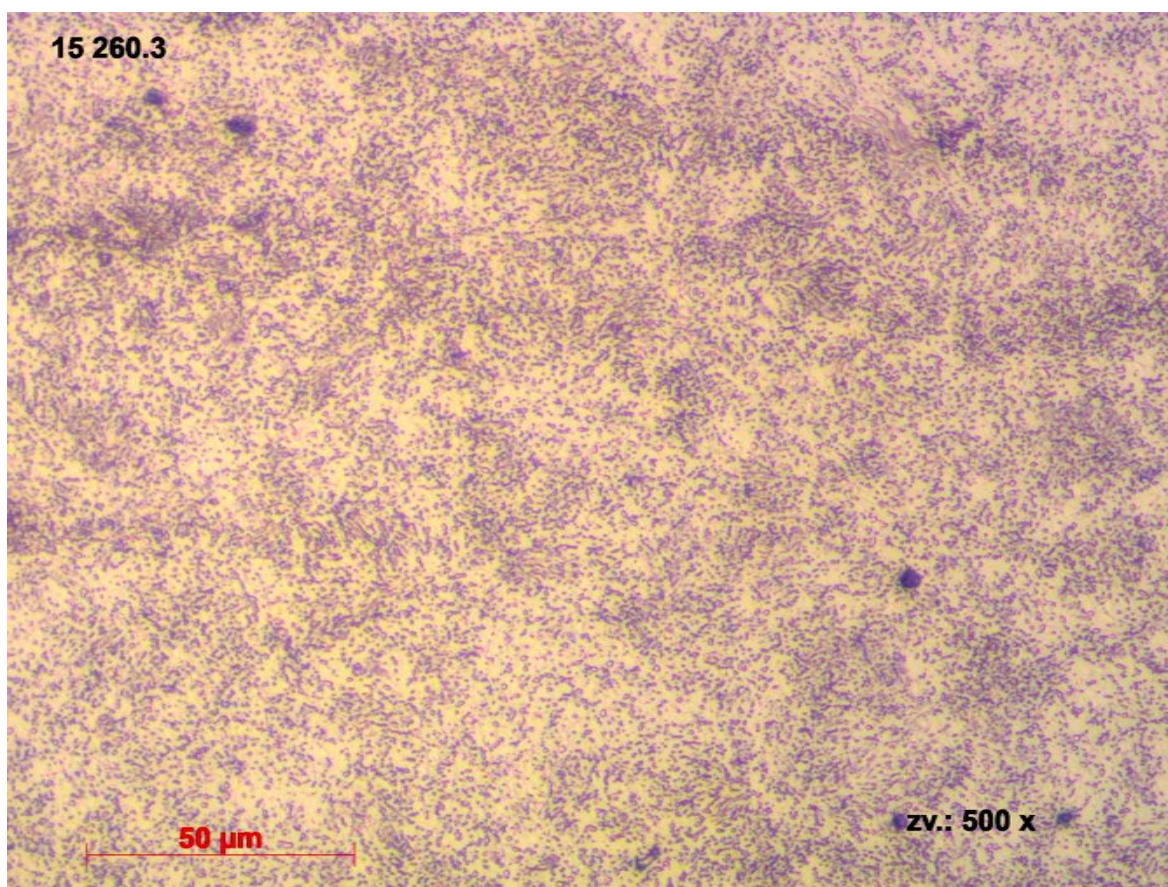
Metoda

Metalografické stanovení čistoty oceli provedeno dle metody K - DIN 50602. Tato norma popisuje zkoušení ušlechtilých ocelí na nekovové součásti ve formě sulfidů a oxidů. Zkouška byla provedena na metalografickém mikroskopu Axiovert 40 MAT při stonásobném zvětšení na výbrusu vzorku (obr. 39).

Vyhodnocení

Na hodnoceném vzorku jsou patrné nekovové vměstky (oxidy) převážně globulárního tvaru, místy eliptické (obr. 38). Pro porovnání je hodnocená mikrostruktura zvětšená 100 x a 500 x, uvedena na obr. 38 a 39.

Celková charakteristická hodnota pro daný vzorek $K_0 = 1,8$ (O: 1,8; S: 0). Vyhodnocovací tabulka je uvedena v příloze 13. Vzhledem k velikosti a množství vměstků lze stanovit mikrostrukturu jako vyhovující.



Obr. 39 Naleptaná struktura vzorku 15 260 (zv. 500 x).

3.4.4 Vyhodnocení struktury po žihání na měkko

Metoda

Pro účely analýzy byl použitý vzorek naleptán 4 % Nitalem a výsledná struktura zvětšená 500 x. Snímek z mikroskopu je na obr. 39.

Vyhodnocení

Jedná se o feriticko-perlitickou strukturu s převážně koagulovaným (sferoidizovaným) perlitem a malými zbytky lamelárního perlitu. Z tohoto pohledu vyplývá, že žihání na měkko bylo provedeno dle požadovaných parametrů.

3.5 Shrnutí materiálové analýzy vzorku

- materiál 15 260 (DIN 1.8159),
- feriticko-perlitická struktura tvořená sferoidizovaným perlitem a zbytky lamelárního perlitu,
- žiháno na měkko – naměřené hodnoty 173 - 189 HB30 (182 - 199 HV1) vyhovují,
- velikost zrna $G = 9,70$,
- řádkovitost dle etalonu ČSN 42 0469 je stupeň 2,
- mikroskopický stupeň čistoty podle metody K DIN 50602 je $K0 = 1,8$.

4 DISKUZE

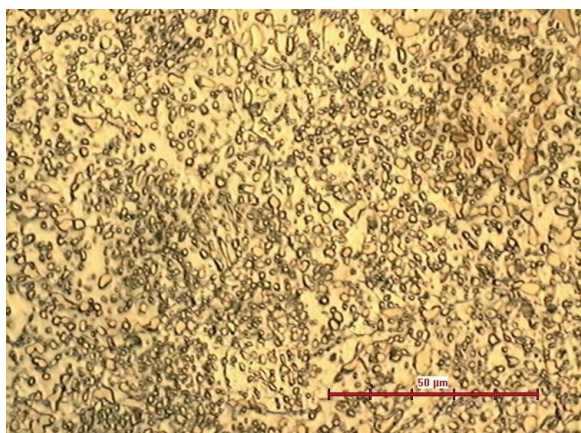
Po provedené materiálové analýze Talířové pružiny a porovnání výsledků s teoretickými poznatky z oblasti obrobitelnosti ocelí (viz tabulka 4.1), by mělo být možné stanovit pravděpodobné příčiny zhoršené obrobitelnosti zkoumaného vzorku.

Tabulka 4.1 Porovnání výsledků měření.

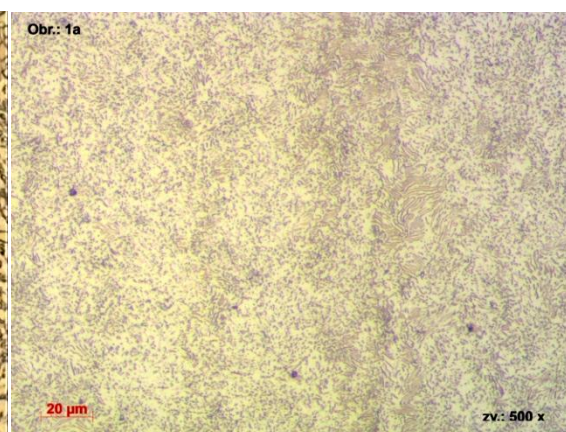
	požadavek	Talířová pružina	vzorek polotovaru
materiál	DIN 1.8159	DIN 1.8159	ČSN 41 5260
tvrdost po žihání	max. 248 HB	185 ÷ 204 HB	173 ÷ 189 HB
velikost zrna	$G > 5$	$G = 13,54$	$G = 9,70$
řádkovitost	stupeň 0 ÷ 3	stupeň 2	stupeň 2
struktura	sferoidizovaný perlit	globulární perlit s většími zbytky lamel	globulární perlit rovnoměrně rozmístěný

Jako nejpravděpodobnější vliv na zhoršení obrobitelnosti zadaného materiálu se jeví nedodržení parametrů tepelného zpracování – žihání na měkko. Účelem tohoto procesu je dosažení globulární perlitické struktury s dobrou obrobitelností. Pokud je proces správně proveden, měla by být obrobitelnost dobrá.

Při porovnání snímků výsledné struktury po žihání na měkko a struktury zkoumané pružiny (obr. 40 a 41), je zřejmé, že tepelný proces neproběhl standardně, o čemž svědčí především nedostatečně proběhlá sferoidizace, a poměrně velké množství lamelárního perlitu.



Obr. 40 Výsledná struktura po žihání na měkko (zv. 1000 x) [22].



Obr. 41 Struktura Talířové pružiny (zv. 500 x).

Možné příčiny:

- *krátká doba výdrže na teplotě nebo rychlé ochlazování* - sbalování lamel probíhá poměrně pomalu – čím jsou výchozí lamely hrubší, tím pomaleji se sbalují v kuličky v základní feritické hmotě. Sferoidizaci rovněž zpomalují legující prvky (především Cr, Mo, W), což je případ i zkoumaného materiálu 51CrV4,

- *nízká teplota žíhání* – podstatně rychleji se vytvoří globulární perlit při teplotách nad A_{c1} s následujícím pomalým ochlazením,
- *vysoká teplota žíhání* – stejně jako dlouhá doba výdrže na teplotě, způsobuje příliš velkou homogenizaci austenitu, čímž při následném pomalém ochlazení mohou vznikat další lamely perlitu,
- *nerovnoměrné rozložení teploty* – především u velkých pecí, okrajové části vsázky dosáhnou žíhací teploty mnohem dříve (mnohem větší homogenizace austenitu) než vnitřní části vsázky. Následně by okrajové části vsázky měly být ochlazovány mnohem pomaleji než vnitřní část, ale právě na povrchu je větší nebezpečí, že materiál vychladne pomaleji.
- *nízká pevnost po žíhání na měkko* - norma uvádí pro zkoumaný materiál hodnotu max. 240 HB. U nízkolegovaných ocelí může žíháním na měkko vzniknout příliš měkká struktura, při obrábění tříska vykazuje tzv. adhezni ulpívání na břítu, výsledkem je špatná kvalita povrchu.

Pro potvrzení výše uvedených hypotéz bylo provedeno žíhání na vzorku materiálu 15 260 (DIN 1.8159). Vzorek byl vyžhán s běžnou vsázkou při dodržení platných parametrů pro výše uvedený materiál v žíhací peci s ochrannou atmosférou a řízeným ochlazováním.

Na snímku struktury zvětšené 500 x je zřetelně vidět proběhlá sferoidizace perlitu (obr. 39) s minimem zbytků lamel. Z toho vyplývá, že pro zlepšení obrobiteľnosti Talířových pružin je nutné věnovat pozornost procesu tepelného zpracování.

