

Vliv vybraných parametrů zušlechťování na mechanické a metalografické charakteristiky oceli A4T při výrobě železničních náprav v Bonatrans Group a.s.

Bc. Lucie Jurková



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav fyziky a mater. inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lucie JURKOVÁ**

Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Materiálové inženýrství**

Téma práce: **Vliv vybraných parametrů zušlechťování na mechanické a metalografické charakteristiky oceli A4T při výrobě železničních náprav v BONATRANS GROUP, a.s.**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na téma vlivu vybraných procesních zpracovatelských postupů úpravy ocelí na jejich mechanické a fyzikální vlastnosti.
2. V experimentální části spolupracujte s pracovištěm BONATRANS GROUP, a.s. Bohumín (Ing. Libor Pětvaldský). Prostudujte vliv normalizačního žíhání na mechanické a strukturní charakteristiky oceli jakosti A4T.
3. Prostudujte vliv kalení ve vodní lázni na mechanické a strukturní charakteristiky oceli jakosti A4T.
4. Prostudujte vliv doby mezi kalením a popouštěním na mechanické a strukturní charakteristiky oceli jakosti A4T.
5. Naměřené výsledky zpracujte ve formě tabulek a grafů. Provedte vyhodnocení závěrů.
6. Citujte veškerou použitou literaturu, včetně skript, patentů, webovských stránek dle požadovaného formátu UTB ve Zlíně.
7. Zpracujte seznam grafů, obrázků, literatury, zkratk.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Bhushan B.: "Fundamentals of Tribology and Bridging the Gap Between the Macro- and Micro/Nanoscales". NATO Science Series II. Mathematics, Physics and Chemistry - Vol 10. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London (2001). ISBN 0-7923-6837-1.
2. Machek V., Sodomka J.: Přednášky Nauka o Materiálu 1. Interní materiál BONATRANS GROUP, a.s., Praha, str. 1-90 (2000).
3. Jurková L.: "Charakterizace složení a typové rozdělení používaných ocelí v technické praxi". Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Zlín (2008).

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

15. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 15. února 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Cílem této diplomové práce bylo zjistit jednak vliv normalizačního žíhání na mechanické a strukturní vlastnosti oceli jakosti A4T, dále vliv procesu kalení a v neposlední řadě vliv teploty popouštění na mechanické a strukturní vlastnosti oceli jakosti A4T, která je nejpo-
užívanější jakostí pro výrobu náprav železničního dvojkolí v Bonatrans Group a.s.

Klíčová slova: normalizační žíhání, kalení, popouštění, mechanické vlastnosti, struktura

ABSTRACT

Abstrakt ve světovém jazyce

The aim of this MSc. thesis was to characterize effect of normalized annealing treatment on mechanical and structural properties of steel A4T quality class. Furthermore there was studied the influence of the hardening and effect of temper temperature on mechanical and structural properties of the same type of A4T class steel.

Keywords: Normalized annealing, tempering, mechanical properties, structure

Velmi ráda bych poděkovala a vyslovila uznání všem, kteří mi pomáhali při vzniku této práce. Především prof. Ing. Lubomíru Lapčíkovi Jun. Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce. Dále společnosti Bonatrans Group a.s., která mi umožnila vypracovat tuto diplomovou práci a spolupracovat při její tvorbě s panem Ing. Liborem Pětvaldským, který mi vždy ochotně pomohl cennými informacemi, znalostmi i prostředky.

Nakonec bych chtěla poděkovat rodičům za poskytnuté zázemí, jejich trpělivost a lásku.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

Ve Zlíně

.....

Podpis diploma

Příjmení a jméno: Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ROVNOVÁŽNÝ FÁZOVÝ DIAGRAM ŽELEZO-UHLÍK	12
1.1 SLOŽKY DIAGRAMU	12
1.1.1 Železo	12
1.1.2 Uhlík	12
1.2 SYSTÉM ŽELEZO-UHLÍK	13
1.2.1 Metastabilní diagram Fe-Fe ₃ C	13
1.2.2 Stabilní diagram Fe-C	16
1.3 DEFINICE A ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ OCELI	18
1.4 MIKROSTRUKTURA	19
2 NÁPRAVA	23
2.1 ZÁKLADNÍ ČÁSTI NÁPRAVY	23
2.1.1 Rozkolí	24
2.1.2 Rozchod dvojkolí	24
2.2 PODROBNĚJŠÍ POPIS NÁPRAVY	24
3 FYZIKÁLNĚ – METALURGICKÉ ZÁKLADY TVÁŘENÍ ZA TEPLA	26
3.1 STRUKTURA KOVŮ	26
3.2 KŘIVKY NAPĚTÍ – DEFORMACE	28
3.3 UZDRAVOVACÍ PROCESY	30
3.4 PRECIPITAČNÍ PROCESY	32
3.5 ŘÍZENÉ TVÁŘENÍ A OCHLAZOVÁNÍ	33
4 TECHNOLOGICKÝ PŘEDPIS PRO TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ NÁPRAV ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL	36
4.1 NORMALIZAČNÍ ŽIHÁNÍ NÁPRAV	36
4.2 KALENÍ A POPOUŠTĚNÍ NÁPRAV	36
4.3 DVOJÍ NORMALIZAČNÍ ŽIHÁNÍ NÁPRAV A POPOUŠTĚNÍ	37
4.4 NORMALIZAČNÍ ŽIHÁNÍ NÁPRAV A POPOUŠTĚNÍ	37
4.5 NORMALIZAČNÍ ŽIHÁNÍ NÁPRAV, KALENÍ A POPOUŠTĚNÍ.....	37
5 TECHNOLOGIE VÝROBY SUROVÝCH NÁPRAV V BONATRANS GROUP A.S.	38
5.1 PŘÍCHOD, SKLÁDÁNÍ, SKLADOVÁNÍ A KONTROLA VÝCHOZÍHO MATERIÁLU.....	38
5.1.1 Klasifikace materiálů na nápravy	38
5.1.2 Příprava náprav k tepelnému zpracování	39

5.2	OHŘEV MATERIÁLU V PECI	41
5.3	KOVÁNÍ NÁPRAV NA KOVACÍM LISE CKN 800	41
5.4	UPALOVÁNÍ KONCŮ NÁPRAV	42
5.5	TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ NÁPRAV	42
5.6	ROVNÁNÍ NÁPRAV	44
5.7	UVOLŇOVÁNÍ, TRYSKÁNÍ A EXPEDICE NÁPRAV Z KOVÁRNY	45
5.7.1	Vybrané požadavky na plnění jakostních limitů materiálů náprav z oceli EA4T dle normy EN 13261	46
5.7.1.1	Přejímající zkoušky	46
5.7.1.2	Mechanické vlastnosti	46
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50
6	MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ NÁPRAVY PŘI OHŘEVU NA AUSTENITIZAČNÍ TEPLOTU PŘED KALENÍM NÁPRAV JAKOSTI A4T.	51
6.1	VŠEOBECNÉ ÚDAJE	51
6.2	TECHNICKÉ ÚDAJE	52
7	MĚŘENÍ TEPLOT PŘI POPOUŠTĚNÍ KROKOVOU PEČÍ Č. 2 NÁPRAVY K. P. 135.19	56
7.1	VŠEOBECNÉ ÚDAJE	56
7.2	TECHNICKÉ ÚDAJE	56
8	VARIANTNÍ TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ NÁPRAV Z OCELI A4T DLE EN 13261	60
8.1	BAUMANNŮV OTISK PODLE ISO 4968	61
8.2	MAKROLEPT 10 % HNO ₃ PODLE ISO 4969	62
8.2.1	58009/1 (184), (obrázek 25)	62
8.2.2	58009/2 (185), (obrázek 26)	63
8.2.3	58009/3 (186), (obrázek 27)	64
8.2.4	58009/4 (187), (obrázek 28)	65
8.3	MIKROSKOPICKÉ ZKOUŠKY V PODÉLNÉM ŘEZU	66
8.3.1	Náprava 58009/1 (184)	66
8.3.2	Náprava 58009/2 (185)	69
8.3.3	Náprava 58009/3 (186)	73
8.3.4	Náprava 58009/4 (187)	76
9	EXPERIMENTÁLNÍ POPOUŠTĚNÍ SEGMENTŮ NÁPRAVY K. P. 135.37 T. Č. 31 871 V POLOPROVOZNÍ PEČÍ Č. 2	81
9.1	TVRDOST HB POPUŠTĚNÝCH SEGMENTŮ NÁPRAVY A4T	82
	ZÁVĚR	85
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	86
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	88
	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
	SEZNAM GRAFŮ	93
	SEZNAM PŘÍLOH	94

ÚVOD

Dvojkolí je základní díl pojezdu železničních kolejových vozidel, který přenáší síly mezi vozidlem a jízdni dráhou - kolejí. Princip kola a jeho základní geometrie se nemění od prapočátků železnice. Ve svém vývoji prošlo dvojkolí dlouhou cestou, kde nebyla měněna základní filozofie tohoto dílu, ale jeho technologie výroby a materiál. Neboť rychlost, kterou se dvojkolí pohybuje po své ocelové dráze, se zvýšila desetinásobně. [7]

Dvojkolí se skládá ze dvou základních částí a to z nápravy (osy) a dvojice kol. Tato diplomová práce je zaměřená na nápravy železničního dvojkolí a na nejpoužívanější typ oceli, ze které se tyto nápravy v Bonatrans Group a.s. vyrábějí. Jedná se o jakost A4T. Vzhledem k častému používání této jakosti bylo cílem tohoto výzkumu se ujistit, zdali dané tepelné zpracování zaručuje požadované výsledky, případně, má-li například změna teploty či doby popouštění významný vliv na mechanické a strukturní vlastnosti této jakosti.

V prvé řadě se pomocí teplotních čidel proměří obě pece a zkontrolují se teploty na jednotlivých místech nápravy v průběhu celého jejího pobytu v obou pecích.

V dalším kroku dojde k variantnímu tepelnému zpracování 4 kusů náprav, ze kterých se provedou zkoušky na tah, vrubovou houževnatost a tvrdost.

TEORETICKÁ ČÁST

1 ROVNOVÁŽNÝ FÁZOVÝ DIAGRAM ŽELEZO-UHLÍK

1.1 Složky diagramu

1.1.1 Železo

Fe krystalizuje v soustavě krychlové a patří ke kovům, u nichž se vyskytuje alotropie, tzn., že Fe krystalizuje ve více modifikacích v závislosti na teplotě. Tyto modifikace jsou označeny α , β , γ , δ . [2]

Modifikace α se vyskytuje od nejnižších teplot až do 760 °C, kdy se mění na modifikaci β . Teplota 760 °C není ve skutečnosti překrytalizací, ale jen teplotou, při níž ztrácí Fe feromagnetické vlastnosti. Této teplotě se říká Curieův bod feritu. [2]

Modifikace α se při teplotě 910°C mění na modifikaci γ . Modifikace γ existuje mezi 910 až 1400°C, kdy se opět mění v modifikaci δ , která existuje až do bodu tání Fe 1539 °C. [2]

Mřížka modifikace α , β , δ je kubická prostorově centrovaná o mřížkovém parametru α -fáze $2,8663 \cdot 10^{-7}$ mm při normální teplotě, který se s teplotou nepatrně zvětšuje. Dnes se modifikace β a δ nepovažují za zvláštní modifikaci, protože mají stejný typ mřížky (bcc) a zahrnují se pod modifikaci α . Jedině modifikace α je feromagnetická, všechny ostatní modifikace jsou paramagnetické. [2]

Mřížka modifikace γ je rovněž kubická, ale plošně centrovaná, která má parametr $3,644 \cdot 10^{-7}$ mm. Z uvedených údajů vyplývá, že při přeměně modifikací α a γ nastává změna objemu, s níž je nutno v technické praxi počítat. [2]

1.1.2 Uhlík

Nejdůležitější legurou každého technického Fe je nekovový prvek C. Ten působí na vlastnosti Fe rozhodující měrou. [2]

C se vyskytuje v Fe buď jako chemická sloučenina - karbid železa Fe_3C , který obsahuje 6,69% C, nebo je rozpuštěn jako elementární grafit. Podle toho se slitiny Fe + C znázorňují v binárním diagramu jako soustavy dvojího druhu: metastabilní soustava železo-karbid železa (Fe- Fe_3C) nebo stabilní soustava železo-grafit (Fe-C). Převažující význam pro praktické využití má metastabilní soustava Fe- Fe_3C , protože podle tohoto dia-

gramu krystalizují všechny oceli a část litin, tzv. bílých. Pokud se této soustavě nedodá energie, nepřechází Fe_3C do stabilního grafitu ani za libovolně dlouhou dobu. [2]

1.2 Systém železo-uhlík

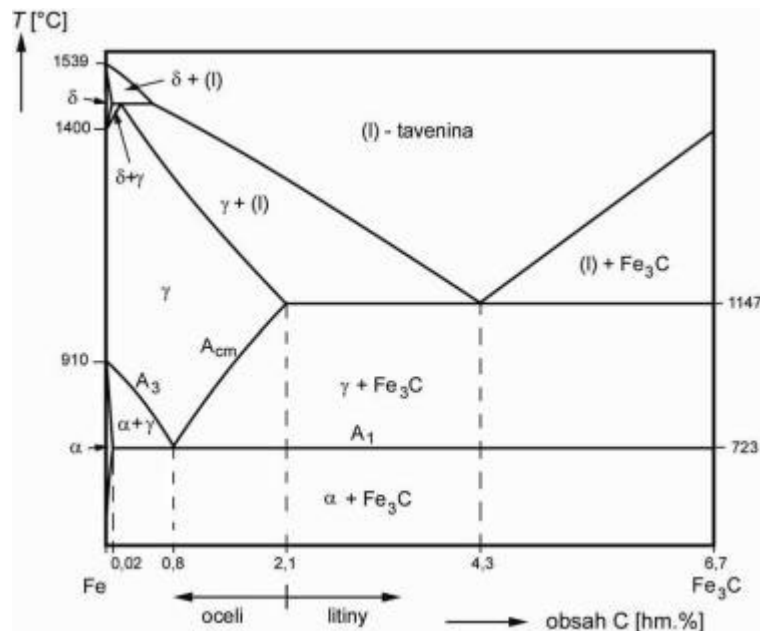
Výroba železa se děje redukcí železné rudy uhlíkem. Ve vyrobeném materiálu je tedy vždy přítomno větší či menší množství uhlíku, který významně ovlivňuje jeho vlastnosti. Ve slitinách železa s uhlíkem může být uhlík přítomen [3]:

- v tuhém roztoku
- ve formě intermediální fáze se železem s chemickým vzorcem Fe_3C
- ve formě grafitu

Chování systému železo-uhlík popisujeme dvěma typy stavových diagramů v závislosti na tom, zda uhlík je přítomen jako karbid železa (Fe_3C) nebo jako grafit (C). První typ diagramu, který je významnější, se nazývá metastabilní diagram Fe- Fe_3C , a druhý stabilní diagram Fe-C. [3]

1.2.1 Metastabilní diagram Fe- Fe_3C

Metastabilní diagram Fe- Fe_3C je ukázán na *obrázku 1*. [3]



Obrázek 1: Metastabilní diagram Fe- Fe_3C . [3]

Tento diagram vyjadřuje závislost fázového složení slitin Fe-C na jejich chemickém složení a teplotě. Plnými čarami jsou odděleny oblasti existence různých fází. [3]

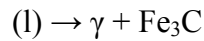
Na diagramu vidíme 4 typy tuhých fází [3]:

1. Označení α má tzv. α -ferit (ferit), což je intersticiální tuhý roztok uhlíku v $\alpha(\text{Fe})$. Maximální rozpustnost uhlíku ve feritu je cca 0,02 % při eutektoidní teplotě 723°C. S klesající teplotou rozpustnost uhlíku klesá a při pokojové teplotě se uvádí pouhých řádově 10^{-7} %.
2. Za vyšších teplot je stabilní intersticiální tuhý roztok v $\gamma(\text{Fe})$ s označením γ a názvem austenit. Maximální rozpustnost uhlíku v austenitu je 2,1 % při eutektické teplotě 1147°C. S teplotou opět rozpustnost klesá. Příčinou výrazně vyšší rozpustnosti uhlíku v austenitu v porovnání s feritem je to, že ačkoliv má austenit méně volného prostoru v krystalové struktuře (má maximálně zaplněný prostor atomy), tento prostor je rozdělen do menšího počtu avšak větších dutin v porovnání s feritem. Intersticiální atomy uhlíku proto v mřížce austenitu nepůsobují vznik tak velkého pnutí, jako v případě feritu a proto je celková rozpustnost uhlíku v austenitu vyšší.
3. Při nejvyšších teplotách existuje tzv. δ -ferit (δ), což je intersticiální tuhý roztok uhlíku v $\delta(\text{Fe})$.
4. Intermediální fází je, jak již bylo uvedeno, karbid železa Fe_3C , neboli cementit. Tato fáze má 6,7 hm. % uhlíku a krystaluje v kosočtverečné krystalografické soustavě. Na rozdíl od tuhých roztoků je cementit fáze tvrdá (700-800 HV) a křehká, proto s jejím rostoucím obsahem (rostoucím obsahem C) roste tvrdost slitin Fe-C. Cementit je fáze termodynamicky nestabilní, což znamená, že při vysokých teplotách se pomalu rozkládá na uhlík (grafit) a železo. Tento děj se nazývá grafitizace a je významný u slitin.

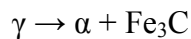
Kromě jednofázových oblastí tuhých roztoků jsou na diagramu Fe- Fe_3C patrné rovněž oblasti společného výskytu dvou fází (např. $\alpha+\gamma$, $\alpha+\text{Fe}_3\text{C}$). Množství koexistujících fází lze při každé teplotě odečíst pomocí pákového pravidla. [3]

V systému Fe-Fe₃C probíhají dvě důležité fázové přeměny [3]:

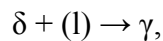
1. eutektická (teplota 1147°C, eutektická koncentrace uhlíku 4,3 %), při které při ochlazování vznikají z taveniny dvě tuhé fáze:



2. eutektoidní (teplota 723°C, eutektoidní koncentrace uhlíku 0,8 %) při které při ochlazování vznikají z austenitu ferit a cementit:



U slitin s nízkým obsahem uhlíku probíhá při teplotě cca 1500°C ještě přeměna peritektická [3]:



kteřá však u slitin Fe-C nehraje významnou roli.

Svá specifická označení, která se často v metalurgii železa používají, mají v diagramu teploty významných přeměn. Jsou to zejména [3]:

A₁: eutektoidní teplota

A₃: teplota, která ohraničuje oblast čistého austenitu a dvoufázovou oblast $\alpha + \gamma$ a

A_{cm}: teplota, která ohraničuje oblast čistého austenitu a dvoufázovou oblast $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$.

Teploty A₂ (charakterizuje přeměnu feromagnetického stavu na paramagnetický) a A₄ (charakterizuje přeměnu γ na δ) jsou méně významné, proto v diagramu na *obrázku 1* nejsou uvedeny. [3]

Velmi důležitým bodem ve stavovém diagramu je bod, jemuž odpovídá teplota 1147°C a obsah uhlíku 2,1 %. Tento bod charakterizuje maximální rozpustnost uhlíku v austenitu (γ). Koncentrace uhlíku 2,1 % rozděluje slitiny Fe-C [3]:

- oceli mající obsah uhlíku nižší než 2,1 % a
- litiny s vyšším obsahem uhlíku

Definice pojmu ocel má tedy dvě části [3]:

1. je to slitina železa s uhlíkem případně s dalšími legujícími prvky definovaného chemického složení, která je za vysokých teplot tvárná.

2. je to slitina s obsahem uhlíku nižším než je jeho maximální rozpustnost v austenitu (tzn. s obsahem 0-2,1 %)

Oceli se dnes převážně vyrábějí z (60%) vyrábějí zkujňováním surového železa z vysoké pece, i když významná část (30%) se rovněž vyrábí z recyklovaného železného šrotu. Oceli jsou mnohem významnější konstrukční materiály v porovnání s litinami. Z hlediska technologie zpracování se oceli v naprosté většině zpracovávají tvářením, neboť v jejich mikrostruktuře je významně zastoupen tuhý roztok železa, který je tvárný. Naproti tomu litiny se zpracovávají výhradně odléváním, neboť díky tomu, že u nich probíhá eutektická přeměna, mají vynikající slévatelnost. [3]

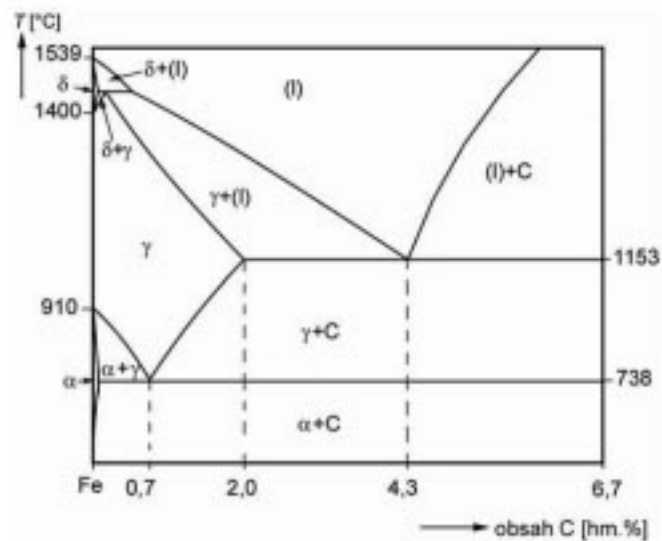
Bylo již uvedeno, že uhlík se ve struktuře slitin Fe-C může vyskytovat nejen jako cementit Fe_3C , nýbrž rovněž jako grafit. To, aby slitina měla ve struktuře cementit, jinými slovy, aby se chovala podle metastabilního diagramu Fe- Fe_3C (*obrázek 2*) podporují následující faktory [3]:

1. nižší celkový obsah uhlíku ve slitině (při nízkém obsahu je pro systém obtížné vytvořit fázi s velmi odlišným složením, kterou je čistý C).
2. vyšší ochlazovací rychlost (při vyšší ochlazovací rychlosti je opět obtížné vytvořit fázi s velmi odlišným složením)
3. přítomnost prvku, které jsou schopny s uhlíkem tvořit karbidy (tzv. karbidotvorné prvky), např. Mn, Cr, atd.

Fázové přeměny v ocelích popisujeme vždy podle metastabilního diagramu Fe- Fe_3C . Zatímco stabilní diagram Fe-C využíváme k popisu tuhnutí grafitických litin. [3]

1.2.2 Stabilní diagram Fe-C

Stabilní diagram systému Fe-C je ukázán na *obrázku 2*. [3]



Obrázek 2: Stabilní diagram systému Fe-C. [3]

Vidíme, že tento diagram se podobá diagramu metastabilnímu, pouze se poněkud liší teploty přeměn a obsahy uhlíku ve významných bodech. Dále se zde vyskytuje nová fáze, kterou je uhlík v modifikaci grafitu. Krystalová struktura grafitu je tvořena vrstvami s hexagonálním uspořádáním atomů uhlíku. Mezi jednotlivými vrstvami uhlíkových atomů působí poměrně slabé chemické vazby, a proto je grafit fáze měkká. Při práci se stabilním diagramem Fe-C je třeba rovněž vzít v úvahu, že na rozdíl od metastabilního diagramu, který je ukončen intermedilní fází Fe-C, končí stabilní diagram až čistým uhlíkem, i když se obvykle kreslí jen do 6,7 % C. Tento fakt je třeba brát v úvahu zejména při aplikaci pákového pravidla. Jak bylo uvedeno, stabilní diagram využíváme zejména k popisu krystalizace litiny, konkrétně grafitických litin. Chování slitin podle tohoto diagramu podporuje [3]:

1. vyšší obsah uhlíku (litiny)
2. nižší ochlazovací rychlost
3. nízké obsahy karbidotvorných prvků
4. zvýšený obsah tzv. grafitizačních přísad (zejména Si)

1.3 Definice a základní rozdělení ocelí

Oceli představují 90 % slitin Fe. Zbýlých 10 % patří litinám.

Oceli se do požadovaných tvarů zpracovávají převážně tvářením. Podle chemického složení oceli dělíme do dvou základních skupin [3]:

- oceli nelegované (uhlíkové)
- oceli legované

Oceli nelegované (uhlíkové) jsou slitiny Fe-C, u nichž obsah dalších prvků nepřekročí stanovené mezní hodnoty, viz *tabulka 1*. Pokud jsou některé prvky záměrně přidány v množstvích nižších, než jsou uvedené hodnoty, pak hovoříme o mikrolegování. [3]

Tabulka 1: Mezní obsahy prvků v nelegovaných ocelích. [3]

Prvek	mezní obsah [hm.%]	prvek	mezní obsah [hm.%]
Al	0,10	Ni	0,30
Co	0,10	Pb	0,40
Cr	0,30	Si	0,50
Cu	0,40	Ti	0,05
Mn	1,65	V	0,10
Mo	0,08	W	0,10
Nb	0,06	Zr	0,05

Podle obsahu uhlíku tyto oceli dělíme:

- podeutektoidní (méně než 0,8 % C)
- eutektoidní (cca 0,8 % C)
- nadeutektoidní (nad 0,8 % C)

Pokeutektoidní oceli se využívají jako konstrukční materiály, zatímco nadeutektoidní spíše jako nástrojové materiály. Nelegované oceli představují většinu všech výrobných ocelí a největší množství z nich připadá na podeutektoidní oceli s obsahem uhlíku do cca 0,3 hm %. [3]

V ocelích legovaných obsahy legujících prvků překračují hodnoty uvedené v *tabulce 1*. Legování se provádí zejména za účelem zvýšení mechanických vlastností (mez fyzikálních vlastností, houževnatost za nízkých teplot, tvrdost), dále korozní odolnosti, celkového obsahu legujících prvků dělíme legované oceli [3]:

- nízkolegované (pod 5 % legujících prvků)
- střednělegované (5-10 % legujících prvků)
- vysokolegované (nad 10 % legujících prvků)

Mezi nejvýznamnější legující prvky patří Cr, Ni, Mn, Si, V, Mo, W, Al, Ti, Nb, Zr, Cu, P, S, Co.

