

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Inovace výroby náprav pro železniční kolejová vozidla

Production of Axels Innovation for Railway Wheelset

Student:

Bc. Pavel Sedláček

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Sedláček**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Inovace výroby náprav pro železniční kolejová vozidla
Production of Axels Innovation for Railway Wheelset**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Rozbor technologie soustružení.
3. Návrh nové technologie výroby.
4. Srovnání stávající a nové technologie.
5. 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] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentální metody v trieskovém obrábění*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

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


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

Konzultant diplomové práce: Ing. Radomír Trvaj


Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016





doc. 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 diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 5.5.2016



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou 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 diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové 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 – diplomovou 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: 5.5.2016



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Pavel Sedláček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Chrpová 536/2B

736 01 Havířov-Šumbark

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SEDLÁČEK, P. *Inovace výroby náprav pro železniční kolejová vozidla: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 60 s. Vedoucí práce: Čep, R.

Má diplomová práce, kterou zde prezentuji, se zabývá inovací výroby náprav pro železniční kolejová vozidla. Na začátku prezentuji historii výroby náprav ve firmě ArcelorMittal Ostrava a.s.. Dále popisuji historii výroby kolejových vozidel, hlavní části, materiály používané pro výrobu hnacích a běžných náprav. Zmiňuji zde i operace, které se při výrobě náprav pro železniční kolejová vozidla neváží přímo k obrábění, popisuji původní operace obrábění s představením původních strojů, nástrojů a přípravků, a nová technologická zařízení, které bych při inovaci výroby použil. Nová technologická zařízení jsem vybral od českých firem, které tyto stroje vyrábí. I pro tyto nové stroje jsem navrhnul nové nástroje a uvádím zde i řezné podmínky. V závěru srovnávám novou a původní technologii a vyhodnocuji technicko – ekonomické ukazatele při zavedení nové technologie výroby náprav pro železniční kolejová vozidla do praxe.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SEDLÁČEK, P. *Production of Axels Innovation for Railway Wheelset: Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Cutting, Assembly and Engineering Metrology, 2016, 60 p. Thesis head: Čep, R.

My thesis presented here deals with innovation production axles for Railway Wheelset. At present the early history of the production of axles in ArcelorMittal Ostrava a.s.. Also describe the history production of Railway Vehicles, the main parts, materials used to production the drive and conventional axles. I also mention operations in the production of axles for Railway Wheelset do not bind directly to the machining, describing the initial machining operations with the introduction of the original machines, tools and fixtures, and new technological equipment that I use when upgrading of production. New technological equipment I chose the Czech companies, which production the machines. I for these new machines I designed new tools I mention and cutting conditions. In conclusion I compare new and original technology and evaluate the technical - economic indicators in the introduction of new production technology axles for Railway Wheelset into practice.

Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	8
0 Úvod	10
1 Úvod do problematiky	11
1.1 Historie výroby kolejových vozidel	11
1.2 Hlavní části kolejových vozidel	11
1.3 Popis hnací nápravy	12
1.4 Popis běžné – hnané nápravy	13
1.5 Materiál pro výrobu běžných a hnacích náprav	13
1.5.1 Výkovek jakosti EA1N	14
1.5.2 Výkovek jakosti EA4T	15
2 Rozbor technologie soustružení	16
2.1 Operace nesouvisející s obráběním	16
2.1.1 Kontrola jakosti	16
2.1.2 Značení náprav	19
2.1.3 Povrchová úprava, balení, paletizace a expedice	20
2.2 Proces obrábění – soustružení	22
2.2.1 Řezání výkovků	22
2.2.2 Zavrtání důlků	24
2.2.3 Hrubování výkovků	24
2.2.4 Soustružení náprav	26
2.2.5 Zavrtání nových důlků	30
2.2.6 Vrtání, řezání závitů	31
2.2.7 Broušení	33

2.2.8	Dokončení náprav soustružením, vzhledovým válečkováním, leštěním	35
3	Návrh nové technologie výroby náprav	36
3.1	Řezání a zavrtání důlků	36
3.2	Hrubování	37
3.3	Soustružení náprav na hotovo	39
3.4	Vrtání, řezání závitů do čel náprav	43
4	Srovnání stávající a nové technologie výroby náprav	45
5	Technicko – ekonomické zhodnocení	47
5.1	Stanovení strojních časů	47
5.2	Výrobní náklady na výrobu jedné nápravy	48
6	Závěr	51
	Použité zdroje	55
	Seznam obrázků a tabulek	57
	Seznam příloh	59
	Poděkování	60