Návrhy na opatření:

- dodržení žíhacích teplot v rozsahu $680 \div 720^{\circ}\text{C}$,
- dostatečný prohřev na požadované teplotě (min. 4 hodiny, obvykle více),
- provádět v peci s optimální homogenitou teplotního pole zaručující rovnoměrné prohřátí vsázky,
- pomalé ochlazování ($10 \div 50^{\circ}\text{C}/\text{hod.}$) do teploty $600 \div 650^{\circ}\text{C}$, tedy nejen do teploty přeměny austenitu v perlit, ale i pod teplotu maximální rozpustnosti uhlíku ve feritu [3],
- kontrolovat výslednou tvrdost – určit optimální rozmezí tvrdostí, tomu přizpůsobit rychlost ochlazování,
- všechny navržené parametry je nutné potvrdit strukturálním rozbořem, a dle dosažených výsledků parametry upravit.

Důležitým bodem je rovněž způsob vyhodnocení vhodnosti struktury pro obrábění. Metalografická analýza je tzv. destruktivní zkouška, takže ji nelze provádět na každém obrobku. Proto jako vhodná nedestruktivní metoda se jeví metoda Barkhausenova šumu, založená na principu elektromagnetické indukce (příklad využití a záznam – obr. 42 a 43).

Metalurgická struktura je významným parametrem ovlivňujícím úroveň Barkhausenova šumu. Tento jev může být hrubě popsán s použitím pojmu tvrdost: intenzita signálu spojitě klesá s rostoucí tvrdostí. Měření Barkhausenova šumu tedy poskytuje informaci o mikrostrukturním stavu materiálu [24].

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla analýza obrobiteľnosti pružinových ocelí. Na příkladu Talířové pružiny se zhoršenou obrobiteľností byla provedena materiálová analýza se zaměřením na požadovanou obrobiteľnost. Výsledky strukturálních rozborů poukázaly na možné problémy s tepelným zpracováním, resp. žiháním na měkko.

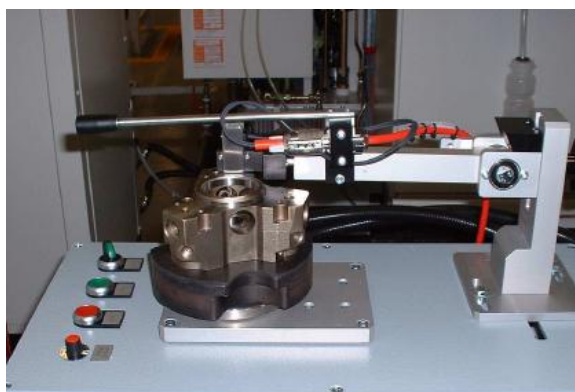
Žihání na měkko se provádí pro zlepšení obrobiteľnosti. Struktura by měla být tvořena globulárním perlitem. Při žihací teplotě se působením povrchového napětí lamely cementitu nejprve zaoblí, poté se rozpadají a následně sbalují. Samotné lamely cementitu jsou velmi tvrdé a mohou způsobovat zhoršenou obrobiteľnost.

Výsledná struktura zkoumané pružiny vykazuje nedokonalou sferoidizaci perlitu a velké množství lamelárního cementitu. Z toho můžeme usuzovat nedodržení parametrů žihacího procesu.

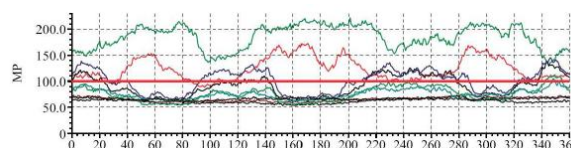
Návrhy na kontrolu obrobiteľnosti:

- každou tavbu doložit materiálovým atestem dodavatele, potvrdit chemickým rozbořem,
- nastavení a kontrola vhodných parametrů požadovaného tepelného zpracování, používat pece s řízeným ochlazováním, rovnoměrnou homogenitou teplotního pole a s ochrannou atmosférou (např. BMI B55R – příloha 21),
- provedení strukturní analýzy po žihání – kontrola sferoidizace perlitu a velikosti austenitického zrna,
- měření tvrdosti po žihání,
- kontrola struktury mobilními difraktometry na bázi Barkhausenova šumu.

Nedostatečné dodržování normalizovaných parametrů tepelného zpracování bývá zdrojem různých vad ve výrobním procesu (deformace, trhliny, strukturální změny, oduhličení,...). Ne vždy lze tyto vady odhalit včas. Následně se projeví až v okamžiku, kdy je již nemožné finální výrobek opravit, nebo náklady na opravu jsou vysoké. Proto je nutné věnovat těmto procesům patřičnou pozornost a standardizací a vhodnou kontrolou operací snižovat nebezpečí vzniku neshod.



Obr. 42 Stativ pro měření čerpadla metodou Barkhausenova šumu [23].



Obr. 43 Záznamy BŠ z různých těles běžné výroby [23].

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Výrobní program pružinové oceli. *Třinecké železářny - Moravia steel* [online]. [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: [http://www.trz.cz/TRZ/Prilohy.nsf/\(viewPublic\)/KATALOG/\\$FILE/Pruzinove_Oceli_2010_1.pdf](http://www.trz.cz/TRZ/Prilohy.nsf/(viewPublic)/KATALOG/$FILE/Pruzinove_Oceli_2010_1.pdf)
2. HTUN, M. S. et al. Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, Vol. 18 No.2 pp.191-197, 2008
3. JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli: Metalografická příručka*. 4. přeprac. dopl. vyd. Praha: SNTL, 1983, 391 s.
4. ČSN EN 10083-3. *Oceli k zušlechťování. Část 3: Technické dodací podmínky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
5. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 857 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
6. DE VOS, Patrick. Příručka pro technology: Obrobitelnost. *Seco Tools CZ* [online]. 2011 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Slovakia/Aktuality/Patrick%20De%20Vos%20-%20cyklus/1/Seco_12bez%20reklamy.pdf
7. KOCMAN, Karel a J. PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
8. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2003, 516 s. ISBN 80-7204-283-1.
9. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
10. VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2006, 185 s. ISBN 80-708-0600-1.
11. HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění – 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [cit. 2013-01-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
12. ŠUŠTARŠIĆ et al. *Fatigue strength and microstructural features of spring steel*. In: New trends in fatigue and fracture. Metz, 2010. [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk11/027-034-IVK1-2011-BS-PB-WE-GG-AJ-BS.pdf>
13. Úvod do materiálových věd a inženýrství: Základní způsoby tepelného zpracování. *Ústav materiálových věd a inženýrství FSI VUT: Podklady pro výuku* [online]. 2012 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/bumvp/prednasky/04-BUMVP.zip>
14. Talířové pružiny Mubea: katalog. *Tstservis* [online]. 2007 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: http://www.tstservis.cz/pdf/Mubea_Katalog.pdf
15. Q4 TASMAN. *BRUKER* [online]. 2013 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.bruker.com/en/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/optical-emission-spectrometry/q4-tasman/overview.html>
16. Tvrdoměry: DuraScan. *Struers* [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://www.struers.cz/default.asp?top_id=3&main_id=15&sub_id=214&doc_id=1033&admin_language=19
17. Carl Zeiss Axiovert 40 MAT. *Nalkho* [online]. 2011 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: www.nalkho.com/manufacturers/16/91/270/
18. ČSN EN ISO 643. *Mikrografické stanovení velikosti zrn*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
19. DIN 50602. *Metallographic examination; microscopic examination of special steels using standard diagrams to assess the content of non-metallic inclusions*. Berlin: Deutsches Institut für Normung E.V., 1985.
20. STRÁNSKÝ, Lubomír. Podklady pro výuku: Stanovení velikosti austenitického zrna. *FSI VUT: Ústav materiálových věd a inženýrství* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:

http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/uvod_do_fyziky_materialu/cviceni/wuf03_stanoveni_velikosti_zrna.pdf

21. ČSN EN 10083-1. *Oceli k zušlechťování – Část 1: Všeobecné technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
22. DAŘOUREK, Karel. Teorie tepelného zpracování: Žihání prvního druhu. *Technická univerzita v Liberci: Katedra materiálů* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/TTZ/ttz%20Dad/zih1.pdf
23. MALEC, Jiří. Integrita povrchu, brusné spáleniny a přístrojové možnosti hodnocení. *PCS: Analytika* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.pcs.cz/pcssro_cz_analytika_cs/download/integrita-povrchu.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
B_s	[°C]	bainit start
ČSN	[-]	Česká technická norma
DIN	[-]	Deutsche industrie norm
EN	[-]	Evropská norma
HB	[-]	tvrdost dle Brinella
HV	[-]	tvrdost dle Vickerse
ISO	[-]	International Organization for Standardization
M_s	[°C]	martenzit start

Symbol	Jednotka	Popis
A_{c1}	[°C]	teplota austenitizace - start
A_{c3}	[°C]	teplota austenitizace - konec
A₅	[%]	tažnost zkušební tyče
G	[-]	index velikosti austenitického zrna
K	[-]	metoda hodnocení čistoty materiálu
O_i	[-]	součet velikostí vměstků oxidů
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_{p0,2}	[MPa]	smluvní mez kluzu
S_c	[mm ²]	celková plocha výbrusu vzorku
Z	[%]	kontrakce
f_g	[-]	faktor velikostí vměstků
i_o	[-]	index obrobitelnosti
q	[-]	kvocient obrobitelnosti
v_{CT}	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost při dané trvanlivosti pro obráběný materiál
v_{CT etalon}	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost při dané trvanlivosti pro etalon

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Chemický rozbor vzorku <i>a</i> (neobrobený materiál)
Příloha 2	Chemický rozbor vzorku <i>b</i> (obrobený materiál)
Příloha 3	Rozbrušovací pila Discotom 6
Příloha 4	Automatický metalografický lis CitoPress-1
Příloha 5	Automatická metalografická bruska / leštička Tegramin 25
Příloha 6	Záznam tvrdosti vzorků <i>1a</i> , <i>2a</i> , <i>3a</i>
Příloha 7	Záznam tvrdosti vzorků <i>1b</i> , <i>2b</i> , <i>3b</i>
Příloha 8	Protokol měření velikosti zrna pro vzorek <i>2a</i>
Příloha 9	Protokol měření velikosti zrna pro vzorek <i>2b</i>
Příloha 10	Etalonové řady pro hodnocení řádkovitosti
Příloha 11	Struktura vzorků <i>1a</i> , <i>2a</i> , <i>3a</i> – zvětšeno 100 x
Příloha 12	Struktura vzorků <i>1b</i> , <i>2b</i> , <i>3b</i> – zvětšeno 100 x
Příloha 13	Vyhodnocovací tabulka vměstků
Příloha 14	Mikrostruktura vzorků <i>1a</i> , <i>2a</i> , <i>3b</i> – zvětšeno 500 x
Příloha 15	Chemický rozbor vzorku <i>15 260</i>
Příloha 16	Záznam tvrdosti vzorku <i>15 260</i>
Příloha 17	Protokol měření velikosti zrna pro vzorek <i>15 260</i>
Příloha 18	Vyhodnocovací tabulka vměstků
Příloha 19	Struktura vzorku <i>15 260</i> – zvětšeno 100 x
Příloha 20	Struktura vzorku <i>15 260</i> – zvětšeno 500 x
Příloha 21	Evakuovatelná žihací pec BMI B55R

PŘÍLOHA 1

Chemický rozbor vzorku a (neobrobený materiál),

ATEST - Q4 TASMAN



Čas měření : 11:39:56

Datum : 6.2.2013

tento certifikát dokladuje, že materiál

Vzorek: Talířová pružina	Jakost: 51CrV4
Program: Fe100	Objednávka: neobrobený materiál

Poznámka:

MATERIÁL ODPOVÍDÁ JAKOSTI 51CrV4

má následující chemické složení:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
naměřeno	0,536	0,271	0,990	0,009	<0,001	1,090	0,021	0,035	0,039
norma min	0,47	0	0,7	0	0	0,9			
norma max	0,55	0,4	1,1	0,025	0,025	1,2			

	Al	As	B	Co	Mg	Nb	Sn	Ti	V
naměřeno	0,019	0,003	0,000	0,003	<0,005	0,002	0,001	0,005	0,132
norma min									0,1
norma max									0,25

	W	Fe
naměřeno	<0,005	96,755
norma min		
norma max		

akciová společnost
586 01 JIHLAVA.....
K. J. J. J.
podpis

Dodavatel spektrometru BAS Rudice s.r.o., www.bas.cz

PŘÍLOHA 2

Chemický rozbor vzorku b (obrobený materiál).

