

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh technologie výroby tramvajové nápravy

Production Technology Proposal of Tram's Axle

Student:

Pavel Sedláček

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Sedláček**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie výroby tramvajové nápravy
Production Technolgy Proposal of Tram´s Axle**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Možnosti obrábění rozměrných součástí.
3. Návrh technologie výroby tramvajové nápravy, včetně materiálu, strojů, nástrojů a proměření finálního výrobku.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing.et Ing.Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5, 2014



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejnění 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 předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2014



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Pavel Sedláček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Chrpová 536/2B
736 01 Havířov-Šumbark

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SEDLÁČEK, P. *Návrh technologie výroby tramvajové nápravy: bakalářská práce.*
Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 48 s. Vedoucí práce: Čep, R.

Má bakalářská práce, kterou zde prezentuji, se zabývá technologií výroby tramvajových náprav. Na začátku prezentuji historii výroby tramvají na našem území, hlavní části tramvají. Dále popisuji obrábění mechanických částí – rozměrných součástí tramvají. V hlavní části popisuji technologii výroby tramvajové nápravy, materiály z kterých se nápravy vyrábějí, tepelné zpracování polotovarů, provedení předepsaných zkoušek po tepelném zpracování. Technologický postup výroby jednoho typu nápravy včetně návržení technologických zařízení, strojů, nástrojů, přípravků, u některých operací počítám řezné podmínky a jednotkové strojní časy. Také uvádím řezné podmínky doporučené výrobcem nástrojů. V závěru vyhodnocuji technicko - ekonomické ukazatele výroby tramvajových náprav.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SEDLÁČEK, P. *Production Technology Proposal of Tram's Axle: Bachelor Thesis.*
Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Cutting and Assembly, 2014, 48 p. Thesis head: Čep, R.

This thesis, presented here deals with the technology of production of tram axles. At the beginning I present the history of trams in the country and the main parts of the tram. Also describe the machining of mechanical parts – which are the largest parts. The main part of thesis describes the technology of production tram axles, materials from which they are manufactured, heat treatment preparation, execution of prescribed tests after heat treatment. Technological process of production of one type of axle including the design of technological equipment, machinery, tools, jigs, some operations even counting unit cutting conditions and machinery times. Also I mention cutting conditions recommended by the manufacturer of instruments. In conclusion, I evaluate technical and economical indicators of production tram axles.

Obsah	strana
Seznam použitých značek a symbolů	8
0 Úvod	10
1 Úvod do problematiky	11
1.1 Historie výroby tramvají	11
1.2 Hlavní části tramvaje	11
1.3 Popis tramvajové nápravy	12
2 Možnosti obrábění rozměrných součástí	14
3 Návrh technologie výroby tramvajové nápravy	16
3.1 Materiál	16
3.1.1 Válcovaná kruhová tyč jakosti 15 230	16
3.1.2 Výkovek jakosti EA4T	17
3.2 Vstupní kontrola dodaných polotovarů	19
3.3 Výroba	20
3.3.1 Dělení tyčí řezáním pro tepelné zpracování	20
3.3.2 Ražení značení	20
3.3.3 Normalizační žíhání	22
3.3.4 Zušlechťení	22
3.3.5 Zkouška tvrdosti dle Brinella	23
3.3.6 Výběr náprav pro odběr zkoušek	23
3.3.7 Řezání zkoušek	24
3.3.8 Provedení předepsaných zkoušek	24
3.3.9 Rovnání	25
3.3.10 Žíhání na snížení vnitřního pnutí	25

3.3.11	Zavrtání důlků	26
3.3.12	Hrubování tepelně zpracovaných tyčí	26
3.3.13	Soustružení nápravy	28
3.3.14	Zavrtání nových důlků	32
3.3.15	Vrtání, řezání závitů	34
3.3.16	Broušení	35
3.3.17	Dokončení tvaru nápravy soustružením, válečkováním	37
3.3.18	Vyražení konečného značení	37
3.3.19	Nedestruktivní kontrola	38
3.4	Výstupní kontrola, přejímka	39
3.5	Povrchová úprava, balení a paletizace	39
3.5.1	Povrchová úprava	39
3.5.2	Balení, paletizace	40
3.6	Expedice	40
4	Technicko – ekonomické zhodnocení	41
	Použité zdroje	44
	Seznam obrázků a tabulek	46
	Seznam příloh	48

Seznam použitých značek a symbolů

A_5 – tažnost	[%]
D – průměr obráběné plochy	[mm]
D_S – střední průměr nápravy	[mm]
F_1 – mez únavy zkušebních těles ve skutečné velikosti na povrchu	[N/mm ²]
F_2 – mez únavy zkušebních těles ve skutečné velikosti na povrchu otvoru duté nápravy	[N/mm ²]
HB – hodnota tvrdosti dle Brinella	[-]
HSS – rychlořezná ocel	[-]
HSS-E – rychlořezná ocel s 5% obsahem Co pro zvýšené namáhání – vysoké tepelné zatížení	[-]
KCU2 – hodnota vrubové houževnatosti pro zkušební tyč s U vrubem poloměru 2 mm	[J/cm ²]
KU – nárazová práce pro zkušební tyč s U vrubem	[J]
L – délka obráběné plochy	[mm]
L_c – celková délka nápravy	[mm]
PC – osobní počítač	[-]
R_{EH} – horní mez kluzu	[N/mm ²]
R_{fE} – mez únavy na redukovaných zkušebních tělesech s vrubem	[N/mm ²]
R_{fL} – mez únavy na redukovaných zkušebních tělesech s hladkým povrchem	[N/mm ²]
R_m – mez pevnosti v tahu	[N/mm ²]
VBD – vyměnitelná břitová destička	[-]
a_p – hloubka řezu	[mm]
b_s – šířka brousícího kotouče	[mm]
d_w – průměr obrobku	[mm]
f – posuv	[mm]
f_a – axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku	[mm]
f_n – posuv na otáčku	[mm]

f_r – radiální posuv stolu brusky na jeden axiální zdvih stolu	[mm]
f_z – posuv na zub	[mm]
i – počet třísek	[-]
k_{VBD} – korekce na tvar VBD	[-]
k_{VHB} – korekce na tvrdost obrobku	[-]
k_{VT} – korekce na trvanlivost břítu	[-]
k_{vX} – korekční součinitel	[-]
l – hloubka díry	[mm]
l_a – dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru	[mm]
l_n – délka náběhu	[mm]
l_{na} – délka náběhu v axiálním směru	[mm]
l_{pa} – délka přeběhu v axiálním směru	[mm]
l_w – délka obrobku	[mm]
n – počet otáček	[min ⁻¹]
n_w – frekvence otáčení obrobku	[min ⁻¹]
p – přídavek na broušení	[mm]
t_{AC} – celkový jednotkový čas	[min]
t_{AS} – jednotkový strojní čas	[min]
t_{ASZ} – jednotkový strojní čas při řezání závitu	[min]
t_B – přípravný čas	[min]
v_c – řezná rychlost	[m/min]
v_{c15} – řezná rychlost při trvanlivosti břítu 15 min	[m/min]
v_{c45} – řezná rychlost při trvanlivosti břítu 45 min	[m/min]
v_w – obvodová rychlost obrobku	[m/min]
α_o – nástrojový ortogonální úhel hřbetu	[°]
γ_o – nástrojový ortogonální úhel čela	[°]
κ_r – nástrojový úhel nastavení hlavní řezné hrany	[°]
λ_{red} – stupeň štíhlosti	[-]
λ_s – nástrojový úhel ostří	[°]

Úvod

V mé bakalářské práci popisuji výrobu jednoho typu tramvajové nápravy. Uvádím strojní zařízení, která se dají pro výrobu náprav použít, řezné podmínky, které srovnávám s doporučenými podmínkami výrobců nástrojů, popisuji sled operací, jaké materiály se používají, jaké mechanické zkoušky by se měly minimálně požadovat. V úvodu píš o nasazení tramvají do provozu ve světě a u nás, popisuji hlavní části hnacích a běžných náprav – co se na jednotlivé průměry montuje a to za tepla anebo za studena, s přesahem – lisováním, anebo bez přesahu. Pro mou práci jsem čerpal z výroby tramvajových náprav ve firmě ArcelorMittal Engineering Products Ostrava s.r.o. (AMEPO), v které jsem zaměstnán a v které se mimo jiného tramvajové nápravy vyrábí. První zmínky o výrobě dvojkolí a jejich dílů pro železniční kolejová vozidla, dle archivovaných výkresů, jsou z roku 1949. Výroba tramvajových náprav byla započata později. Od té doby se ve firmě nepřetržitě sestavují dvojkolí pro dieselelektrické lokomotivy a hutní vozy, vyrábí se nápravy, obručová kola, celistvá kola pro železniční kolejová vozidla – hnací vozidla a vagóny, nápravy a celistvá kola tzv. monobloky pro tramvaje. Do roku 1996 náš závod velmi úzce spolupracoval s dnes již neexistující, ale ve své době velmi známou a slavnou firmou, s firmou ČKD LOKOMOTIVKA a o něco déle s firmou Moravskoslezská vagonka a.s., Studénka. AMEPO je 100 % dcera ArcelorMittal Ostrava a.s. (AMO). Hutní podnik, kterého je součástí i AMEPO, byl založen 31. 12. 1951 jako Nová Huť Klementa Gottwalda n.p. (NHKG). Dne 1. 1. 1952 byla slavnostně zapálena první vysoká pec. Po roce 1989 se huť přejmenovala, nejprve na Nová Huť a.s., po privatizaci v roce 2003 to byl ISPAT Nová Huť a.s. a o dva roky později to byl Mittal Steel Ostrava a.s.. Od roku 2007 až do současnosti nese název ArcelorMittal Ostrava a.s.. Tato firma je hlavně firmou hutní, kde se vyrábí a zpracovává surové železo a ocel, dále se zde vyrábí koks, dlouhé a válcované výrobky – tyče kruhové válcované za tepla, tyče průřezu L, T, I, U, betonářská ocel, válcovaný drát, pásy a plechy, důlní výztuže, silniční svodidla.

1 Úvod do problematiky

1.1 Historie výroby tramvají

Tramvajová náprava, jak už vyplývá z názvu, je jedna z hlavních částí každého podvozku tramvaje. Může být hnací nebo běžná (hnaná). Hnací náprava je poháněna elektromotorem přes spojku a převodovku, běžná náprava není poháněna. Na hnací nápravě je mimo tramvajových kol – monobloků, také převodovka, dle typu tramvaje brzdový kotouč.

První zmínka o nasazení tramvají, které byly poháněny elektromotorem, jež je napájen elektrickým proudem přes troleje a sběrač, se váže k roku 1887, v Čechách to je rok 1891. V Čechách se dlouhou dobu vyráběly tramvaje v Ringhofferových závodech, kde první tramvaj byla dodána na vinohradskou trať v roce 1897. Po znárodnění továrna na výrobu tramvají nesla název Tatra n. p., závod Smíchov (do roku 1963), později ČKD (Českomoravská Kolben Daněk) Praha, závod Tatra Smíchov. V letech 1993 ÷ 1996 se závod přestěhoval do areálu na Zličíně. V roce 2002 koupil firmu německý Siemens, ale tato firma zde již tramvaje nevyráběla. Tramvaje se v Tatře pod různými typy vyráběly téměř 100 let. V současné době se tramvaje vyrábějí hlavně ve firmě ŠKODA Transportation a.s., Plzeň, potom v INEKON GROUP, a.s.. Výroba, modernizace a opravy tramvají se provádějí také v Pars nova a.s., Šumperk, v rámci Aliance TW TEAM, která sdružuje firmu Pragoimex a.s., Krnovské opravy a strojírny s.r.o. a VKV Praha s.r.o.. V Tatře Smíchov bylo sestaveno přes 1 000 000 tramvají.

V Ostravě začaly první tramvaje, tenkrát ještě parní, jezdit v srpnu roku 1894 na trase Přívoz – Moravská Ostrava – Vítkovice, první elektrická tramvaj se v Ostravě rozjela 1. května 1901. Zajímavostí tramvajové dopravy v Ostravě je, že svršek – kolej, má rozchod 1435 mm, což je rozchod železniční koleje u nás provozované např. ČD (České dráhy, a.s.). Proto tramvaje mohou jezdit i na železničních kolejích a opačně. Další zajímavostí je, že každé město, které provozuje tramvajovou dopravu, má svůj tvar jízdní plochy tramvajových kol.

1.2 Hlavní části tramvaje

Každá tramvaj má dvě hlavní části: mechanickou a elektrickou. Hlavní části mechanické je pojezd. Hlavní části pojezdu jsou podvozky, které se dělí na podvozky hnací a běžné. Tramvaje jsou dle typu dvoupodvozkové až čtyřpodvozkové.