Oceli je možno rozlišovat rovněž podle dalších hledisek, která respektují jejich využití, zpracování nebo důležité vlastnosti. Mezi nejdůležitější patří oceli [3]:

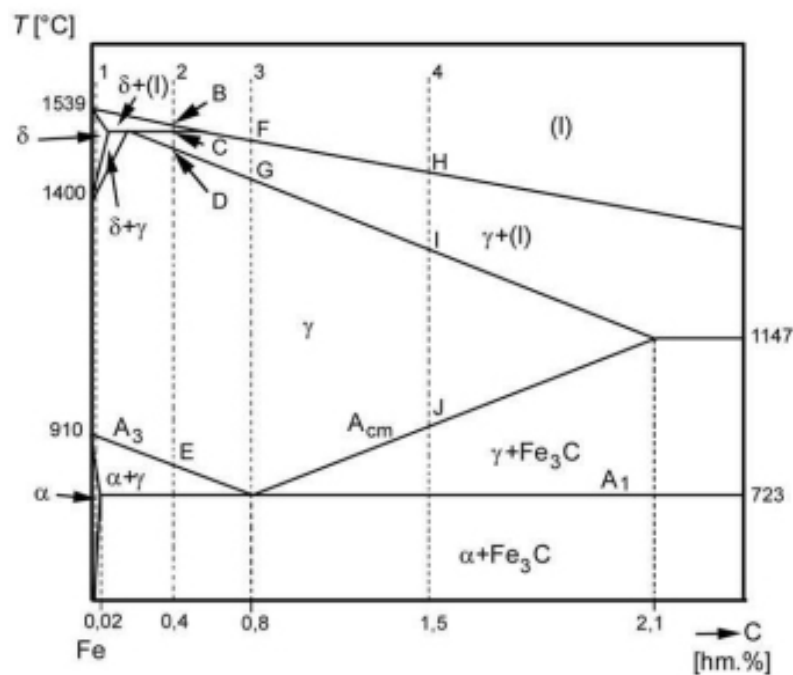
- pro svařované konstrukce
- hlubokotažné k tváření za studena
- pro výztuž do betonu
- pro kolejnice
- automatové
- k cementaci
- k nitridaci
- k zušlechťování
- pružinové
- korozivzdorné
- žáruvzdorné a žárovevné
- s vysokou pevností
- se zvláštními magnetickými vlastnostmi
- nástrojové

1.4 Mikrostruktura

Metastabilní diagram systému Fe-Fe₃C (*obrázek 1*) je užitečnou pomůckou při předpovědi mikrostruktury různých ocelí. Na *obrázku 3* je znovu ukázána část tohoto diagramu, která se týká oceli. Přerušovanými čarami zde jsou vyznačeny čtyři uhlíkové oceli s různými obsahy uhlíku (0,01; 0,4; 0,8 a 1,5 %). Mikrostruktura těchto ocelí lze předpo-

vědět tak, že postupujeme podél přerušovaných čar shora dolů (ve směru klesající teploty) a sledujeme změny existujících fází probíhající při poklesu z teploty roztavené slitiny až na pokojovou teplotu (osa x). Je třeba zdůraznit, že diagramu lze využít pro předpověď mikrostruktur ocelí ochlazovaných poměrně pomalými rychlostmi (např. na „klidném“ vzduchu). [3]

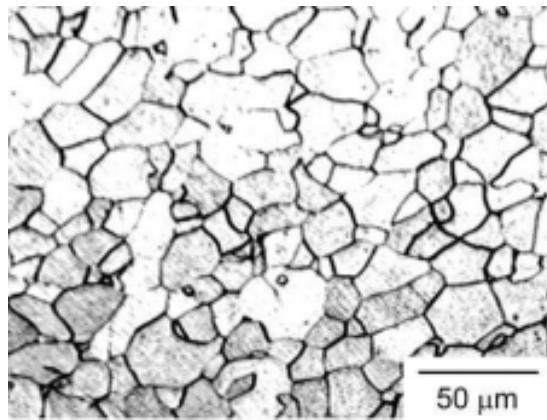
Ocel s 0,01 % C (č. 1 na obrázku 3). Při tuhnutí vzniká nejprve δ -ferit, který se při dalším ochlazení transformuje na austenit (γ). V úzkém teplotním rozmezí kolem teploty 910°C dochází k přeměně austenitu na α -ferit. Mikrostruktura oceli po ochlazení na pokojovou teplotu je tedy tvořena zrný feritu (obrázek 4). Taková struktura se nazývá feritická. Jak bylo uvedeno dříve, rozpustnost uhlíku ve feritu za pokojové teploty je extrémně nízká, proto se během ochlazování feritu na hranicích zrn vylučuje tzv. terciální cementit. Částice této fáze jsou velmi malé a v mikrostruktuře oceli na obrázku 4 a nejsou vidět. [3]



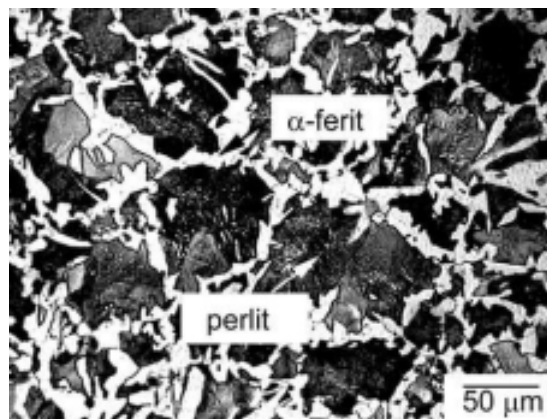
Obrázek 3: Část metastabilního diagramu Fe-Fe₃C s vyznačením uhlíkových ocelí s různými obsahy uhlíku. [3]

Ocel s 0,4 % C (č. 2 na obrázku 3). Při tuhnutí této oceli nejprve krystalizuje δ -ferit (interval B-C). Následně při teplotě cca 1500°C (bod C) proběhne peritektická reakce, při níž reakcí δ -feritu s taveninou vzniká austenit. Po této reakci část nezreagované taveniny v systému zůstává a během ochlazování taveniny postupně ztuhne na austenit (bod D).

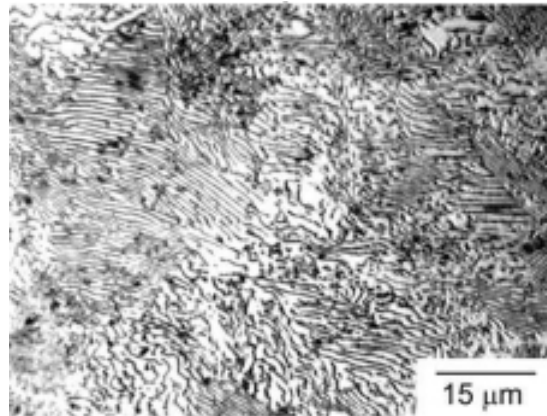
Jakmile teplota dále poklesne, začne se (bod E) z austenitu vylučovat α -ferit a austenit se obohacuje uhlíkem. Těsně na teplotou 723°C existují tedy v oceli zrna dvou tuhých fází – austenitu o obsahu uhlíku 0,8 % a α -feritu + cementitu Fe_3C . Díky tomu, že tato fázová přeměna probíhá v tuhém stavu, kde jsou difúzní rychlosti prvků relativně nízké, není při běžných ochlazovacích rychlostech (na vzduchu) dostatek času na to, aby vznikla hrubá dvoufázová mikrostruktura. Namísto toho vzniká jemná směs fází $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ s charakteristickou lamelární morfologií. Tato lamelární směs se nazývá perlit. Výchozí α -ferit, který vznikl nad teplotou 723°C , zůstává prakticky beze změny, a proto má ocel s 0,4 % C feriticko-perlitickou mikrostrukturu (obrázek 5). [3]



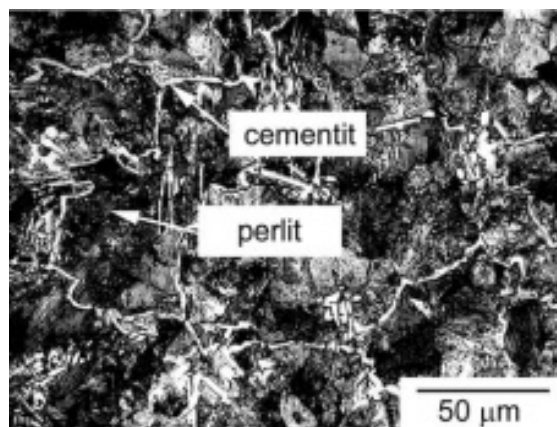
Obrázek 4: Feritická mikrostruktura oceli s 0,01 % C. [3]



Obrázek 5: Feriticko - perlitická mikrostruktura oceli s 0,4 % C. [3]



Obrázek 6: Perlitická mikrostruktura oceli s 0,8 % C. [3]

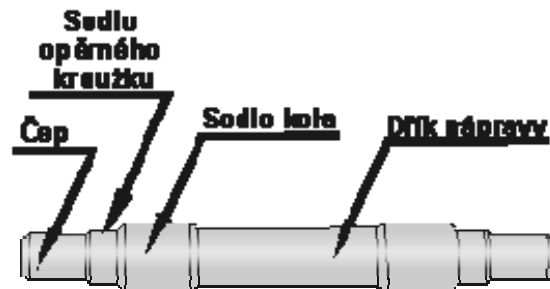


Obrázek 7: Mikrostruktura oceli s 1,5 % C, tvořena perlitickými zrny. [3]

Obrázky 4,5,6,7. Mikrostruktury ocelí ochlazených na vzduchu. Obrázek 4: feritická mikrostruktura oceli s 0,01 % C, Obrázek 5: feriticko - perlitická mikrostruktura oceli s 0,4 % C (perlit je lamelární směs α -feritu a cementitu Fe_3C a při nižším zvětšení se jeví jako tmavá zrna), Obrázek 6: perlitická mikrostruktura oceli s 0,8 % C (při vyšším zvětšení je patrná vnitřní lamelární struktura perlitu), Obrázek 7: mikrostruktura oceli s 1,5 % C tvořená perlitickými zrny (tmavé) obklopenými sítovým sekundárním cementitu (světlé) (světelný mikroskop). [3]

2 NÁPRAVA

2.1 Základní části nápravy



Obrázek 8: Základní části nápravy. [8]

Ložiskové čepy slouží k uložení ložisek a pojištění vnitřních ložiskových kroužků u valivých ložisek

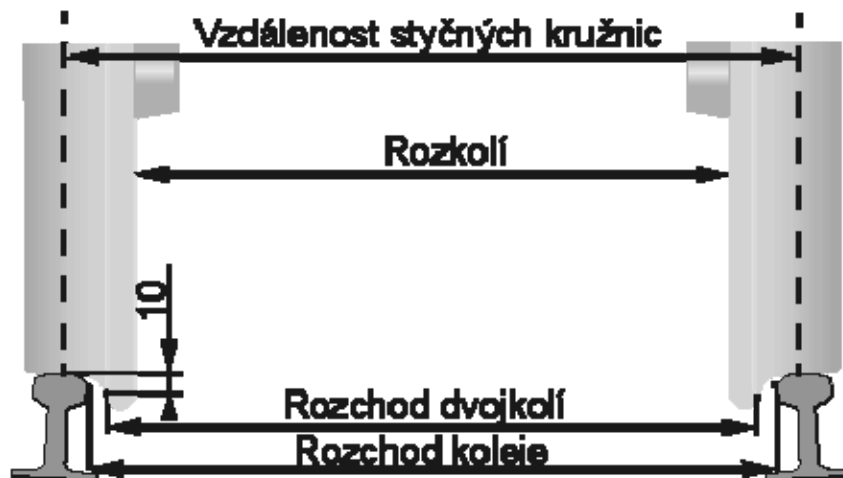
Sedlo opěrného kroužku se podílí na utěsnění ložiskové skříně

Sedlo kola slouží k upevnění kola na nápravu

Dřík nápravy je část mezi nábojovými sedly

Náprava nesmí být ohnutá. Ohnutá náprava se zjistí měřením rozkolí na třech místech pravidelně rozdělených po obvodu kola (po 120°), přičemž se vůz dvakrát posune, a měření se vykoná vždy v úrovni temene kolejnice. Je-li rozdíl naměřených hodnot větší než 2 mm, považuje se náprava za ohnutou. [8]

2.1.1 Rozkolí



Obrázek 9: Rozkolí. [8]

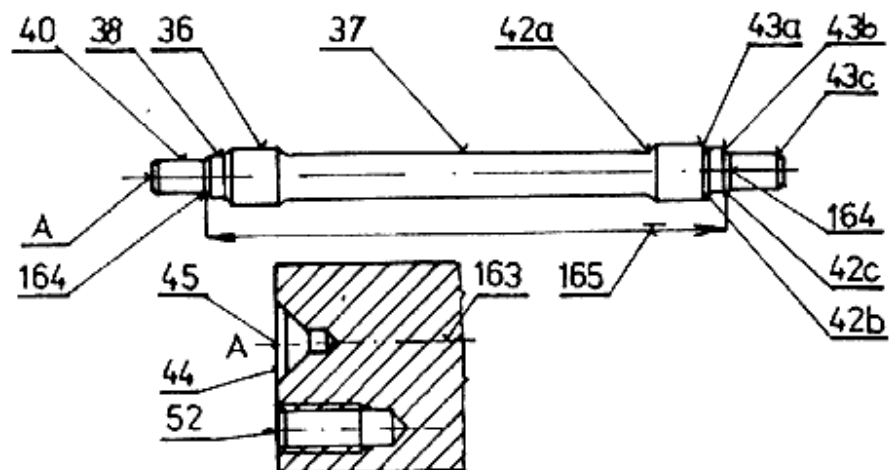
Rozkolí je vzdálenost vnitřních čelních ploch kol (obručí nebo věnců celistvých kol). Rozkolí může být nejvýše 1363 mm a nejméně 1357 mm (ČD V62). [8]

2.1.2 Rozchod dvojkolí

Rozchod dvojkolí se měří na průměru jízdní plochy o 10 mm větším, než je průměr styčných kružnic. Rozchod dvojkolí může být nejvýše 1426 mm a nejméně 1410 mm (ČD V62). [8]

2.2 Podrobnější popis nápravy

Náčrtek nápravy nám představuje její nejrozšířenější a nejjednodušší variantu vozové nápravy. Nápravy mohou mít další sedla mezi sedly kola (36), na kterých jsou nalísovány brzdové kotouče, ozubená kola nápravových ložisek, tlapová ložiska elektromotorů. Nápravy se vyrábějí kováním, upálením na přesnou délku s následným strojním opracováním soustružením a broušením sedel. Defektoskopická kontrola je prováděna magnetickou polévací metodou. Rozdílné provedení čepů ložisek souvisí s druhem ložisek. Dnes jsou dvojkolí osazena pouze nápravovými valivými ložisky různého druhu. Čepy nápravových kluzných ložisek jsou dnes již pouze u provozovaných historických vozidel. [7]



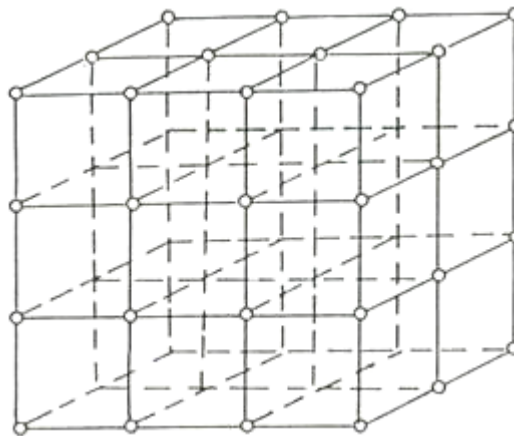
Obrázek 10: Náprava a její části. [7]

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 36 - sedlo kola | 42c - výkružek čepu ložiska |
| 37 - dřík | 43a - zaváděcí kužel sedla kola |
| 38 - sedlo opěrného kroužku | 43b - zaváděcí kužel sedla opěr. kroužku |
| 40 - čep ložiska | 44 - čelo nápravy |
| 42a - výkružek dříku | 45 - středící důlek |
| 42b - výkružek sedla opěrného kroužku | 52 - díra pro šroub koncové desky |
| 163 - osa nápravy | |
| 164 - základní hrana | |
| 165 - vzdálenost základních hran | |

3 FYZIKÁLNĚ – METALURGICKÉ ZÁKLADY TVÁŘENÍ ZA TEPLA

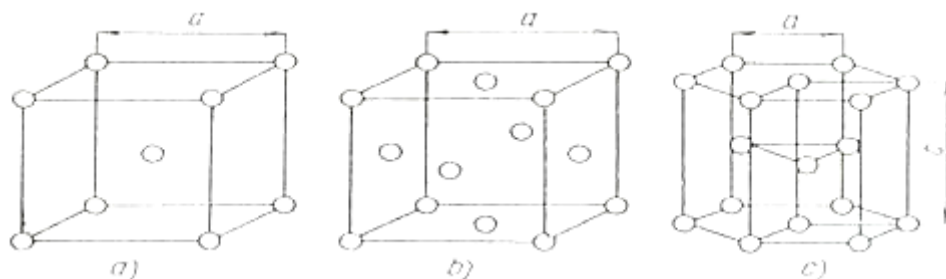
3.1 Struktura kovů

Kovy v tuhém stavu mají krystalickou strukturu. Podstatným znakem krystalické stavby je geometrická pravidelnost v rozložení atomů nebo molekul, příklad je na *obrázku 11*. [9]



Obrázek 11: Stavba krystalu. [9]

V uzlových bodech mřížky jsou molekuly, atomy nebo ionty. Existují i další typy mřížek. Nejmenší část této mřížky, na které lze prokázat zákonitost stavby celé mřížky, se označuje jako **elementární jednotka** či **buňka**. U kovů se vyskytují převážně tři typy mřížek, jejichž elementární buňky jsou znázorněny na *obrázku 12*. [9]



Obrázek 12: Elementární buňky krystalů kovů [9]:

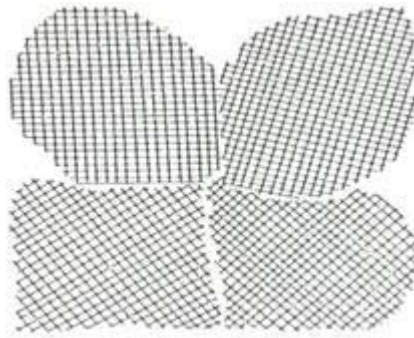
- krychlová, prostorově centrovaná mřížka;
- krychlová, plošně centrovaná mřížka;
- šesterečná, s těsným uspořádáním.

Krychlová prostorově centrovaná mřížka, též nazývaná kubická stereocentrická (KSC), má elementární buňku krychle s atomy v různých a na průsečíku tělesových úhlopříček. Krychlová plošně centrovaná mřížka, též označovaná jako kubická placentrická (KPC), má elementární buňku s atomy v rozích krychle a uprostřed stěn. Šesterečná, též hexagonální s tělesným uspořádáním (HTU), má element tvaru šestibokého hranolu, atomy se nacházejí ve vrcholech, uprostřed základen a tři atomy jsou uvnitř. Velikost elementární buňky je u krychlové mřížky charakterizována délkou hrany **a**, u šesterečné mřížky je charakterizována délkou hrany základny **a** a výškou **c**. Údaje o krystalové mřížce běžných kovů jsou v *tabulce 2*. [9]

Tabulka 2: Parametry krystalických mřížek technicky důležitých kovů. [9]

kov	rozsah teplot, °C	typ mřížky	parametry, nm
železo α	do 912	KSC	$a = 0,287$
železo γ	912 - 1394	KPC	$a = 0,365$
železo δ	1394 - 1538 (b.t.)	KSC	$a = 0,293$
zinek	do 420 (b.t.)	HTU	$a = 0,266; c = 0,495$
měď	do 1085 (b.t.)	KPC	$a = 0,361$
hliník	do 660 (b.t.)	KPC	$a = 0,405$
nikl	do 1455 (b.t.)	KPC	$a = 0,352$
olovo	do 328 (b.t.)	KSC	$a = 0,330$
cín α (šedý)	do 13	kubická	$a = 0,650$
cín β (bílý)	13 - 232 (b.t.)	hexagonální	$a = 0,350; c = 1,133$
chróm	do 1857 (b.t.)	KPC	$a = 0,288$
kobalt ϵ	do 400	HTU	$a = 0,251; c = 0,407$
kobalt α	400 - 1494 (b.t.)	KPC	$a = 0,354$

Čisté železo a mnohé další kovy mění krystalovou mřížku v závislosti na teplotě. Cín má při nízké teplotě sice kubickou mřížku, avšak odlišnou od mřížek na *obrázku 13*, tato modifikace nemá kovový charakter. [9]



Obrázek 13: Schéma struktury polykrystalického kovu. [9]

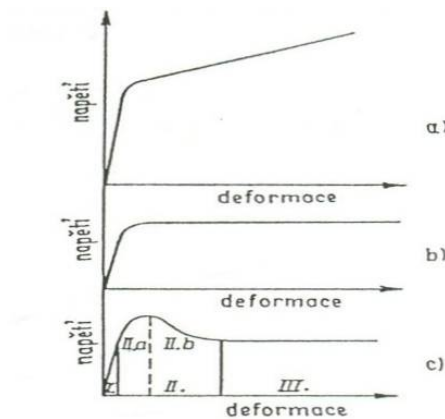
Krystaly u běžných technických kovů jsou malé a většinou mají velikost menší než 1 mm a mají nepravidelný tvar. Technické kovy jsou tedy polykrystalické látky a jejich struktura je schematicky znázorněna na *obrázku 13*. [9]

3.2 Křivky napětí – deformace

Průběh plastické deformace lze názorně charakterizovat závislostí deformace na napětí. V průběhu deformace musíme zvyšovat napětí. Vysvětlujeme si to tím, že v krystalech se hromadí poruchy, které znesnadňují skluz. Tomuto jevu říkáme **zpevnění**. V kovu však probíhají též **uzdravovací procesy**, při nichž se počet poruch krystalické mřížky snižuje. Uzdravovacím procesem je buďto zotavení, při němž se především působením difúze snižuje množství vad. Druhým uzdravovacím procesem je **rekrytalizace**. Při určitém nahromadění vad se začnou objevovat nová zrna a tím se objevuje struktura. Tento proces se skládá ze dvou fází: tvorby zárodků nových zrn neboli nukleace a z jejich růstu. [9]

Při tváření za studena uzdravovací procesy neprobíhají, proto se brzy dostaneme do stavu, kdy už další deformace není možná, dochází k porušení kovu. Abychom tomu předešli, zařazuje se tepelné zpracování, označované jako **rekrytalizační žihání**, při němž vzniknou nová zrna s relativně malým počtem vad, a tváření může pokračovat. Při tváření za tepla vzniklé poruchy krystalové mřížky mohou odstraňovat uzdravovací procesy ihned během deformace. Tomuto jevu říkáme **dynamické zotavení**. Pokud se tvoří nová zrna, mluvíme o **dynamické rekrytalizaci**. Tyto procesy mohou probíhat též po skončení plastické deformace za tepla, pak je nazýváme **postdynamické neboli statické**. [9]

Průběh deformačního zpevnění a probíhající recesů (zpevňovacích a uzdravovacích) lze sledovat na křivce závislosti deformačního napětí a velikosti deformace při konstantní deformační rychlosti. Pro dané účely jsou vhodné výsledky z krutových plastometrů, tahových nebo tlakových. Příklady těchto křivek jsou na *obrázku 14*. [9]



Obrázek 14: Typy závislosti deformace – napětí [9]:

- a) deformace za studena;
- b) ideální deformace za tepla;
- c) reálná deformace za tepla;

Křivka typu **a** odpovídá podmínkám tváření za studena. Po dosažení meze kluzu začne probíhat plastická deformace, v krystalické mřížce se hromadí poruchy (především dislokace). Jelikož neprobíhají žádné uzdravovací procesy, napětí potřebné pro deformaci stále narůstá. **Za deformaci za studena** lze považovat tvářecí proces, který probíhá při teplotě [9]:

$$T < 0,3T_i,$$

kde T teplota deformace,

T_i teplota tání.