ATEST - Q4 TASMAN



Čas měření : 6:39:51

Datum : 7.3.2013

tento certifikát dokladuje, že materiál

Vzorek: Talířová podložka	Jakost: 51CrV4
Program: Fe110	Objednávka: obrobený dílec

Poznámka:

MATERIÁL ODPOVÍDÁ JAKOSTI 15CrV4

má následující chemické složení:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
naměřeno	0,549	0,269	1,034	0,012	0,001	1,066	0,026	0,035	0,039
norma min	0,47	0	0,7	0	0	0,9			
norma max	0,55	0,4	1,1	0,025	0,025	1,2			

	Al	As	B	Co	Mg	Nb	Sn	Ti	V
naměřeno	0,014	0,003	0,000	0,004		0,005	0,002	0,004	0,120
norma min									0,1
norma max									0,25

	W	Fe
naměřeno	<0,005	96,748
norma min		
norma max		

akciová společnost
586 01 JIHLAVA
KALÍRNA

.....
podpis

Dodavatel spektrometru BAS Rudice s.r.o., www.bas.cz

PŘÍLOHA 3

Rozbrušovací pila Discotom 6.



- Velmi výkonné, univerzální řezací zařízení. Zařízení lze používat v automatickém a manuálním režimu, je proto vhodné pro širokou aplikační oblast.
- Elektronická redukce rychlosti posuvu zaručuje výborné výsledky řezání. Efektivní chladič systém zabraňuje pálení povrchu vzorku.
- Discotom-6 má velmi silný motor a vysokou řeznou kapacitu.

PŘÍLOHA 4

Automatický metalografický lis CitoPress-1.



CitoPress nabízí ultra krátké časy při zapékání a maximální pohodlí při ovládání. Rychlost přípravy se navíc zvyšuje automatickým dávkováním lisovacích hmot. Unikátní dávkovací systém umožňuje dávkovat předem nastavené množství lisovací hmoty. Hlavní funkce:

- málo hmotné lisovací jednotky pro velmi rychlý ohřev,
- automatická detekce průměru válce,
- automatický dávkovací systém pro rychlé plnění válce a méně ztrát sypaním mimo válec,
- multifunkční tlačítko rychlého ovládání Turn/push a velký displej pro snadné intuitivní nastavení parametrů,
- vizualizace "Průvodce zapékání za tepla" na displeji pro užitečné informace a minimalizaci chyb při přípravě.

PŘÍLOHA 5

Automatická metalografická bruska /leštička Tegramin 25.



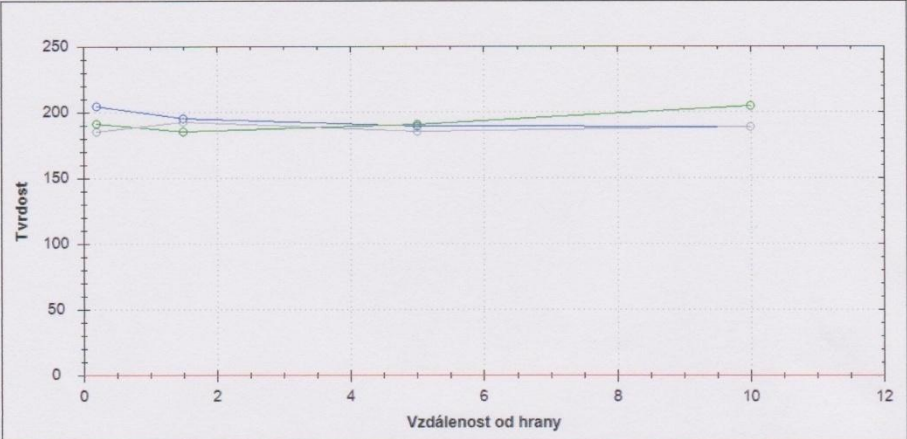
Nový preparační systém Tegramin nabízí mnoho velmi inovativních řešení pro zlepšení výsledků přípravy vzorků a usnadnění práce s celou řadou složitě opracovatelných preparátů a materiálů. Robustní a tuhá konstrukce zabezpečuje velmi vysokou kvalitu výbrusu a spolehlivý každodenní provoz. Vysoká reprodukovatelnost výsledků je zabezpečena automatickým řízením provozu při současně pozoruhodně snadném ovládání.

Tegramin je k dispozici ve třech provedeních: pro 200 mm/8" disky, pro 250 mm/10" disky a pro 300 mm/12" disky. Všechny varianty nabízí plynulé nastavení otáček, stejně jako využití širokého spektra držáků vzorků a unášeců pro individuální preparaci. Měření množství odebraného materiálu během preparace je samozřejmostí.

PŘÍLOHA 6

Záznam tvrdostí vzorků 1a, 2a, 3a.

	Měření série	Zkušební protokol
Protokol č.: Zákazník: Objednávka: Zakázka: Díl:	Talířová pružina ID dílce: Materiál: Datum TZ: Datum měření: Poznámka:	51CrV4 4. 3. 2013 vzorek 1a, 2a, 3a



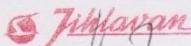
Měření série 0,000 mm HV 1

Vzorek	Řada	Měřicí bod	Metoda	Objektiv	Vzdálenost počátečního bodu v ose X	Vzdálenost počátečního bodu v ose Y	Tvrlost HB 30	Tvrlost HV
Vzorek 282	Řada 1	1	HV 1	40x	0,199	-0,001	185	195
		2	HV 1	40x	1,500	0,000	192	202
		3	HV 1	40x	5,000	0,000	185	195
		4	HV 1	40x	10,000	0,000	188	198
	Řada 2	1	HV 1	40x	0,199	-0,001	191	201
		2	HV 1	40x	1,499	0,000	185	195
		3	HV 1	40x	5,000	-0,001	190	200
		4	HV 1	40x	9,999	0,000	204	215
	Řada 3	1	HV 1	40x	0,200	0,000	204	215
		2	HV 1	40x	1,500	0,000	195	205
		3	HV 1	40x	5,000	0,000	189	199
		4	HV 1	40x	10,000	0,000	188	198

Převod podle EN ISO 18265

Datum: 04.03.2013

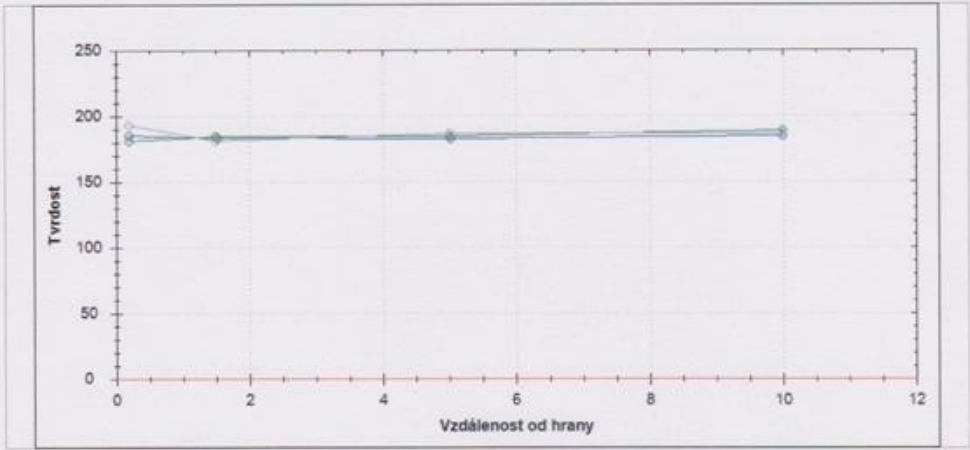
Podpis: _____


 akciová společnost
 586 01 JIHLAVA
 KALÁRNA

PŘÍLOHA 7

Záznam tvrdostí vzorků 1b, 2b, 3b.

	Měření série	Zkušební protokol
Protokol č.: Zákazník: Objednávka: Zakázka: Díl:	Talířová pružina ID dílce: Materiál: Datum TZ: Datum měření: Poznámka:	51CrV4 7. 3. 2013 vzorek 1b, 2b, 3b



Měření série 0,000 mm HV 1

Vzorek	Řada	Měřicí bod	Metoda	Objektiv	Vzdálenost počátečního bodu v ose X	Vzdálenost počátečního bodu v ose Y	Tvrdost HB 30	Tvrdost HV
Vzorek 283	Řada 1	1	HV 1	40x	0,200	0,000	193	203
		2	HV 1	40x	1,500	0,000	181	190
		3	HV 1	40x	5,000	0,000	186	196
		4	HV 1	40x	10,000	0,000	186	196
	Řada 2	1	HV 1	40x	0,200	0,000	181	190
		2	HV 1	40x	1,500	0,000	184	194
		3	HV 1	40x	5,000	0,000	184	194
		4	HV 1	40x	10,000	0,000	188	198
	Řada 3	1	HV 1	40x	0,199	0,000	185	195
		2	HV 1	40x	1,521	-0,013	183	192
		3	HV 1	40x	5,021	-0,019	182	191
		4	HV 1	40x	10,000	0,000	184	194