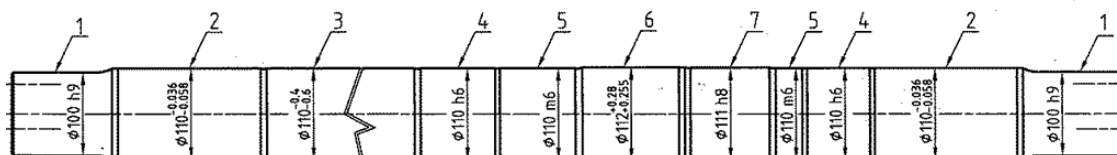
Základem každého podvozku je rám, ke kterému jsou připojeny další části: dvojkolí a to hnací nebo běžné, dále brzda, u hnacích podvozků pohon, uzel druhotného vypružení a spojení podvozku se skříní, vzduchové potrubí. Další, velmi významnou částí, je skříň.

Jak jsem již uvedl v úvodu, tramvajová náprava je jeden z hlavních dílů podvozku. Na hnací nápravu se lisuje za studena náboj ozubeného kola, na něj se montuje kuželové ozubené kolo, převodová skříň včetně ložisek, těsnících kroužků, opěrných kroužků. Dále se lisuje na nápravu náboj, na který přijde namontovat tramvajový monoblok. Náboj může být buď pro pevné uchycení tramvajového monobloku anebo dnes již více užívaný způsob upnutí přes gumové segmenty. Tramvajový monoblok může být jako celistvé kolo, které se opracovává z tepelně zpracovaného vývalku, anebo jako složené kolo, které se skládá z vyválcovaného kotouče a obruče, mezi kterými může být gumové odpružení. Průměr jízdního obrysu nového monobloku bývá ve většině případů $\varnothing 700$ mm, šířka $(85 \div 100)$ mm.

1.3 Popis tramvajové nápravy

Hnací tramvajová náprava se může skládat z těchto částí (obr. 1.1) :

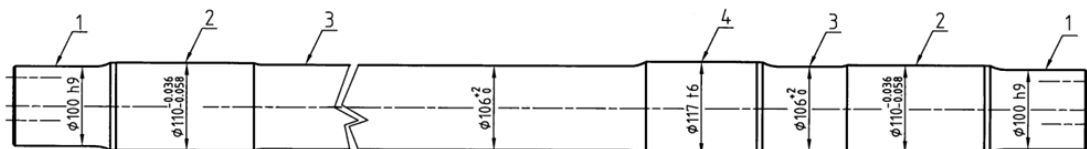
- 1 Čepy pro ložiskové skříně uchycené na rám
- 2 Sedla pro náboj pro celistvá kola - tramvajové monobloky
- 3 Dřík nápravy
- 4 Sedla pro těsnící kroužky
- 5 Sedla pro ložiska s převodovou skříní
- 6 Sedlo pro náboj pro kuželové ozubené kolo
- 7 Sedlo pro distanční trubku



Obr. 1.1 Jednotlivé části hnací tramvajové nápravy

Běžná (hnaná) tramvajová náprava se obvykle skládá z těchto částí (obr. 1.2):

- 1 Čepy pro ložiskové skříňě uchycené na rám
- 2 Sedla pro náboj pro celistvá kola - tramvajové monobloky
- 3 Dřík nápravy
- 4 Sedlo pro brzdový kotouč

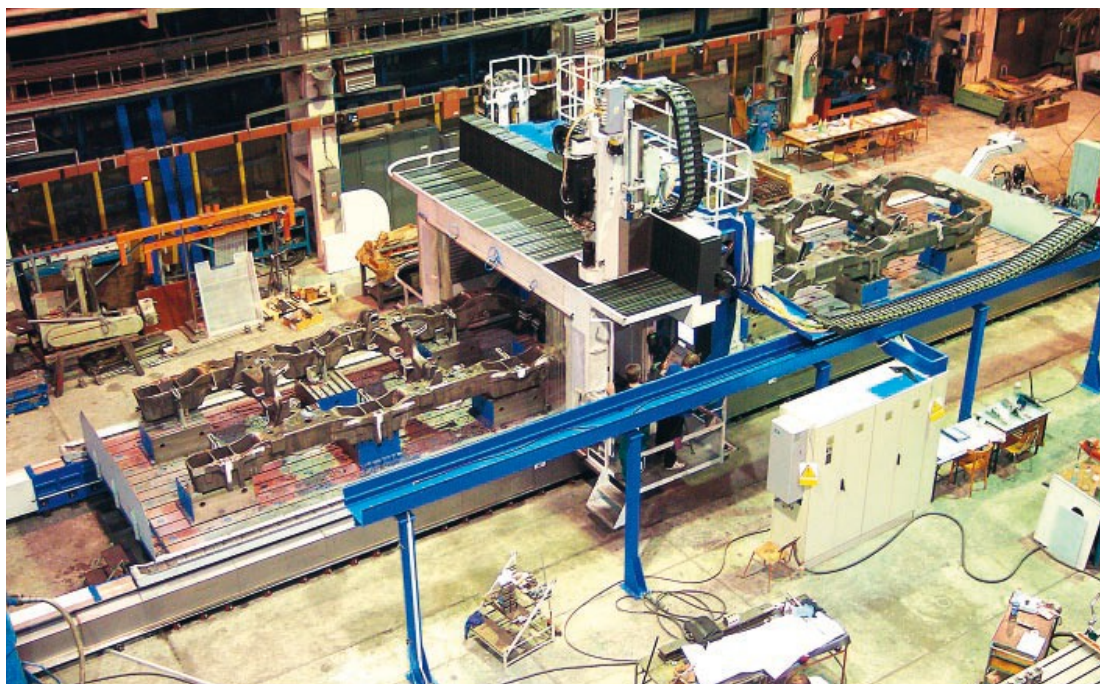


Obr. 1.2 Jednotlivé části běžné tramvajové nápravy

2 Možnosti obrábění rozměrných součástí

Jednou z hlavních mechanických částí tramvají a také lokomotiv jsou podvozky. Podvozky mohou být lité z oceli na odlitky anebo svařované. Podvozky, které byly svařované, by měly být po operaci svařování žíhány na snížení vnitřního pnutí, podvozky odlité by měly být žíhány normalizačně. Po tepelném zpracování a očištění od písků, zbytků forem, nálitků, probíhá kontrola na možné trhliny, povrchové vady. Dále se kontrolují hlavní rozměry. Pokud je vše v pořádku, podvozky se dopraví do obráběcí dílny. Jelikož se jedná o rozměrné součásti, používají se pro obrábění velké obráběcí stroje. Ve firmě ČKD Kutná Hora, a.s., která je mimo jiných výrobků dodavatel litých podvozků pro lokomotivy, se dlouhé podvozky odlévají i obrábí. Pro obrábění, tzv. loko podvozků, dodala v roce 2007 firma TOS KUŘIM-OS, a.s., která je součástí společnosti ALTA, a.s., portálové obráběcí centrum pod označením FRFQ 300-VR/A16 (obr. 2.1). Celkový čas opracování, které sestává z hrubování a dokončovacích operací, byl při používání staršího stroje 162 hodin. Po instalaci zmíněného centra a sladění jak technologie, tak i prostojů, navržení nových přípravků, se v ČKD Kutné Hoře podařilo uvedený čas 162 hodin snížit na 18 hodin a 36 minut! Uvedené obráběcí centrum má posuvný portál, který má pracovní podélný pohyb až 23 000 mm, příčný zdvih 3 800 mm a svislý zdvih 1 500 mm. Upínací plocha stolu je dlouhá 16 000 mm a široká 3 000 mm, průchodnost mezi stojany je 3 550 mm. Rozsah posuvů v ose X a Y je $(1 \div 15\,000)$ mm/min a v ose Z to je $(1 \div 12\,000)$ mm/min. Výkon na pohonu včetně je 30 kW.

O dva roky později dodala TOS KUŘIM-OS, a.s., portálové obráběcí centrum FRFQ 300-VR/A8 (obr. 2.2) do ŠKODA TRANSPORTATION a.s., Plzeň, k opracování tramvajových souprav – podvozků. U tohoto stroje je výkon na pohonu včetně 37 kW. S uvedeným strojem byla mimo jiných dodána i speciální výměnná hlava úhlového provedení, která umožňuje obrábění hůře přístupných míst bez nutnosti přepínání a ustavování obrobků. Portálová centra z firmy TOS KUŘIM-OS, a.s., nachází své uplatnění nejen v železničním průmyslu, ale také v leteckém, energetickém, a jsou dodávána do celého světa. Také v Ostravě, ve firmě Vítkovice Heavy Machinery a.s., Těžká mechanika, mají velké obráběcí soustruhy a centra, na kterých obrábí velké díly do lodí, výrobky pro energetiku, těžký průmysl.



Obr. 2.1 Portálové obráběcí centrum FRFQ300-VR/A16 při obrábění loko podvozku



Obr. 2.2 Portálové obráběcí centrum FRFQ300-VR/A8 při obrábění tramvajového podvozku

3 Návrh technologie výroby tramvajové nápravy

3.1 Materiál

Jako polotovar pro výrobu tramvajové nápravy může být použit výkovek anebo za tepla válcovaná kruhová tyč.

3.1.1 Válcovaná kruhová tyč jakosti 15 230

Pokud se jedná o výrobu náprav z válcované za tepla kruhové tyče, byl a stále je nejběžněji používaný v České republice materiál jakosti 15 230.9 dle české normy ČSN 41 5230. Mechanické hodnoty jsou však upřesněny dle mnoholetých zkušeností, provedených zkoušek a také při používání v běžném provozu. Chemické složení materiálu jakosti 15 230 je uvedeno v tab. 3.1, tolerance obsahu jednotlivých prvků v tab. 3.2. Hodnoty uvedené v tabulce 3.2 platí pro výrobky z ingotů

o hmotnosti do 4 tun. U výrobků z ingotů o hmotnosti vyšší je třeba dovolené úchytky chemického složení v hotovém výrobku dohodnout. V tab. 3.3 a 3.4 uvádím mechanické hodnoty, které musí vyjít po tepelném zpracování – kalení a popouštění.

Tab. 3.1 Chemické složení (rozbor tavby) materiálu 15 230 [%]

C	Mn	Si	Cr	V	P	S
0,24 ÷ 0,34	0,40 ÷ 0,80	0,17 ÷ 0,37	2,20 ÷ 2,50	0,10 ÷ 0,20	max. 0,035	max. 0,035

Tab. 3.2 Dovolené úchytky chemického složení v hotovém výrobku [%]

C	Mn	Si	Cr	V	P	S
-0,01 +0,02	-0,05 +0,10	-0,03 +0,05	±0,10	-0,03 +0,07	-	-

Tab. 3.3 Mechanické hodnoty jakosti 15 230.9

R_{eH} (N/mm ²) ^a	R_m (N/mm ²)	A_5 (%)
≥ 490	735 ÷ 863	≥ 14
a Pokud není zřetelná mez pružnosti, musí se stanovit smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$		

Tab. 3.4 Mechanické hodnoty – vrubová houževnatost a tvrdost dle Brinella jakosti 15 230.9

KCU2 podélně (J/cm ²) při 20 °C	KCU2 podélně (J/cm ²) při -30 °C	Tvrdost HB
≥ 69	≥ 30	232 ÷ 262

Mimo uvedených mechanických vlastností se provádějí zkoušky únavy za rotace při zkráceném počtu cyklů 2×10^6 při ohybu 373 MPa dle ČSN 42 0363, kdy zkušební tyčinka nesmí prasknout. Při zavádění nové tramvaje a s tím i nově navržené nápravy do provozu, se dle požadavku zákazníka může také provést zkouška únavy za rotace při 1×10^7 cyklech za ohybu s vystavením Wöhlerovy křivky.

Zkouška se většinou provádí na 10 ks zkuškových tyčích bez vrubu a 10 ks zkuškových tyčích s vrubem. Dále dle požadavku zákazníka se může provést kontrola mikrostruktury u jednoho vzorku z tavby a pecní vsázky pro stanovení velikosti primárního austenitického zrna dle ČSN EN ISO 643. Velikost zrna musí odpovídat stupni 5 a jemnější. Dalším požadavkem na materiál tramvajových náprav je, že stupeň přetváření pro válcování má být dle zkušeností 6 a více. Běžně bývá pro tyče \varnothing 125 mm až 14. Stupeň přetváření 6 znamená, že průřez vstupního materiálu – ingotu, musí být 6x větší než průřez vyválcované tyče tzn. pro průměr tyče \varnothing 125 mm by měl mít ingot průřez 73 631 mm² (pro vysvětlení, pokud bude ingot kruhový, měl by mít min. \varnothing 307 mm).