V oceli je to tedy asi teplota do 400 °C, naproti tomu u olova je tváření při pokojové teplotě již tvářením za tepla. [9]

Reálné podmínky tváření za tepla vyjadřuje křivka c. Po pružné deformaci dochází nejdříve ke zpevňování, po dosažení určitého maxima σ převládá změkčování, při kterém napětí klesá na minimum a má již konstantní hodnotu nezávislou na změkčovacím mechanismu ε . [9]

Deformační křivku reálného procesu deformace za tepla můžeme rozdělit na tři základní oblasti [9]:

Oblast I – oblast pružné deformace

Oblast II – oblast neustálého plastického toku:

IIa – oblast zpevňování

IIb – oblast změkčování

Oblast III – oblast ustáleného plastického toku

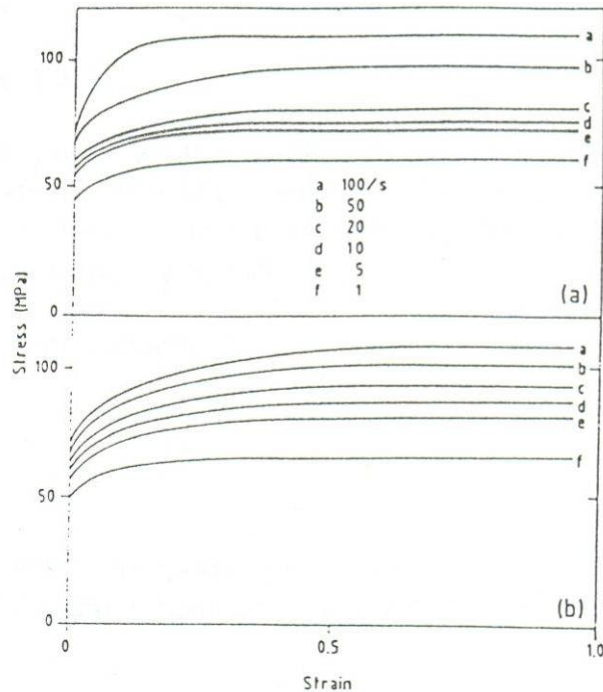
3.3 Uzdravovací procesy

Podle současných názorů mohou probíhat při tváření za tepla dva již výše zmíněné základní procesy, a to [9]:

- dynamické zotavení
- dynamická rekrytalizace

Dynamické zotavení je hlavním uzdravovacím procesem v oblasti teplot 0,3 až 0,4 T_t .

Charakteristické křivky napětí – deformace, jsou znázorněny na *obrázku 15*. [9]

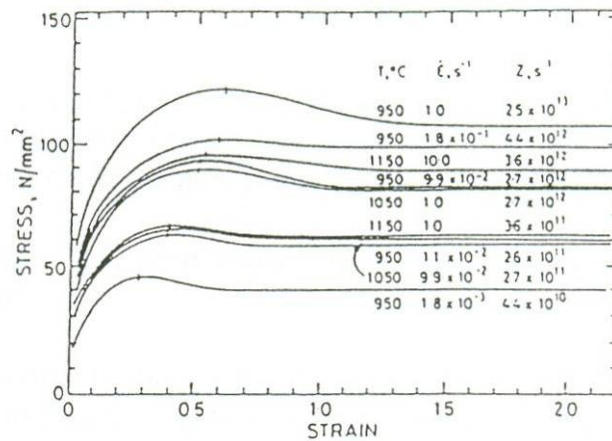


Obrázek 15: Křivka napětí – deformace pro slitinu Al – 1% Mg měřena pýchovací zkouškou při 400° C při různých deformačních rychlostech. [9]

Při vyšších teplotách deformace se uplatňuje dynamická rekrytalizace. K jejímu nastartování dochází až po dosažení kritické deformace ε_{cr} . [9]

Rekrytalizační proces obsahuje nukleaci zárodků a jejich růst. Po nastartování dynamické rekrytalizace vznikají zárodky nepřetržitě, růst zrn je však omezen. Po dosažení určité velikosti již dál nerostou. To je zásadní rozdíl oproti statické rekrytalizaci, kde nová zrna rostou tak dlouho, až se stětnou se sousedními. [9]

Křivka napětí – deformace pro případ dynamické rekrytalizace je znázorněna na obrázku 16. [9]



Obrázek 16: Křivka napětí – deformace pro nízkolegovanou ocel stanovená krutovou zkouškou. [9]

Tvářený materiál se zpevňuje, křivka napětí vzrůstá. Těsně před dosažením vrcholu nastoupí dynamická rekrytalizace. Růst nových zrn se projeví poklesem napětí, až po určité době se napětí ustálí na hodnotě σ_{ss} . [9]

Po skončení tváření za tepla probíhají změkčovací procesy dále. Jedná se o statické zotavení a statickou rekrytalizaci. Může docházet i k růstu dynamicky rekrytalizovaných zrn, tento proces nazýváme **metadynamická rekrytalizace**. [9]

3.4 Precipitační procesy

V oceli mohou být prvky, především se jedná o uhlík a dusík, které jsou při určité teplotě rozpouštěné v tuhém roztoku. Při ochlazování však jejich rozpustnost klesá, vylučují se z tuhého roztoku většinou ve formě malých částíček karbidů, nitridů nebo karbonitridů. Tento proces nazýváme precipitace. [9]

Při tváření se mohou objevit tyto typy precipitace [9]:

- statická
- dynamická
- deformací indukovaná.

Statická precipitace probíhá při tepelném zpracování. Dynamická precipitace probíhá během tváření, deformací indukovaná precipitace probíhá bezprostředně po skončení deformace. [9]

Vzniklé částice mohou výrazně ovlivnit vlastnosti. Především zvyšují pevnost a výrazně snižují plastické vlastnosti. Tento účinek je způsoben tím, že precipitace předbílá uzdravovací procesy a zpomaluje jejich průběh. Dále působí to, že precipitáty vznikají na hranicích zrn a na kluzných rovinách a tím blokují kluzový mechanismus. [9]

Při tváření vznikají poruchy krystalické mřížky, které slouží jako nukleární místa pro precipitaci. Díky tomu může být vzniklý precipitát velmi jemný, což je nejpříznivější. Při následném ohřevu se jemné precipitáty snadno rozpouštějí. [9]

Při precipitaci vznikají většinou tyto sloučeniny: NbC, Nb(CN), VC, VN, TiC, TiN, AlN, Ti(CN), Cr₂₃ C₆ apod. [9]

Precipitace nepříznivým způsobem ovlivňuje svařitelnost oceli. Může být však vítána pro zvyšování pevnosti hotových výrobků a můžeme ji využít i pro zjednodušení následujícího tepelného zpracování. [9]

Nepříznivý vliv precipitace na svařitelnost lze odstranit [9]:

- snížením obsahu uhlíku a dusíku v oceli,
- přísadou tzv. stabilizačních prvků (Ti, Zr a dalších), které vytvářejí s uhlíkem a dusíkem sloučeniny stabilní za vysokých teplot,
- tváření vyššími rychlostmi, precipitace vyžaduje určitou dobu, při velké rychlosti deformace neproběhne,
- ohřevem na nižší teploty (uhlík a dusík nepřejdou plně do tuhého roztoku).

3.5 Řízené tváření a ochlazování

Po tváření za tepla zpravidla následuje tepelné zpracování výrobku. Je pochopitelné, že se vyvíjí úsilí nahradit toto tepelné zpracování vhodným režimem ochlazování výrobku. Toto se podařilo především u mikrolegovaných ocelí. [9]

Mikrolegováním se rozumí přidávání malého množství přísad, řádově v setinách procent, které za určitých podmínek příznivě ovlivňují vlastnosti oceli. Těmito přísadami

jsou nejčastěji vanad, niob a titan, výjimečně i jiné prvky jako např. zirkon nebo bór. [9]

Mikrolegury vytvářejí karbonitridy a nitridy, které se rozpadávají až při vysokých teplotách, tím při ohřevu před vytvářením brzdí růst austenitického zrna, při vlastním tváření brzdí rekrytalizaci a při ochlazování působí jako krystalizační zárodky feritu. Následkem toho mají tyto oceli obzvlášť při tváření za nižších teplot velmi jemnou strukturu, což příznivě ovlivňuje jak pevnostní, tak plastické vlastnosti. Nejúčinnější je v tomto směru kombinovaný karbonitrid vanadu a niobu (V, Nb), (C, N), který způsobuje, že oceli se středním obsahem uhlíku, legované manganem a komplexně mikrolegované V + Nb, mají po tváření při 800 °C velikost zrna 12 až 14 dle ASTM. [9]

Dalším příznivým účinkem mikrolegování je, že karbidy, které se při ohřevu na tvářecí teplotu rozpustily, při ochlazování precipitují jako velmi jemné částice ve feritu, a to jak v proeutektoidním tak perlitickém. Tím zvyšují pevnost a především vrubovou houževnatost. [9]

Dodržení nízkých teplot při konci tváření a zrychlené ochlazování, které je podmínkou dosažení dobrých mechanických vlastností bez tepelného zpracování, lze nejnázve dosáhnout při válcování. Proto se z mikrolegovaných ocelí nejdříve začaly vyrábět plechy.

Doválcovací teplota se reguluje buďto volbou teploty ohřevu nebo ochlazováním během válcování. [9]

Další oblast, kde se řízené válcování uplatnilo, jsou tvářecí linky pro výrobu zápusťkových výkovků. Hotové výkovky nelze v tomto případě ochlazovat v bednách. Ukládají se na rošty a případně se ještě ochlazování urychluje pomocí ventilátoru. [9]

První mikrolegované oceli používané na zápusťkové výkovky, dnes nazývané oceli první generace, měly obsahovat 0,3 – 0,5 % uhlíku. Dodnes je tato skupina nejrozšířenější a nejužívanější. Při obsahu uhlíku na horní hranici je vyšší pevnost, při nižším obsahu je lepší vrubová houževnatost a je hrubší zrno. Obsah manganu se pohybuje okolo 1%, někdy se zvyšuje i obsah křemíku, a to na 0,85 %. Příklady ocelí jsou v *tabulce 3*.

Tabulka 3: Chemické složení a mechanické vlastnosti vybraných mikrolegovaných ocelí. [9]

materiál	chemické složení [%] hmotnosti								vlastnosti					poznámka
	C	Mn	Si	P	S	V	Nb	Ti	Re [MPa]	Rn [MPa]	A ₅ [%]	Z [%]	KCV [J/cm ²]	
13 242	0,43	1,46	1,21			0,13			689 863	976 1117	11 16	19 47	17	
12 140	0,30 0,38	0,6 0,85	0,17 0,37	max. 0,035	max. 0,035	0,08 0,15			min. 284	min. 510	min. 20		min. 34	velké výkovky
13 124	0,16 0,23	1,3 1,6	0,20 0,40	max. 0,04	max. 0,04	min. 0,08			min. 343	549 649	min. 16		min. 49	velké výkovky
27 MnSi VS6	0,25 0,30	1,4 1,6	0,5 0,8	max. 0,035	0,03 0,05	0,08 0,13			min. 550	800 950	min. 14	min. 30	min. 48	zápustkové výkovky
44 MnSi VS6	0,42 0,47	1,3 1,6	0,5 0,8	max. 0,035	0,02 0,035	0,10 0,15			min. 600	950 1100	min. 10	min. 20	min. 54	zápustkové výkovky
11 483	0,16 0,20	1,15 1,35	0,35 0,50	max. 0,04	max. 0,04			0,06 0,10	závisí na tloušťce				tlusté plechy	
HSLA	0,06	0,8		0,012	0,006		0,02	0,08	min. 500					tenké plechy

4 TECHNOLOGICKÝ PŘEDPIS PRO TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ NÁPRAV ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL

K dosažení požadované struktury a mechanických vlastností materiálu náprav se používají následující postupy tepelného zpracování. [4]

4.1 Normalizační žihání náprav

Účelem normalizačního žihání je zjemnění hrubého zrna austenitu, které se v oceli může vytvořit při tváření vlivem relativně vysokých dokovacích teplot. Rovněž vliv rozdílů teplotních režimů při kování mezi povrchem a středem průřezu náprav má vliv na rozdíly ve velikosti zrna po průřezu náprav. Dokovací teplota, stupeň přetváření a rychlost ochlazování po tváření nejsou stejné u všech výrobků a často jsou různé i v různých částech jednoho výkovku. Proto mohou mít jednotlivé výrobky po svém průřezu různě velké zrno a mohou se různě chovat při následujícím tepelném zpracování. Normalizačním žiháním se vytvoří nejen zrno jemnější, ale i stejnoměrně velké, obvykle se jedná o směs feritu a perlitu s příznivými mechanickými vlastnostmi. Normalizační žihání podeutektoidních ocelí je ohřev na teplotu o 30 až 50°C nad bodem přeměny A_{c3} , výdrž na této teplotě a následující volné ochlazení na vzduchu. [4]

Při průběžném krokovém sázení náprav probíhá setrvání na teplotě během průchodu 3. a 4. pásmem pece. [4]

4.2 Kalení a popouštění náprav

Účelem kalení je zvýšit tvrdost oceli a u vysoce namáhaných konstrukčních součástí z ušlechtilých ocelí jde o získání co nejlepší kombinace pevnosti a houževnatosti. Jedná se o ohřev nápravy min. 30°C nad teplotu A_{c3} , výdrž na této teplotě a následující tak rychlé ochlazení, že se případné rovnovážné přeměny více či méně potlačí. Rychlým ochlazením z kalící teploty se přemění austenit na martenzit nebo bainit. Některé oceli s výraznou oblastí bainitické přeměny se kalí úmyslně tak, že ve výsledné struktuře je po zakalení značný podíl bainitu, jenž může významně přispět ke zvýšení houževnatosti. Kalící teplota se stanovuje přibližně 30 až 80°C nad teplotou A_{c3} . Kalícím médiem při tepelném zpracování železničních náprav je voda. [4]

Popouštění je ohřev kaleného předmětu na teplotu vyšší, než je obvyklá teplota místnosti, nejvýše však na teplotu těsně pod bodem A_{c1} , výdrž na této teplotě a následující ochlazení vhodnou rychlostí. Popouštění náprav se provádí při teplotě $450\text{ °C} \div 680\text{ °C}$ v předepsané časové výdrži. Popouštěním se snižuje vnitřní pnutí vzniklé při kalení a dosahuje se požadovaných mechanických vlastností. [4]

4.3 Dvojitý normalizační žíhání náprav a popouštění

Jedná se o postup tepelného zpracování dle americké normy AAR M101. Normalizační žíhání se provádí 2x, přičemž při druhém je teplota o $20\text{ °C} \div 40\text{ °C}$ nižší. Normalizační žíhání přináší zjemnění zrna a to v obou stupních. Nižší teplota před normalizací přináší jemnější zrno, což znamená zlepšení pevnostních vlastností i houževnatosti náprav. Po každém normalizačním žíhání nápravy vychladnou na teplotu okolí. Poté následuje popouštění. [4]

4.4 Normalizační žíhání náprav a popouštění

4.5 Normalizační žíhání náprav, kalení a popouštění

Jedná se o postup tepelného zpracování dle americké normy AAR M101. Normalizační žíhání před kalením zjemňuje a zrovnoměrňuje zrno, což zlepšuje výsledné mechanické vlastnosti a mikrostrukturu náprav. [4]

5 TECHNOLOGIE VÝROBY SUROVÝCH NÁPRAV V BONATRANS GROUP A.S.

Výrobní proces v Bonatrans Group a.s. zahrnuje jak výrobu surových náprav, kol a obručí ze surového materiálu, tak jejich následné obrábění a montáž. [4]

5.1 Příchod, skládání, skladování a kontrola výchozího materiálu

Výchozí materiál pro výkovky náprav - bloky čtvercového nebo předvalky kruhového průřezu - je do objektu kovárny dopravován na vagónech po železniční vlečce. [5]

Průměry u kruhových předvalků jsou 180 až 250 mm, u bloků čtvercového průřezu jsou rozměry od 150 x 150 do 280 x 280 mm, výjimečně 300 x 300 mm. O rozměrech, tolerancích, hmotnostech a ostatních požadavcích pojednávají technické dodací podmínky uzavřené s dodavateli. [5]

Kruhový materiál je dodáván v násobných délkách. V tomto případě se předvalky dělí na pásové pile PEHAKA ROBOTER 440 Z. [5]

Bloky čtvercového průřezu jsou dodávány buď v základních délkách s rozměrovými tolerancemi anebo v hmotnostních skupinách s povolenou hmotnostní odchylkou, výjimečně i v násobných délkách. [5]

Materiál, dodaný v násobcích délek je ukládán do skladovacích boxů tak, že v boxu je uložena jedna tavba, v případě skladovací nouze maximálně dvě tavby. Výška skladovaného materiálu nesmí přesáhnout výšku boxů. Materiál v základních délkách čtvercového průřezu je ukládán ve vrstvách, které jsou proloženy mezi sebou dřevěnými hranoly. Výška skladovaného materiálu nesmí v tomto případě přesáhnout výšku 2 m. Každý blok nebo předvalek musí být od výrobce na čele označen tak, jak je stanoveno v technických dodacích podmínkách. [5]

Veškerá manipulace s výchozím materiálem se provádí mostovým jeřábem za pomoci elektromagnetu. [5]

5.1.1 Klasifikace materiálů na nápravy

Materiál na nápravy je stanoven požadavky odběratele náprav. Požadované chemické složení je definováno v materiálových listech TŽ, rozměry a tvary v technických dodacích podmínkách TŽ. Jsou používány materiály pro výrobu náprav odpovídající před-

pisům mezinárodních norem. Podle normy EN 13261 se dodávají nápravy jakostí EA1N (normalizačně žíhané) a EA4T (kalené a popouštěné). Podle normy UIC 811-1 jsou dodávány následující jakosti [4]:

A1N - normalizačně žíhané

A1T - kalené a popouštěné

A3N - normalizačně žíhané

A3T - kalené a popouštěné

A4T - kalené a popouštěné

A5T - kalené a popouštěné

5.1.2 Příprava náprav k tepelnému zpracování

Prodleva mezi vykováním a upálením konců nápravy a jejím nasazením do krokové pece za účelem tepelného zpracování musí být minimálně 1 hodinu. Tato prodleva je dána dobou pohybu náprav na chladníku, kdy musí vychladnout na povrchovou teplotu max. 540°C. Tato povrchová teplota představuje provozně bezpečnou mez pro ochlazení průřezu náprav na max. teplotu pod A_{c1} . [4]

Nápravy jsou posouvány průběžně v zónách pece [4]:

0. zóna - bez ohřevu

1. zóna - předeřev

2. zóna - ohřev

3. zóna - setrvání na teplotě

4. zóna - setrvání na teplotě

5. zóna - vyrovnávací (zamezuje prudkému úniku tepla při otevření vrat)

Teplota v zónách se nastavuje například [4]:

Pro normalizační žíhání a ohřev na kalící teplotu:

0. zóna bez vytápění

1. zóna	820 °C
2. zóna	820 °C - 860 °C
3. zóna	840 °C - 880 °C
4. zóna	840 °C - 880 °C
5. zóna	840 °C - 880 °C

Pro popouštění [4]:

0. zóna	bez vytápění
1. zóna	520 °C - 620 °C
2. zóna	540 °C - 630 °C
3. zóna	570 °C - 640 °C
4. zóna	570 °C - 640 °C

Uvedené teploty jsou orientační. V praxi má každý typ nápravy teploty v jednotlivých zónách, jakož i délku pobytu v peci přesně stanoveny. [4]

Na stanovení režimů tepelného zpracování náprav se podílí [4]:

- jakost materiálu (A1N, A1T, A4T, A5T, GRADE „F“ apod.)
- \varnothing čepů a sedel (mm)
- hmotnost nápravy (kg)

Režimem tepelného zpracování se rozumí délka pobytu v peci (náhřev a setrvání na teplotě), délka kalení, teplota vody ke kalení, popouštěcí teplota a délka setrvání na popouštěcí teplotě. [4]

Normalizační žihání a ohřev na kalicí teplotu – celková doba pobytu v peci [4]:

- celkové pobytu náprav v peci jsou: do 550 kg	- 6 h
od 551 kg do 750 kg	- 6,5 h
nad 750 kg	- 8 h

5.2 Ohřev materiálu v peci

Kroková ohřívací pec 2,5 x 14 m je určena pro ohřev předvalků na kovací teplotu 1250 °C. V peci se může současně ohřívat buď 30 ks kruhových předvalků, nebo 40 ks čtvercových bloků □ 180, □ 220 mm. Počet čtvercových bloků ostatních rozměrů (□ 250 mm, □ 280 mm, 300 x 300 mm) se dává podle přípustného zatížení nístěje. [5]

Na vstupní straně pece je šikmý stůl a podávací zařízení. Z kontrolního roštu po proměření a vyřazení vadných, jsou předvalky v množství 2-4 ks odebírány mostovým jeřábem pomocí elektromagnetu a kladeny na stůl s podávacím zařízením. Kapacita podávacího stolu je 4 - 8 předvalků nebo bloků. Na výstupní straně je vyjímána ohřátá vsádka mechanickým ramenem a pokládána na dopravník. [5]

Vlastní pec je průběžná s posuvem vsázky pomocí krokového mechanismu tvořeného pevnou nístějí a jedním širším pohyblivým trámcem, rozděleným uprostřed kloubově na dvě části. Trámeč a pevná nístěj jsou lemovány žáruvzdornými odlitky a opatřeny žáru-betonovou vyzdívkou, ve které jsou prohlubně pro fixaci vsázky během ohřevu. Na vstupních dveřích je stínící řetězová clona. Nístej je opatřena těsníci vodními žlaby. V bočních stěnách jsou manipulační a pozorovací okénka s dvířky. Potřebný tepelný příkon je do pece dodáván vířivými hořáky v bočních stěnách pece. Palivem je degazační nebo zemní plyn. Pec je vybavena automatickou regulací teploty a spalovacího poměru ve 3 pásmech. Přístroje pro sledování a vedení provozu pece jsou soustředěny po boku pece a v kabině kovacího lisu. [5]

5.3 Kování náprav na kovacím lise CKN 800

Ohřátý předvalek nebo blok na teplotu 1250 °C je vyjímán z krokové pece na zesílený válečkový dopravník, tímto je dopraven na točnu, kde je předvalek zastaven sklopným nárazníkem, otočen o 90° a poté zatlačen pneumatickou tlakou do odokujňovačů. [5]

Odokujňovače slouží k odstranění okují. Správná funkce odokujňovačů je naprosto nutná k dosažení jakostního povrchu surových náprav. Při průchodu odokujňovačema se blok nebo předvalek nejdříve mechanicky (rotujícími řetězy) zbaví nejsilnější vrstvy okují a pak se ostříkuje tlakovou vodou. Okuje jsou splachovány do okujové jímky. [5]

Blok, předvalek po vyjetí z odokujňovačů je dále dopravován válečkovým dopravníkem ke kovacímu lisu, kde je zastaven na dopravníku pevným stavitelným nárazníkem,

zatlačen tlačkou na podávací stůl, jehož vychýlením se dostane do osy manipulátoru. Po uchopení do čelistí manipulátoru může začít operace kování. [5]

Minimální teplota předvalku před zahájením kování není stanovena. Je limitována pouze silou kovacího lisu resp. možností dokování nápravy. [5]

V praxi se nedoporučuje začít kovat nápravu z materiálu, který je déle než 4 minuty mimo ohřívací pec. [5]

5.4 Upalování konců náprav

Vykovaná náprava po otočení na točně je dopravena válečkovým dopravníkem a tlačkou na stůl kyslíkového řezacího stroje MESSER. Řezací kyslíkový stroj MESSER (dále jen pálicí stroj) slouží k upalování konců čepů náprav, čímž se dosáhne předepsané délky nápravy. Je napojen na zemní plyn a centrální rozvod kyslíku. Pokud to situace vyžaduje, musí obsluha nápravu usadit na stole tak, aby její osa byla rovnoběžná s osou podélného pojezdu pálicího stroje. Poté podélným popojížděním ustaví pálicí stroj pomocí hrotového měřidla - hrábí tak, že tyto jsou ustaveny na pomyslný střed nápravy. Tímto je zároveň řezací hořák nastaven na místo řezu prvního čepu dle typu nápravy. [5]

Následně obsluha nastaví pravítko na doraz ke stroji a zaaretuje ho. Po upálení odpadu prvního čepu se pálicí stroj po kolejnicích motorovým pohonem přesune ke druhému čepu nápravy, u kterého je zastaven po dosažení předepsané délky. Nájezd je stavitelný a představuje se dle požadované délky, dle typu nápravy. [5]

Poté je upálen konec druhého čepu a náprava je vytlačena na dopravník, přesunuta na krokový dopravník a na prvním kroku je provedeno naražení čísla tavby na čelo nápravy a pořadové číslo nápravy. Celková délka nápravy po upálení je dána v tvářecím postupu. Pro kontrolu správně uřezané celkové délky nápravy je na pálicím stroji Messer nainstalováno kontrolní zařízení, které číslicemi na displeji informuje obsluhu o uřezané délce nápravy.[5]

5.5 Tepelné zpracování náprav

Náprava po vykování a po upálení konců chladne na dopravním systému pracoviště řezacího stroje a na krokovém chladníku. Na krokovém chladníku musí chladnout nejméně

jednu hodinu. Na počátku krokového chladníku je na čelech vyraženo číslo tavby a číslo KP, pořadové číslo nápravy a typ materiálu. Rychlost pohybu náprav se reguluje ručně na variátoru. Spouštění a zastavování chladníku se provádí tlačítky, umístěnými na pultu obsluhy pálicího stroje, nebo taky před vstupem do krokových žihacích pecí. [5]

Po vychladnutí se nápravy tepelně zpracovávají v krokových žihacích pecích. Krokové žihací pece jsou dvě. Účelem tepelného zpracování je získání požadované struktury a mechanických vlastností vyrobené nápravy. [5]

Náprava z krokového chladníku se skutálí na válečkový dopravník, který ji dopraví před krokovou pec. Doprava k pecím je volitelná, buď k jedné nebo ke druhé peci. U pece je náprava zastavena sklopným nárazníkem. Podávací zařízení - tlačky ovládané vzduchovým válcem, zatlačí nápravu z dopravníku po šikmé ploše na vstupní plošinku pevné nístě-je pece. [5]

Vlastní ohřev při tepelném zpracování má určité zvláštnosti vzhledem k ohřevu před tvářením za tepla. Je to především teplota ohřevu, při ohřevu před kováním a válčováním je ohřívací teplota podstatně vyšší než teplota A_{c3} (s výjimkou vysokouhlíkových ocelí), kdežto u ohřevu při tepelném zpracování je tato teplota překročena jen o několik desítek stupňů. Orientační teploty ohřevu pro žihání, normalizaci a kalení uhlíkových ocelí uvádí *tabulka 4*. [9]

Tabulka 4: Orientační teplotní rozmezí ohřevu při žihání, normalizaci a kalení uhlíkových ocelí.[9]

Obsah C , %	Bod A_{c_3} , °C	Teplotní rozmezí ohřevu , °C		
		pro žihání	pro normalizaci	pro kalení
0,1	875	900÷915	920÷950	-
0,2	835	850÷860	870÷835	850÷860
0,4	780	800÷820	830÷855	800÷820
0,6	750	770÷790	800÷820	770÷790
0,8	735	750÷770	780÷800	750÷770
0,9	725	740÷760	770÷785	740÷760
1,0	800	740÷760	830÷855	740÷760
1,2	895	740÷760	900÷930	740÷760
1,3	935	740÷760	920÷950	740÷760
1,5	995	740÷760	950÷1000	470÷760

Další odlišností je mnohem výraznější doba výdrže na teplotě, nezbytná nejen pro vyrovnání teplot po průřezu materiálu, ale rovněž pro uskutečnění difúzních pochodů a krystalizačních přeměn v materiálu. Podstatnou zvláštností proti ohřevu před tvářením pak je ochlazování kovu po ohřevu a výdrži na teplotě. [9]

5.6 Rovnání náprav

Rovnáání náprav po tepelném zpracování je prováděno v olejohydraulickém lise. Po skončeném normalizačním žihání se nápravy vlastní vahou vykulují na válečkový dopravník, po kterém jsou dopraveny až před rovníací lis, kde jsou zastaveny sklopným nárazníkem. Dále jsou nápravy předány shazovačem z válečkového dopravníku na podávací ramena rovníacího lisu. [5]

Podávací ramena se zvednou a předají nápravu na zásobníkový stůl. Na začátku vlastního rovníání je zvednut spouštěcí stůl lisu do horní polohy, kde je připraven k převzetí nápravy z dávkovače. Každá náprava je u dávkovače pneumatickou tlačkou zatlačena na přestavitelnou zarážku, čímž je vystředěná náprava přidělena na spouštěcí stůl. Spouštěcí stůl klesne dolů, uvolní nápravu na 2 válečky, které ji během rovníání otáčejí. Výška válečků musí být předem nastavena, aby vyhovovala průměru nápravy. [5]

Uvedením pohyblivého nosníku s čelistmi do polohy k otáčející se nápravě, přitlačení a následujícím zpětným chodem dochází k rovníání nápravy. [5]

Čelisti jsou na pevném nosníku [5]:

- 2 pevně zabudované - o tyto se náprava opírá sedly.