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	[-]
KU – nárazová práce pro zkušební tyč s U vrubem	[J]
L – délka obráběné plochy	[mm]
L_c – celková délka nápravy	[mm]
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]
i – počet třísek	[-]
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_{AS} – jednotkový strojní čas	[min]
t_{ASZ} – jednotkový strojní čas při řezání závitů	[min]
t_B – přípravný čas	[min]
v_c – řezná rychlost	[m/min]
v_{c15} – řezná rychlost při trvanlivosti břitu 15 min	[m/min]
v_{c45} – řezná rychlost při trvanlivosti břitu 45 min	[m/min]
v_w – obvodová rychlost obrobku	[m/min]
α_n – nástrojový úhel hřbetu	[°]
α_o – nástrojový ortogonální úhel hřbetu	[°]
κ_r – nástrojový úhel nastavení hlavní řezné hrany	[°]
λ_{red} – stupeň štíhlosti	[-]

Úvod

V mé diplomové práci popisuji inovaci – nový technologický tok výroby náprav pro železniční kolejová vozidla. Navrhuji moderní strojní zařízení, která bych použil pro výrobu náprav ve firmě, která by vznikla na zelené louce, 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 píší o počátku výroby kolejových vozidel ve světě, popisují hlavní části kolejových vozidel, mezi něž patří lokomotivy, motorové vozy, jednotky, speciální hnací kolejová vozidla, nákladní a osobní vagony, 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 náprav pro železniční kolejová vozidla ve firmě ArcelorMittal Engineering Products Ostrava s.r.o. (AMEPO), v které jsem zaměstnán a v které se mimo jiné nápravy vyrábí. První zmínky o výrobě dvojkolí a jejich dílů pro železniční kolejová vozidla, dle archivovaných výkresů, jsou z roku 1949. 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 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 kolejových vozidel

Vůbec první zmínka o parou poháněný stroj, který se pohyboval po kolejích – železnici, a měl převést náklad z jednoho místa na druhé bylo v roce 1804. Tento první pokus však skončil fiaskem. Křehká trať z litinových, přírubových nosníků byla rozlámána a rozdrčena koly stroje. Proto první zmínka o lokomotivě, která dokázala náklad dopravit do cíle je z roku 1825 z Velké Británie. Od té doby se začaly lokomotivy a vagony vyrábět, inovovat. Později se přešlo od páry k naftě, elektrice. Na počátku existovalo tzv. pět velkých škol konstrukce parních lokomotiv – anglická, americká, francouzská, německá a ruská. Uvedených pět škol bylo nejvlivnějších, určovaly konstrukci lokomotiv v mnoha jiných zemích a ovlivňovaly jejich stavbu až do 50. let minulého století. Náprava, která je jedna z hlavních částí každého podvozku kolejového vozidla, může být hnací nebo běžná (hnaná). Hnací náprava je poháněna elektromotorem přes spojku a převodovku, běžná náprava není poháněna. Na hnací nápravě je mimo obručových nebo celistvých kol, také převodovka, kluzná nebo valivá ložiska převodovky a ložiskové skříně k uložení do rámu vozidla. Na běžné nápravě jsou celistvá kola a ložiskové skříně k uložení do rámu vozidla, mohou na ní také být brzdové kotouče.

1.2 Hlavní části kolejových vozidel

Každé kolejové vozidlo 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.

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 skříně.

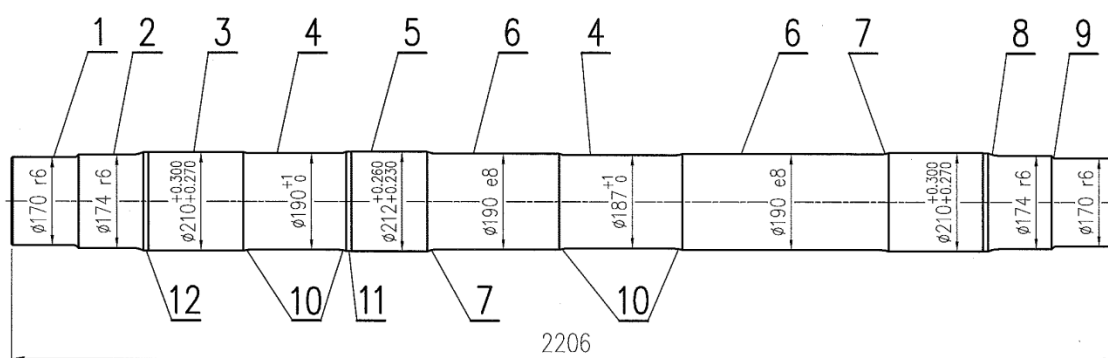
Jak jsem již uvedl v úvodu, náprava je jeden z hlavních dílů podvozku. Na hnací nápravu se lisují za studena obručová nebo celistvá kola, ozubené kolo, za tepla se nasazují valivá ložiska převodové skříně a nápravové ložiskové skříně, dále se montují těsnící kroužky, opěrné kroužky, labyrintové kroužky atd.... Obručové kolo se skládá z opracovaného vývalku kotouče a obruče, nebo z opracovaného odlítka kotouče a z vývalku obruče. Obruč je zajištěna proti sesunutí z kotouče vzpěrným