3.1.2 Výkovek jakosti EA4T

Pro výrobu hnacích tramvajových náprav můžeme použít i novější materiál, který je určen hlavně pro výrobu náprav hnacích kolejových vozidel – elektrické a dieselelektrické lokomotivy, motorové a elektrické vozy, speciální vozidla, a to výkovek jakosti EA4T. Pro výrobu nehnacích - běžných náprav, můžeme použít

materiál, který je určen hlavně pro výrobu náprav nehnacích vozidel – osobních a nákladních vagónů, a to výkovek jakosti EA1N. Výkovky obou speciálních jakostí se dodávají dle evropské normy EN 13 261+A1, která je také převzata Českou republikou jako ČSN EN 13 261+A1. Chemické složení materiálu EA4T je uvedeno v tab. 3.5, mechanické vlastnosti tepelně zpracovaných výkovek jakosti EA4T jsou uvedeny v tab. 3.6 ÷ 3.8.

Tab. 3.5 Mezní hodnoty analyzovaného výrobku [%]

C	Si	Mn	P ^a	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
0,22 ÷ 0,29	0,15 ÷ 0,40	0,50 ÷ 0,80	max. 0,020	max. 0,015 ^b	0,90 ÷ 1,20	max. 0,30	0,15 ÷ 0,30	max. 0,30	max. 0,06
a Maximální obsah 0,025% může být odsouhlasen při poptávce a objednávce									
b Minimální obsah síry se může odsouhlasit při poptávce a objednávce podle způsobu výroby oceli za účelem ochrany před vodíkovou křehkostí									

Tab. 3.6 Hodnoty, které je třeba dosáhnout na středním poloměru plných náprav nebo ve střední vzdálenosti mezi vnějšími a vnitřními povrchy dutých náprav

R_{eH} (N/mm ²) ^a	R_m (N/mm ²)	A ₅ (%)
≥ 420	650 ÷ 800	≥ 18
a Pokud není zřetelná mez průtažnosti, musí se stanovit smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$		

Tab. 3.7 Hodnoty absorbované energie u vzorků s U-vrubem (KU), které je třeba dosáhnout na středním poloměru plných náprav nebo ve střední vzdálenosti mezi vnějšími a vnitřními povrchy dutých náprav

KU podélně (J) při 20 °C	KU příčně (J) při 20 °C
≥ 40	≥ 25

Tab. 3.8 Mezní napětí hodnot únavy

$F_1 \geq$	$F_2 \geq$	$R_{fL} \geq$	$R_{fE} \geq$	$R_{fL} / R_{fE} \leq$
240 N/mm ²	96 N/mm ²	350 N/mm ²	215 N/mm ²	1,63

Kontrola mikrostruktury se u oceli jakosti EA4T provádí u jednoho vzorku z tavby a pecní vsázky pro stanovení velikosti feritického nebo perlitického zrna dle ČSN EN ISO 643. Velikost zrna musí odpovídat stupni 5 a jemnější.

3.2 Vstupní kontrola dodaných polotovarů

Tramvajové nápravy můžeme vyrábět jak z válcovaných kruhových tyčí, tak i z výkovků, jak je uvedeno výše. Já budu popisovat výrobu náprav z válcovaných kruhových tyčí válcovaných za tepla. Po dodání tyčí v jakosti 15 230.0 – bez tepelného zpracování, anebo 15 230.3 – žihání na měkko, např. v třínásobných délkách a s dostatečně velkým přídavkem na opracování, provede zástupce kontroly jakosti, vstupní kontrolu – přejímku. Při této operaci se kontroluje namátkově – 10 % z dodaného množství, délka, průměr, rovinnost, povrchové vady, vyražené značení na čele – číslo tavby, a porovnává se to s atestem, který je dodán s tyčemi. Obvykle je požadován Inspekční certifikát dle ČSN EN 10 204 3.1 obsahující materiálový atest s chemickým složením tavebního vzorku, rozměry, potvrzením o radioaktivitě, která nesmí překročit 100 Bq/kg. Dále by měla provést kontrola s vystavenou kupní smlouvou, která je oboustranně podepsaná. Pokud proběhne kontrola v souladu s požadavkem, uvolní se tyče do výroby tak, že se na každou tyč napíše nesmazatelnou barvou číslo tavby, číslo zakázky, pro kterou je tyč určena. Dále se určí a označí, z které tyče se budou řezat po provedeném tepelném zpracování zkoušky. Tyče se mohou objednávat v tří-násobných délkách, s minimálním přídavkem +13 mm na průměr vůči největšímu jmenovitému průměru opracované nápravy a s minimálním přídavkem +15 mm vůči jmenovité délce nápravy. Přídavek na délku obsahuje: 10 mm přídavek na zarovnání čel při soustružení (5 mm z každé strany), 5 mm přídavek na řez na pile a pro odřezání konce tyče. Pro 25 ks nařezaných tyčí se musí min. 2 ks tyčí označit a řezat o dalších 250 mm delších pro odběr zkoušek. 25 ks je dáno kapacitou plynové pece, v které se provádí tepelné zpracování. Poté se přepíše číslo tavby a číslo nápravy v dávce při tepelném zpracování do průvodky k tepelnému zpracování.

3.3 Výroba

Náprava, jejíž výrobu zde budu popisovat, bude zhotovena dle rozměrů, geometrických tolerancí, drsnosti opracování a ostatních technických podmínek a poznámek uvedených na výkrese číslo 2/SE-2014-02-02 – NÁPRAVA TRAMVAJOVÁ (příloha 1) a dle detailního technologického postupu, který může vypadat dle obr. 3.1. Pro příklad v něm uvádím operaci zavrtání nových důlků. Výkresová dokumentace by měla být vypracovaná dle platných norem a předpisů, dle zadávacích podmínek odběratele hotové tramvaje, dle výpočtů na různé druhy namáhání, měla by být odběratelem schválena.

3.3.1 Dělení tyčí řezáním pro tepelné zpracování

Pro nařezání náprav na požadované délky se použije strojní horizontální pásová pila. Pásová pila má oproti kotoučové a rámové pile výhodu v tom, že má menší příkon, vysokou produktivitu dělení a malou ztrátu materiálu prořezem, naopak asi největší nevýhoda je vysoká cena nástroje. Použije se pásová pila typu např. KASTO SBL 380 U, jako nástroj se použije pilový pás 5232 mm x 34 mm x 1,1 mm, 3 zuby na palec. Maximální řezný průměr polotovaru je 380 mm. Pro materiál jakosti 15 230.3 se použije řezná rychlost $v_c = 50$ m/min, hodnota posuvu na zub $f_z = 4,3$ mm/min. Jako chladicí kapalina se použije BLASOCUT 2000 CF. Je to vodou mísitelná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi minerálních olejů.

3.3.2 Ražení značení

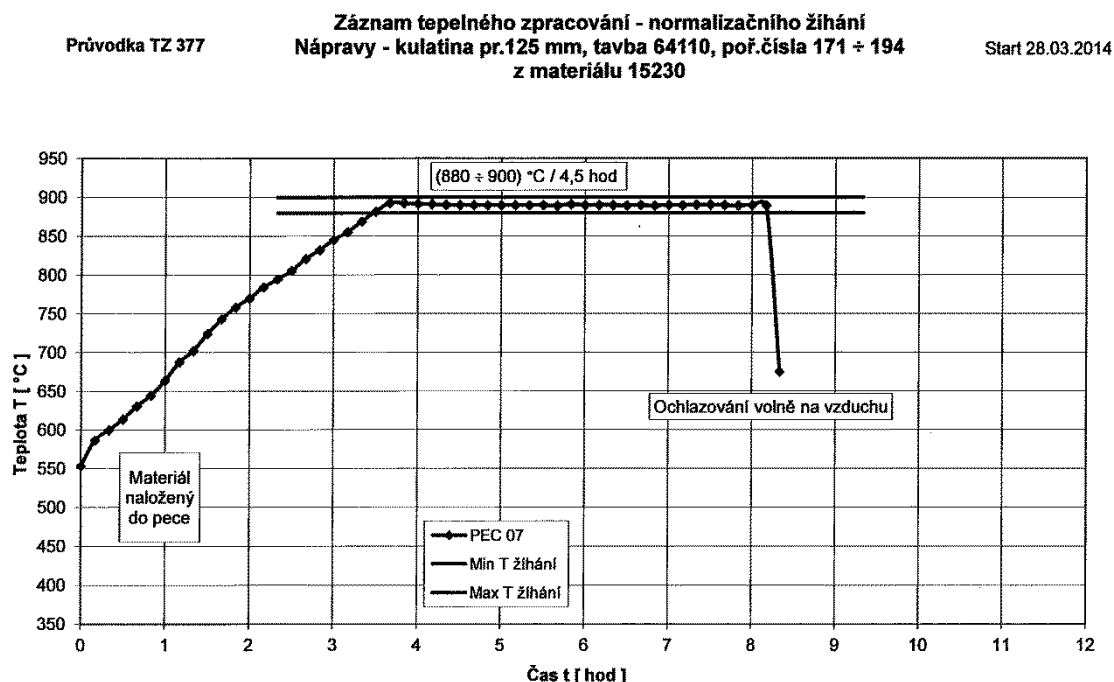
Po uřezání tyče se na její čelo vybijí číslo tavby a číslo nápravy v dávce při tepelném zpracování. Číslo jsou 8 mm vysoká, razí se za studena do hloubky min. 0,4 mm, na jedno čelo. Na tyče, kde je také přídavek 250 mm pro odběr zkoušek, se vyrazí značení na obě čela.

DETAILNÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Číslo zakázky: 1-19-1234-4	Dávka: 001	Název součásti: HNACÍ NÁPRAVA	Číslo výkresu: 2/SE-2014-02-02				
Číslo operace: 10	Název operace: ZAVRTÁNÍ NOVÝCH DŮLKŮ		Číslo pracoviště: 4331	Typ stroje: SOUSTRUH SU 63A					
Polotovár: TYČ KRUH. Ø 125 mm	Jakost materiálu/norma: 15 230.0/9 / ČSN 41 5230		Hmotnost hrubá v kg: 145,-	Hmotnost čistá v kg: 108,-	Listů: 15	List č.: 8			
Vyobrazení dané operace:									
Popis operace-jednotlivé úseky a úkony:									
<ol style="list-style-type: none"> 1. Zvedacím přípravkem v.č. 3/SE-2014-02-04 a závěsným kladkostrojem dopravit nápravu na pracoviště; 2. Nápravu upnout do tříčelistového sklíčidla a lunety; 3. Vystředit; 4. Zarovnat soustružnickým nožem čelo; 5. Vyvrtat odstupňovaným šroubovitým vrtákem důlek $\phi 5$ mm do HL = 22 mm \pm 5 mm / $\phi 22$ mm \pm 2 mm / 90° / 120°, dodržet předepsanou drsnost opracování Ra max. 3,2 μm; 6. Vyfoukat třísky z vyvrtaného důlku; 7. Změřit rozměry $\phi 5$ mm do HL = 22 mm \pm 5 mm / $\phi 22$ mm \pm 2 mm / 90° / 120° pomocí plechové šablony v. č. 4/SE-2014-02-05, posuvného měřítka, hloubkoměru, zkontrolovat drsnost opracování Ra max. 3,2 μm drsnoměrem Surftest SJ 201P; 8. Otočit nápravu; 9. Provést úkony bod č. 2 ÷ 7; 10. Přepsat na dřík nápravy $\phi 110$ mm fixolidem číslo tavby, číslo nápravy v dávce při tepelném zpracování; 									
Číslo úseku úkonu	Nástroj	Výrobní podmínky						t_{AS} [min]	t_B [min]
		f_n [mm]	a_p [mm]	i	v_c [m/min]	n [min ⁻¹]			
4	Soustružnický držák PTFNR 3225 P22; VBD TNMG 220408E-R;T9325	0,25	3 2	2	260	752	0,6	0,5	
5	Odstupňovaný šroubovitý vrták 5/22/90°/120°	0,15		1	28	90	2,3	0,5	
Měřidla, šablony, přípravky, program: zvedací přípravek v. č. 3/SE-2014-02-04, šablona tvaru v. č. 4/SE-2014-02-05, hloubkoměr, posuvné měřítko, drsnoměr Surftest SJ 201P,									
Zpracoval: Pavel Sedláček		Podpis:		Telefon: 724 253 356		Dne: 1. 2. 2014			

Obr. 3.1 Detailní technologický postup

3.3.3 Normalizační žihání

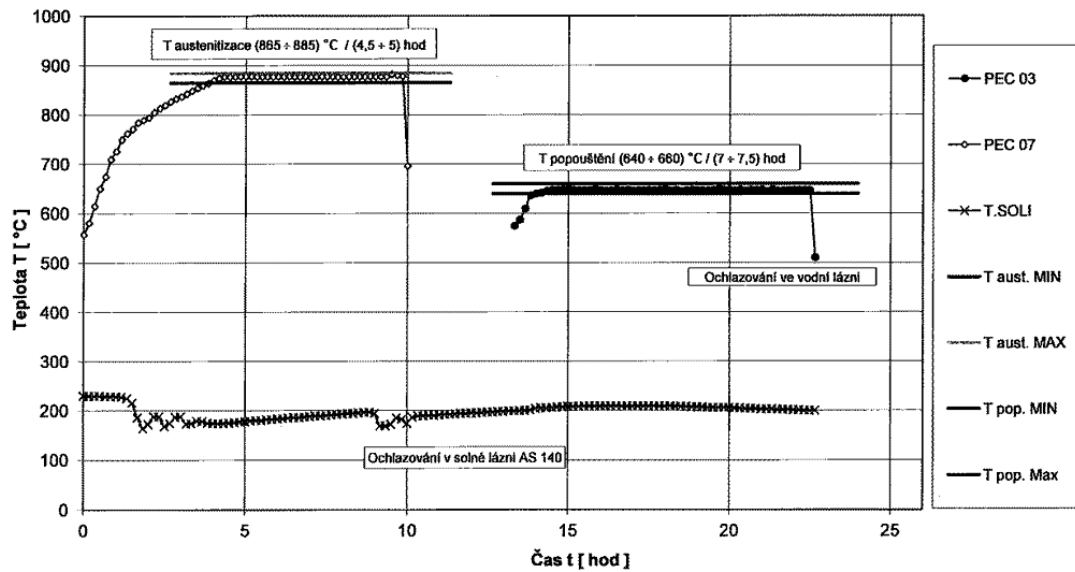
Po překontrolování vyraženého značení na čele nápravy – číslo tavby a číslo nápravy v dávce při tepelném zpracování, jsou tyče předány k plynovým pecím, kde se provede operace tepelného zpracování – normalizační žihání. Uvedená operace tepelného zpracování má následující průběh: náhřev na teplotu 890 °C, výdrž na této teplotě 270 min a ochlazování na vzduchu na teplotu okolního prostředí. Tato operace se provádí před zušlechtěním z důvodu zjemnění vnitřní struktury materiálu. Záznam normalizačního žihání po vygenerování v PC vypadá dle obr. 3.2.