Na pohyblivém nosníku jsou [5]:

- 2 pevně uchycené čelisti - opírají se do nápravy v místě čepů
- 1 výměnná čelist - opírá se o dřík nápravy.

Výměnná čelist je pro každý typ nápravy jiná a její typ a rozměr je uveden v kováčím postupu pro daný typ nápravy. Zdvih pohybů lze měnit od 19 do 38 mm. Stupeň vyrovnání se sleduje vizuálně na otáčející se nápravě. Zárukou správného vyrovnání nápravy je min. 8 zdvihů pohyblivého příčníku. [5]

Po vyrovnání nápravy je pohyblivý nosník vrácen do výchozí polohy, náprava porovnání zvednuta spouštěcím stolem a při přidělování další nápravy odvalena na chladník. Náprava musí být vyrovnána nejpozději do čtyř minut po opuštění pece. [5]

V závislosti na průměrech nápravy se provádí seřízení výšky válečků. Seřízení se provádí ručními kolečky na obou stranách lisu. S pevnými čelistmi lze manipulovat tak, aby odpovídaly délce rovnané nápravy (nastavení na střed sedel), u krajních čelistí nastavení na čepy nápravy tak, aby se neopíraly o strusku, která na čepech zůstala po pálení na pálícím stroji MESSER. [5]

Po vyrovnání v případě normalizačního žíhání následuje volné chladnutí náprav na teplotu okolí na krokovém chladníku za rovnacím lisem. Tento je stejné konstrukce jako krokový chladník před žíhacími pecemi. Vyrovnané nápravy po vychladnutí jsou mostovým jeřábem ukládány odděleně do zásobníků. [5]

V případě kalených náprav je obsluha povinna zajistit co nejrychlejší dopravu a rovnání náprav, po němž musí být ihned ponořeny do vody v kalící nádrži. Dopravní zařízení musí být nastavena tak, aby ihned po vypadnutí nápravy z pece nedocházelo k prodlevám a zdržením, které by mohly zapříčinit delší dobu chladnutí náprav před ponořením do kalící nádrže. Po zakalení se ukládají taktéž na krokový chladník. [5]

5.7 Uvolňování, tryskání a expedice náprav z kovárny

Pokud mechanické hodnoty zkoušek z jednotlivých taveb náprav splňují předepsané požadavky, jsou jednotlivé tavby náprav uvolněny k dalšímu zpracování (tryskání, třískové obrábění) nebo k odeslání k odběratelům v surovém stavu. [5]

Uvolňování jednotlivých taveb náprav provádějí přejímací orgány odběratele spolu s pracovníky OŘJ. [5]

Před předáním odběrateli jsou nápravy tryskány za účelem odstranění okují a pomocí pneumatického kladiva se sekáčem odstraní zbylá struska z čepů po jejich zarovnání kyslíkovým řezacím strojem. Základní velikost zrna pro tryskač je 2,2 mm. Nápravy jsou vizuálně a rozměrově zkontrolovány, vadné vyřazeny. Kontrola se provádí při pomalém otáčení nápravy na válečcích na kontrolním stanovišti. Po kontrole jsou na nápravy nalepeny identifikační štítky s čárovým kódem dle ON č.69. Doprava na obrobnu se děje krokovým dopravníkem. [5]

5.7.1 Vybrané požadavky na plnění jakostních limitů materiálů náprav z oceli EA4T dle normy EN 13261

5.7.1.1 Přejímající zkoušky

- **Chemické složení**

V tabulce jsou uvedeny minimální a maximální přípustné hodnoty chemického složení ve výrobku v procentech. [6]

Tabulka 5: Chemické složení jakosti EA4T. [6]

Jakost	C	Si	Mn	P ^a	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
EA4T	0,22	0,15	0,50			0,90		0,15		
	0,29	0,40	0,80	0,020	0,015	1,20	0,30	0,30	0,30	0,06

^a Na požádání a při uvedení v zakázce je přípustný maximální obsah 0,025 %

5.7.1.2 Mechanické vlastnosti

- **Zkouška tahem**

Hodnoty R_e , R_m a A musí odpovídat údajům obsaženým v níže uvedené tabulce. Jedná se o hodnoty, které mají být dosahovány ve středu průřezu sedla náprav (u dutých náprav se jedná o střed vzdálenosti mezi vnějším a vnitřním povrchem sedla). [6]

Hodnoty, které mají být dosahovány v blízkosti vnějšího povrchu, musí být větší nebo rovny 0,95 násobku hodnot naměřených ve středu poloměru plných náprav (nebo ve středu vzdálenosti mezi vnějším a vnitřním povrchem dutých náprav). [6]

Hodnoty, které mají být dosahovány ve středu pevných náprav nebo v blízkosti vnitřní plochy dutých náprav musí být větší nebo rovny 0,8 násobku hodnot naměřených ve středu poloměru plných náprav nebo ve středu vzdálenosti mezi vnějším a vnitřním povrchem dutých náprav. [6]

Tabulka 6: Hodnoty pro mez kluzu, pevnost v tahu a tažnost pro jakost EA4T. [6]

Jakost	R_e [N/mm ²] ^a	R_m [N/mm ²]	A %
EA4T	≥ 420	650 – 800	≥ 18

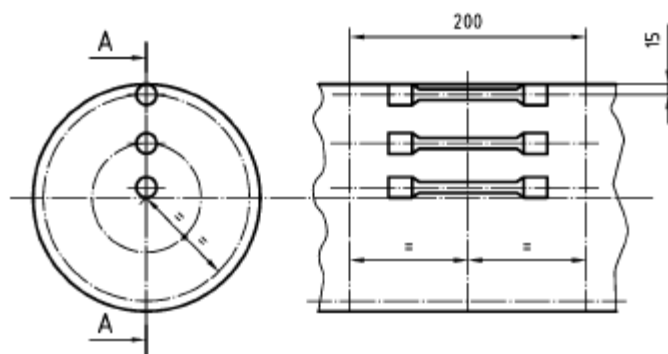
^a Není-li přítomna výrazná mez kluzu, je nutno stanovit smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$

Místa odběru zkušebních vzorků

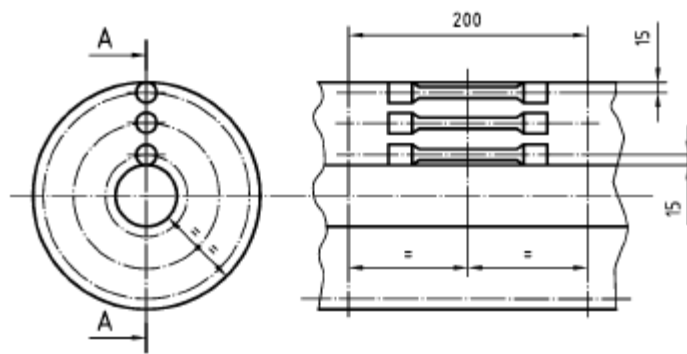
Zkušební vzorky se odebírají na třech místech v nejširším průřezu nápravy (sedlo nápravy), a to [4]:

- u všech náprav: v největší možné blízkosti vnějšího povrchu nápravy
- u plných náprav: ve středu poloměru a ve středu
- u dutých náprav: ve středu vzdálenosti mezi vnějším a vnitřním povrchem a v blízkosti vnitřní plochy

Viz obrázek 17. a 18.



Obrázek 17: Plná náprava. [6]



Obrázek 18: Dutá náprava (vzdálenosti v mm). [6]

- **Zkouška rázem**

Hodnoty energie pohlcované vzorky s U-vrubem (KU) hloubky 5 mm musí odpovídat údajům obsaženým v níže uvedené tabulce. Jedná se o hodnoty, které mají být dosaženy ve středu průřezu sedla plných náprav nebo ve středu vzdálenosti mezi vnějším a vnitřním povrchem sedla dutých náprav. Parametry zkušebních vzorků se při rázové zkoušce stanovují při teplotě 20 °C v podélném i příčném směru. [4]

U vzorků odebraných v blízkosti povrchu musí být tyto hodnoty větší nebo rovné 0,95 násobku hodnot naměřených u vzorků odebraných ve středu poloměru nebo ve středu vzdálenosti mezi vnějším a vnitřním povrchem u dutých náprav. [4]

U vzorků odebraných ve středu plných náprav, nebo v blízkosti vnitřní plochy dutých náprav musí být větší než 0,8 násobek hodnot naměřených u vzorků odebraných ve středu poloměru nebo ve středu vzdálenosti mezi vnější a vnitřní plochou. [4]

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty ze tří zkušebních vzorků odebraných ve třech místech (povrch, střed poloměru, střed). Žádná jednotlivá hodnota nesmí být nižší než 70 % hodnot uvedených v této tabulce. [4]

Tabulka 7: Hodnoty pro U vrub v podélném a příčném směru pro jakost EA4T. [4]

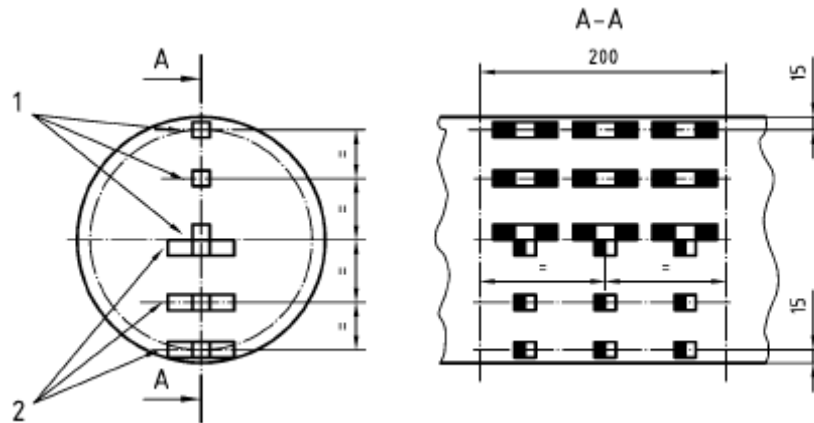
Jakost	KU v podélném směru (J) při 20 °C	KU v příčném směru (J) při 20 °C
EA4T	≥ 50	≥ 25

Místa odběru zkušebních vzorků

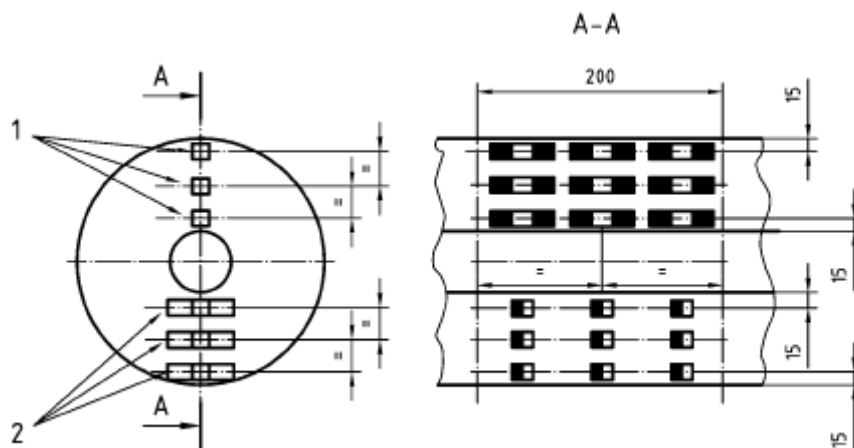
Zkušební vzorky se odebírají na třech místech v nejširším průřezu nápravy (sedlo nápravy), a to:

- u všech náprav: v největší možné blízkosti vnějšího povrchu nápravy
- u plných náprav: ve středu poloměru a ve středu
- ve středu vzdálenosti mezi vnějším a vnitřním povrchem a v blízkosti vnitřní plochy [6]

Viz obrázek 19. a 20.



Obrázek 19: Plná náprava. [6]



Obrázek 20: Dutá náprava. [6]

Kde: 1 – podélný vzorek

2 – příčný vzorek (vzdálenosti v mm)

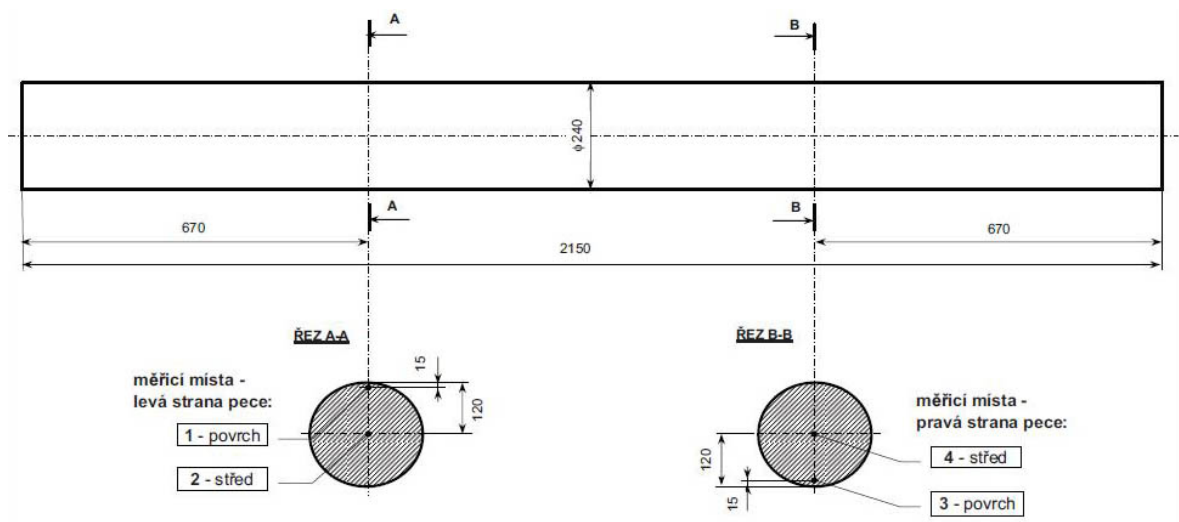
PRAKTICKÁ ČÁST

6 MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ NÁPRAVY PŘI OHŘEVU NA AUSTENITIZAČNÍ TEPLOTU PŘED KALENÍM NÁPRAV JAKOSTI A4T.

6.1 Všeobecné údaje

Cílem tohoto měření bylo experimentálně proměřit teplotní průběhy a zjistit rozložení teplot ve dvou průřezech polotovaru nápravy při jejím ohřevu na austenitizační teplotu v žíhací krokové peci č. 1. Homogenní teplotní pole v celém průřezu nápravy je předpokladem pro rovnoměrné prokalení nápravy v kalící lázni a tím dosažení předepsaných parametrů. [10]

Měřenou vsádkou byl polotovar železniční nápravy z materiálu A4 (vykováný válec o průměru 240 mm a délce 2150 mm bez čepů a sedel). Jeho schéma a rozměry, včetně vyznačení měřených průřezů, jsou uvedeny na *obrázku 21*. [10]



Obrázek 21: Základní rozměry a rozmístění měřících míst v polotovaru nápravy $\varnothing 240$ (materiál A4), Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [10]

Ohřev materiálu před kalením se provedl v krokové žíhací peci č. 1, jejíž schéma spolu s hlavními technickými parametry, rozměry, rozdělením pece na jednotlivé topné zóny a umístěním regulačních termočlánků, je uvedeno na *obrázku 22*. [10]

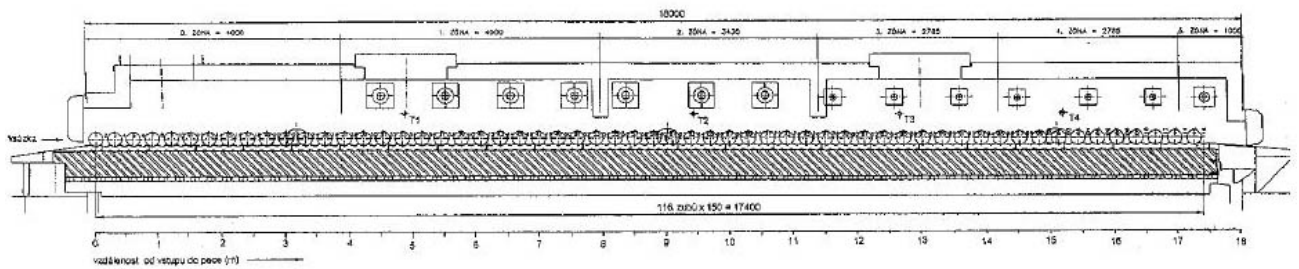
6.2 Technické údaje

Označení a přesná poloha všech měřicích míst v nápravě je zaznačena na *obrázku 23*. Rozmístění měřicích míst bylo navrženo zadavatelem. Značení je provedeno arabskými číslicemi od 1 do 4 a je voleno podle polohy zkušební nápravy v peci a směru jejího pohybu při ohřevu. Měřený průřez s měřicími místy 1 a 2 leží blíže pravé stěně pece (bráno z pohledu od vstupních dveří, tedy po směru postupu vsádky pece), měřicí místa 3 a 4 jsou naopak blíže levé stěně pece, přičemž lichá čísla se vztahují k podpovrchovým měřicím místům nápravy, sudá označují její střed (osu). Pro zjednodušení je pro měřicí místa 1 a 3 používáno označení povrch nápravy, i když měrné konce termočlánků jsou ve skutečnosti umístěny 15 mm pod povrchem polotovaru nápravy, jak je zřejmé z *obrázku 21*. [10]

K měření teploty byly použity plášťované termočlánky typu K s měřicím rozsahem $-200...+1372^{\circ}\text{C}$ o průměru pláště 3 mm a délce 20 m. Instalace termočlánků do měřené nápravy proběhla na vstupní straně pece až po jejich protažení přes celou pec těsně před nasazením zkušební nápravy na první pozici krokového mechanismu. Termočlánky byly do zvolených měřicích míst zasunuty přes osově vrtané otvory z čel polotovaru nápravy o průměru 20 mm, které byly vyvločkovány ocelovými válečky se středovou dírou 3,5 mm, kterou termočlánky procházely. [10]

Záznam signálů od všech čtyř termočlánků se přes napojené kompenzační vedení a vstupní svorky prováděl do interní paměti obrazkového zapisovače JUMO Logoscreen nt od německé firmy JUMO GmbH & Co.KG. Toto záznamové zařízení nám zároveň umožnilo vizualizaci aktuálních měřených údajů na vestavěném barevném displeji ve formě křivek i numerických hodnot. [10]

Po ukončení provozního experimentu se naměřená data z vnitřní paměti zapisovače načetla na flash disk a pak se dále zpracovávala prostřednictvím vyhodnocovacího software JUMO PCA 3000, který je součástí příslušenství obrazkového zapisovače JUMO Logoscreen nt a je určen pro správu, archivaci, vizualizaci a vyhodnocení dat z obrazkových zapisovačů. Výstupem z tohoto software byla tabulka, tvořená jednotlivými záznamy v časových intervalech zvolené vzorkovací frekvence (30 s), které obsahují vždy pořadové číslo záznamu, datum, čas a dále naměřené teplotní údaje na každém ze čtyř použitých analogových kanálů. Jednoduchým překopírováním této tabulky přes schránku do prostředí tabulkového procesoru Excel se vytvořil základ pro interpretaci naměřených výsledků jednak ve formě diagramů jako časové průběhy teplot ve všech měřených místech a také ve formě tabulky. [10]



Obrázek 22: Kroková pec č. 1 pro tepelné zpracování náprav kolejových vozidel,
Bonatrans Group a.s. - kovárna náprav. [10]

Hlavní technické parametry krokové pece [10]:

typ pece: kroková s bočním ohřevem pro tepelné zpracování náprav pro kolejová vozidla

rozměry pracovního prostoru: d – 18000 mm, š – 3200 mm, v – 1120 mm

pracovní vyzdívka - půda a stěny do úrovně 300 mm nad nístěj: žárobeton ŽO 1200

- strop a stěny: vláknitý žáruvzdorný materiál SIBRAL

palivo: zemní plyn o výhřevnosti cca 36MJ.m⁻³ a tlaku 5kPa

rekuperátor: trubkový smyčkový ŠKODA Klatovy s.r.o. s výstupní teplotou vzduchu min. 350°C

hořáky - typ: vysokorychlostní fy Kromschröder

- počet: zóna 1 - 8ks (270kW), zóna 2 - 6ks (270kW), zóna 3 - 6ks (105kW)
zóna 4 - 6ks (105kW), zóna 5 - 2ks (160kW)

Zkušební ohřev polotovaru nápravy probíhal za normálního provozu krokové žihací pece spolu s ostatní výrobou. V okamžiku nasazení nápravy na první pozici krokového mechanismu pece probíhalo normalizační žihání náprav z předchozí zpracovávané dávky s režimem, který odpovídal celkové době pobytu vsádky v peci 360 min. Pak se zpracovávala dávka náprav, kde byla technologickým předpisem předepsána celková doba pobytu vsádky v peci 420 min. Tyto skutečnosti se promítly i do celkové doby ohřevu měřené nápravy a tím i dalších technologických parametrů ohřevu (čas pro jeden krok apod.). Jediné technologické parametry ohřevu, které zůstaly po celou dobu experimentu konstantní, byly