Převod podle EN ISO 18265

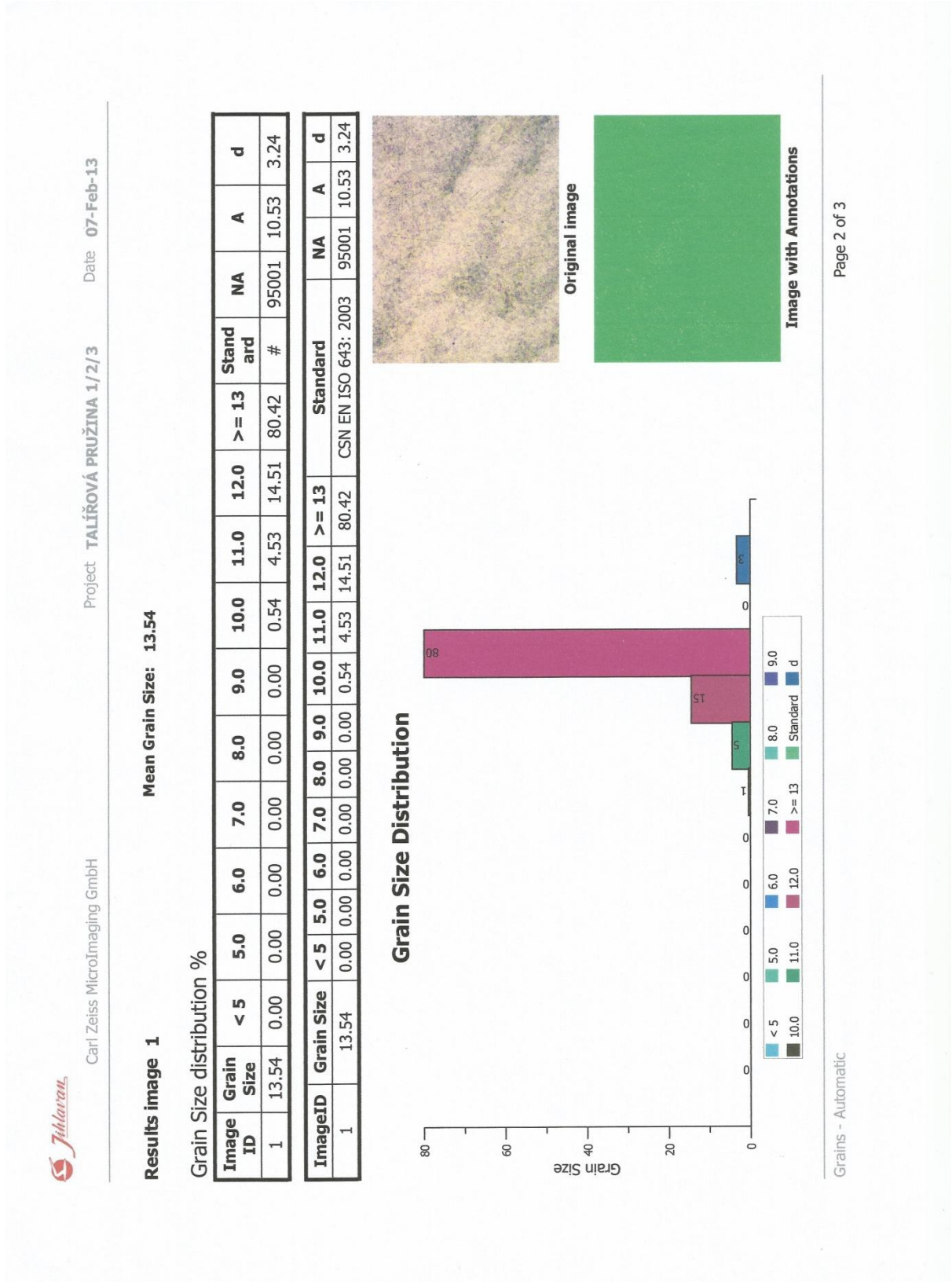
Datum: 07.03.2013

Podpis:

akciová společnost
586 01 JIHLAVA
MALÍRNA

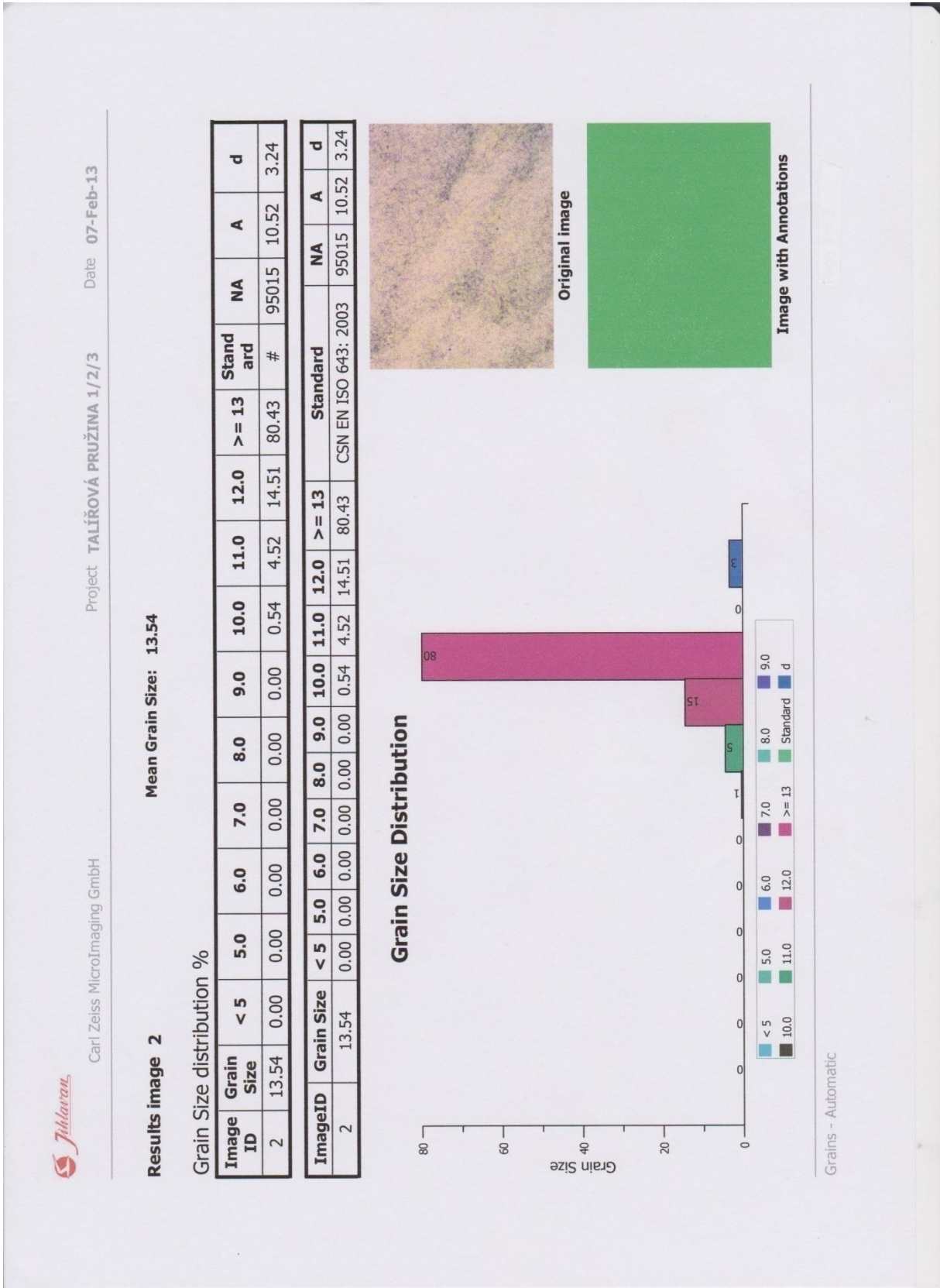
PŘÍLOHA 8

Protokol měření velikosti zrna pro vzorek 2a.



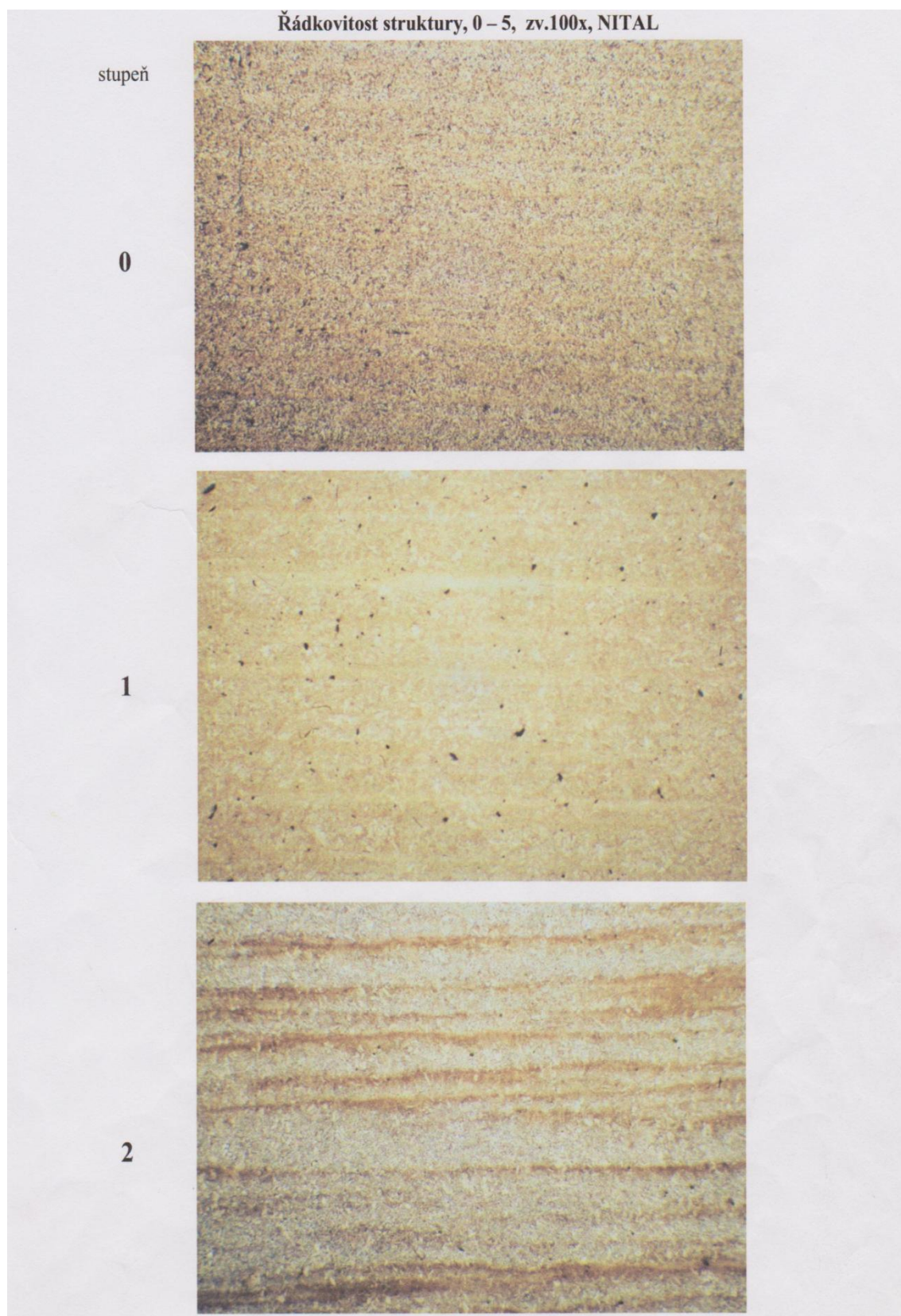
PŘÍLOHA 9

Protokol měření velikosti zrna pro vzorek 2b.



PŘÍLOHA 10

Etalonové řady pro hodnocení hádkovitosti.