Obr. 3.2 Záznam průběhu normalizačního žihání

3.3.4 Zušlechtění

Po normalizačním žihání se nápravy zušlechtují. Tyče se uloží na pecní podložky do pece zahřáté na 800 °C, následuje vytopení pece maximální rychlostí na teplotu 875 °C a výdrž na této teplotě po dobu 270 min ÷ 300 min. Po uplynutí této doby se nápravy nabere speciálním zvedacím přípravkem – balancérem, a převezou se do solné lázně AS 140, kde se intenzívně ochladí na teplotu solné lázně 160 °C ÷ 190 °C. Poté se dochladí na klidném vzduchu na teplotu cca 80°C a naloží se do popouštěcí pece vyhřáté na teplotu 600 °C ÷ 650 °C. Následuje náhřev maximální rychlostí na teplotu popouštění 650 °C, prodleva na této teplotě 420 min ÷ 450 min a následné ochlazení ve vodní lázni (u této jakosti nelze vyloučit výskyt popouštěcí křehkosti). Záznam zušlechtění po vygenerování v PC vypadá dle obr. 3.3.



Obr. 3.3 Záznam průběhu zušlechťení

3.3.5 Zkouška tvrdosti dle Brinella

Po zušlechťení se každá náprava měří na stacionárním tvrdoměru (zkouška tvrdosti dle Brinella), u náprav se zkušebním koncem se měří navíc i zkušební konec. Nápravy, které neodpovídají požadavku na povrchovou tvrdost 232 HB ÷ 262 HB, jsou zaslány zpět na tepelné zpracování. Nápravy s vyšší tvrdostí se opakovaně popouštějí, nápravy s nižší tvrdostí se musí znovu zušlechtit.

3.3.6 Výběr náprav pro odběr zkoušek

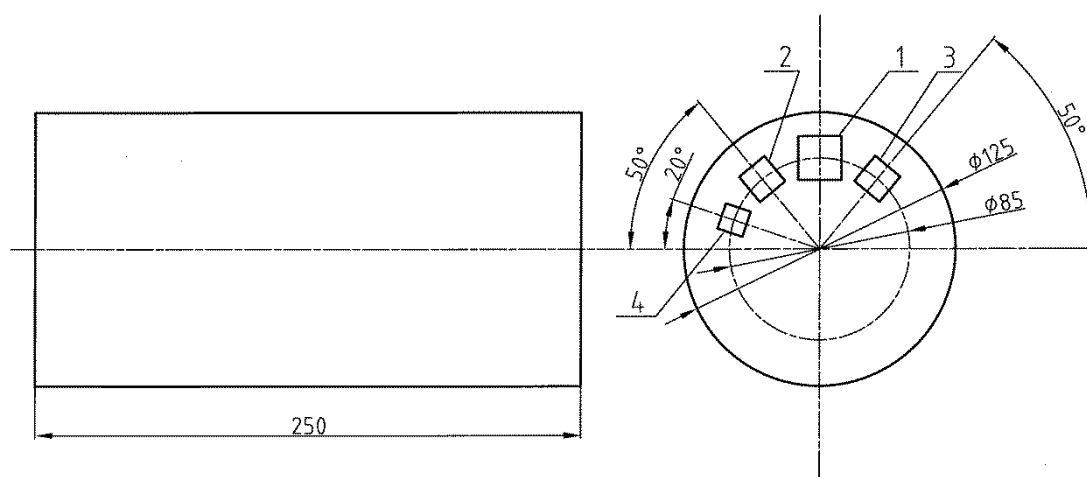
Po vyhovující zkoušce tvrdosti zástupce kontroly jakosti vybere tyč, z které se odebere zkouškový konec. Tyče připravené k odběru zkoušky jsou na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Tyče po tepelném zpracování a zkoušce tvrdosti

3.3.7 Řezání zkoušek

Po výběru tyče, z které se bude řezat zkouškový konec, se celá tyč převezí k pásové pile. Zde se provede odřezání zkouškového konce v délce 250 mm. Z něj se po orýsování uřežou polotovary pro zkouškové tyče (obr. 3.2). Opět se použije řezná rychlost $v_c = 50$ m/min, hodnota posuvu na zub $f_z = 4,3$ mm/min. Při řezání se musí v místě řezu chladit, aby vzniklé teplo neovlivnilo zkoušková tělesa. Jako chladicí kapalina se použije BLASOCUT 2000 CF. Na každý polotovar zkoušky se vyrazí číslo tavby, číslo nápravy v dávce tepelného zpracování a číslo dle obr. 3.5.



Obr. 3.5 Umístění polotovarů pro výrobu zkouškových vzorků – tyčí

- 1 Polotovar pro zkouškový vzorek pro zkoušku tahem – rozměr 20 mm x 20 mm
- 2 Polotovar pro zkouškový vzorek pro zkoušku vrubové houževnatosti při normální teplotě okolí – rozměr 15 mm x 15 mm
- 3 Polotovar pro zkouškový vzorek pro zkoušku vrubové houževnatosti při teplotě -30 °C – rozměr 15 mm x 15 mm
- 4 Polotovar pro únavovou zkoušku v ohybu za rotace – rozměr 12 mm x 12 mm

3.3.8 Provedení předepsaných zkoušek

Ve zkušební laboratoři se nejprve připraví z dodaných polotovarů zkušební vzorky a provedou se následující mechanické zkoušky – zkouška tahem na jedné zkušební tyčince dle ČSN EN ISO 6892-1 v podélném směru, rozměr zkušební vzorku $\varnothing 16$ mm, zkouška vrubové houževnatosti KCU2 na třech zkušebních tyčinkách dle

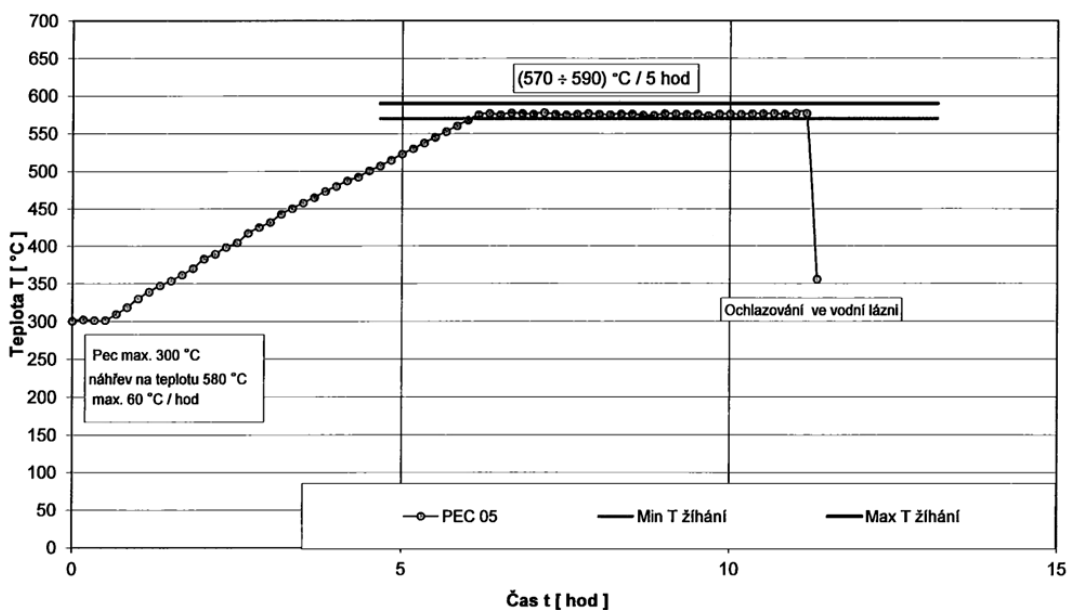
ČSN EN ISO 148-1 v podélném směru, rozměr zkušební vzorku 10 mm x 10 mm, zkoušku tvrdosti dle ČSN EN ISO 6506-1 na zkušebním vzorku pro vrubovou houževnatost, vše při normální teplotě okolí $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, zkoušku vrubové houževnatosti KCU2 na třech zkušebních tyčinkách dle ČSN EN ISO 148-1 v podélném směru při teplotě -30 °C , rozměr zkušební vzorku 10 mm x 10 mm, zkoušku únavy za rotace při zkráceném počtu cyklů 2×10^6 při ohybu 373 MPa dle ČSN 42 0363 při normální teplotě okolí $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, rozměr zkušební vzorku $\varnothing 7,52\text{ mm}$. Všechny zkoušky se provedou z jedné poloviny zkušební konce 250 mm dlouhého z tavby a pecní vsázky na surové tyči – v mém případě na tyči $\varnothing 125\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ (pozn. v tomto případě je pecní vsázka 100 ks tyčí – 1 ks tyče = 1 ks nápravy). Pokud všechny tyto zkoušky vyhoví požadovaným hodnotám – viz tab. 3.3 a 3.4, oprávněný zástupce laboratoře vystaví Inspekční certifikát dle EN 10 204 3.1 s atesty s uvedením předepsaných hodnot a hodnot zjištěných při zkouškách. Po obdržení atestů se může pokračovat ve výrobě.

3.3.9 Rovnání

Po vyhovujících zkouškách jsou převezeny tyče k hydraulickému lisu, kde se provede na rolkách kontrola házivosti každé tyče, která musí být v toleranci $\pm 2,5\text{ mm}$. Při měření se používá číselníkový úchylkoměr. Tyče, které vyhoví toleranci, jsou odesílány na středisko obrábění k provedení dalších operací. Tyče, které nevyhoví, se musí rovnat za studena. Po rovnání a následné kontrole zda již odpovídají toleranci jsou odeslány zpět k provedení tepelného zpracování - žihání na snížení vnitřního pnutí.

3.3.10 Žihání na snížení vnitřního pnutí

Žihání tyčí na snížení vnitřního pnutí se provádí v plynových nebo elektrických komorových pecích. Do žihací pece se tyče vkládají při teplotě v peci 300 °C , rychlost náhřevu na žihací teplotu je 60 °C/hod . Žihací teplota musí být minimálně o 50 °C nižší než teplota popouštění, u náprav je tato teplota 580 °C , délka prodlevy je 300 min a poté následuje ochlazení ve vodní lázni. Následuje kontrolní změření povrchové tvrdosti u 1 ks nápravy – musí odpovídat $232\text{ HB} \div 262\text{ HB}$. Záznam žihání na snížení vnitřního pnutí po vygenerování v PC vypadá dle obr. 3.6.



Obr. 3.6 Záznam průběhu žíhání na snížení vnitřního prnutí

3.3.11 Zavrtání důlků

Na středisku obrábění se pokračuje v operaci, při níž se do středu tyčí navrtají pomocné důlky. Nejprve se provede označení středu za pomoci šablony, křídý a důlčíku. Potom se upnou 4 ks tyčí přes prizmatické podložky na otočný stůl a provede se např. na radiální sloupové vrtačce VR 8 zavrtání důlku 60° z obou stran. Důlky se odjehlí a vyfoukají se z nich třísky stlačeným vzduchem. Pro zavrtání důlků použijí středící vrták 60° typu K1111TIN-5 dle DIN 333, tvar A, firma Walter. Jako řezné podmínky se použijí $v_c = 28$ m/min a $f_n = 0,13$ mm. Jako chladicí kapalinu použijí BLASOCUT 2000 CF. Tato operace se může provést také na horizontální vyvrtávačce např. typu WHN 130. Také na tomto stroji se mohou upnout 4 ks tyčí.