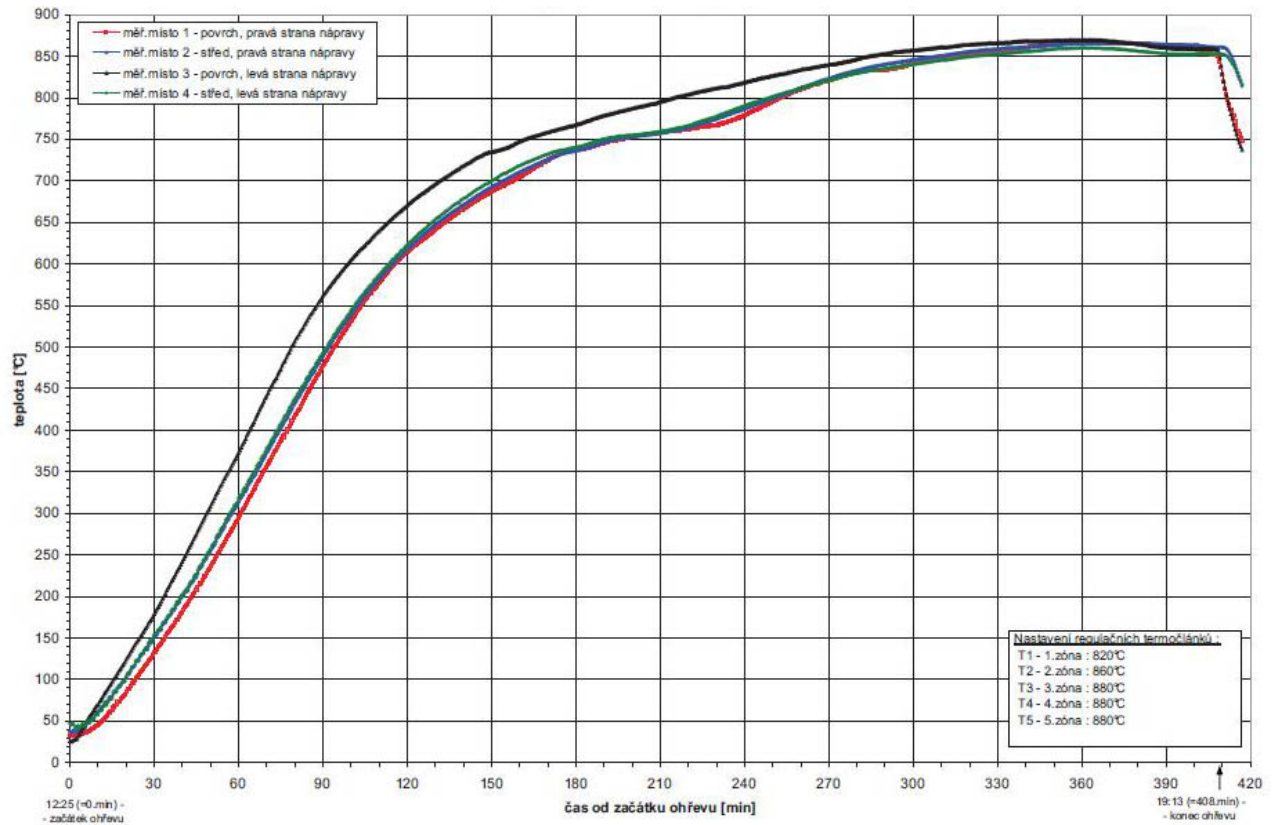
teploty na regulačních termočláncích. V jednotlivých topných zónách pece byly nastavené na tyto hodnoty [10]:

1. zóna: T1 - 820°C
2. zóna: T2 - 860°C
3. zóna: T3 - 880°C
4. zóna: T4 - 880°C
5. zóna: T5 - 880°C

Po 408 min. byl ohřev zkušební nápravy ukončen. Z válečkového dopravníku za peci se měřená náprava jeřábem přemístila na odstavné stanoviště vedle krokové pece, kde zůstala až do svého úplného vychladnutí. Po celou dobu transportu z válečkového dopravníku se ve snímání teplot pokračovalo (asi 9 min. od ukončení ohřevu) a poté byly termočlánky od záznamového zařízení odpojeny a experiment ukončen. [10]

Vývoj teplot v polotovaru nápravy při ohřevu na austenitizační teplotu je znázorněn na *grafu 1*. Je zde vykreslen časový průběh teplotních změn materiálu a to jak při ohřevu, tak i během několikaminutového ochlazování po vytažení z žíhací pece. Na závěr je nutno upozornit na skutečnost, že v okamžiku nasazení měřené nápravy na první pozici krokového mechanismu pece a pak i po celou dobu ohřevu bylo měřicí místo 1 (povrch, pravá strana nápravy) orientováno směrem k půdě pece (za celou dobu ohřevu změnilo polohu cca o čtvrtinu obvodu nápravy), takže naměřené hodnoty v této lokalitě jsou z tohoto důvodu o něco nižší než teploty v měřicím místě 3 (povrch, levá strana nápravy), které bylo po celou dobu ohřevu přivraceno ke klenbě pece. Z grafu vyplývá, že naměřené teploty v jednotlivých místech nápravy v závěrečné fázi výdrže na teplotě jsou v malém rozmezí a tudíž lze konstatovat, že ohřev nápravy dle daného režimu v peci č. 1 proběhl bez závad. [10]

Graf 1: Naměřené teploty polotovaru železniční nápravy při ohřevu na austenitizační teplotu v žíhací peci, Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [10]

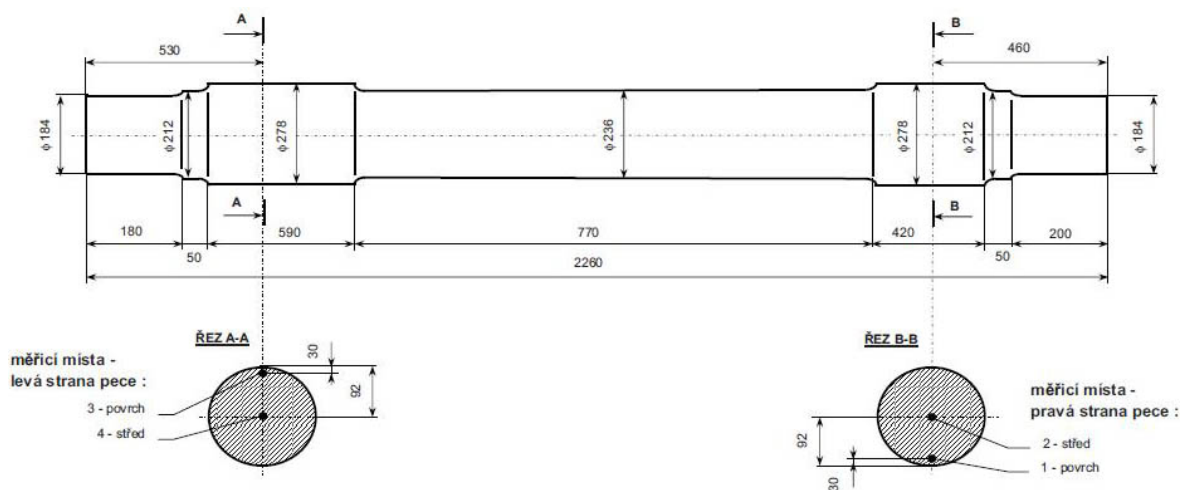


7 MĚŘENÍ TEPLIT PŘI POPOUŠTĚNÍ KROKOVOU PECÍ Č. 2 NÁPRAVY K. P. 135.19

7.1 Všeobecné údaje

Cílem tohoto měření bylo experimentálně proměřit a zjistit pomocí čtyř termočlánků rozložení teplot po průřezu obou sedel nápravy v průběhu jejího ohřevu na popouštěcí teplotu v žíhací krokové peci č. 2.

Měřenou vsádkou byla železniční náprava zhotovená podle k. p. 222.80 z materiálu AIN. Její schéma a rozměry, včetně vyznačení měřených průřezů, jsou uvedeny na *obrázku 23*.



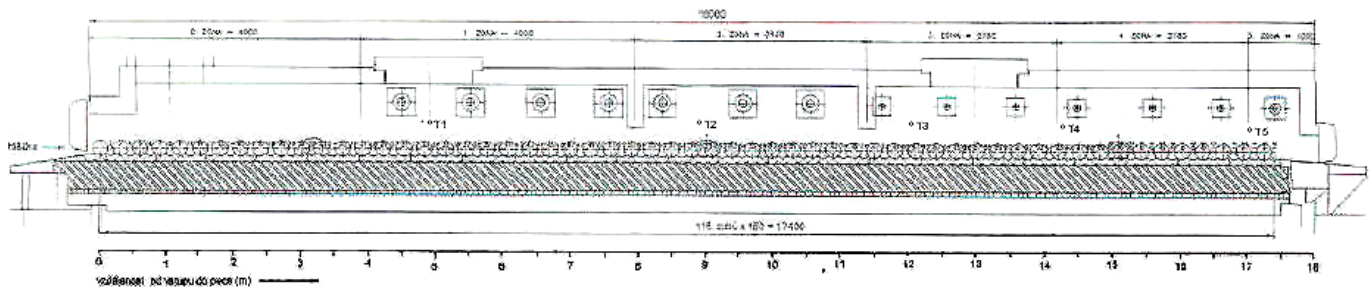
Obrázek 23: Základní rozměry surové železniční nápravy k. p. 222.80 a rozmístění měřících míst, Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [11]

Ohřev materiálu na popouštěcí teplotu se uskutečnil v krokové žíhací peci č. 2, jejíž schéma spolu s hlavními technickými parametry, rozměry, rozdělením pece na jednotlivé topné zóny a umístěním regulačních termočlánků, je uvedeno na *obrázku 24*. [11]

7.2 Technické údaje

Označení a přesná poloha všech měřících míst v nápravě je zaznačena na *obrázku 23*. Rozmístění měřících míst bylo navrženo zadavatelem. Značení je provedeno arabskými číslicemi od 1 do 4 a je voleno podle polohy zkušební nápravy v peci a směru jejího pohybu při ohřevu. Měřený průřez s měřícími místy 1 a 2 leží blíže pravé stěně pece (bráno z pohledu od sázecích vrat, tedy po směru postupu vsádky pecí), měřící místa 3 a 4 jsou na-

pak blíže levé stěně pece, přičemž lichá čísla se vztahují k podpovrchovým měřicím místům nápravy, sudá označují její střed (osu). Pro zjednodušení je pro měřicí místa 1 a 3 používáno označení povrch nápravy, i když měrné konce termočlánků byly ve skutečnosti umístěny 30 mm pod povrchem nápravy, jak je zřejmé z *obrázku 23*. [11]



Obrázek 24: Kroková žíhací pec č. 2 pro tepelné zpracování náprav kolejových vozidel, kovárna náprav, Bonatrans Group a.s. [11]

Pro měření teploty byly použity plášťované termočlánky typu K o průměru pláště 3 mm a délce 20 m. Instalace termočlánků do měřené nápravy proběhla na vstupní straně pece až po jejich protažení přes celou pec těsně před nasazením zkušební nápravy na první pozici krokového mechanismu. Termočlánky byly do zvolených měřicích míst zasunuty přes vrtané otvory z čel nápravy o průměru 20 mm, které byly vyvločkovány ocelovými válečky s osovou dírou 3,5 mm, přes kterou termočlánky procházely. [11]

Registrační záznam signálu a jeho zpracování, stejně jako vyhodnocení, proběhlo stejným způsobem, který byl zvolen u měření teplotních polí nápravy při ohřevu na austenizační teplotu před kalením náprav jakosti A4T u krokové pece č. 1. [11]

Zkušební ohřev nápravy k. p. 222.80 probíhal za normálního provozu krokové žíhací pece spolu s ostatní výrobou. V okamžiku nasazení měřené nápravy na první pozici krokového mechanismu pece se v přední části pece nacházely dvě dávky náprav z předchozí zpracovávané vsádky. Technologie tepelného zpracování náprav byla nastavena pro tyto 2 dávky náprav s tím, že celková doba pobytu vsádky v peci činila 420 min. To při počtu 116-ti zubů krokovacího mechanismu pece představovalo frekvenci krokování přibližně, co 3,6 min. Teploty na regulačních termočláncích v jednotlivých topných zónách pece byly po celou dobu popouštění zkušební nápravy udržovány na těchto konstantních hodnotách [11]:

1. zóna: T1 – 610 °C
2. zóna: T2 – 630 °C
3. zóna: T3 – 670 °C
4. zóna: T4 – 670 °C
5. zóna: T5 – 670 °C

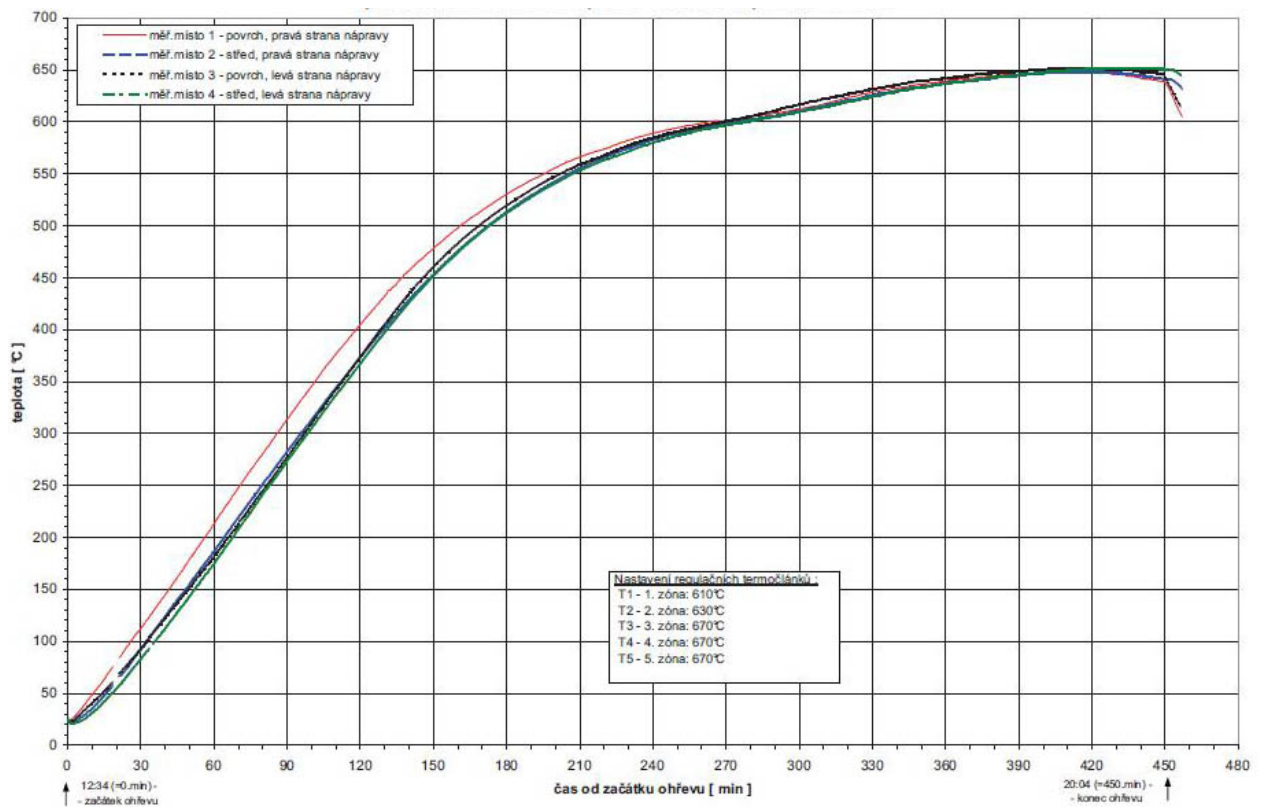
Během experimentu došlo k poruše pohonu krokového mechanismu (mezi 235. až 265. minutou od nasazení zkušební nápravy), takže vsádka po dobu 30 min. setrvala v peci na jednom místě (přibližně ve vzdálenosti 10 m od vstupních vrat), čímž se celková doba pobytu vsádky o tuto dobu prodloužila a ohřev zkušební nápravy byl ukončen po 450 min. Po ukončení ohřevu se měřená náprava jeřábem přemístila na odstavné stanoviště mezi krokovými pecemi č. 1 a č. 2, kde zůstala až do svého úplného vychladnutí. Po celou dobu jejího transportu se ve snímání teplot pokračovalo (celkem asi 7 min. od ukončení ohřevu) a poté byly termočlánky od záznamového zařízení odpojeny a experiment ukončen. [11]

Vývoj teplot nápravy k. p. 222.80 při ohřevu na popouštěcí teplotu je znázorněn na *grafu 2*. Je zde vykreslen časový průběh teplotních změn materiálu a to jak při ohřevu, tak i během několikaminutového ochlazování po vytažení nápravy z žíhací krokové pece. Přerušování záznamů teplot v časovém rozmezí mezi 19. a 20. min. od nasazení zkušební nápravy u měřicích míst 1, 2 a 3 a ve 34. min. u měřicího místa 4 je způsobeno úmyslným rozpojením měřicího řetězce na výstupní straně pece z důvodu zajištění bezpečného odstínění kompenzačního vedení termočlánků od sálavého tepla náprav přepravovaných po dopravě z druhé krokové pece, kde probíhal jejich ohřev před kalením. Na závěr je nutno upozornit na skutečnost, že při provádění jednotlivých kroků dochází k mírnému pootočení náprav (u nápravy k. p. 222.80 činí pootočení při průchodu celou pecí přibližně šedesát procent obvodu a to směrem dozadu). S tímto faktem souvisí i vývoj teplot v ohřivaném materiálu při jeho průchodu pecí. V okamžiku nasazení měřené nápravy na první pozici krokového mechanismu pece a pak i po více než polovinu zkušební ohřevu se měřicí místo 1 (povrch, pravá strana nápravy) nacházelo v horní polovině obvodu nápravy, tj. bylo přivráceno ke klenbě pece a naopak měřicí místo 3 (povrch, levá strana nápravy) bylo zase v těchto fázích ohřevu orientováno směrem k půdě pece. Naměřené hodnoty jsou v těchto fázích ohřevu z těchto důvodů odlišné a s rostoucím počtem kroků se pak teploty v těchto měřicích místech postupně srovnávají. Z grafu vyplývá, že naměřené teploty

v jednotlivých místech nápravy v závěrečné fázi výdrže na teplotě jsou v malém rozmezí a tudíž lze konstatovat, že ohřev nápravy dle daného režimu v peci č. 2 proběhl bez závad.

[11]

Graf 2: Naměřené teploty železniční nápravy k. p. 222.80 při ohřevu na popouštěcí teplotu v krokové peci č. 2, Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [11]



8 VARIANTNÍ TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ NÁPRAV Z OCELI A4T DLE EN 13261

Pro experimentální práce na sledování normalizačního žíhání a vlivu kalení bylo vykováno 5 ks náprav \varnothing 240 mm z oceli A4T tavby č. 58 009 dle EN 132612 vykovaných ze sochoru jakosti A4 K5. 1 ks (č. 6-189) nápravy byl použit pro přípravu nápravy na měření teplotních polí v ohřívací peci č. 1. [14]

4 kusy nápravy \varnothing 240 mm délky min. 2200 mm z oceli A4T byly použity pro tepelné zpracování náprav dle programu dodaného ÚTR [14]:

a) 1 ks nápravy (č. 1-184) normalizačně vyžítat režimem 880°C 420 minut/vzduch a následně zakalit dle režimu 390 min/880°C pro k. p. 100.20 - označení nápravy tavba a pořadové číslo.

b) 1 ks (č. 3-186) nápravy tepelně zpracovat dle režimu pro k. p. 100.20 doba ohřevu 390 min/teplota 880°C - označení nápravy tavba a pořadové číslo.

c) 1 ks (č. 4-187) nápravy tepelně zpracovat dle režimu pro k. p. 100.20 s kratší dobou austenitizace (- 1 hodina 330 min/880°C) - označení nápravy tavba a pořadové číslo.

d) 1 ks (č. 2-185) nápravy tepelně zpracovat dle režimu pro k. p. 100.20 s delší dobou austenitizace (+ 1 hodina tj. 450 min/880°C) - označení nápravy tavba a pořadové číslo.

e) nápravy po vykalení společně popustit dle režimu vzhledem k chemickému složení náprav (doba ohřevu 390 min/teplota v jednotlivých ohřevných pásmech 610, 620, 640, 650°C)

Tepelně zpracované nápravy byly předány k přípravě náprav pro měření útlumu dle dohody s ÚTR a OŘJ – dle výsledku měření bude určen další postup zkoušení. [14]

Z náprav byly vyrobeny následující zkoušky dle EN 13261:

Odběr zkoušek byl proveden dle EN 13261[14]:

1. 3 ks tahových zkoušek dia. 10 mm s odběrem z nápravy. Značení číslem tavby a pořadovým číslem nápravy + číslem identifikujícím místo odběru: A-povrch, B-r/2, C- střed.

2. 9 ks zkoušek vrubové houževnatosti - podélné. Značení číslem tavby a pořadovým číslem nápravy + místo identifikující polohu odběru A-povrch, B-r/2, C- střed nápravy + písmeno identifikující řadu, ze které byla zkouška odebrána a, b, nebo c.
3. 18 ks zkoušek vrubové houževnatosti KV2 - podélné. Značení číslem tavby a pořadovým číslem nápravy + místo identifikující polohu odběru A-povrch, B-r/2, C- střed nápravy + písmeno identifikující řadu, ze které byla zkouška odebrána a, b, nebo c pro zkoušky za snížených teplot - 20 a - 40°C.
4. 9 ks zkoušek vrubové houževnatosti – příčné. Značení číslem tavby a pořadovým číslem nápravy + místo identifikující polohu odběru A-povrch, B-r/2, C- střed nápravy + písmeno identifikující řadu, ze které byla zkouška odebrána a, b, nebo c.
5. Příčné makro pro měření tvrdosti, makroleptu. Makro bude silné alespoň 15 mm. Značení číslem tavby a pořadovým číslem nápravy.
6. Požadavek na výrobu zkoušek po proměření na útlum.

Výsledky mechanických zkoušek jsou přílohy P I, P II, P III, P IV, P V

8.1 Baumannův otisk podle ISO 4968

Ve střezech náprav 184, 185, 186 a 187 se vyskytují oblasti o průměrech 110 mm, 105 mm, 125 mm a 120 mm s mírně výraznějšími indikacemi sulfidů. (Rozložení sulfidů nepřekračuje mezní stavy uvedené v dodatku k vyhlášce UIC 811 – 1 článek 6.2.2.4, 8.7.3.5, 8.8.6.). [12]

Vzhledem k tomu, že se tento otisk provádí přímo na fotografický papír většího formátu než A4 a i v originální podobě jsou indikace sulfidů málo viditelné. Z tohoto důvodu se nepodařilo obrázky naskenovat a uvést v diplomové práci.

8.2 Makrolept 10 % HNO₃ podle ISO 4969

8.2.1 58009/1 (184), (obrázek 25)

Po obvodu tmavší vrstva do hloubky 8 až 10 mm. Tmavá středová vycezenina o průměru 8 mm. Kruhá vycezenina s rozměry 120 x 110 mm a šířce 8 mm. Uvnitř kruhové vycezeniny jsou bodové vycezeniny. [12]



6158

Obrázek 25: Výsledek makroleptu 10% HNO₃ pro nápravu č. 184. [12]

8.2.2 58009/2 (185), (obrázek 26)

Tmavá středová vycezenina o rozměrech 10 x 8 mm. Kruhová vycezenina s rozměry 110 x 105 mm a šířce 6 mm. Uvnitř kruhové vycezeniny jsou bodové vycezeniny. [12]



Obrázek 26: Výsledek makroleptu 10% HNO_3 pro nápravu č. 185. [12]

8.2.3 58009/3 (186), (obrázek 27)

Málo výrazná tmavší oblast u povrchu nápravy. Tmavá středová vycezenina o průměru 13 mm. Kruhová vycezenina s rozměry 135 x 120 mm a šířce 4 až 12 mm. Oblast výrazných bodových vycezenin je ve středu nápravy o průměru 60 mm. [12]



Obrázek 27: Výsledek makroleptu 10% HNO_3 pro nápravu č. 186. [12]

8.2.4 58009/4 (187), (obrázek 28)

U povrchu je místy rozeznatelná tmavší vrstva do hloubky až 4 mm. Tmavší středová vycezenina se světlejším středem o průměru 15 mm. Kruhová vycezenina je mírně tmavší s rozměry 120 x 130 mm a šířce 6 až 12 mm. Uvnitř kruhové vycezeniny jsou bodové vycezeniny. [12]



Obrázek 28: Výsledek makroleptu 10% HNO_3 pro nápravu č. 187. [12]

8.3 Mikroskopické zkoušky v podélném řezu

8.3.1 Náprava 58009/1 (184)

Do 6,3 mm zákalná struktura. Do 17 mm bainit s lokálním výskytem zákalné struktury (martenzitu). Do 25 mm bainit s neúplným síťovým feritu. Lokálně se vyskytuje zákalná struktura. Objevuje se málo výrazná řádkovitost struktury. [12]

Do středu nápravy se střídají pásy bainitu s ojedinělými zrny feritu s pásy bainitu s se síťovým feritu. Lokálně se vyskytují podélné oblasti zákalné struktury.