PŘÍLOHA 10 – pokračování

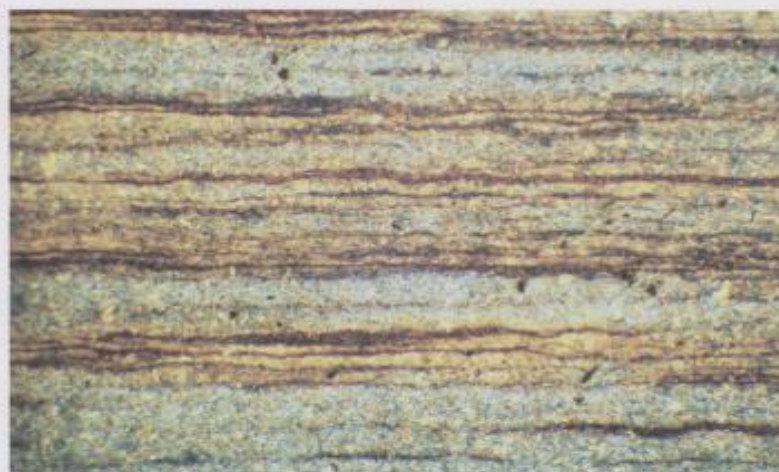
3



4

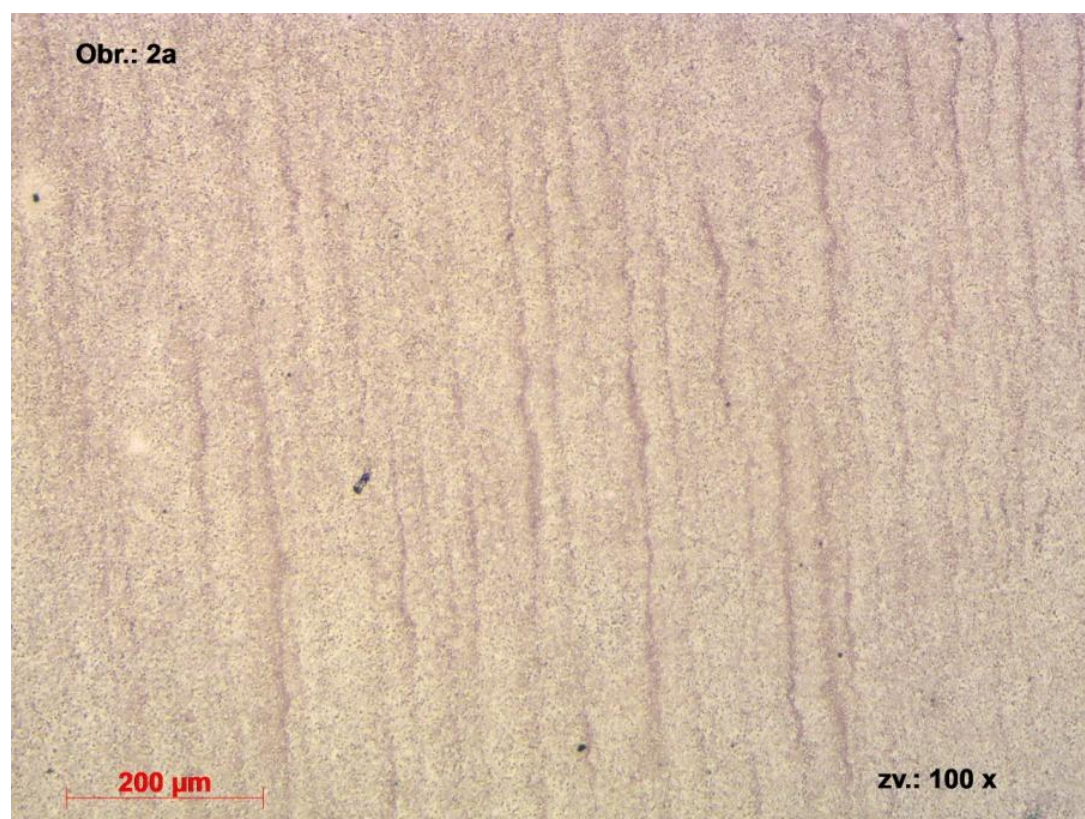
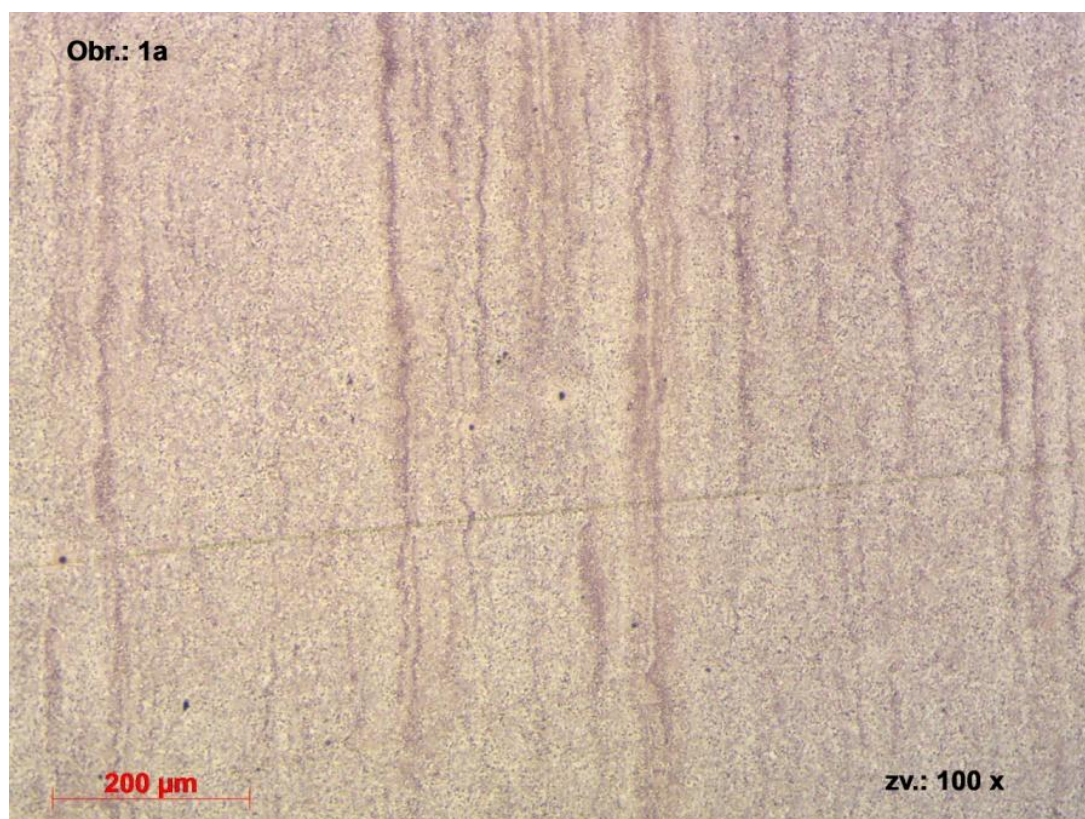


5

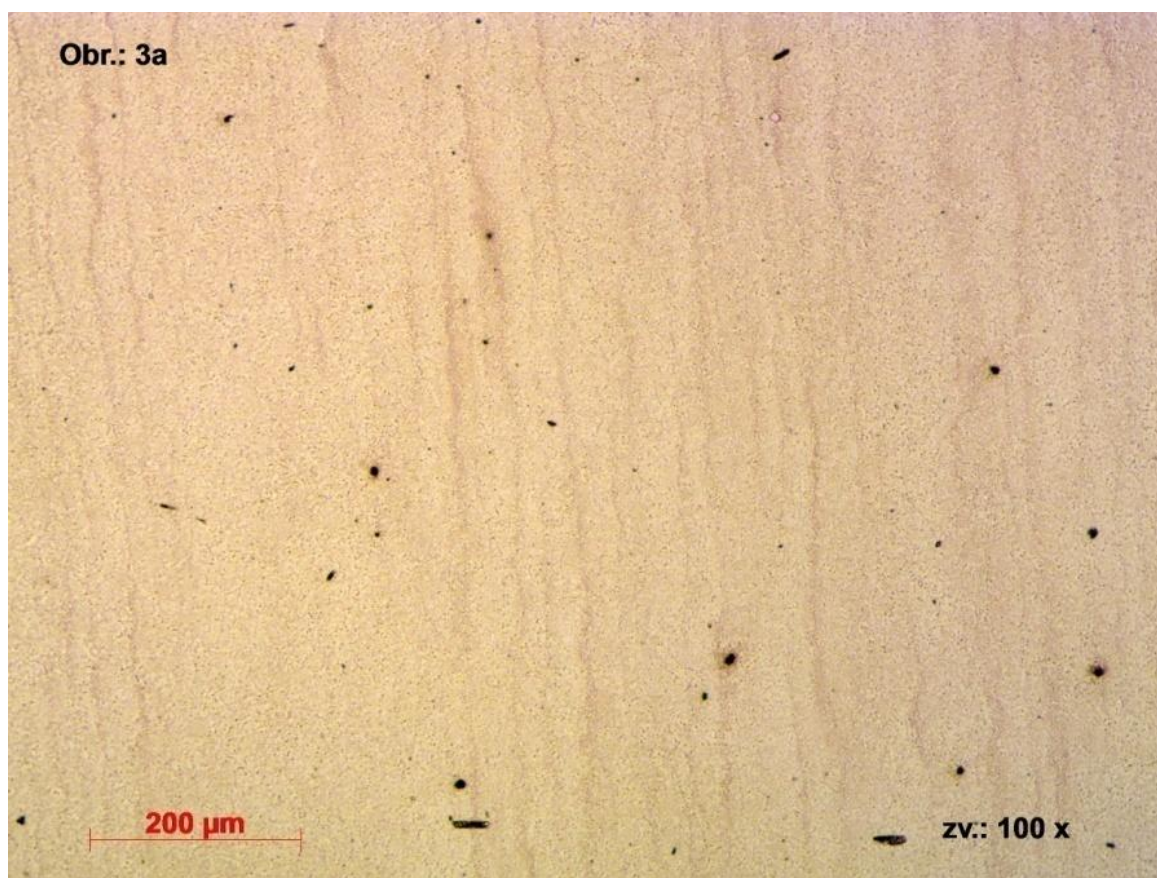


PŘÍLOHA 11

Struktura vzorků *1a*, *2a*, *3a* - zvětšeno 100 x.