3.3.12 Hrubování tepelně zpracovaných tyčí

Dále se tyče převezou k provedení operace hrubování, např. k hrubovacímu soustruhu typu SPT 32 s kopírovacím systémem, kde se provede zapíchnutí jednoho čela k $\varnothing 70$ mm v délce 5 mm (dále se nedá dostat nožem z důvodu upnutí tyče), pokračuje se v hrubování, soustružení čepu na $\varnothing 100,3$ mm +0,1 mm (přídavek na broušení) na délce 120 mm včetně radiusu R40. Zbytek tyče se hrubuje s přídavkem +3 mm ÷ +4 mm na průměr. Radiusové přechody se ohrubují dle rozměrů na výkrese.

Kopírování se provádí pomocí tzv. palců a kopírovacích šablon, které musí být z otěru odolného materiálu – plechu, např. jakosti 14 260.3. Náprava je upnuta v koníku s hrotem 60° a v upínací hlavě, kde je 6 ks kolíků s ostrou hranou, které se zapíchnou do čela. Náprava se neotáčí. Drsnost opracování čepu musí být Ra max. 6,3 μm, zbytek nápravy by měla mít drsnost opracování Ra max. 12,5 μm. Na tomto stroji se dá hrubovat třemi noži najednou. Hrubování se provádí bez chlazení. Před zvolením nožového držáku, VBD a řezných podmínek, se zařadí materiál jakosti 15230.9 s uvedenými mechanickými vlastnostmi v tab. 3.3 a 3.4 do skupiny dle výrobce. Po zařazení vyšla skupina označení P2 (firma Pramet) anebo P8 (firma Walter) – oceli se středním obsahem uhlíku, s pevností do 900 MPa resp. do 1013 MPa a tvrdostí v rozsahu 160 HB ÷ 255 HB resp. max. 300 HB. Pro tuto operaci se může použít soustružnický nůž – držák typu PSBNL 5050 T25 výrobce firma Pramet a VBD typu SNMM 250724E-NR2;9235, výrobce firma Pramet anebo typu VBD SNMM250724-NR6;WPP30 výrobce firma Walter. Uvedeným držákem a VBD se nahradily nože s připájenou břitovou destičkou. Doporučené řezné podmínky pro VBD obou firem jsou v tab. 3.9.

Tab. 3.9 Řezné podmínky pro VBD firmy Pramet a Walter

SNMM250724E-NR2;9235		SNMM250724-NR6;WPP30	
Pramet		Walter	
V _{c45} [m/min]	115 ÷ 130	V _{c45} [m/min]	100 ÷ 120
a _p [mm]	3 ÷ 16	a _p [mm]	3 ÷ 17
f _n [mm]	0,5 ÷ 1,4	f _n [mm]	0,6 ÷ 1,6
Počet ohrubovaných náprav	2	Počet ohrubovaných náprav	6

Dále provedu výpočet vstupní řezné rychlosti v_c dle vzorce [3.1]. Pro uvedený výpočet jsem zvolil hloubku řezu $a_p = 5$ mm, posuv na otáčku $f_n = 0,8$ mm a řeznou rychlost $v_{c45} = 130$ m/min.

$$v_c = v_{c45} \cdot k_{vx} \cdot k_{vT} \cdot k_{vHB} \quad [3.1]$$

v_c – řezná rychlost [m/min]

v_{c45} – řezná rychlost při trvanlivosti břitu 45 min [m/min]

k_{vx} – korekční součinitel [-]

k_{vT} – korekce na trvanlivost [-]

k_{vHB} – korekce na tvrdost obrobku [-]

$$v_c = 120 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,82 = 79 \text{ m/min} \quad [3.2]$$

Dle vypočítané řezné rychlosti v_c jsem vypočítal počet otáček n dle vzorce

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{79 \cdot 1000}{\pi \cdot 125} = 201 \text{ min}^{-1} \text{ pro } \varnothing 125 \text{ mm} \quad [3.3]$$

D – průměr obráběné plochy [mm]

n – počet otáček vřetene [min^{-1}]

Řeznou rychlost jsem nastavil s ohledem na výpočet na 80 m/min, hloubku odběru třísky a_p jsem nechal na 5 mm a posuv f_n jsem nechal na 0,8 mm. Pro hrubování tramvajových náprav jakosti materiálu 15230.9 se osvědčil výše uvedený typ plátku firmy Walter i nastavené řezné podmínky. V průběhu obrábění se řezná rychlost dá upravovat v závislosti na lámání třísky, což je mimo jiné ovlivněno i tvrdostí tyče.

3.3.13 Soustružení nápravy

Po ohrubování se náprava upne do CNC soustruhu např. typu DFS 400 do tříčelistového sklíčidla, které je ovládáno hydraulicky. Náprava se upne tak, aby byl ve sklíčidle čep, kde je již jen přídavek pro broušení tzn. za $\varnothing 100,3 \text{ mm} +0,1 \text{ mm}$, aby se náprava nemusela otáčet. V revolverové hlavě je místo pro 8 ks klap, do kterých je vsazen a upevněn soustružnický nůž. V klapě je otvor pro nožový držák o kvadrátu 25 mm x 25 mm. Nejprve se celá náprava vyhrubuje s přídávkem +2 mm na průměr a poslední tzv. šlichtovací třískou se náprava soustruží s přídávkem +0,4 mm na průměr pro broušení. Hotově se bude soustružit jen dířek $\varnothing 110 \text{ mm} (-0,40 -0,60) \text{ mm}$ s dodržáním předepsané drsnosti opracování $Ra \text{ max. } 3,2 \text{ } \mu\text{m}$. Před navržením nástroje – nožový držák, VBD a řeznými podmínkami, se zvolí délka řezné hrany s ohledem na hloubku třísky – maximální přípustná délka břítu v záběru mi vyšla 7,3 mm. Dále se provede volba rádiusu zaoblení špičky r_ϵ VBD, která bude 0,8 mm. Pro uvedené soustružení na čisto zvolím nožový držák typu DTG NR 2525 M 22 (obr. 3.7) a břitovou destičku TNMM 220408E-NR2;T9325 (obr. 3.8), vše firmy Pramet. Dle normy ISO pro nožový držák typu DTG NR 2525 M 22 znamenají jednotlivá písmena a čísla následující:

D – způsob upínání – podložka a šroub; upínka, pružina a šroub;

T – tvar destičky – rovnostranný trojúhelník;

G – tvar nože – úhel nastavení – 90° ;

N – úhel hřbetu – $\alpha_n - 0^\circ$;

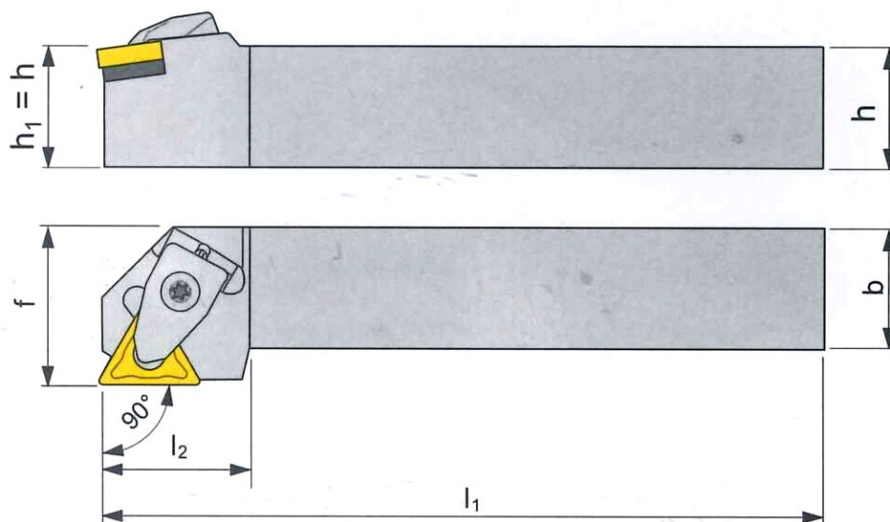
R – směr řezu – pravý;

25 – výška držáku – 25 mm;

25 – šířka držáku – 25 mm;

M – celková délka – 150 mm;

22 – velikost destičky – délka jedné strany – 22 mm;



Obr. 3.7 Nožový držák typu DTGNR 2525 M 22

$h = 25 \text{ mm}$, $b = 25 \text{ mm}$, $f = 32 \text{ mm}$, $l_1 = 150 \text{ mm}$, $l_2 = 30 \text{ mm}$, $\lambda_s = -6^\circ$, $\gamma_0 = -6^\circ$

Dle normy ČSN ISO 1832 pro vyměnitelnou břitovou destičku TNMM 220408E-NR2;T9325 (obr. 3.8) znamenají jednotlivá písmena a číslíčky následující:

T – tvar destičky – rovnoramenný trojúhelník;

N – úhel hřbetu – $\alpha_n - 0^\circ$;

M – tolerance – $m \pm 0,08 \div 0,18 \text{ mm}$; $d=\text{I.C.} \pm 0,05 \div 0,13 \text{ mm}$;

M – provedení

22 – velikost destičky – délka jedné strany – 22 mm;

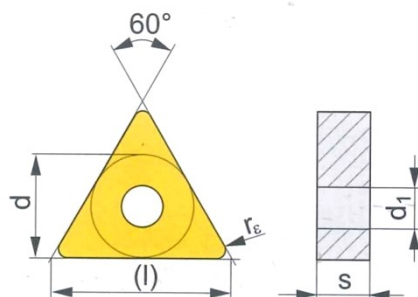
04 – tloušťka destičky – 4,76 mm;

08 – rádius špičky – $r_e - 0,8 \text{ mm}$;

E – provedení řezné hrany – zaoblené hrany;

NR2 – typ utvařeče;

T9325 – typ povlaku na břitové destičce;



Obr. 3.8 VBD typu TNMM

$$d=12,7 \text{ mm}, d_1=5,16 \text{ mm}, l=22, r_\varepsilon=0,8 \text{ mm}, s=4,76 \text{ mm}$$

Pro uvedený typ vyměnitelné břitové destičky jsou předepsané od výrobce řezné podmínky uvedené v tab. 3.10.

Tab. 3.10 Řezné podmínky pro VBD firmy Pramet

TNMM 220408E-NR2;T9325	
Pramet	
V_{c15} [m/min]	200 ÷ 260
a_p [mm]	0,8 ÷ 7,3
f_n [mm]	0,25 ÷ 0,48

Já jsem pro výše uvedený typ soustruhu zvolil $f_n = 0,25$ mm, $a_p = 1$ mm a $v_c = 260$ m/min. Soustružení probíhá bez chladící kapaliny – na sucho, a stroj není vybaven lunetou. Jelikož se jedná o soustružení štíhlé hřídele, provedl jsem výpočet stupně štíhlosti :

$$\lambda_{red} = \frac{L_c}{D_s} [-] \quad [3.4]$$

λ_{red} – redukováná štíhlost [-]

L_c – celková délka nápravy [mm]

D_s – střední průměr nápravy [mm]

$$D_S = \frac{D_1 L_1 + D_2 L_2 + D_n L_n}{L_c} \quad [\text{mm}] \quad [3.5]$$

D_1, D_2, D_n – průměry osazených částí nápravy [mm]

L_1, L_2, L_n – délky úseků daných průměrů nápravy [mm]

$$D_S = \frac{100 \cdot 240 + 110 \cdot 978 + 111 \cdot 109 + 112 \cdot 123}{1450} = 108,6 \text{ mm} \quad [3.6]$$

$$\lambda_{\text{red}} = \frac{L_c}{D_S} = \frac{1450}{108,6} = 13,35 \quad [-] \quad [3.7]$$

Pokud je $\lambda_{\text{red}} \gg 12$ je zapotřebí použít lunety. V mém případě by neměl nastat problém se soustružením dířku na hotovo s dodržením tolerance 0,2 mm a drsnosti opracování R_a max. 3,2 μm .