Na vzorcích nebyly zjištěny necelistvosti, widmannstättenova struktura a seřazení feritických zrn na původních hranicích austenitu. [12]

Tabulka 8: Hodnoty mikroskopických zkoušek pro nápravu 58009/1 (184). [12]

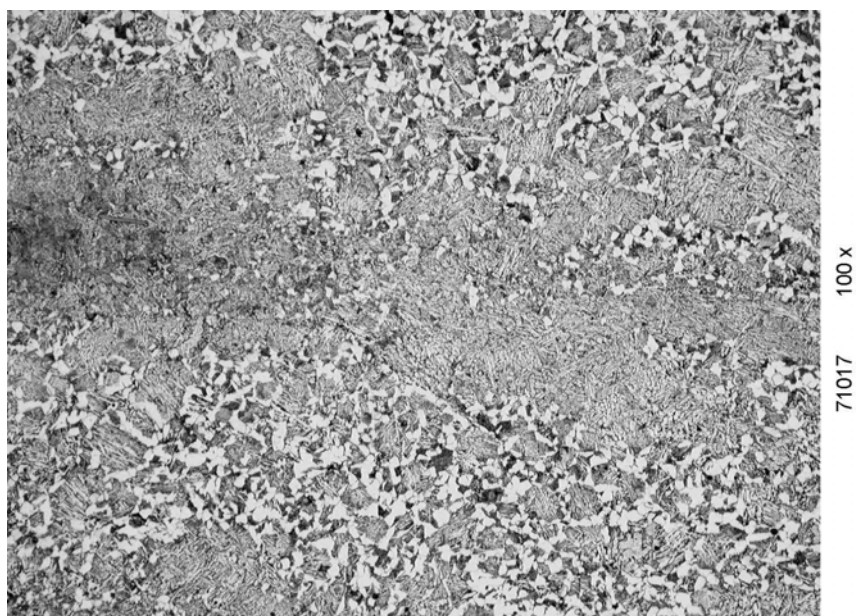
Místo zkoušení 58009/1 (184)	Podíl feritu bodová metoda ASTM E562-08	
	Podíl feritu (%)	% RA (%)
5 mm pod povrchem	Pouze zákalná struktura	
Polovina poloměru nápravy	16,55 ± 5,86 *	35,41
Střed nápravy	21,40 ± 4,82 *	22,53



Obrázek 29: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 100 x. [12]



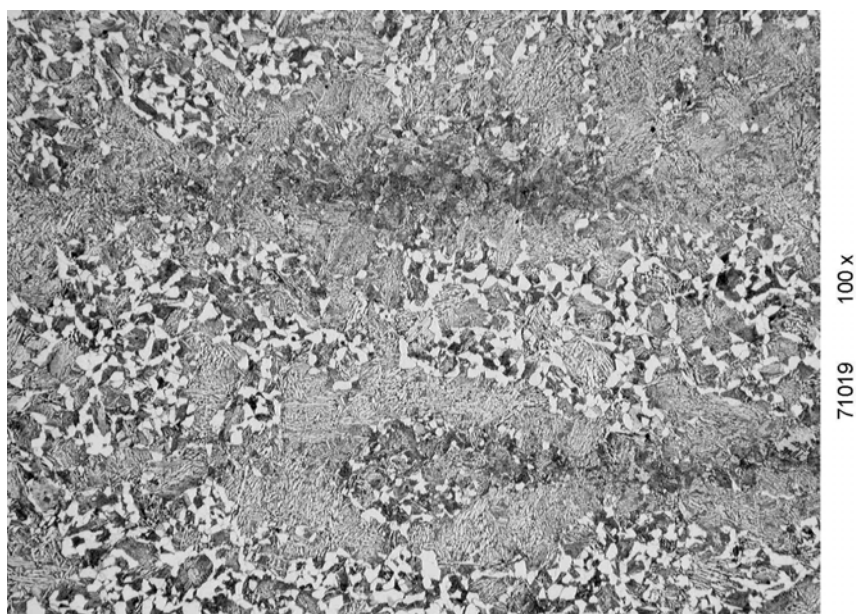
Obrázek 30: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem.
Leptáno – Nital 500 x. [12]



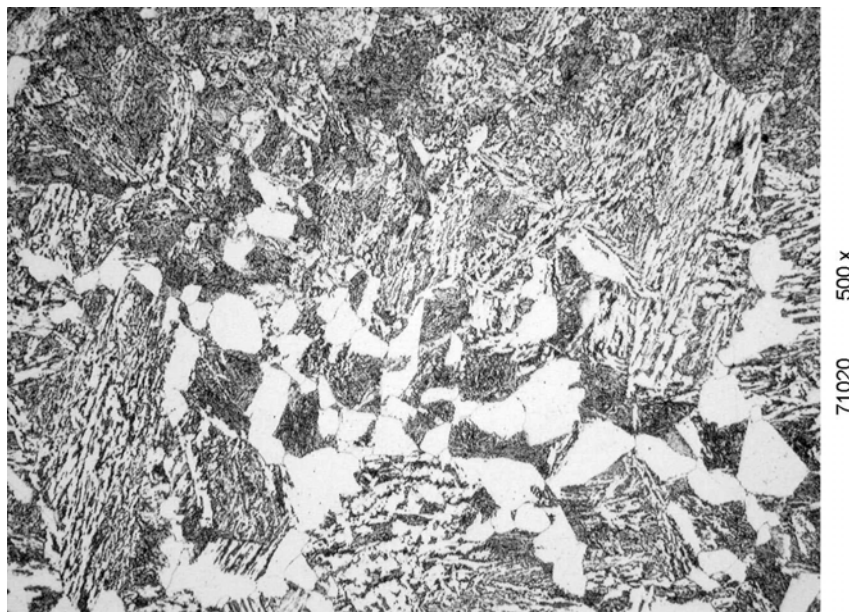
Obrázek 31: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy.
Leptáno – Nital 100 x. [12]



Obrázek 32: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 500x. [12]



Obrázek 33: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12]



Obrázek 34: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12]

8.3.2 Náprava 58009/2 (185)

Do 11,8 mm zákalná struktura. Od 17 mm se objevuje málo výrazná řádkovitost struktury.

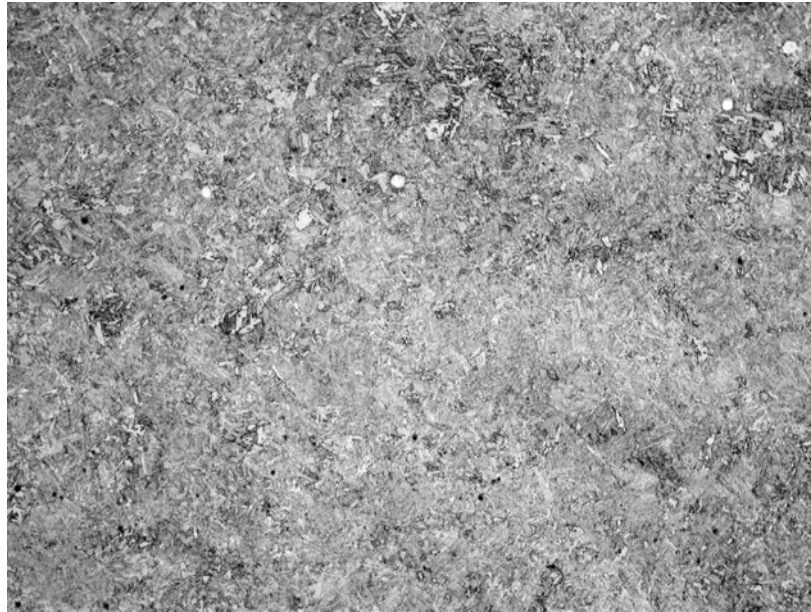
Do 28 mm bainit s lokálním výskytem zákalné struktury (martenzitu). Do 33 mm bainit s ojedinělými zrny feritu až s neúplným síťovým feritu. Lokálně se vyskytuje zákalná struktura. [12]

Do středu nápravy se střídají pásy bainitu s ojedinělými zrny feritu s pásy bainitu s se síťovým feritu. Lokálně se vyskytují podélné oblasti zákalné struktury. [12]

Na vzorcích nebyly zjištěny necelistvosti, widmannstättenova struktura a seřazení feritických zrn na původních hranicích austenitu. [12]

Tabulka 9: Hodnoty mikroskopických zkoušek pro nápravu 58009/2 (185). [12]

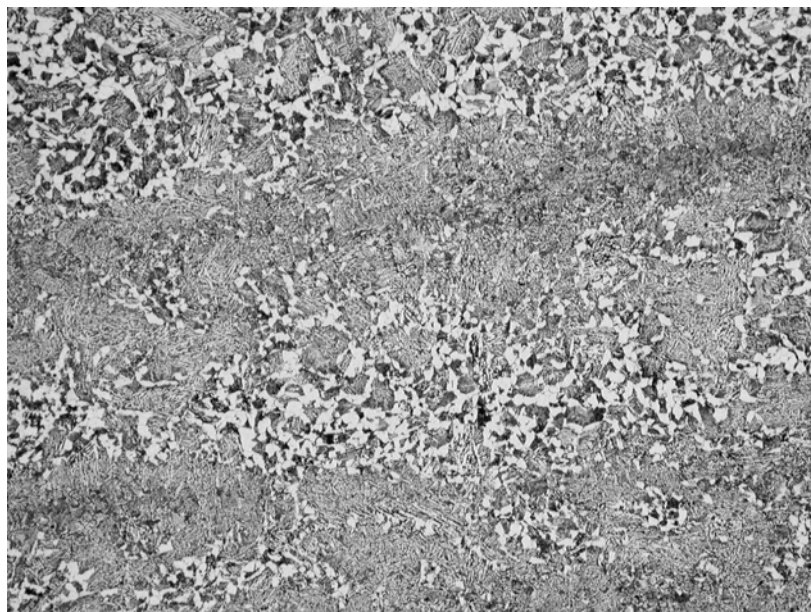
Místo zkoušení 58009/2 (185)	Podíl feritu bodová metoda ASTM E562-08	
	Podíl feritu (%)	% RA (%)
5 mm pod povrchem	Pouze zákalná struktura	
Polovina poloměru nápravy	18,43 ± 3,25 *	17,65
Střed nápravy	26,75 ± 5,43 *	20,32



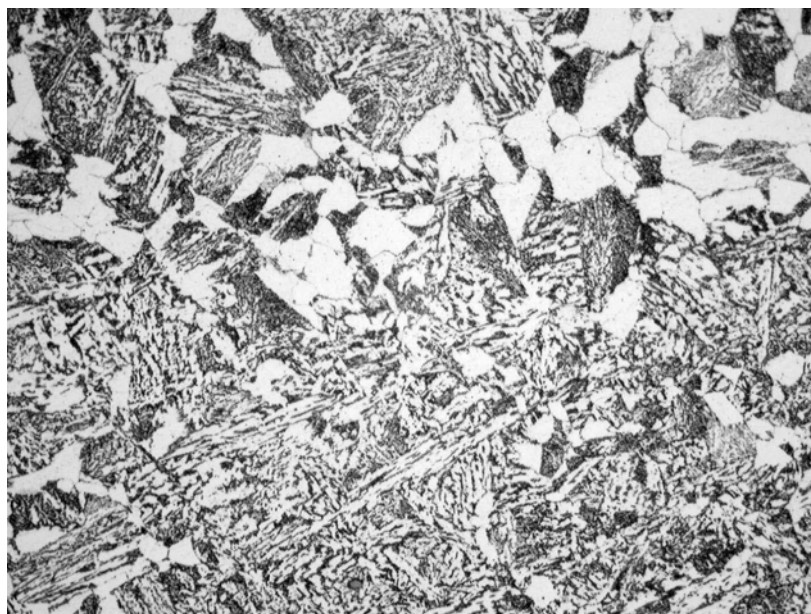
Obrázek 35: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem.
Leptáno – Nital 100 x. [12]



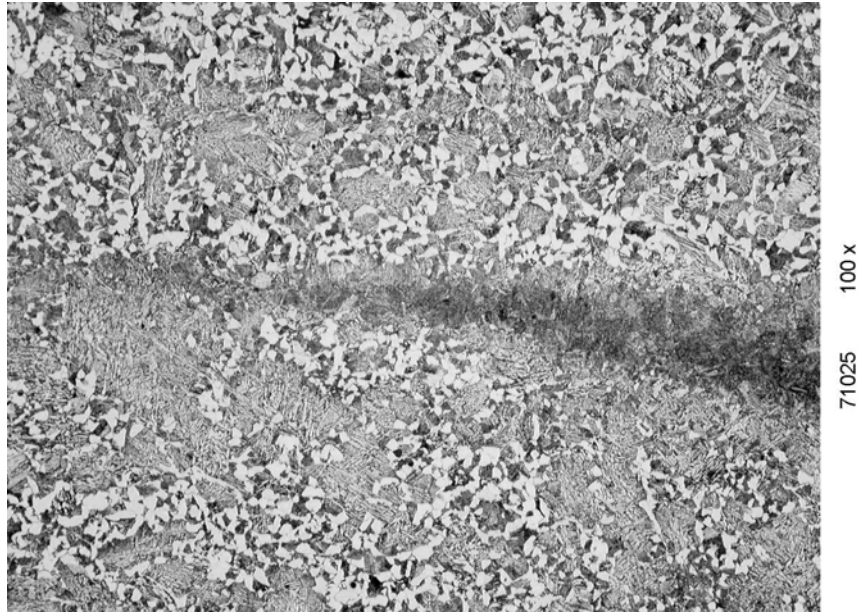
Obrázek 36: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem.
Leptáno – Nital 500 x. [12]



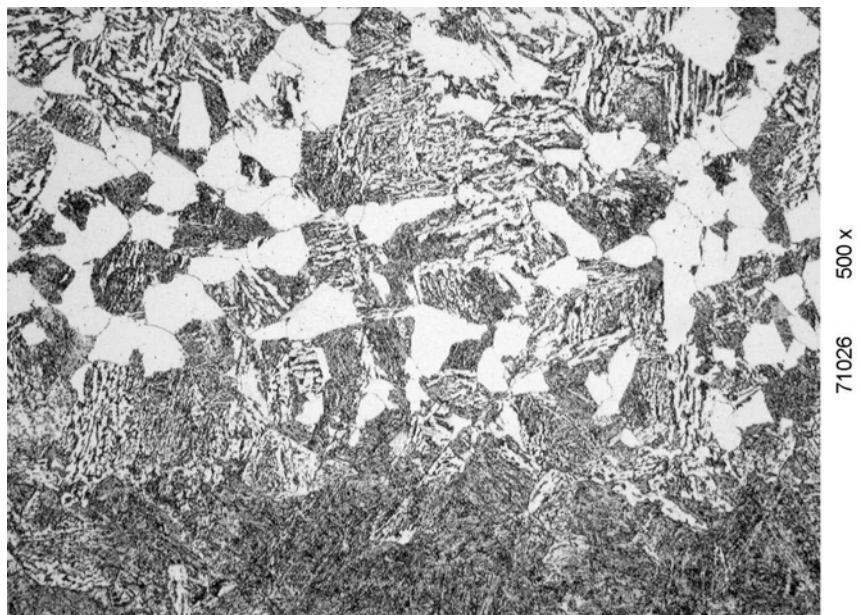
Obrázek 37: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy.
Leptáno – Nital 100 x. [12]



Obrázek 38: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy.
Leptáno – Nital 500 x. [12]



Obrázek 39: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital
100 x. [12]



Obrázek 40: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital
500 x. [12]

8.3.3 Náprava 58009/3 (186)

Do 12 mm zákalná struktura. Od 8 mm se objevuje málo výrazná řádkovitost struktury. Do 22 mm bainit s lokálním výskytem zákalné struktury (martenzitu). Do 40 mm bainit s ojedinělými zrny feritu až s neúplným síťovým feritu. Lokálně se vyskytuje zákalná struktura. [12]

Do středu nápravy se střídají pásy bainitu s ojedinělými zrny feritu s pásy bainitu s se síťovým feritu. Lokálně se vyskytují podélné oblasti zákalné struktury. [12]

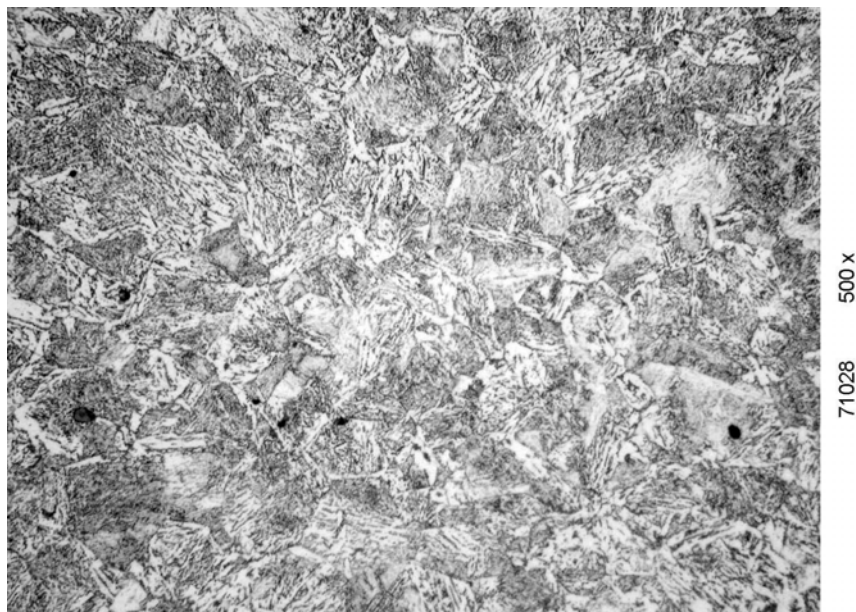
Na vzorcích nebyly zjištěny necelistvosti, widmannstättenova struktura a seřazení feritických zrn na původních hranicích austenitu. [12]

Tabulka 10: Hodnoty mikroskopických zkoušek pro nápravu 58009/3 (186). [12]

Místo zkoušení 58009/3 (186)	Podíl feritu bodová metoda ASTM E562-08	
	Podíl feritu (%)	% RA (%)
5 mm pod povrchem	Pouze zákalná struktura	
Polovina poloměru nápravy	9,53 ± 3,77 *	39,54
Střed nápravy	29,83 ± 5,35 *	17,93



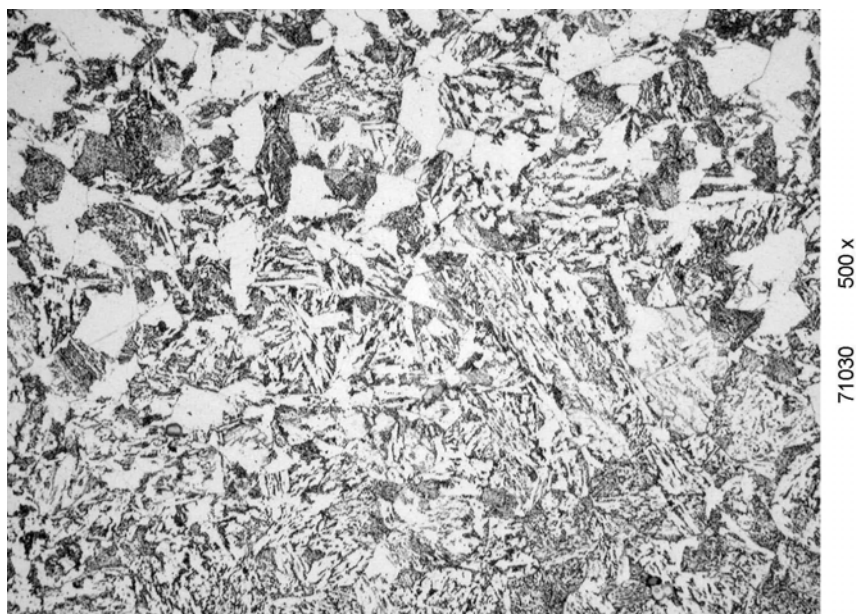
Obrázek 41: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 100 x. [12]



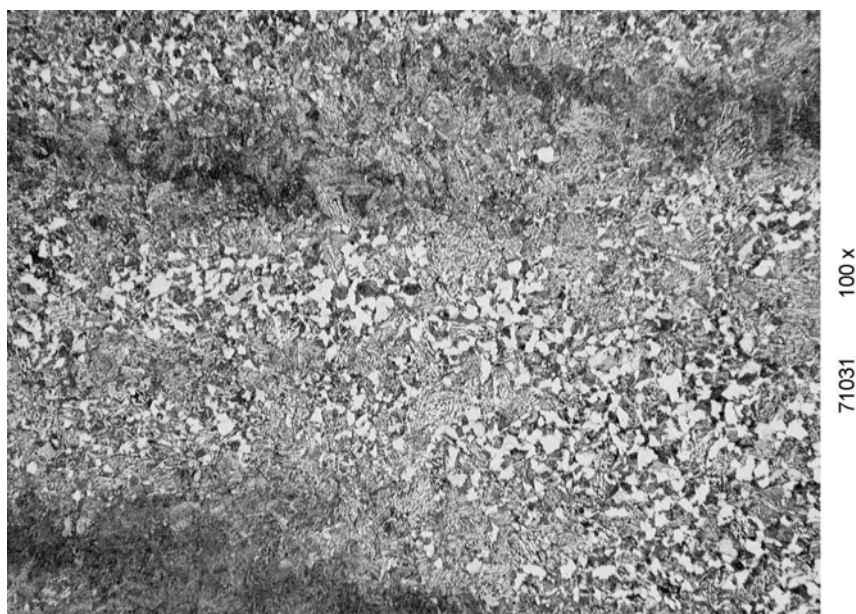
Obrázek 42: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem.
Leptáno – Nital 500 x. [12]



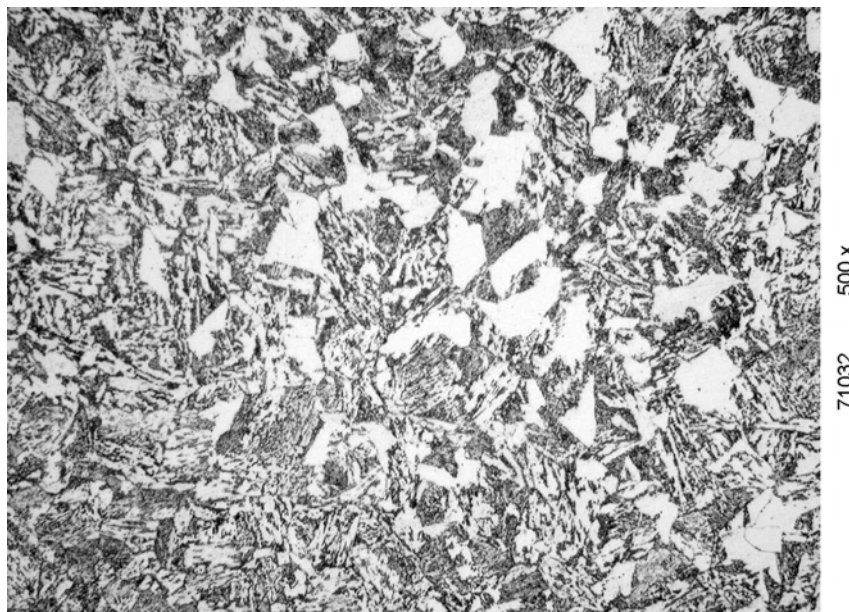
Obrázek 43: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy.
Leptáno – Nital 100 x. [12]



Obrázek 44: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12]



Obrázek 45: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12]



Obrázek 46: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12]

8.3.4 Náprava 58009/4 (187)

Do 11 mm zákalná struktura. Od 13,6 mm se objevuje málo výrazná řádkovitost struktury.