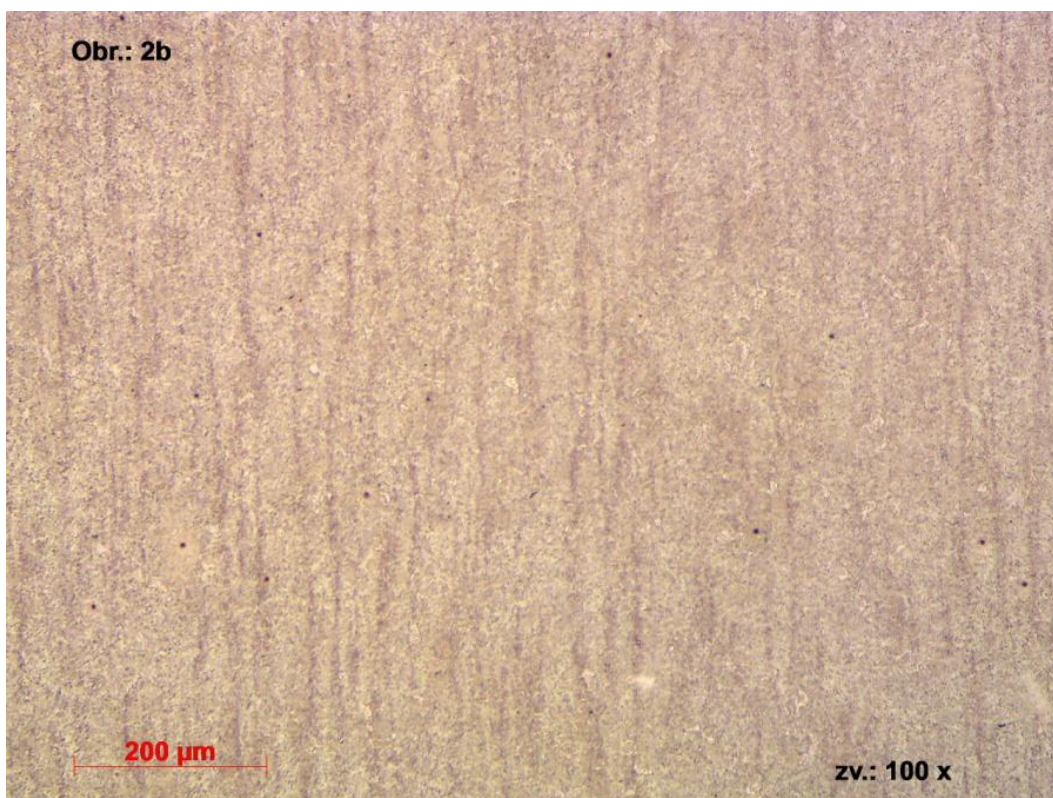
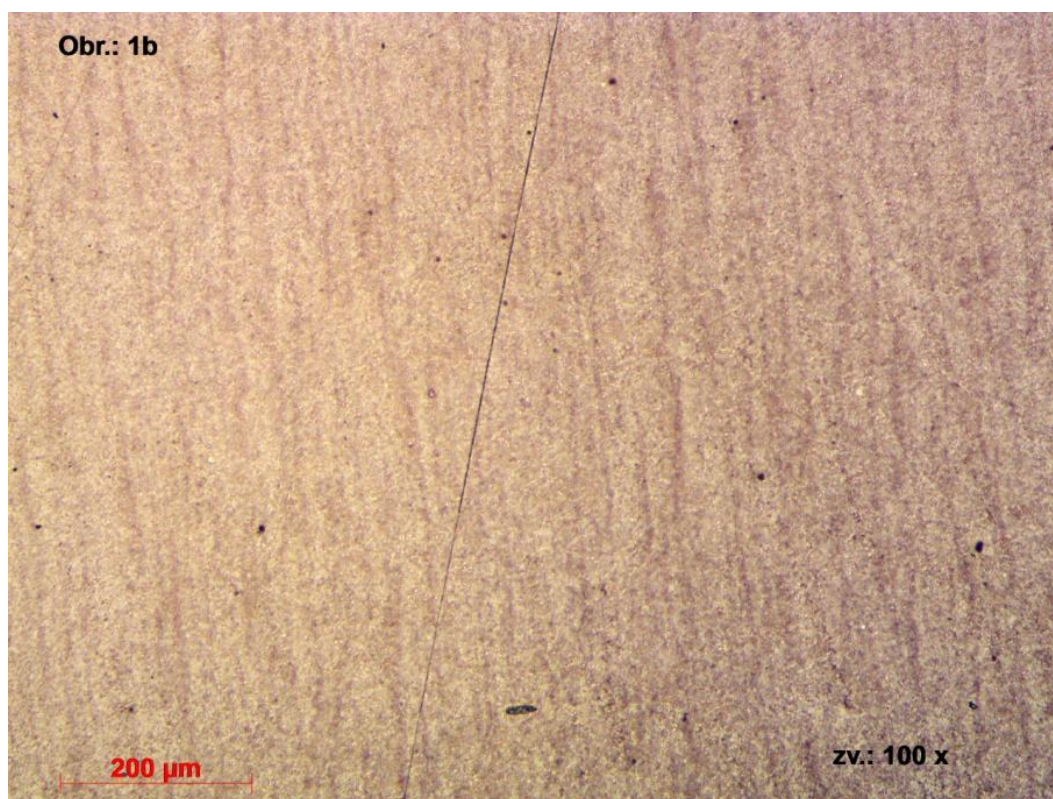


PŘÍLOHA 11 – pokračování

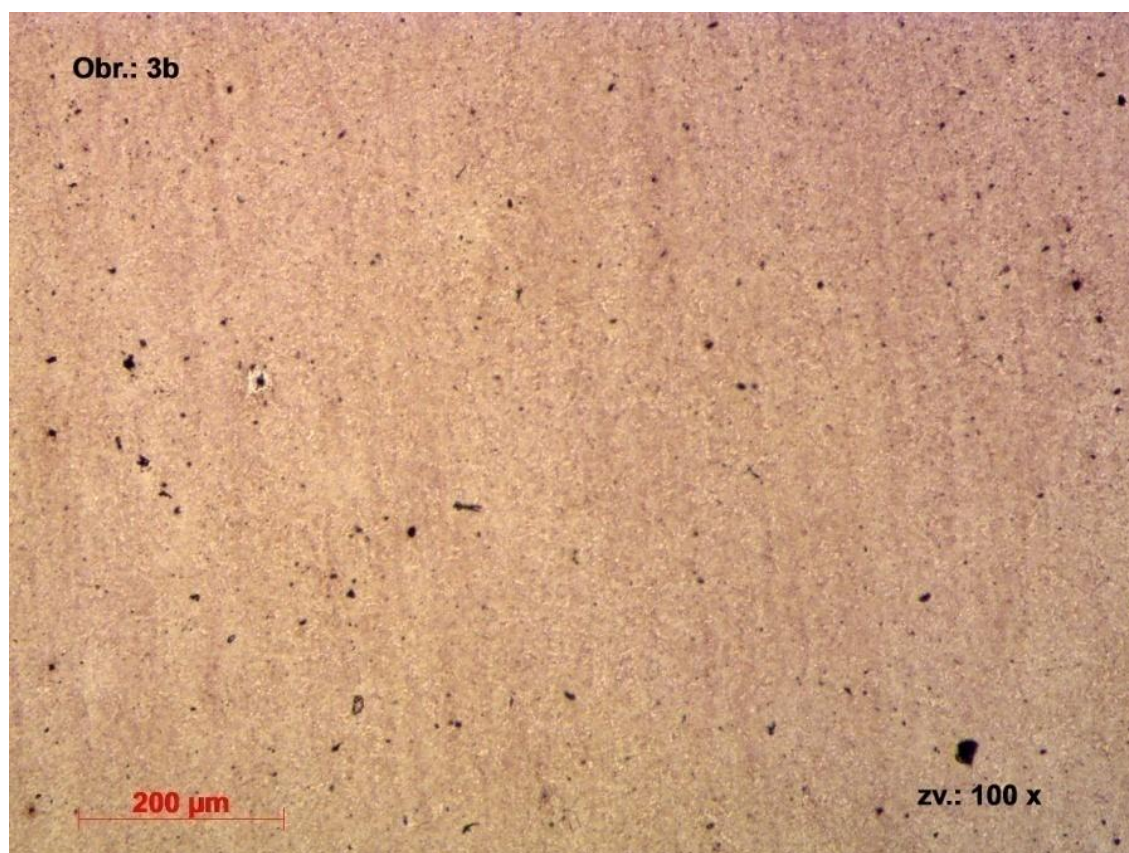


PŘÍLOHA 12

Struktura vzorků *1b*, *2b*, *3b* - zvětšeno 100 x.



PŘÍLOHA 12 – pokračování



PŘÍLOHA 13

Vyhodnocovací tabulka vměstků

Vyhodnocení dle metody : K 0

MIKROSKOPICKÁ ZKOUŠKA UŠLECHTILÝCH OCELÍ NA NEKOVOVÉ VMĚSTKY DIN 50602



57 CrV4

Číslo vzorku	Velikost vyhodnocované plochy mm ²	Druhy vměstků podle obrazové tabulky	Počet vměstku podle charakteristické velikosti										Nasobení			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	mezisoučet				
			0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	S*	O*			
1	273	SS														
1a		OA														
		OS	V	2												0,1
		OG	III	5												0,25
2	342	SS														
1a		OA														
		OS	III	3												0,15
		OG	III	7												0,45
3	324	SS														
2a		OA														
		OS		23												1,15
4	308	SS														
2a		OA														
		OS		19												0,95
5	360	SS														
3a		OA														
		OS														
		OG	III	6												0,3
6	280	SS														
3a		OA														
		OS														
		OG		18												0,9
Součet	187															
			Mezisoučet:											4,25		
			Součet hodnot K**:											2,125		
			Celkový součet hodnot:											2,3		