Dále jsem provedl kontrolu na dosaženou drsnost – maximální hloubka drsnosti R_{max} a střední aritmetickou úchylku profilu R_a dle výpočtu v závislosti na posuvu $f_n = 0,25$ mm a rádiu špičky $r_\epsilon = 0,8$ mm:

$$R_{\text{max}} = \frac{f_n^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 1000 \quad [\mu\text{m}] \quad [3.8]$$

$$R_a = \frac{f_n^2 \cdot 50}{r_\epsilon} \quad [\mu\text{m}] \quad [3.9]$$

$$R_{\text{max}} = \frac{f_n^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 1000 = \frac{0,25^2}{8 \cdot 0,8} \cdot 1000 = 9,77 \mu\text{m} \quad [3.10]$$

$$R_a = \frac{f_n^2 \cdot 50}{r_\epsilon} = \frac{0,25^2 \cdot 50}{0,8} = 3,9 \mu\text{m} \quad [3.11]$$

Před soustružením jsem provedl výpočet finální startovní rychlosti:

$$v_c = v_{c15} \cdot k_{vx} \cdot k_{vT} \cdot k_{vHB} \cdot k_{VBD} \quad [\text{m/min}] \quad [3.12]$$

v_{c15} – řezná rychlost při trvanlivosti břitu 15 min [m/min]

k_{vx} – korekční součinitel [-]

k_{vT} – korekce na trvanlivost [-]

k_{vHB} – korekce na tvrdost obrobku [-]

k_{VBD} – korekce na tvar VBD [-]

$$v_c = 260 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,66 \cdot 0,84 = 151 \text{ m/min} \quad [3.13]$$

Dle vypočítané řezné rychlosti v_c jsem vypočítal počet otáček n :

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{151 \cdot 1000}{\pi \cdot 110} = 437 \text{ min}^{-1} \quad [3.14]$$

D – průměr obráběné plochy [mm]

n – počet otáček vřetene [min^{-1}]

Dle výpočtu jsem použil řeznou rychlost $v_c = 150 \text{ m/min}$, ale posuv f_n jsem snížil na 0,23 mm.

3.3.14 Zavrtání nových důlků

V této operaci se provede soustružení středících důlků $\varnothing 5 \text{ mm} / \varnothing 22 \text{ mm} / 90^\circ / 120^\circ$. Jako stroj se použije např. hrotový soustruh SU 63A. Náprava se upne do tříčelistového sklíčidla, podepře se pevnou lunetou za průměr $\varnothing 113 \text{ mm}$ a provede se zarovnání čela. Při zarovnání čela se použije soustružnický držák typu PTFNR 3225 P22 a VBD TNMG 220408E-R;T9325, vše firmy Pramet, doporučené řezné podmínky uvádím v tab. 3.11.

Tab. 3.11 Řezné podmínky pro VBD firmy Pramet

TNMG 220408E-R;T9325	
Pramet	
V_{c15} [m/min]	275 ÷ 300
a_p [mm]	0,8 ÷ 3
f_n [mm]	0,25 ÷ 0,48

Já volím po dosažení hodnot do vzorce [3.10] a výpočtu $v_c = 175 \text{ m/min}$, $f_n = 0,25 \text{ mm}$. Vyvrtání důlku se provede pomocí odstupňovaného šroubovitého vrtáku, který je přesně vybroušen na požadované rozměry důlku (obr. 3.9). Po vyvrtání důlku se vyfoukají stlačeným vzduchem třísky. Náprava se otočí a opakuje se část operace. Při této operaci se použijí otáčky $n = 90 \text{ min}^{-1}$, posuv bude ruční asi 0,15 mm. Vrták bude upnut v pinole koníku. Koník má na své části pravítko pro kontrolu vrtané hloubky důlků. Důlky se kontrolují pomocí plechové šablony, posuvného měřítka a hloubkoměru. Jednotkový strojní čas pro zarovnání čela vypočítám dle vzorce [3.15].

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f_n} \quad [min] \quad [3.15]$$

$$L = \frac{D}{2} + L_n \quad [mm] \quad [3.16]$$

L – délka obráběné plochy [mm]

i – počet třísek [-]

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f_n} = \frac{\left(\frac{100}{2} + 3\right) \cdot 2}{541 \cdot 0,25} = 0,8 \text{ min} \quad [3.17]$$

Jednotkový strojní čas pro vyvrtání důlku vypočítám dle vzorce [3.18].

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} \quad [min] \quad [3.18]$$

l_n – délka náběhu [mm]

l – hloubka díry [mm]

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} = \frac{3 + 27}{90 \cdot 0,15} = 2,2 \text{ min} \quad [3.19]$$

Celkový jednotkový strojní čas t_{AS} pro tuto operaci je 6 min.



Obr. 3.9 Odstupňovaný šroubovitý vrták $\varnothing 5 \text{ mm} / 90^\circ / 120^\circ$

3.3.15 Vrtání, řezání závitů

V další operaci se provede vrtání a následné řezání tří závitů M16 - 6H do hloubky 40 mm +5 mm z obou stran nápravy. Jako stroj se použije radiální vrtačka např. typu VR 8, u které je otočný stůl s prizmaty. Do prizmat uložíme 4 ks náprav a upneme je. Aby nedošlo k poškození náprav, máme na prizmatech upevněn měkký materiál např. hliník, měď. Stůl otočíme tak, aby upnuté nápravy byly ve vertikální poloze a osa nápravy byla rovnoběžná s osou vřetena - nástroje. Na nápravu upevníme vrtací přípravek s kalenými a broušenými vrtacími pouzdry. Ve vřetenu je upnutý šroubovitý vrták se zesílenou kuželovou stopkou dle ČSN 22 1144 z materiálu HSS . Vrták má \varnothing 14 mm, stopka je kuželová – morse 2, úhel špičky $2\kappa_r$ volím 120° , úhel hřbetu α_0 volím 12° . Strojní posuv volím $f_n = 0,125$ mm, řeznou rychlost $v_c = 10$ m/min. K chlazení vrtáku použiji chladící emulzi BLASOCUT 2000 CF smíchaný s čistou pitnou vodou. Díru \varnothing 14 mm vrtám do hloubky 50 mm +5 mm. Místo uvedeného typu vrtáku se může použít vrták typu A4244-14 z materiálu HSS-E, dle DIN 345, morse 1, firma Walter. Zde volím dle doporučení výrobce řezné podmínky $v_c = 19$ m/min, $f_n = 0,2$ mm. Po vyvrtání všech otvorů sundám vrtací přípravek, vyfoukám vzduchem třísky. Vyměním vrták za strojní závitník s válcovou stopkou M16-6H upnutý v závitorezné hlavě. Závitník je z materiálu HSS-E, tři drážky ve šroubovici. Řeznou rychlost volím $v_c = 4$ m/min. Dle zkušeností jako mazací a chladící prostředek použiji řezný sprej Metaflux 70-03. Po vyřezání závitů provedu sražení na začátku závitu pod úhlem 120° . Jako nástroj použiji záhlubník. Řeznou rychlost volím $v_c = 4$ m/min. Provedu celkové odjehlení, vyfoukání třísek stlačeným vzduchem. Při vyvrtání prvních děr, prvního závitu a zahloubení, vždy zkontroluji rozměry – průměr díry posuvným měřítkem, hloubku díry hloubkoměrem, závit závitovým kalibrem – nesmí být volný a musí jít lehce zašroubovat do závitu, zkosení změřím úhломěrem, provedu kontrolu kolmosti díry k čelu např. hloubkoměrem. Pohledem zkontroluji, zda není závit potrhaný. Po provedení této části operace provedu otočení celého stolu s upnutými nápravami o 180° a předchozí část operace opakuji. Výpočet strojních časů pro tuto operaci provedu dle stanovených řezných podmínek.

Strojní čas t_{AS} pro vyvrtání jedné díry \varnothing 14 mm do hloubky 55 mm vypočítám dle vzorce:

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} \quad [min] \quad [3.20]$$

n – počet otáček vrtáku [min^{-1}]

f_n – posuv vrtáku na otáčku [mm]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{10 \cdot 1000}{\pi \cdot 14} = 227 \text{ min}^{-1} \quad [3.21]$$

v_c – řezná rychlost vrtáku [m/min]

D – průměr vrtané díry [mm]

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} = \frac{2 + 55}{227 \cdot 0,125} = 2 \text{ min} \quad [3.22]$$

Strojní čas t_{ASZ} pro řezání závitu M16-6H do hloubky 40 mm řeznou rychlostí $v_c = 4$ m/min vypočítám dle vzorce

$$t_{ASZ} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} \text{ [min]} \quad [3.23]$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_2} = \frac{4 \cdot 1000}{\pi \cdot 14,7} = 86,6 \text{ min}^{-1} \quad [3.24]$$

$$t_{ASZ} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} = \frac{40 + 2}{86,6 \cdot 2} = 0,24 \text{ min} = 15 \text{ s} \quad [3.25]$$

Celkový strojní čas (včetně sražení) bude 2,3 min pro jeden závit, celkem je na nápravě 6 závitů tzn. 13,8 min. Po přičtení času pro výměnu nástrojů, manipulaci, upnutí, bude čas pro provedení této operace pro jednu nápravu 19 min.

Operaci č. 3.3.14 a 3.3.15 bych navrhnul provést produktivněji a ve vyšší jakosti na horizontální vyvrtávačce např. typu WHN 130 (větší tuhost nástroje, vyšší řezné rychlosti, odstranění vrtacího přípravku – určitá chyba). Při použití tohoto stroje bych mohl použít vyšší řeznou rychlost $v_c = 19$ m/min, posuv $f_n = 0,2$ mm a tím bych zkrátil i strojní čas.

3.3.16 Broušení

Operace broušení se provede na hrotové brusce např. BUC 63B/3000 firmy Cetos Hostivař. Tato bruska má konstantní řeznou rychlost $v_c = 45$ m/s, max. délka obrobku 3000 mm, max. průměr obrobku 630 mm, obvodovou rychlost obrobku $v_w = 4$ m/min ÷ 42 m/min, frekvence otáčení obrobku se zvolí, radiální přísuv brusného kotouče do řezu f_r se volí 0,0025 mm. Předepsaný rozměr brusného kotouče je $\varnothing 750$ mm, šířka 100 mm a díra pro upnutí přes přírubu na vřeteno brusky je $\varnothing 305$ mm. Druh brusného kotouče se volí dle tvrdosti materiálu, který se bude brousit. Pro použitou jakost nápravy 15 230.9 volím typ 98A 46 K 9 V. Zde uvádím, co jednotlivá čísla a písmena znamenají:

98A Materiál brusiva – umělý korund Al_2O_3 – barva světle růžová

46 Velikost zrna – střední

K Stupeň tvrdosti – měkké

9 Struktura – velmi otevřená

V Pojivo – keramické pojivo

Brousit se budou průměry, které mají průměrové tolerance v setinách mm a drsnost opracování Ra max. 1,6 μm. Průměry, které nejsou delší než 95 mm, budu brousit radiálním zapichovacím způsobem, průměry delší než 95 mm způsobem axiálním. Strojní čas pro vnější axiální broušení do kulata s radiálním posuvem stolu o hodnotu f_r na každý zdvih stolu se vypočítá dle vzorce:

$$t_{AS} = \frac{l_a \cdot p}{2 \cdot f_a \cdot n_w \cdot f_r} \text{ [min]} \quad [3.26]$$

$$l_a = l_{na} + l_w + l_{pa} - \text{dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru [mm]} \quad [3.27]$$

$$l_{na} = 3 \text{ mm} - \text{délka náběhu v axiálním směru [mm]}$$

$$l_{pa} = l_{na} + \frac{b_s}{2} - \text{délka přeběhu v axiálním směru [mm]} \quad [3.28]$$

b_s – šířka brousícího kotouče [mm]

l_w – délka obrobku [mm]

p – přídavek na broušení [mm]

$$f_a - \text{axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku} - \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{3}\right) \cdot b_s \text{ [mm]} \quad [16]$$

n_w – frekvence otáčení obrobku [min^{-1}]

f_r – radiální posuv stolu brusky na jeden axiální zdvih stolu [mm]

$$t_{AS} = \frac{l_a \cdot p}{2 \cdot f_a \cdot n_w \cdot f_r} = \frac{\left(3 + 180 + 3 + \frac{100}{2}\right) \cdot 0,4}{2 \cdot 25 \cdot 62,5 \cdot 0,0025} = \frac{94,4}{7,8} = 12,1 \text{ min} = 12 \text{ min } 7 \text{ s} \quad [3.29]$$

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{1000} \Rightarrow n_w = \frac{1000 \cdot v_w}{\pi \cdot d_w} = \frac{1000 \cdot 21,6}{\pi \cdot 110} = 62,5 \text{ min}^{-1} \quad [3.30]$$

$$q = \frac{v_c}{v_w} = 125 \Rightarrow v_w = \frac{v_c}{125} = \frac{45}{125} = 0,36 \text{ m/s} = 21,6 \text{ m/min} \quad [3.31]$$

q – poměr rychlostí - pro ocel 125 [-] [16]

v_w – obvodová rychlost obrobku [m/min]

d_w – průměr obrobku [mm]

Celkový jednotkový čas pro nápravu bude dle výpočtů 75 min (pozn.: výše spočítaný strojní čas je pro průměr \varnothing 110 mm -0,036 mm -0,058 mm a délku $l_w = 180$ mm).