Do 20 mm bainit s lokálním výskytem zákalné struktury (martenzitu). [12]

Do středu nápravy se střídají pásy bainitu s ojedinělými zrny feritu s pásy bainitu s se síťovitým feritu. Lokálně se vyskytují podélné oblasti zákalné struktury. [12]

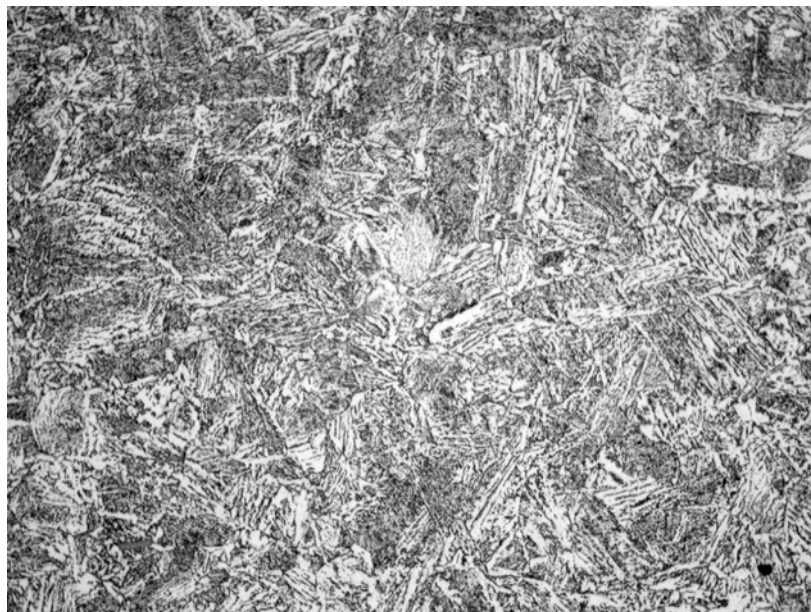
Na vzorcích nebyly zjištěny necelistvosti, widmannstättenova struktura a seřazení feritických zrn na původních hranicích austenitu. [12]

Tabulka 11: Hodnoty mikroskopických zkoušek pro nápravu 58009/4 (187.) [12]

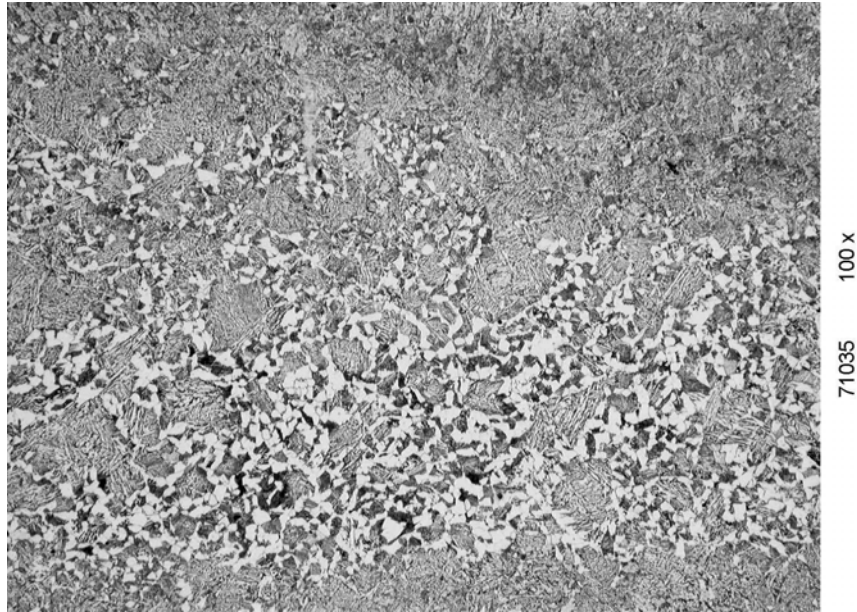
Místo zkoušení 58009/4 (187)	Podíl feritu bodová metoda ASTM E562-08	
	Podíl feritu (%)	% RA (%)
5 mm pod povrchem	Pouze zákalná struktura	
Polovina poloměru nápravy	13,93 ± 4,50 *	32,31
Střed nápravy	15,30 ± 3,66 *	23,90



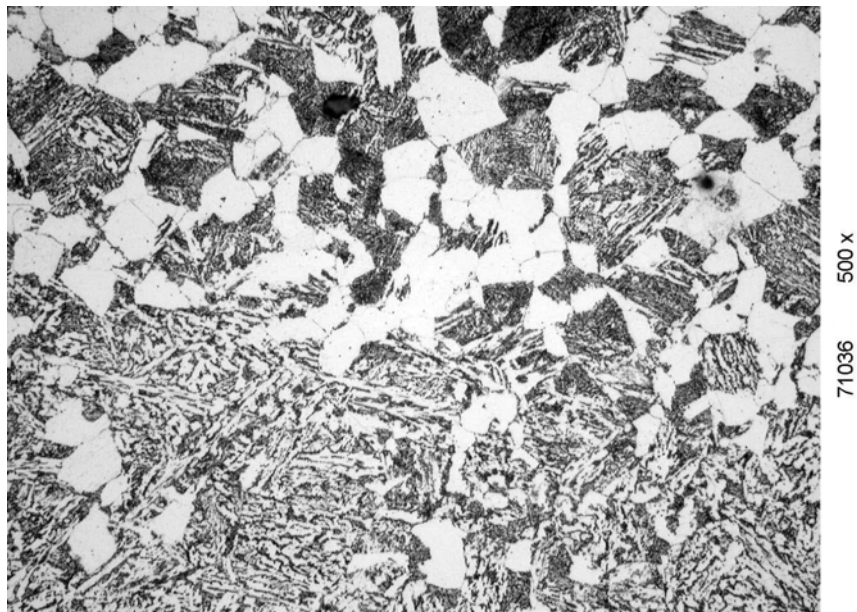
Obrázek 47: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem.
Leptáno – Nital 100 x. [12]



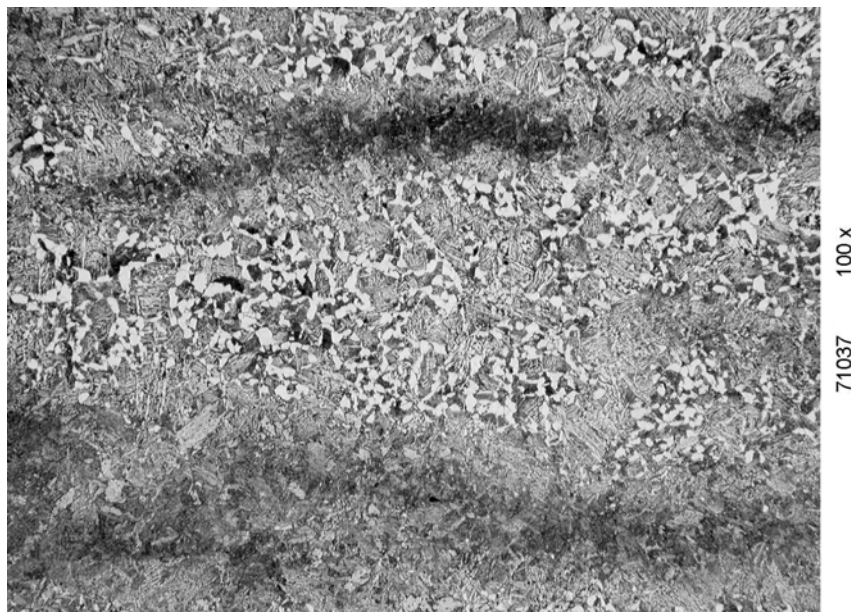
Obrázek 48: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem.
Leptáno – Nital 500 x. [12]



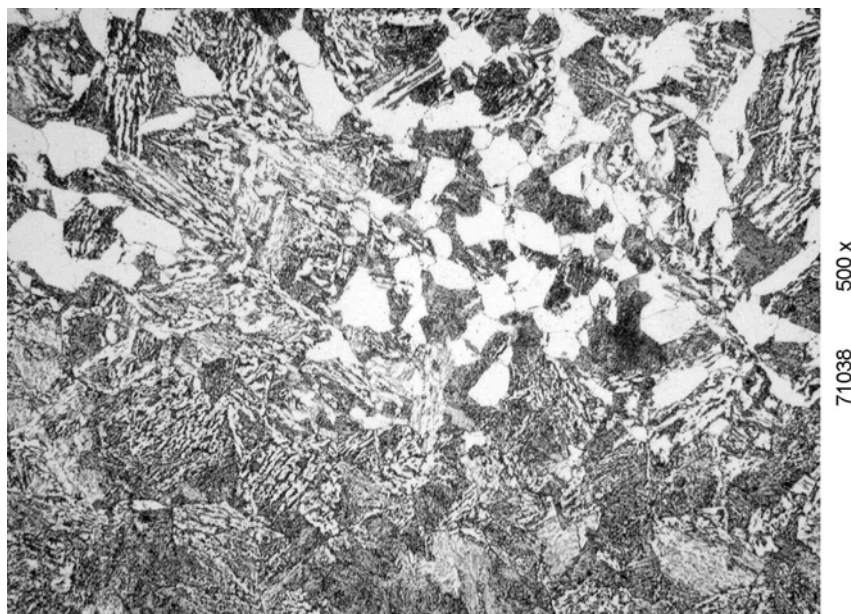
Obrázek 49: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy.
Leptáno – Nital 100 x. [12]



Obrázek 50: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy.
Leptáno – Nital 500 x. [12]



Obrázek 51: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital
100 x. [12]



Obrázek 52: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital
500 x. [12]

Podíl feritu byl stanoven mřížkovou metodou na 2 x 10 polích přes řádky struktury. Tomu odpovídá i vysoká relativní přesnost. Z důvodu řádkovitosti struktury a její složení z bainitu a feritu jsou výsledky pouze orientační. [12]

9 EXPERIMENTÁLNÍ POPOUŠTĚNÍ SEGMENTŮ NÁPRAVY K. P. 135.37 T. Č. 31 871 V POLOPROVOZNÍ Peci Č. 2

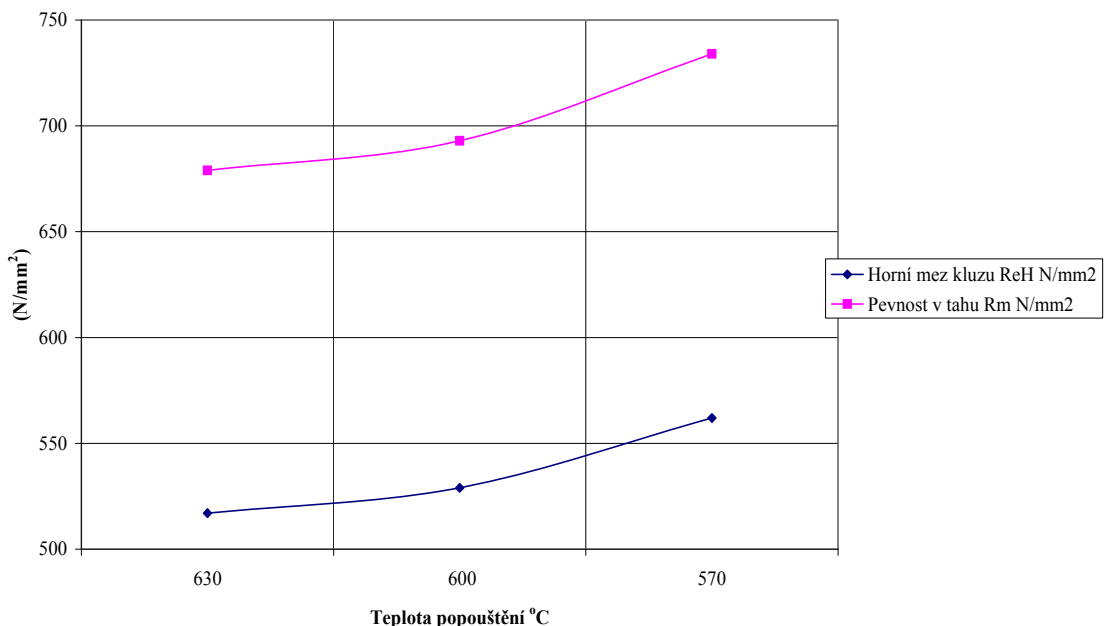
K experimentu byla použita náprava k. p. 135.37 t. č. 31 871, která byla ohřátá na kalící teplotu v žíhací peci č. 1 s nastavenými termočlánky ve 4 a 5 zóně na 880°C a ochlazována byla ve vodní lázni s rotací po dobu 12 minut a pak následovalo odstátí na volném vzduchu na roštu. Náprava byla následně rozřezána na tři segmenty a tyto segmenty byly jednotlivě popouštěny v peci č. 2 mechanických dílen. Teploty popouštění byly navrženy 630, 600 a 570°C s výdrží na teplotě 2 hodiny. Dosažená teplota materiálu popouštěných segmentů byla kontrolována termočlánkem. Z takto popouštěných segmentů nápravy byly vyrobeny mechanické zkoušky a makro pro měření tvrdosti. Dosažené hodnoty pevnosti korespondují s teplotami popouštění a také přepočtené pevnosti z naměřené tvrdosti na makrech tepelně zpracovaných segmentů odpovídají popouštěcím teplotám - viz diagramy tvrdosti. Z diagramů je vidět rozptyl tvrdosti (až 30 HB) v oblastech při povrchu nápravy, který směrem ke středu nápravy se zmenšuje. Tento rozdíl může být způsoben technologií popouštění v peci č. 2, kdy část nápravy leží přímo na půdě pece, která není topena a nemusí být v této oblasti tedy řádně prohřátá. Rozdíl tvrdosti mezi povrchem a středem nápravy dosáhl intervalu 46-61 HB to je v pevnosti 160-300MPa větších rozdílů bylo dosaženo při nižší popouštěcí teplotě. Experimentální popouštění segmentů nápravy jakosti A4T v intervalu 630 – 570°C ukázaly možnosti tepelného zpracování pro dosažení vyšších hodnot pevnosti (v intervalu 720 – 800MPa, resp. užším intervalu) a plnění únavových zkoušek z takto tepelně zpracovaných náprav. [15]

9.1 Tvrdość HB popouřtěných segmentů nápravy A4T

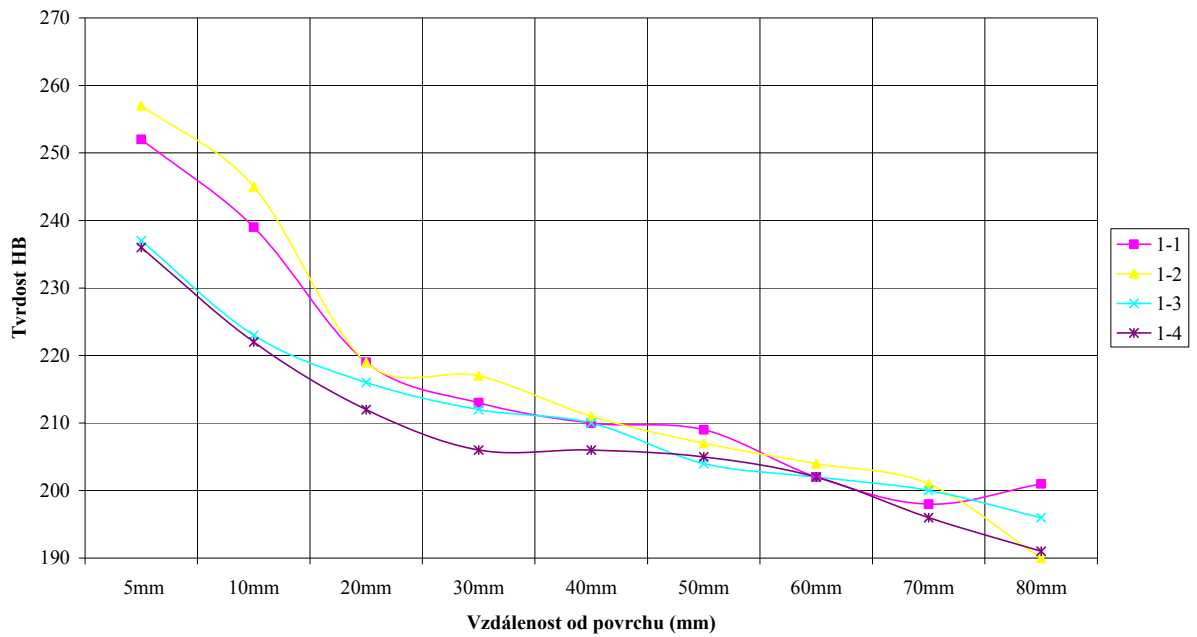
Grafy znázorňují průběhy tvrdosti HB pro jednotlivé teploty popouřtění ve směru od povrchu nápravy v přímkách posunutých o 90 stupňů (tedy do kříže). Rozptyl tvrdosti v blízkosti povrchu nápravy je způsoben technologií kalení, kdy kalená náprava je ponořena do kalící lázně ve vodorovné poloze a v počátku, než dojde k její rotaci, dochází k ovlivnění její části parním polštářem, který se následnou rotací naruřuje a celý povrch nápravy je pak stejnoměrně ochlazován kalícím mediem.

V posledním grafu je pak znázorněn vliv teploty popouřtění (630, 600, 570 °C) na průměrnou tvrdost (průměr 4 měření HB) v závislosti na vzdálenosti od povrchu nápravy (mm). Jak je vidět z grafu vyšší teplota popouřtění tvrdost HB v celém průřezu nápravy rovnoměrně snižuje.

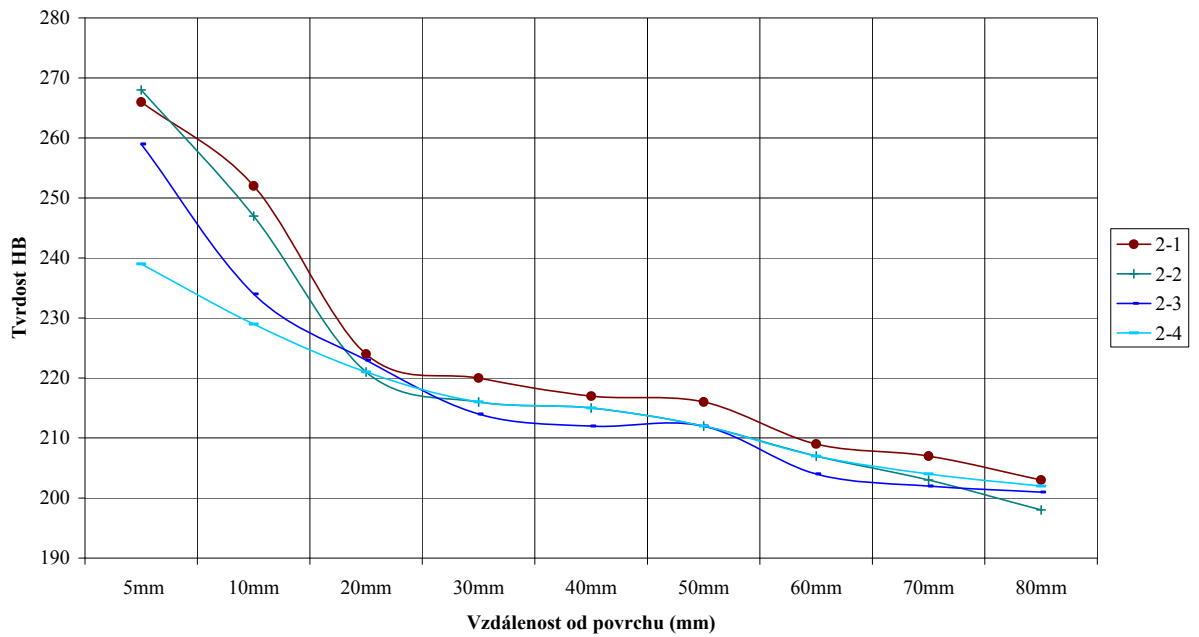
Graf 3: Pevnost a mez kluzu popouřtěné nápravy.



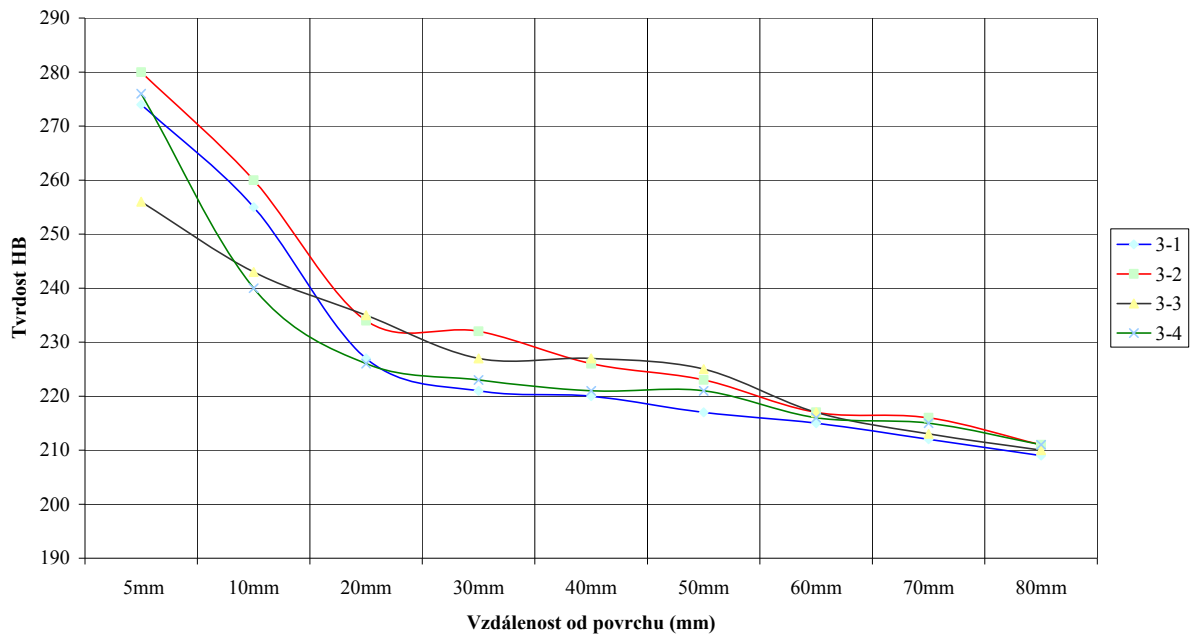
Graf 4: Tvrdost HB od povrchu nápravy popuštěné na teplotu 630°C.



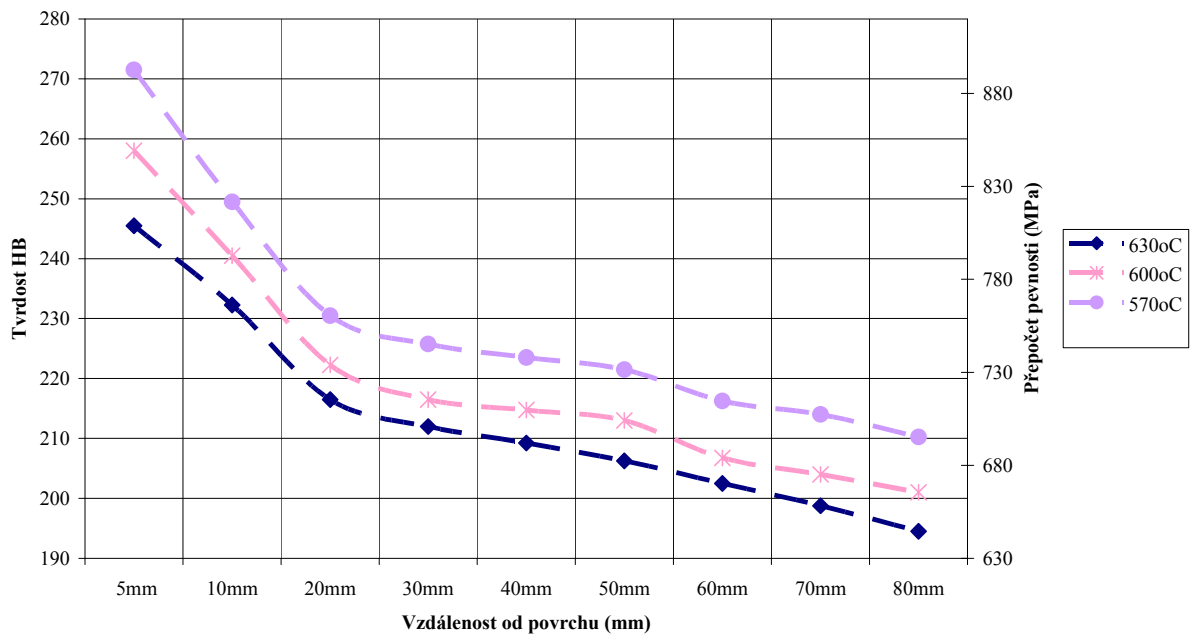
Graf 5: Tvrdost HB od povrchu nápravy popuštěné na teplotu 600°C.



Graf 6: Tvrdość HB od povrchu nápravy popuřtěné na teplotu 570°C.



Graf 7: Průměrná tvrdość HB od povrchu nápravy popuřtěné na teplotu 630°C – 570°C.



ZÁVĚR

Cílem experimentálních prací bylo zjištění vlivu normalizačního žíhání na mechanické a strukturní charakteristiky oceli jakosti A4T a vliv procesu kalení resp. teploty popouštění na mechanické a strukturní charakteristiky oceli jakosti A4T. Experimentálním proměřením teplotních průběhů v nápravě jsme zjistili skutečné rozložení teplot ve dvou průřezech polotovaru nápravy při jejím ohřevu na austenitizační teplotu v žíhací krokové peci č. 1 a následně i v nápravě při popouštění v peci č. 2.