*

S* = sufficiency

O* = oxidiz

* S* = sulfidy O* = oxidy

** Přepočítáno na brusnou plochu 1000 mm² a zaokrouhleno na celá čísla

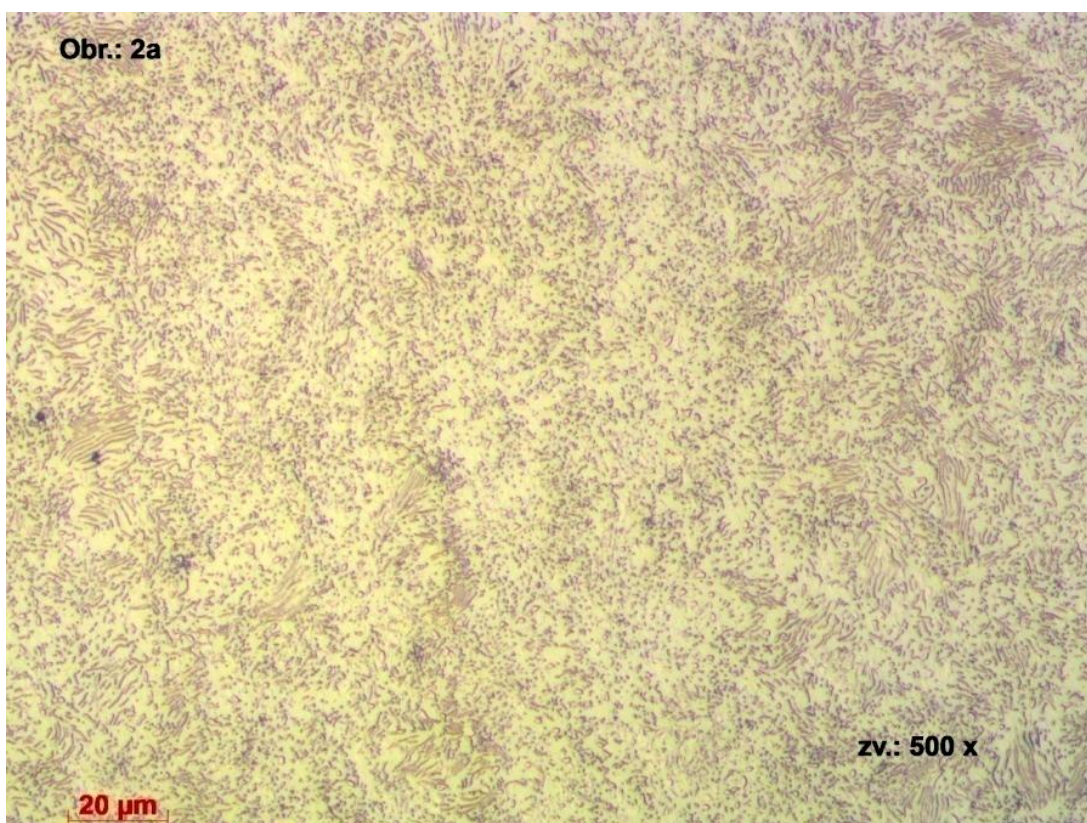
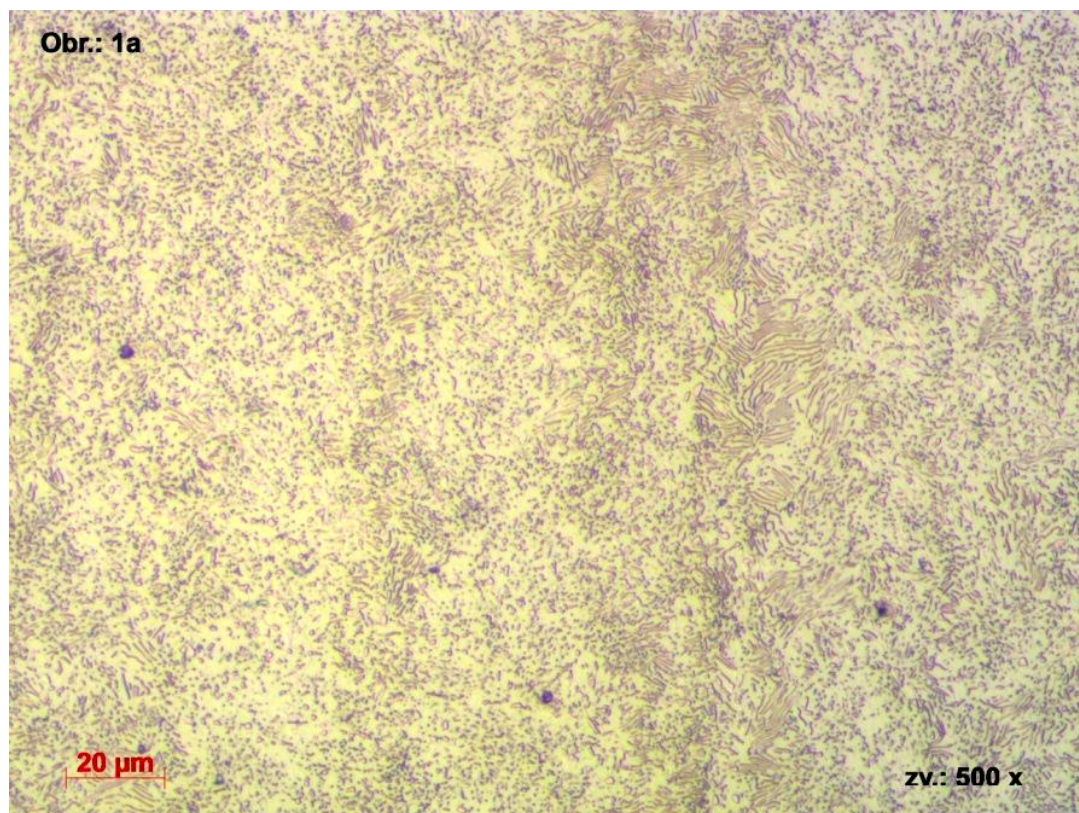
Vypracoval: *Chytrý*

Datum: 27. 3. 2013

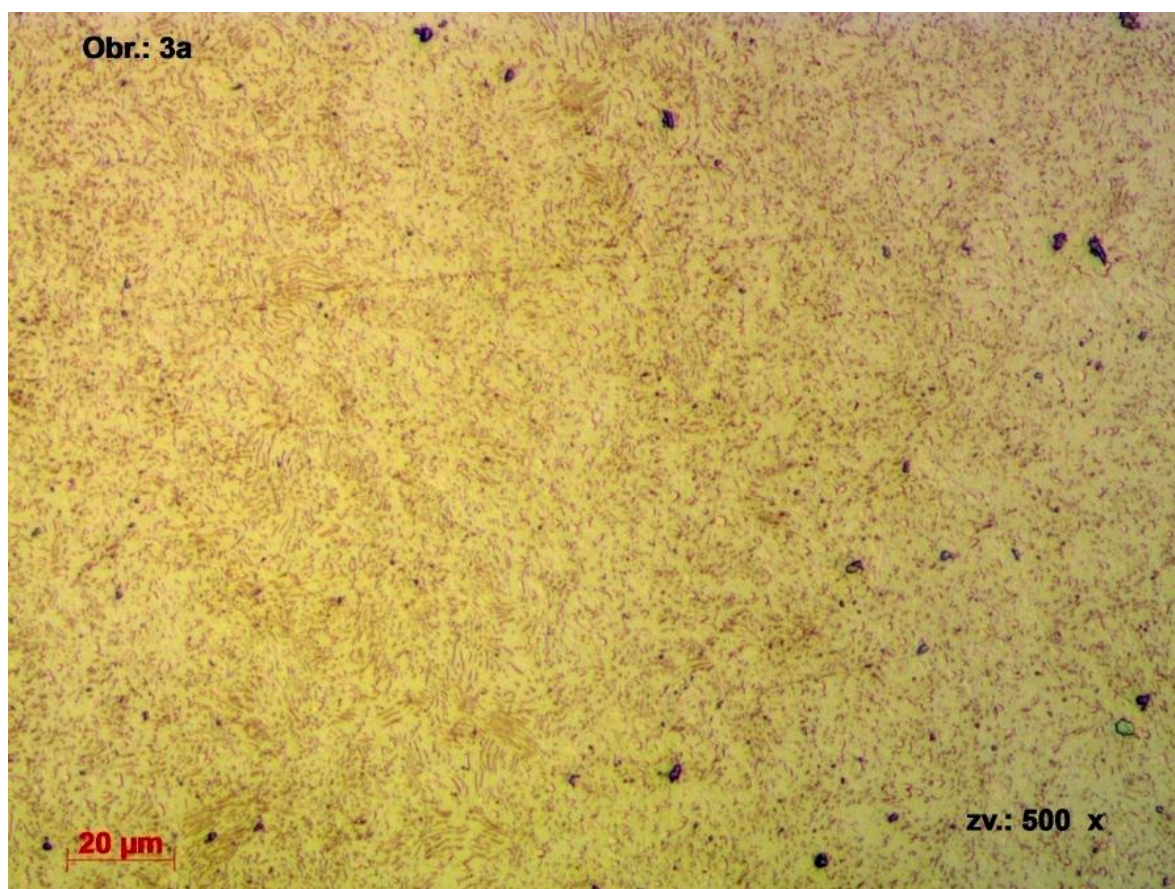
Jihlavan
akciové společnosti
586 01 JIHLAVA
KALINNÁ

PŘÍLOHA 14

Mikrostruktura vzorků *1a*, *2a*, *3a* – zvětšeno 500 x.



PŘÍLOHA 14 – pokračování



PŘÍLOHA 15

Chemický rozbor vzorku 15 260.

ATEST - Q4 TASMAN



Čas měření : 7:13:49

Datum : 30.4.2013

tento certifikát dokladuje, že materiál

Vzorek: 15 260	Jakost: 15 260 pr: 30
Program: Fe100	Objednávka:

Poznámka:

MATERIÁL ODPOVÍDÁ JAKOSTI 15 260

má následující chemické složení:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
naměřeno	0,543	0,318	0,865	0,004	0,001	1,213	0,004	0,026	0,037
norma min	0,47	0	0,7	0	0	0,9			
norma max	0,55	0,4	1,1	0,025	0,025	1,2			

	Al	As	B	Co	Mg	Nb	Sn	Ti	V
naměřeno	0,015	0,002	0,000	0,003	<0,005	<0,001	0,001	0,002	0,137
norma min									0,1
norma max									0,25

	W	Fe
naměřeno	<0,005	96,758
norma min		
norma max		

akciová společnost
586 01 JIHLAVA
KALÍRNA

.....
podpis

Dodavatel spektrometru BAS Rudice s.r.o., www.bas.cz

PŘÍLOHA 16

Záznam tvrdosti vzorku 15 260.

	Měření série	Zkušební protokol
Protokol č.: 2013027 Zákazník: Objednávka: Zakázka: Díl: 15 260	ID dílce: Materiál: 15 260 pr.: 30 Datum TZ: Datum měření: 30.4.2013 Poznámka: žíháno na měkko	



Měření série 0,000 mm HV 1

Vzorek	Řada	Měřicí bod	Metoda	Objektiv	Vzdálenost počátečního bodu v ose X	Vzdálenost počátečního bodu v ose Y	Tvrdost HB 30	Tvrdost HV
Vzorek 303	Řada 1	1	HV 1	40x	0,200	0,000	173	182
		2	HV 1	40x	1,500	0,000	182	191
		3	HV 1	40x	5,000	0,000	187	197
		4	HV 1	40x	10,000	0,000	189	199

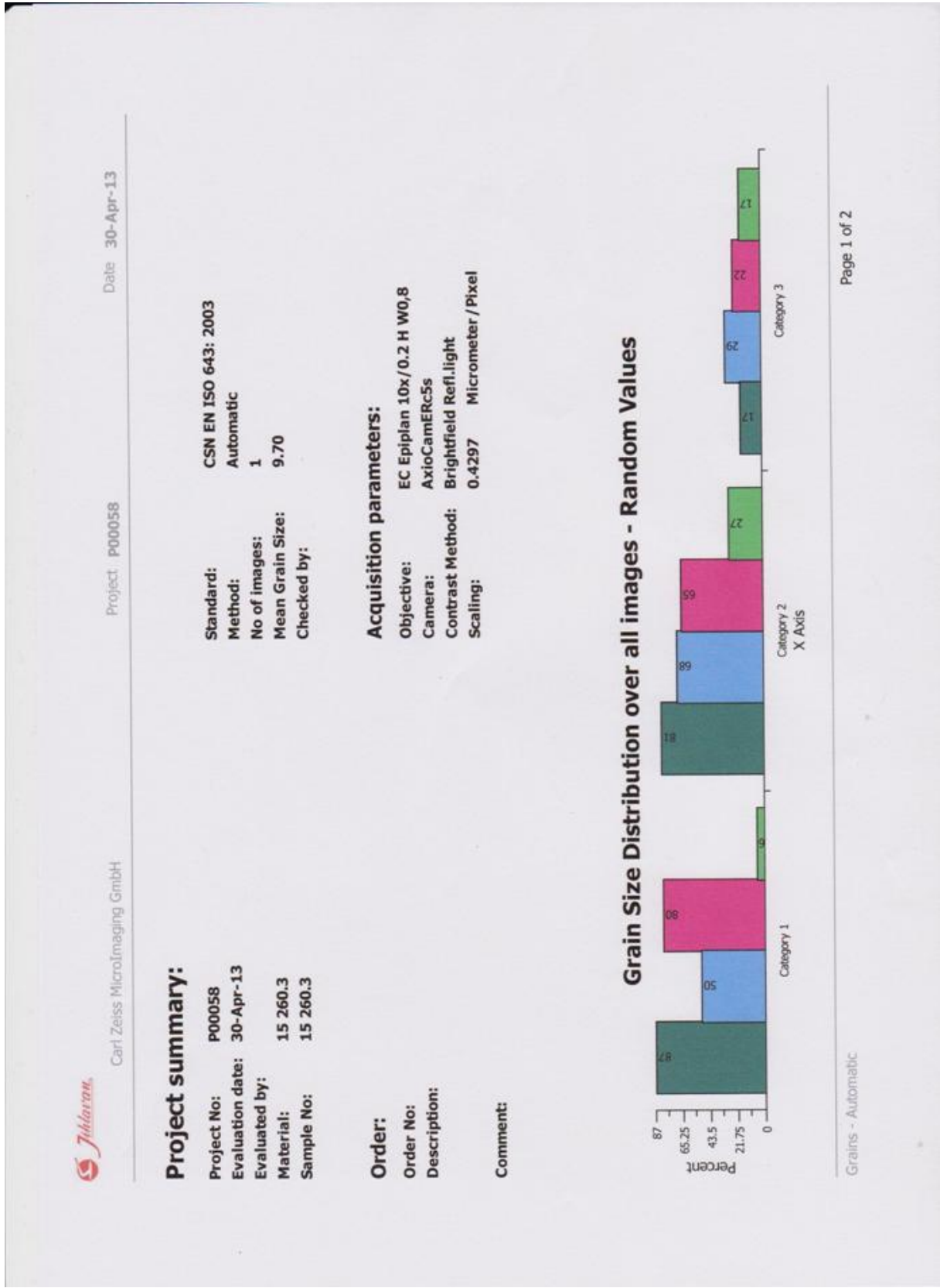

 Převod podle EN ISO 18265
 akciová společnost
 586 01 JIHLAVA
 KALÍRNA

Datum: 30.04.2013

Podpis: _____

PŘÍLOHA 17

Protokol měření velikosti zrna.