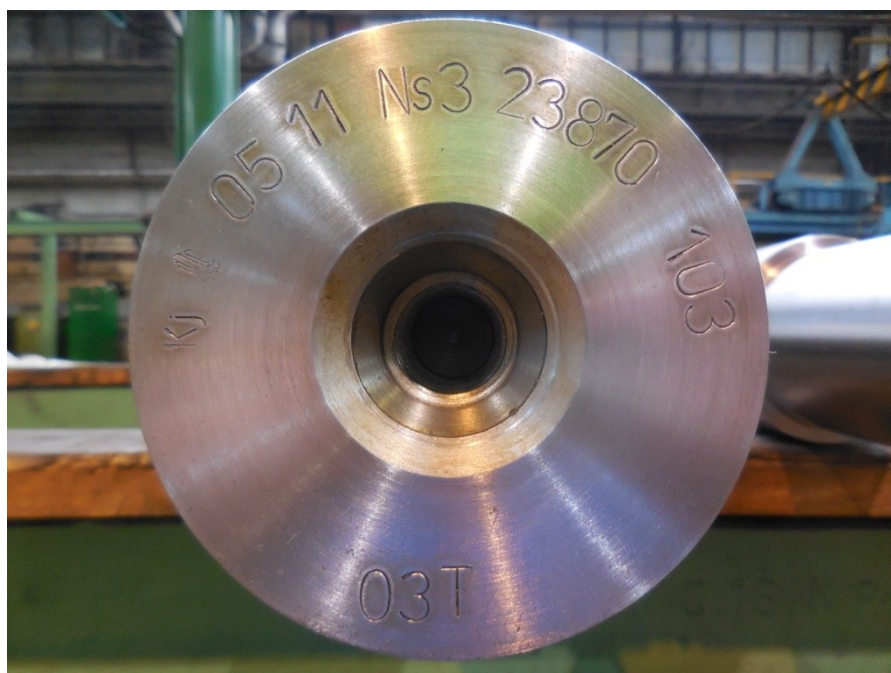
3.3.17 Dokončení tvaru nápravy soustružením, válečkováním

V této operaci se dokončí náprava na rozměry uvedené na výkrese tzn. po této operaci již musí být náprava opracovaná na hotovo. Jelikož se bude jednat o ruční práci a budou se dodělávat rádiusové přechody popř. sražení a menší úpravy

v délkových mírách, může se použít hrotový soustruh SU 63A. K soustružení použijí soustružnické nože rychlořezné s pájenou destičkou s vybroušeným tvarem rádiusu dle rozměrů na výkrese. Dále použijí válečkovací kladku upevněnou v držáku v nožové hlavě a dle potřeby také smirkové plátno zrnitosti P60 ÷ P120. Při této operaci se použije řezná rychlost $v_c = 115 \text{ m/min}$ což odpovídá $n = 333 \text{ min}^{-1}$ pro $\varnothing 110 \text{ mm}$.

3.3.18 Vyražení konečného značení

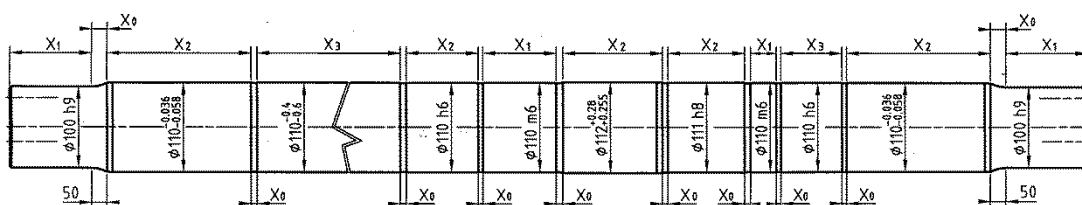
Aby byla každá náprava identifikovatelná, musí se během výroby provádět značení obsahující min. číslo tavby a číslo nápravy v dávce při tepelném zpracování, které musí být přenášeno z operace na operaci, např. popisovačem. Na konci výroby, před výstupní kontrolou, se značení nápravy vyrazí za studena na jedno čelo do hloubky min. 0,4 mm, výška písma a čísel 5 mm, které musí mít zaoblené hrany a rohy. Značky se mohou vyrazit ručně anebo pomocí elektrických značkovačů, kde jednotlivé znaky jsou vytvářeny body jehlou. Dle zkušeností je však ideálnější razit značky ručně. Pro každý typ nápravy je značení odlišné. Příklad vyraženého značení uvádím na obr. 3.10 a pro nápravu dle výkresu – viz příloha B.



Obr. 3.10 Vyražení značení na nápravě pro tramvaj typu 03T

3.3.19 Nedestruktivní kontrola

Před kontrolou rozměrů se provádí nedestruktivní kontrola – kontrola ultrazvukem v radiálním směru používající odrazovou metodu, při které se zjišťují vnitřní vady, které mohou být max. 3 mm, a magnetickou práškovou metodou, při které se zjišťují povrchové vady. Povrchové podélné vady jsou povoleny dle kategorizace náprav – pro jaké rychlosti jsou dané nápravy použity. V mém případě se jedná o kategorii 2 - rychlost vozidla do 200 km/hod – pro upřesnění tramvaj, pro kterou je náprava určena, má předepsanou max. rychlost 70 km/hod. Podélné vady jsou přípustné s výjimkou oblastí X_0 (obr. 3.11) za podmínky, že nejsou překročeny meze stanovené v tab. 3.12, příčné vady se nedovolují. Za podélnou vadu se považuje taková, která svírá s osou rotace nápravy úhel menší než 10° .



Obr. 3.11 Oblasti pro vyhodnocení vad

Tab. 3.12 Meze podélných povrchových vad

Oblasti	Max. délka osamělé vady	Max. souhrnná délka osamělých vad
X_0	0	0
X_1	≤ 6 mm	≤ 6 mm
X_2	≤ 6 mm	≤ 15 mm
X_3	≤ 10 mm	≤ 30 mm

a Vady se považují za osamělé, pokud prostor mezi dvěma z nich, umístěných na stejné linii vedoucí po obvodu, je větší než 10 mm.

3.4 Výstupní kontrola, přejímka

Výstupní kontrola a přejímka se provádí dle ČSN EN 10 204 3.1 nezávislou kontrolou, která není přímo podřízená výrobnímu provozu – musí být na výrobním provozu nezávislá. Zástupce kontroly musí proměřit všechny rozměry, které jsou na výkrese, předepsanou drsnost opracování, geometrické tolerance. Naměřená data zapíše do měřících listů, které jsou uchovávány v archívu výrobce 10 let a kopie jsou odesílány s nápravami. Kontrola geometrických tolerancí se provádí namátkově na 10% nápravách z dávky. Kontrola se musí provádět min. po 24 hodinách od posledního opracování, při teplotě $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. V opačném případě jsou naměřené hodnoty nepřesné. Dle zkušeností při 14 °C jsou průměry o 0,01 mm menší než při měření při 18 °C . Pro měření musí být použita měřidla, která mají platnou kalibrační známku. V praxi se využívá pro kontrolu a výrobu kontrolní šablony. Jako měřidla se používají měřidla s absolutním měřením – posuvné měřítko, pasometr, hloubkoměr, dále závitový kalibr, číselníkový úchylkoměr s magnetickým stojánkem, ultrazvukový drsnoměr. Pokud je náprava v rozporu s výkresovou dokumentací popř. s podepsanou kupní smlouvou a je náprava opravitelná, vrací ji zpět do výroby k opravě, pokud již nelze nápravu opravit, označí se jako zmetek a musí se zmetkovací komisí vyřadit. Nápravu, která prošla bez problémů, označí na čele značkou kontroly jakosti (příloha B), a předává ji k další operaci.

3.5 Povrchová úprava, balení a paletizace

3.5.1 Povrchová úprava

Dle požadavku zákazníka se provede na částech nápravy, kde se nebude nic montovat nebo lisovat, základní a poté vrchní nátěr. Pro nápravu dle přílohy A je potřeba aby $\varnothing 110\text{ mm}$ -0,4 mm -0,6 mm byl nastříkán základní a po zaschnutí vrchní barvou. Na ostatní průměry se budou montovat a lisovat další díly, proto tyto průměry se natrou konzervačním olejem pro krátkodobou konzervaci. Barva musí být schválená odběratelem, musí mít platnou expirační dobu – doba spotřeby a musí být nanášena dle technického listu vydaného výrobcem barev. Před vlastním nanášením barvy se provede důkladné odmaštění nápravy od prachu, olejů a chladicí kapaliny např. vodouředitelným prostředkem Simplegreen. Ten se míchá v poměru 5 % Simplegreen a 95 % čistá pitná voda.

Po očištění, do jedné hodiny, by se měla nanést první vrstva barvy, aby nedošlo k opětovnému znečištění výrobku. Detailní popis přípravy barev, přípravy nápravy

před stříkáním, nanášení barev, kontrola tloušťky, přilnavosti, vzhledu, možných oprav, bývá předepsáno v detailních technologických předpisech výrobce.

3.5.2 Balení, paletizace

Průměry, které jsou natřené konzervačním olejem, se zabalí do mastného papíru a mirelonu, který se stáhne lepící páskou. Tento obal se používá proto, aby nedošlo k mechanickému poškození při přepravě a další manipulaci. Nápravy opatřené nátěrem a obalem se uloží na hranoly, které jsou upevněny na EURO paletě a zapáskují se polyesterovou páskou širokou 16 mm. Pro snadnější orientaci se nalepí etiketa s daty expedovaných náprav na dřevěnou paletu anebo se napíše nesmazatelným popisovačem na obal. Ukázka zabalení a uložení náprav pro expedici je na obr. 3.12.



Obr. 3.12 Zabalené a spáskované tramvajové nápravy

3.6 Expedice

Poslední operací, která se provede, je expedice k zákazníkovi dle údajů v podepsané kupní smlouvě a řídí se podmínkami Incoterms 2010.

4 Technicko – ekonomické zhodnocení

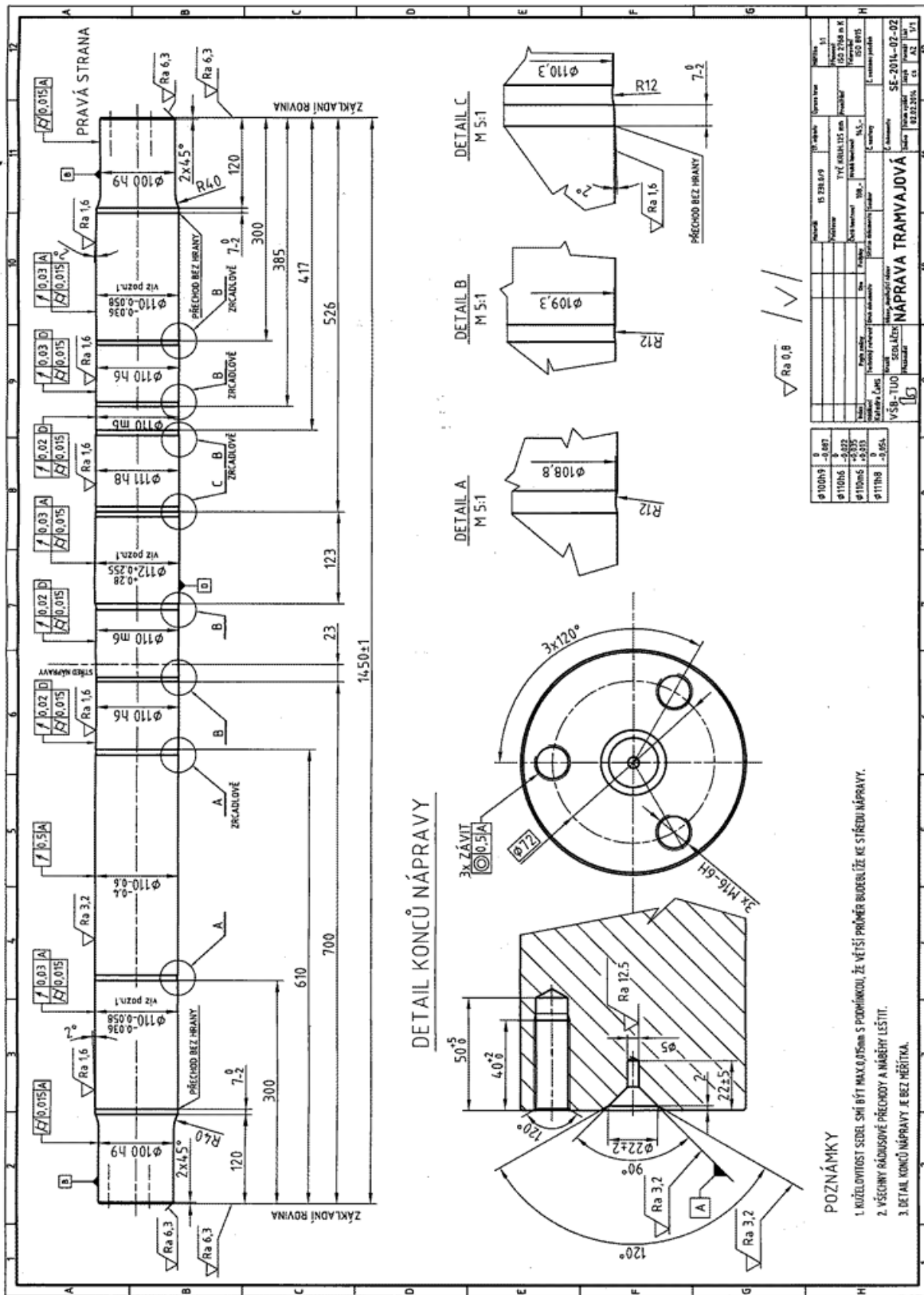
Co se týče použitého materiálu, je z ekonomického hlediska výhodnější využívat a nabízet dalším potenciálním odběratelům dodávky tramvajových náprav z kruhové za tepla válcované tyče jakosti 15 230, která je ve srovnání s výkovkem jakosti EA4T o 1/3 levnější.