Z provedených experimentálních prací na tepelně zpracovaných nápravách vyplývá příznivý vliv normalizačního žíhání před vlastním kalením náprav. Normalizačním žíháním bylo dosaženo zjemnění struktury před kalením a tím byla pozitivně ovlivněna konečná jemnozrnnost struktury po kalení. Normalizace mírně zvýšila pevnostní charakteristiky i vrubovou houževnatost takto zpracovaných náprav a je předpoklad pro zvýšení únavových charakteristik, které mají přímý vliv na bezpečnost provozování náprav v provozních podmínkách. Doba ohřevu na kalící teplotu nebyla již limitujícím faktorem, jen jsme simulovali možné doby ohřevu, které mohou nastat při provozním tepelném zpracování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Hutnictví železa a.s.* [online]. 1993 [cit. 2010-02-25]. Historie ocelářství. Dostupné z WWW: <<http://www.hz.cz/cz/historie-ocelarstvi>>.
- [2] MACHEK, Václav; SODOMKA, Jaromír. *Nauka o materiálu 1 : Přednášky*. Praha : 2000. 90 s.
- [3] VOJTĚCH, Dalibor. *Vydavatelství VŠCHT Praha* [online]. 1. vyd. Praha : 2006 [cit. 2010-05-03]. Vydavatelství. Dostupné z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-600-1/pages-img/obalka-1.html>. ISBN 80-7080-600-1.
- [4] OPATRŇÁ, Lucie. *Vliv technologie tepelného zpracování na plnění jakostních limitů materiálu náprav železničních dvojkolí*. Ostrava, 2009. 27 s. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [5] DTP č.21 – 012. *Kovárna náprav, materiálový tok, kontrola a evidence výroby*. Bonatrans Group a.s. : Útvar technického ředitele, 14.8.2008. 18 s.
- [6] ČSN EN 13261. *Železniční aplikace - Dvojkolí a podvozky - Nápravy - Požadavky na výrobek*. Brno : Český normalizační institut, prosinec 2004. 43 s.
- [7] *Dvojkolí* [online]. 1999, 25.4.1999 [cit. 2010-03-30]. Dvojkolí. Dostupné z WWW: <<http://www.parostroj.net/technika/dvojkoli/dvojkoli.htm>>.
- [8] *Vagóny* [online]. 19.12.2006, 22.12.2009 [cit. 2010-05-03]. Pojezdy kolejových vozidel - dvojkolí. Dostupné z WWW: <<http://www.vagony.cz/pojezdy/dvojkoli.html#rozkol%C3%AD>>.
- [9] *Učební texty*. Bohumín : Radomír Kasterko, Ing. Jiří Weber, Mgr. Jana Jedličková, 2009. 147 s.
- [10] *Měření teplot polotovaru železniční nápravy při ohřevu na austenitizační teplotu v žíhací peci kovárny náprav a.s. Bonatrans Group*. Dobrá : Ing. Vladimír Drozd, CSc, Ing. Vladimír Bittner, Radim Peterek, říjen 2009. 15 s.
- [11] *Měření teplot železniční nápravy k. p. 222.80 při ohřevu na popouštěcí teplotu v krokové žíhací peci č. 2 kovárny náprav Bonatrans Group a.s.* Dobrá : Ing. Vladimír Drozd, CSc, Ing. Vladimír Bittner, Radim Peterek, březen 2010. 16 s.

- [12] Protokol č. 3/2010/Mz. *Makrografické a mikrografické zkoušky náprav po variantním tepelném zpracování*. Bonatrans Group a.s., Metalurgická zkušebna : Ing. Libor Kovář, 8.3.2010. 19 s.
- [13] Protokol č. 3597/2007/Mchd/A. *Zkouška tahem, rázem v ohybu, chemická analýza*. Bohumín : Bonatrans Group a.s., Metalurgická zkušebna, 2.11.2007. 1 s.
- [14] Program č. 52/2009. *Rozbory z náprav z oceli A4T dle EN 13261 - variantní tepelné zpracování*. Výzkum a vývoj Bonatrans Group a.s. : Ing. Libor Pětvaldský, 7.3.2009. 2 s.
- [15] Program č. 34/2007. *Rozbory z nápravy k.p. 135.37 t.č. 31871 kalené při měření TPč. 2 a následném popuštění v poloprovozní peci č. 2*. Výzkum a vývoj Bonatrans Group a.s. : Ing. Libor Pětvaldský, 10.12.2007. 1 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α	Ferit
γ	Austenit
R_e	Mez kluzu
R_m	Pevnost v tahu
A	Tažnost
$\varepsilon_{cr.}$	Kritická deformace
σ_{max}	Deformační napětí
ASTM	American Society For Trstiny And Materiále (soubor norem)
k. p. 135.37	Kovací postup číslo 135.37
t.č. 31871	Tavba číslo 31871
RA	Relativní přesnost
T	Teplota deformace
T_t	Teplota tání
EA1N	Normalizačně žíhaná jakost oceli
EA4T	Kalená a popouštěná jakost oceli
TŽ	Třinecké železářny
S_0	Průřez
Z	Kontrakce
L_0	Počáteční měřená délka
L_u	Konečná měřená délka

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Metastabilní diagram Fe-Fe₃C. [3]</i>	13
<i>Obrázek 2: Stabilní diagram systému Fe-C. [3]</i>	17
<i>Obrázek 3: Část metastabilního diagramu Fe-Fe₃C s vyznačením uhlíkových ocelí s různými obsahy uhlíku. [3]</i>	20
<i>Obrázek 4: Feritická mikrostruktura oceli s 0,01 % C. [3]</i>	21
<i>Obrázek 5: Feriticko - perlitická mikrostruktura oceli s 0,4 % C. [3]</i>	21
<i>Obrázek 6: Perlitická mikrostruktura oceli s 0,8 % C. [3]</i>	22
<i>Obrázek 7: Mikrostruktura oceli s 1,5 % C, tvořena perlitickými zrny. [3]</i>	22
<i>Obrázek 8: Základní části nápravy. [8]</i>	23
<i>Obrázek 9: Rozkolí. [8]</i>	24
<i>Obrázek 10: Náprava a její části. [7]</i>	25
<i>Obrázek 11: Stavba krystalu. [9]</i>	26
<i>Obrázek 12: Elementární buňky krystalů kovů [9]:</i>	26
<i>Obrázek 13: Schéma struktury polykrystalického kovu. [9]</i>	28
<i>Obrázek 14: Typy závislosti deformace – napětí [9]:</i>	29
<i>Obrázek 15: Křivka napětí – deformace pro slitinu Al – 1% Mg měřena pýchovací zkouškou při 400° C při různých deformačních rychlostech. [9]</i>	31
<i>Obrázek 16: Křivka napětí – deformace pro nízkolegovanou ocel stanovená krutovou zkouškou. [9]</i>	32
<i>Obrázek 17: Plná náprava. [6]</i>	47
<i>Obrázek 18: Dutá náprava (vzdálenosti v mm). [6]</i>	48
<i>Obrázek 19: Plná náprava. [6]</i>	49
<i>Obrázek 20: Dutá náprava. [6]</i>	49
<i>Obrázek 21: Základní rozměry a rozmístění měřících míst v polotovaru nápravy ø 240 (materiál A4), Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [10]</i>	51
<i>Obrázek 22: Kroková pec č. 1 pro tepelné zpracování náprav kolejových vozidel,</i>	53
<i>Obrázek 23: Základní rozměry surové železniční nápravy k. p. 222.80 a rozmístění měřících míst, Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [11]</i>	56
<i>Obrázek 24: Kroková žíhací pec č. 2 pro tepelné zpracování náprav kolejových vozidel, Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [11]</i>	57
<i>Obrázek 25: Výsledek makroleptu 10% HNO₃ pro nápravu č. 184. [12]</i>	62
<i>Obrázek 26: Výsledek makroleptu 10% HNO₃ pro nápravu č. 185. [12]</i>	63

<i>Obrázek 27: Výsledek makroleptu 10% HNO₃ pro nápravu č. 186. [12].....</i>	64
<i>Obrázek 28: Výsledek makroleptu 10% HNO₃ pro nápravu č. 187. [12].....</i>	65
<i>Obrázek 29: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	66
<i>Obrázek 30: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	67
<i>Obrázek 31: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	67
<i>Obrázek 32: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 500x. [12]</i>	68
<i>Obrázek 33: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12].....</i>	68
<i>Obrázek 34: Náprava 58009/1 (184) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12].....</i>	69
<i>Obrázek 35: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	70
<i>Obrázek 36: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	70
<i>Obrázek 37: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	71
<i>Obrázek 38: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	71
<i>Obrázek 39: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12].....</i>	72
<i>Obrázek 40: Náprava 58009/2 (185) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12].....</i>	72
<i>Obrázek 41: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	73
<i>Obrázek 42: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	74
<i>Obrázek 43: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	74

<i>Obrázek 44: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	75
<i>Obrázek 45: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	75
<i>Obrázek 46: Náprava 58009/3 (186) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	76
<i>Obrázek 47: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	77
<i>Obrázek 48: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Struktura 5 mm pod povrchem. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	77
<i>Obrázek 49: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	78
<i>Obrázek 50: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Polovina poloměru nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	78
<i>Obrázek 51: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 100 x. [12]</i>	79
<i>Obrázek 52: Náprava 58009/4 (187) – Podélný řez – Střed nápravy. Leptáno – Nital 500 x. [12]</i>	79

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Mezní obsahy prvků v nelegovaných ocelí. [3].....</i>	18
<i>Tabulka 2: Parametry krystalických mřížek technicky důležitých kovů. [9].....</i>	27
<i>Tabulka 3: Chemické složení a mechanické vlastnosti vybraných mikrolegovaných ocelí. [9].....</i>	35
<i>Tabulka 4: Orientační teplotní rozmezí ohřevu při žhání, normalizaci a</i>	43
<i>Tabulka 5: Chemické složení jakosti EA4T. [6].....</i>	46
<i>Tabulka 6: Hodnoty pro mez kluzu, pevnost v tahu a tažnost pro jakost EA4T. [6].....</i>	47
<i>Tabulka 7: Hodnoty pro U vrub v podélném a příčném směru pro jakost EA4T. [4]</i>	48
<i>Tabulka 8: Hodnoty mikroskopických zkoušek pro nápravu 58009/1 (184). [12].....</i>	66
<i>Tabulka 9: Hodnoty mikroskopických zkoušek pro nápravu 58009/2 (185). [12].....</i>	69
<i>Tabulka 10: Hodnoty mikroskopických zkoušek pro nápravu 58009/3 (186). [12].....</i>	73
<i>Tabulka 11: Hodnoty mikroskopických zkoušek pro nápravu 58009/4 (187.) [12].....</i>	76

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1: Naměřené teploty polotovaru železniční nápravy při ohřevu na austenitizační teplotu v žíhací peci, Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [10]</i>	<i>55</i>
<i>Graf 2: Naměřené teploty železniční nápravy k. p. 222.80 při ohřevu na popouštěcí teplotu v krokové peci č. 2, Bonatrans Group a.s. – kovárna náprav. [11]</i>	<i>59</i>
<i>Graf 3: Pevnost a mez kluzu popouštěné nápravy</i>	<i>81</i>
<i>Graf 4: Tvrdost HB od povrchu nápravy popuštěné na teplotu 630°C</i>	<i>82</i>
<i>Graf 5: Tvrdost HB od povrchu nápravy popuštěné na teplotu 600°C</i>	<i>82</i>
<i>Graf 6: Tvrdost HB od povrchu nápravy popuštěné na teplotu 570°C</i>	<i>83</i>
<i>Graf 7: Průměrná tvrdost HB od povrchu nápravy popuštěné na teplotu 630°C – 570°C</i>	<i>83</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: TABULKA Č. 1. ZKOUŠKA TAHEM DLE ČSN EN 10 002-1 VŠECH 4 NÁPRAV

PŘÍLOHA P II: TABULKA Č. 2. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE ČSN EN 10 045-1 PRO NÁPRAVU 184

PŘÍLOHA P III: TABULKA Č. 3. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE ČSN EN 10 045-1 PRO NÁPRAVU 185

PŘÍLOHA P IV: TABULKA Č. 4. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE ČSN EN 10 045-1 PRO NÁPRAVU 186

PŘÍLOHA P V: TABULKA Č. 5. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE ČSN EN 10 045-1 PRO NÁPRAVU 187

PŘÍLOHA P VI: TABULKA Č. 6. ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE ČSN EN ISO 6506-1 VŠECHN 4 NÁPRAV A TABULKA Č. 7. ZKOUŠKA TAHEM DLE ČSN EN 10 002-1 SEGMENTŮ NÁPRAVY TAVBY ČÍSLO 31871

PŘÍLOHA P VII: TABULKA Č. 8. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE ČSN EN ISO 1045-1 SEGMENTŮ NÁPRAVY TAVBY ČÍSLO 31871

PŘÍLOHA P VIII: TABULKA Č. 9. ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE ČSN EN ISO 6506-1 SEGMENTŮ NÁPRAVY TAVBY ČÍSLO 31871

PŘÍLOHA P IX: TABULKA Č. 10. CHEMICKÉ SLOŽENÍ TAVBY ČÍSLO 31871

**PŘÍLOHA P I: TABULKA Č. 1. ZKOUŠKA TAHEM DLE ČSN EN
10 002-1 VŠECHN 4 NÁPRAV**

Zkouška tahem dle ČSN EN 10 002-1			Použité zkušební zařízení: trhací stroj ZD 40					
Identifikace zkušebního vzorku	Teplota prostředí: 23° C							
	Průměr [mm]	Průřez S ₀ [mm ²]	Počáteční měřená délka L ₀ [mm]	Konečná měřená délka L _u [mm]	Mez kluzu R _e [N/mm ²]	Pevnost v tahu R _m [N/mm ²]	Tažnost A [%]	Kontrakce Z [%]
58009/184-A	10	78,5	50,0	61,1	566	720	22,2	70
58009/184-b	10	78,5	50,0	61,8	535	707	21,6	68
58009/184-c	10	78,5	50,0	60,4	477	673	20,8	68
58009/185-A	10	78,5	50,0	62,5	528	694	25,0	70
58009/185-b	10	78,5	50,0	61,5	497	681	23,0	70
58009/185-c	10	78,5	50,0	63,4	452	652	26,8	68
58009/186-A	10	78,5	50,0	59,2	542	705	18,4	68
58009/186-b	10	78,5	50,0	59,5	513	701	19,0	65
58009/186-c	10	78,5	50,0	62,5	458	663	25,0	65
58009/187-A	10	78,5	50,0	61,7	534	701	23,4	70
58009/187-b	10	78,5	50,0	62,2	499	686	24,4	66
58009/187-c	10	78,5	50,0	62,3	456	657	24,6	66

**PŘÍLOHA P II: TABULKA Č. 2. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE
ČSN EN 10 045-1 PRO NÁPRAVU 184**

Zkouška rázem v ohybu dle ČSN EN 10 045-1		Použité zkušební zařízení Kyvadlové kladivo Charpy								
Identifikace zkušebního vzorku		Teplota prostředí: 23° C								
Číslo tavby	Pořadové číslo / Umístění	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzor- ku	Náraz. Práce
		°C	KU	J	°C	KU	J	°C	KU	J
58009	184-A 1	20	KU5	74	-20	KV2	116	-40	KV2	73
	184-A 2	20	KU5	71	-20	KV2	134	-40	KV2	71
	184-A 3	20	KU5	71	-20	KV2	120	-40	KV2	86
	184-A 4	20	KU5	69	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	184-A 5	20	KU5	69	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	184-A 6	20	KU5	69	-20	KV2	-	-40	KV2	-
58009	184-B 1	20	KU5	71	-20	KV2	100	-40	KV2	37
	184-B 2	20	KU5	70	-20	KV2	105	-40	KV2	54
	184-B 3	20	KU5	56	-20	KV2	74	-40	KV2	33
	184-B 4	20	KU5	56	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	184-B 5	20	KU5	51	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	184-B 6	20	KU5	52	-20	KV2	-	-40	KV2	-
58009	184-C 1	20	KU5	73	-20	KV2	65	-40	KV2	40
	184-C 2	20	KU5	73	-20	KV2	99	-40	KV2	44
	184-C 3	20	KU5	60	-20	KV2	80	-40	KV2	26
	184-C 4	20	KU5	61	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	184-C 5	20	KU5	50	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	184-C 6	20	KU5	64	-20	KV2	-	-40	KV2	-

**PŘÍLOHA P III: TABULKA Č. 3. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE
ČSN EN 10 045-1 PRO NÁPRAVU 185**

Zkouška rázem v ohybu dle ČSN EN 10 045-1		Použité zkušební zařízení Kyvadlové kladivo Charpy								
Identifikace zkušebního vzorku		Teplota prostředí: 23° C								
Číslo tavby	Pořadové číslo / Umístění	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce J	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce J	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce J
		°C	KU5	J	°C	KV2	J	°C	KV2	J
58009	185-A 1	20	KU5	71	-20	KV2	109	-40	KV2	55
	185-A 2	20	KU5	71	-20	KV2	88	-40	KV2	87
	185-A 3	20	KU5	71	-20	KV2	130	-40	KV2	95
	185-A 4	20	KU5	66	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	185-A 5	20	KU5	56	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	185-A 6	20	KU5	65	-20	KV2	-	-40	KV2	-
58009	185-B 1	20	KU5	69	-20	KV2	49	-40	KV2	46
	185-B 2	20	KU5	66	-20	KV2	68	-40	KV2	50
	185-B 3	20	KU5	68	-20	KV2	79	-40	KV2	21
	185-B 4	20	KU5	60	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	185-B 5	20	KU5	50	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	185-B 6	20	KU5	61	-20	KV2	-	-40	KV2	-
58009	185-C 1	20	KU5	61	-20	KV2	110	-40	KV2	70
	185-C 2	20	KU5	52	-20	KV2	53	-40	KV2	69
	185-C 3	20	KU5	56	-20	KV2	82	-40	KV2	69
	185-C 4	20	KU5	50	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	185-C 5	20	KU5	62	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	185-C 6	20	KU5	61	-20	KV2	-	-40	KV2	-

**PŘÍLOHA P IV: TABULKA Č. 4. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE
ČSN EN 10 045-1 PRO NÁPRAVU 186**

Zkouška rázem v ohybu dle ČSN EN 10 045-1		Použité zkušební zařízení Kyvadlové kladivo Charpy								
Identifikace zkušebního vzorku		Teplota prostředí: 23° C								
Číslo tavby	Pořadové číslo / Umístění	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzor- ku	Náraz. Práce
		°C	KU	J	°C	KU	J	°C	KU	J
58009	186-A 1	20	KU5	71	-20	KV2	99	-40	KV2	60
	186-A 2	20	KU5	70	-20	KV2	79	-40	KV2	39
	186-A 3	20	KU5	62	-20	KV2	67	-40	KV2	70
	186-A 4	20	KU5	67	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	186-A 5	20	KU5	59	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	186-A 6	20	KU5	57	-20	KV2	-	-40	KV2	-
58009	186-B 1	20	KU5	56	-20	KV2	68	-40	KV2	17
	186-B 2	20	KU5	56	-20	KV2	52	-40	KV2	44
	186-B 3	20	KU5	58	-20	KV2	75	-40	KV2	37
	186-B 4	20	KU5	49	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	186-B 5	20	KU5	52	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	186-B 6	20	KU5	63	-20	KV2	-	-40	KV2	-
58009	186-C 1	20	KU5	56	-20	KV2	53	-40	KV2	42
	186-C 2	20	KU5	56	-20	KV2	63	-40	KV2	37
	186-C 3	20	KU5	63	-20	KV2	67	-40	KV2	36
	186-C 4	20	KU5	56	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	186-C 5	20	KU5	52	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	186-C 6	20	KU5	65	-20	KV2	-	-40	KV2	-

**PŘÍLOHA P V: TABULKA Č. 5. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE
ČSN EN 10 045-1 PRO NÁPRAVU 187**

Zkouška rázem v ohybu dle ČSN EN 10 045-1		Použité zkušební zařízení Kyvadlové kladivo Charpy								
Identifikace zkušebního vzorku		Teplota prostředí: 23° C								
Číslo tavby	Pořadové číslo / Umístění	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce	Teplota zkuš. vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce
		°C	KU	J	°C	KU	J	°C	KU	J
58009	187-A 1	20	KU5	71	-20	KV2	83	-40	KV2	65
	187-A 2	20	KU5	65	-20	KV2	91	-40	KV2	53
	187-A 3	20	KU5	71	-20	KV2	87	-40	KV2	53
	187-A 4	20	KU5	59	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	187-A 5	20	KU5	57	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	187-A 6	20	KU5	66	-20	KV2	-	-40	KV2	-
58009	187-B 1	20	KU5	66	-20	KV2	103	-40	KV2	28
	187-B 2	20	KU5	55	-20	KV2	79	-40	KV2	55
	187-B 3	20	KU5	57	-20	KV2	78	-40	KV2	36
	187-B 4	20	KU5	59	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	187-B 5	20	KU5	51	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	187-B 6	20	KU5	60	-20	KV2	-	-40	KV2	-
58009	187-C 1	20	KU5	66	-20	KV2	92	-40	KV2	32
	187-C 2	20	KU5	56	-20	KV2	42	-40	KV2	36
	187-C 3	20	KU5	48	-20	KV2	99	-40	KV2	56
	187-C 4	20	KU5	48	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	187-C 5	20	KU5	44	-20	KV2	-	-40	KV2	-
	187-C 6	20	KU5	48	-20	KV2	-	-40	KV2	-

PŘÍLOHA P VI: TABULKA Č. 6. ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE ČSN EN ISO 6506-1 VŠECH 4 NÁPRAV A TABULKA Č. 7. ZKOUŠKA TAHEM DLE ČSN EN 10 002-1 SEGMENTŮ NÁPRAVY TAVBY ČÍSLO 31871

Zkouška tvrdosti dle ČSN EN ISO 6506-1				Použité zkušební zařízení: Tvrdoměr <u>Brinell</u> 300 HPO									
Identifikace zkušebního vzorku		Teplota prostředí: 23°C											
Číslo tavby- Pořadové číslo		Umístění kontrolního vpichu – první je 5mm pod povrchem a pak dále po 10mm po celém průřezu											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
58009-184	směr a	201	222	218	215	212	211	210	207	203	199	205	198
	směr b	227	224	220	218	216	213	211	207	203	199	196	199
58009-185	směr a	222	220	217	211	207	202	203	199	190	189	189	199
	směr b	219	216	216	211	211	209	203	201	200	199	197	211
58009-186	směr a	224	222	220	212	209	208	203	197	197	192	191	199
	směr b	222	220	218	216	213	211	207	201	202	199	190	211
58009-187	směr a	227	224	222	218	213	207	203	199	196	192	190	191
	směr b	234	227	223	218	215	211	209	203	197	194	193	190

Zkouška tahem dle ČSN EN 10 002-1				Použité zkušební zařízení: trhací stroj ZD 40					
Identifikace zkušebního vzorku		Teplota prostředí: 23°C							
Číslo tavby	Pořadové číslo	Průměr [mm]	Průřez S_0 [mm ²]	Počáteční měřená délka L_0 [mm]	Konečná měřená délka L_u [mm]	Horní mez kluzu R_{eH} [N/mm ²]	Pevnost v tahu R_m [N/mm ²]	Tažnost A [%]	Kontrakce Z [%]
31871	1 - 630°C	10	78,5	50	61,3	517	679	22,6	70
	2 - 600°C	10	78,5	50	61,1	529	693	22,2	70
	3 - 570°C	10	78,5	50	60,1	562	734	20,2	66

**PŘÍLOHA P VII: TABULKA Č. 8. ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU
DLE ČSN EN 10 045-1 SEGMENTŮ NÁPRAVY TAVBY ČÍSLO 31871**

Zkouška rázem v ohybu dle ČSN EN 10 045-1		Použité zkušební zařízení: Kyvadlové kladivo Charpy		
Identifikace zkušební vzorku		Teplota prostředí: 23°C		
Číslo tavby	Pořadové Číslo/ Umístění	Teplota zku- šební vzorku	Typ zk. vzorku	Náraz. Práce
		°C	KU	J
31871	1 - podélně	20	KU5	86
	1 - podélně	20	KU5	79
	1 - podélně	20	KU5	77
	2 - podélně	20	KU5	80
	2 - podélně	20	KU5	75
	2 - podélně	20	KU5	75
	3 - podélně	20	KU5	70
	3 - podélně	20	KU5	72
	3 - podélně	20	KU5	78

**PŘÍLOHA P VIII: TABULKA Č. 9. ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE ČSN
EN ISO 6506-1 SEGMENTŮ NÁPRAVY TAVBY ČÍSLO 31871**

Zkouška tvrdosti dle ČSN EN ISO 6506-1		Použité zkušební zařízení: Tvrdoměr Brinell 300HPO								
Identifikace zkuš. vzorku		Teplota prostředí: 23°C								
Číslo tavby	Pořadové číslo	Umístění kontrolního vpichu (mm) pod povrchem								
		1- 5mm	2-10mm	3-20mm	4	5	6	7	8	9
31871	1-1	252	239	219	213	210	209	202	198	201
	1-2	257	245	219	217	211	207	204	201	190
	1-3	237	223	216	212	210	204	202	200	196
	1-4	236	222	212	206	206	205	202	196	191
	2-1	266	252	224	220	217	216	209	207	203
	2-2	268	247	221	216	215	212	207	203	198
	2-3	259	234	223	214	212	212	204	202	201
	2-4	239	229	221	216	215	212	207	204	202
	3-1	274	255	227	221	220	217	215	212	209
	3-2	280	260	234	232	226	223	217	216	211
	3-3	256	243	235	227	227	225	217	213	210
	3-4	276	240	226	223	221	221	216	215	211

**PŘÍLOHA P IX: TABULKA Č. 10. CHEMICKÉ SLOŽENÍ TAVBY
ČÍSLO 31871**

Kód charakteristiky	Popis	Hodnota atributu	Poznámka1
1040	poznámka	1.V	
1080	Ingot/Konti	Konti	
1090	datum vystavení atestu (uvol. OŘJ)	10.8.2007	
1110	C	0,26	0,24 - 0,28%
1120	Mn	0,74	0,60 - 0,80%
1130	Si	0,26	0,20 - 0,37%
1140	P	0,014	max 0,020%
1150	S	0,004	max 0,015%
1160	Cu	0,04	max 0,15%
1170	Cr	1,11	0,90 - 1,15%
1180	Ni	0,02	0,15 - 0,28%
1190	Al	0,023	min. 0,014%
1200	N	0,0066	max 90 ppm
1210	Mo	0,214	0,17 - 0,25%
1220	V	0,006	max 0,03%
1230	H	1,8	max 2,5 ppm
1240	Sn	0	
1250	Ti	0	
1260	W	0	
1270	O	2	max 25ppm
1280	AlC	0,022	