Carl Zeiss MicroImaging GmbH

Project: P00058

Date: 30-Apr-13

Results image 1

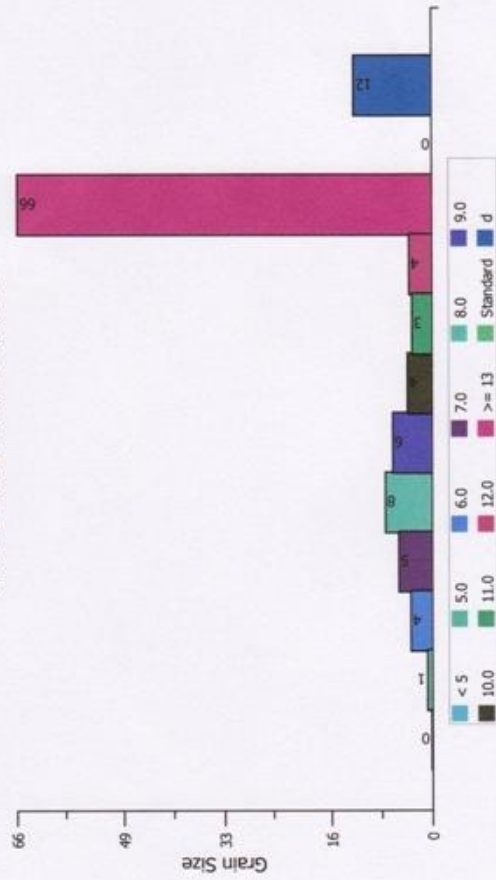
Mean Grain Size: 9.70

Grain Size distribution %

Image ID	Grain Size	< 5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	>= 13	Standard	NA	A	d
1	9.70	0.05	0.80	3.51	5.21	7.52	6.19	3.91	3.28	3.58	65.96	#	6657	150.22	12.26

ImageID	Grain Size	< 5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	>= 13	Standard	NA	A	d
1	9.70	0.05	0.80	3.51	5.21	7.52	6.19	3.91	3.28	3.58	65.96	CSN EN ISO 643: 2003	6657	150.22	12.26

Grain Size Distribution



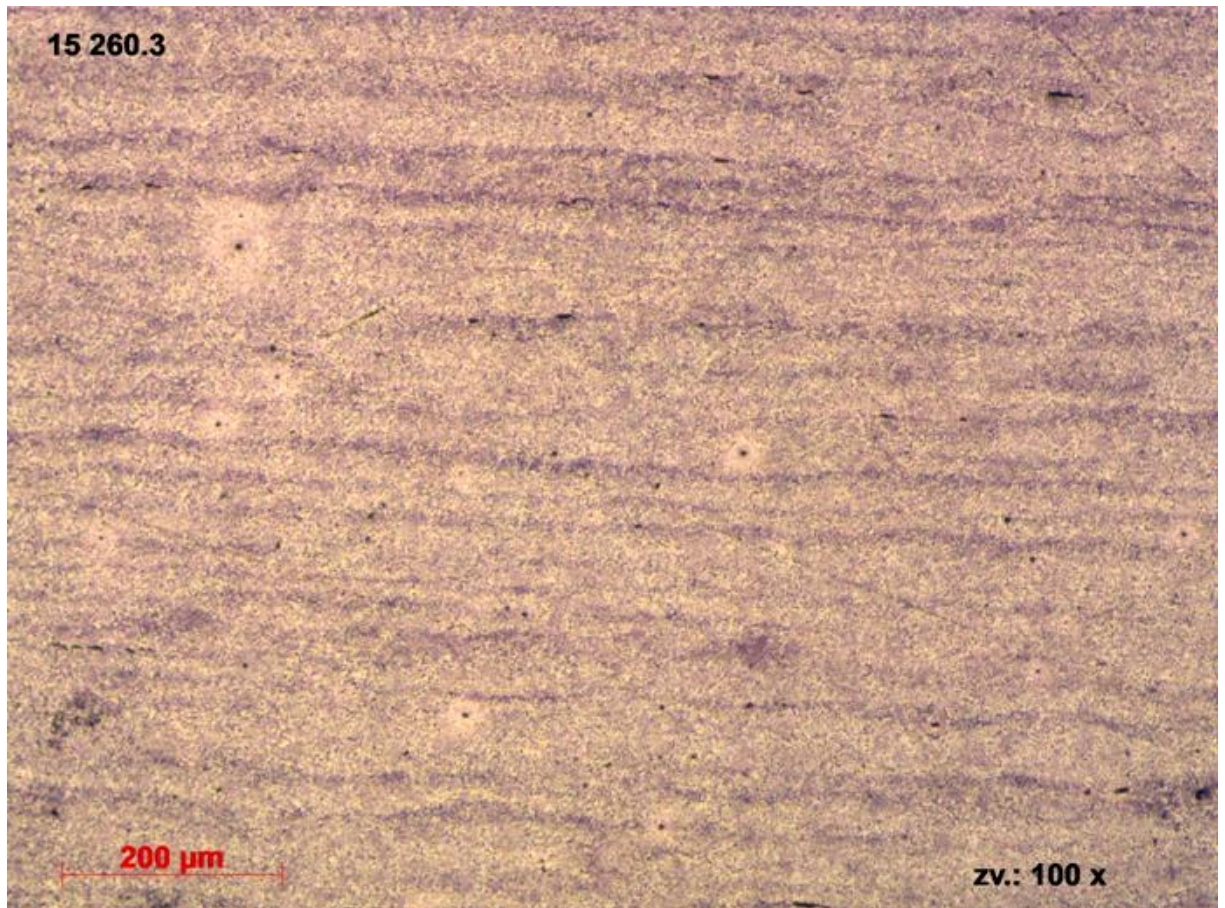
Original image



Image with Annotations

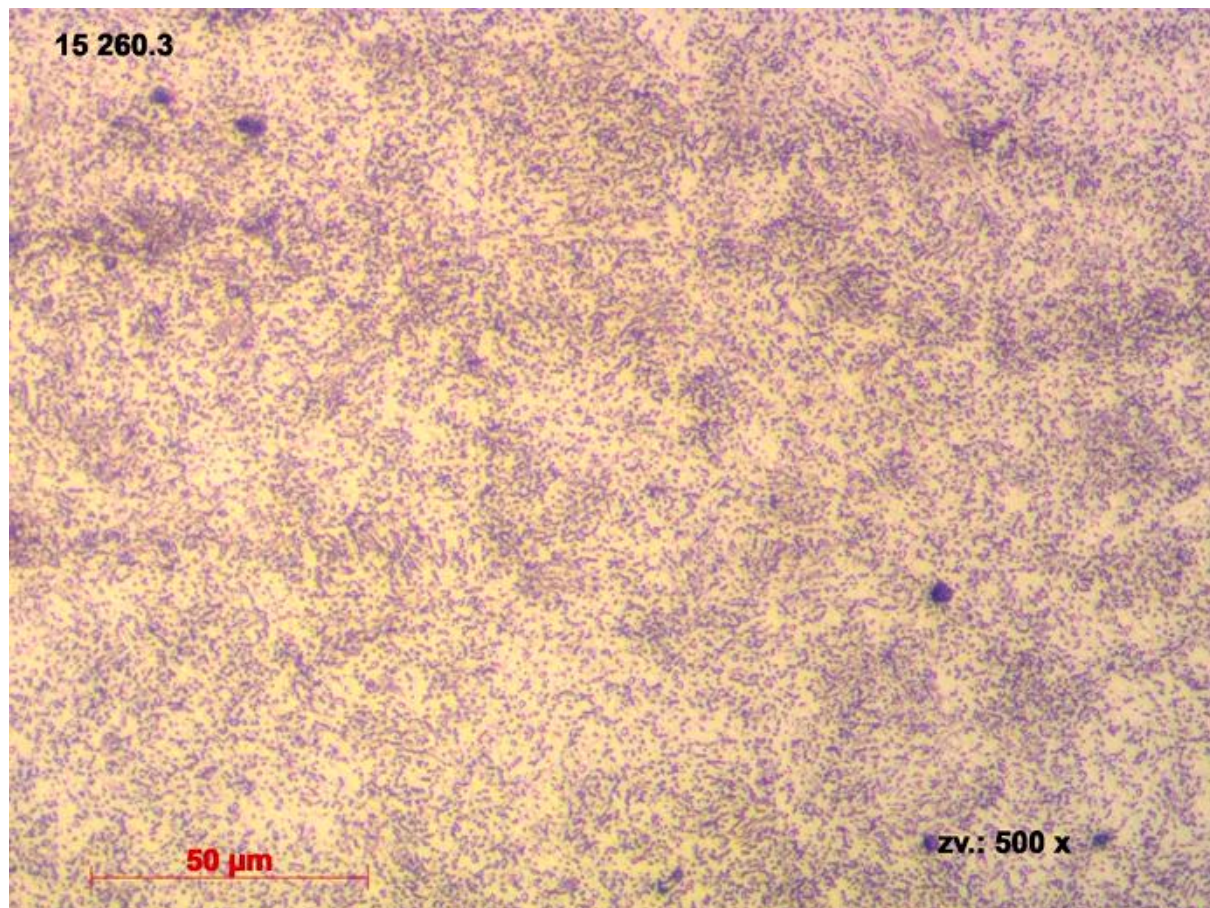
PŘÍLOHA 19

Struktura vzorku 15 260 – zvětšeno 100 x.



PŘÍLOHA 20

Struktura vzorku 15 260 – zvětšeno 500 x.



PŘÍLOHA 21

Evakuovatelná žíhací pec BMI B55R.



Parametry:

- maximální rozměry komory 900 x 1 200 x 700 mm,
- maximální hmotnost vsázky 1 000 kg,
- rozsah pracovních teplot 150 ÷ 750°C,
- homogenita teplotního pole $\pm 5^{\circ}\text{C}$.