Další více nákladovou položkou jsou přídavky u vyválcované tyče a u výkovků. U válcované tyče počítám s menším přídavkem tzn., že při hrubování můžu počítat o jednu třísku méně než u výkovků.

V odstavci 3.3.12 Hrubování jsem se přesvědčil, že i když je nástroj dražší tak se vyplatí ho koupit z důvodu delšího využití a zkrácením časů na výměnu VBD a v neposlední řadě i k zamezení vzniku neshodného výrobku. Při technicko-ekonomickém hodnocení musíme také brát na zřetel cenu, termíny dodání, operativnost, minimální množství při odběru, trvanlivost, vhodnost použití nástrojů pro různé operace a materiály, odzkoušení si různých typů nástrojů v režii dodavatele. Pokud bych se dále zabýval snížení technicko – ekonomické náročnosti, investoval bych do nových zařízení a technologií pro výrobu. Tím bych snížil výdaje na opravy, snížil by se počet operací a tím i počet zaměstnanců, které bych použil na jiné práce anebo bych zavedl více směnnou práci. Dále bych na pracovištích zřídil systém 5S, provedl detailní snímek pracovního dne. Metoda 5S by mohla snížit časy pro přípravu nástrojů, přípravků, měřidel, přesun materiálu z pracoviště na další pracoviště.

Příloha A (informativní)

VÝROBNÍ VÝKRES TRAMVAJOVÉ NÁPRAVY

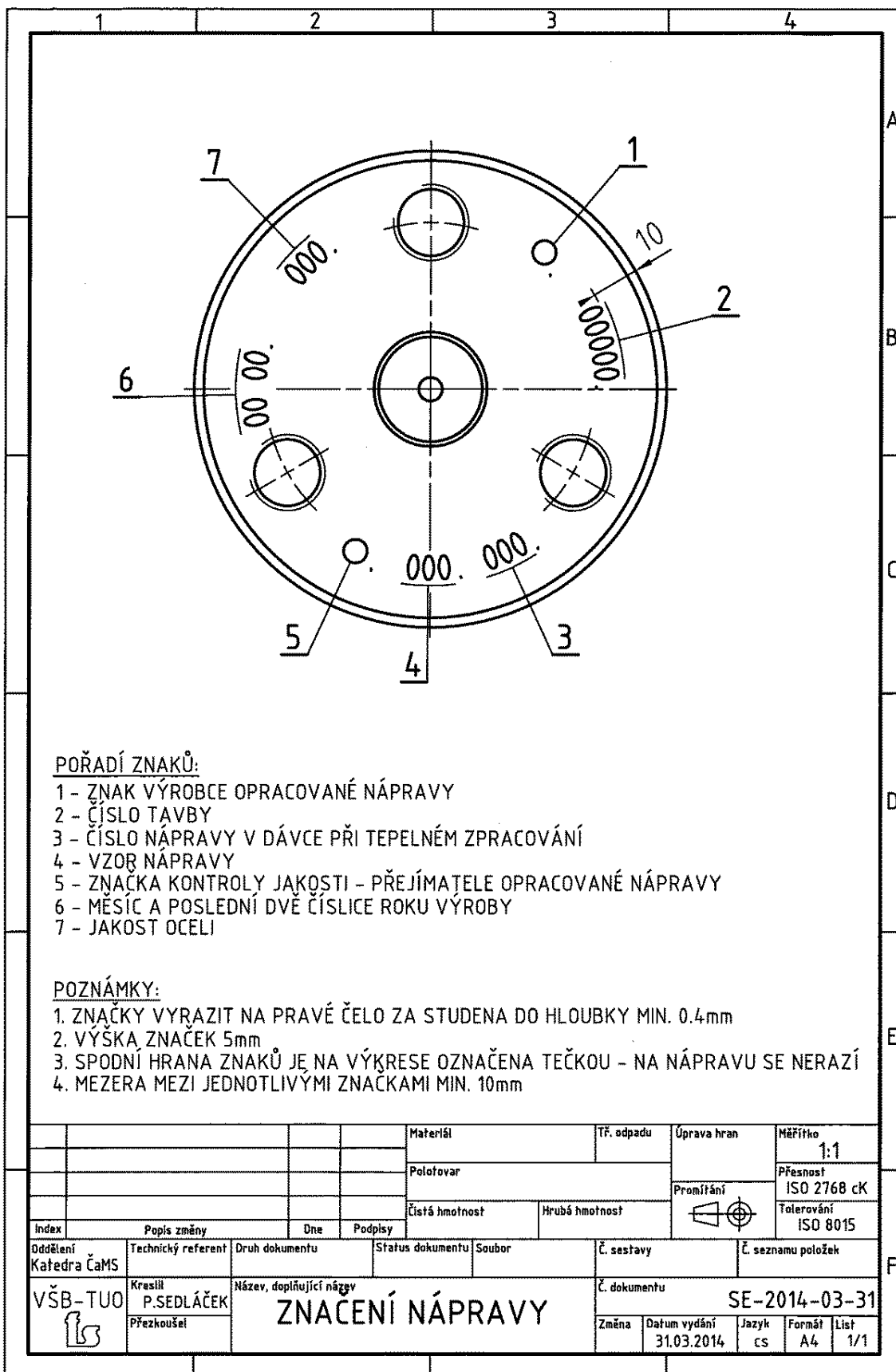


POZNÁMKY

1. KUŽELovitost seidel smí být MAX. 0,05mm s podřídkou, JE VĚTŠÍ PRŮMĚR BUDE BŮŽE KE STŘEDU NÁPRAVY.
2. VŠECHNY RÁDIUSOVÉ PŘECHODY A NÁBĚHY LESŤIT.
3. DETAIL KONCŮ NÁPRAVY JE BEZ MĚŘITKA.

Příloha B (informativní)

VÝKRES ZNAČENÍ NÁPRAVY NA JEJÍM ČELE



Použité zdroje

- [1] ČSN 22 1144 *VRTÁKY ŠROUBOVITÉ S KUŽELOVOU STOPKOU ZESÍLENOU – Základní rozměry*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1977. 4 s.
- [2] ČSN 41 5230 *OCEL 15 230 – Cr – V*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1977. 8 s.
- [3] ČSN 42 5510-2 *TYČE KRUHOVÉ VÁLCOVANÉ ZA TEPLA VYSOKÉ A ZVLÁŠT' VYSOKÉ PŘESNOSTI – Rozměry*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986. 8 s.
- [4] ČSN 42 0363 *ZKOUŠKY ÚNAVY KOVŮ – Metodika zkoušení*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1986. 20 s.
- [5] ČSN EN 10 204 *Kovové výrobky – Druhy dokumentů kontroly*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005. 12 s. Třídící znak 42 0009.
- [6] ČSN EN 13261+A1 *Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Nápravy – Požadavky na výrobek*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 52 s. Třídící znak 28 0522.
- [7] ČSN EN ISO 643 *Ocel – Mikrografické stanovení velikosti zrn*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 36 s. Třídící znak 42 0462.
- [8] ČSN EN ISO 6506-1 *Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Brinella – Část 1: Zkušební metoda*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006. 20 s. Třídící znak 42 0359.
- [9] ČSN EN ISO 6892-1 *Kovové materiály – Zkoušení Tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 64 s. Třídící znak 42 0310.
- [10] ČSN ISO 148-1 *Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 1: Zkušební metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 28 s. Třídící znak 42 0381.
- [11] ČSN ISO 1832 *Vyměnitelné břitové destičky pro řezné nástroje – Označení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 28 s. Třídící znak 22 0601.
- [12] ČSN ISO 3002/1 *Rezné nástroje – ZÁKLADNÉ VELIČINY PŘI REZÁNÍ A BRÚSENÍ – Část 1: Geometria aktivnej časti rezných nástrojov. Základné termíny, súradnicové sústavy, nástrojové a pracovné úhly. Lamače triesky*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1993. 68 s. Třídící znak 22 0011.

- [13] HŽ 42 0273 *SUROVÉ NÁPRAVY kolejových vozidel – Technické dodací předpisy*. Ostrava: Nová Huť Klementa Gottwalda, n.p., 1973. 12 s.
- [14] Řasa, J., Gabriel, V. *Strojírenská technologie 3. Metody, stroje a nástroje pro obrábění, 1. díl*. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
- [15] Brychta J., Čep R., Nováková J., Petřkovská L. *TECHNOLOGIE II – 2. díl*. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [16] Dillinger, J. a kol. *MODERNÍ STROJÍRENSTVÍ pro školu a praxi*. Praha: EUROPA-SOBOTÁLES cz., 2007. 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [17] Pramet; *SOUSTRUŽENÍ/SÚSTRUŽENIE*. Šumperk, 2014.
- [18] WALTER; *SOUHRNNÝ KATALOG*. Německo, 2012.
- [19] Dostupné z: <http://smichov.blog.cz/0608/ringhofferovy-zavody-ckd-tatra-smichov>
- [20] Dostupné z: <http://www.novahut.cz/>
- [21] Dostupné z: <http://www.tos-kurim.cz/>

Seznam obrázků a tabulek	strana
Obr. 1.1 Jednotlivé části hnací tramvajové nápravy	12
Obr. 1.2 Jednotlivé části běžné tramvajové nápravy	13
Obr. 2.1 Portálové obráběcí centrum FRFQ300-VR/A16 při obrábění loko podvozku	15
Obr. 2.2 Portálové obráběcí centrum FRFQ300-VR/A8 při obrábění tramvajového podvozku	15
Tab. 3.1 Chemické složení (rozbor tavby) materiálu 15 230 [%]	16
Tab. 3.2 Dovolené úchytky chemického složení v hotovém výrobku [%]	16
Tab. 3.3 Mechanické hodnoty jakosti 15 230.9	17
Tab. 3.4 Mechanické hodnoty – vrubová houževnatost a tvrdost dle Brinella jakosti 15 230.9	17
Tab. 3.5 Mezní hodnoty analyzovaného výrobku [%]	18
Tab. 3.6 Hodnoty, které je třeba dosáhnout na středním poloměru plných náprav nebo ve střední vzdálenosti mezi vnějšími a vnitřními povrchy dutých náprav	18
Tab. 3.7 Hodnoty absorbované energie u vzorků s U-vrubem (KU), které je třeba dosáhnout na středním poloměru plných náprav nebo ve střední vzdálenosti mezi vnějšími a vnitřními povrchy dutých náprav	18
Tab. 3.8 Mezní napětí hodnot únavy	18
Obr. 3.1 Detailní technologický postup	21
Obr. 3.2 Záznam průběhu normalizačního žíhání	22
Obr. 3.3 Záznam průběhu zušlechtění	23
Obr. 3.4 Tyče po tepelném zpracování a zkoušce tvrdosti	23
Obr. 3.5 Umístění polotovarů pro výrobu zkouškových vzorků – tyčí	24
Obr. 3.6 Záznam průběhu žíhání na snížení vnitřního pnutí	26
Tab. 3.9 Řezné podmínky pro VBD firmy Pramet a Walter	27
Obr. 3.7 Nožový držák typu DTG NR 2525 M 22	29
Obr. 3.8 VBD typu TNMM	30
Tab. 3.10 Řezné podmínky pro VBD firmy Pramet	30
Tab. 3.11 Řezné podmínky pro VBD firmy Pramet	32

Obr. 3.9 Odstupňovaný šroubovitý vrták \varnothing 5 mm / 90°/ 120°	33
Obr. 3.10 Vyražení značení na nápravě pro tramvaj typu O3T	37
Obr. 3.11 Oblasti pro vyhodnocení vad	38
Tab. 3.12 Meze podélných povrchových vad	38
Obr. 3.12 Zabalené a spáskované tramvajové nápravy	40

Seznam příloh	strana
Příloha A VÝROBNÍ VÝKRES TRAMVAJOVÉ NÁPRAVY	42
Příloha B VÝKRES ZNAČENÍ NÁPRAVY NA JEJÍM ČELE	43