kroužkem, který se do obruče zavalcovává. Průměr jízdního obrysu nového kola bývá standardně $\varnothing 850 \text{ mm} \div \varnothing 1\,250 \text{ mm}$, šířka $135 \text{ mm} \div 140 \text{ mm}$.

1.3 Popis hnací nápravy

Hnací náprava se skládá z těchto částí (Obr. 1.1) :

- 1 Čep pro ložiskovou skříň uchycenou na rám vozidla
- 2 Sedlo pro opěrný kroužek
- 3 Sedlo pro náboj obručového nebo celistvého kola
- 4 Dřík
- 5 Sedlo pro náboj ozubeného kola
- 6 Čep pro tlapové ložisko
- 7 Výkružek čepu tlapového ložiska
- 8 Výkružek sedla opěrného kroužku
- 9 Výkružek čepu ložiska
- 10 Výkružek dřívku
- 11 Zaváděcí kužel sedla pro náboj ozubeného kola
- 12 Zaváděcí kužel sedla pro náboj obručového nebo celistvého kola

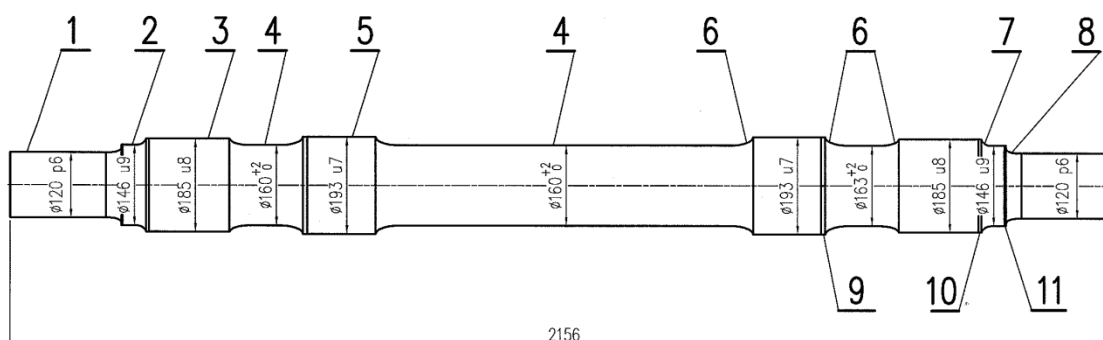


Obr. 1.1 Jednotlivé části hnací nápravy

1.4 Popis běžné – hnané nápravy

Běžná – hnaná náprava se skládá z těchto částí (Obr. 1.2):

- 1 Čep pro ložiskovou skříň uchycenou na rám vozidla
- 2 Sedlo pro opěrný kroužek
- 3 Sedlo pro náboj celistvého kola
- 4 Dřík nápravy
- 5 Sedlo pro brzdový kotouč
- 6 Výkružek dříku
- 7 Výkružek sedla opěrného kroužku
- 8 Výkružek čepu ložiska
- 9 Zaváděcí kužel sedla pro brzdový kotouč
- 10 Zaváděcí kužel sedla pro náboj celistvého kola
- 11 Zaváděcí kužel sedla opěrného kroužku



Obr. 1.2 Jednotlivé části běžné nápravy

1.5 Materiál pro výrobu běžných a hnacích náprav

Jako polotovary pro výrobu náprav pro železniční kolejová vozidla se používají výkovky jakosti EA1N pro vagony a nehnací dvojkolí hnacích vozidel, pro hnací dvojkolí se používají výkovky jakosti EA4T. Méně častá jakost, které je také možno použít je pod označením EA1T. Výkovky se používají buď kované v záпустce nebo volně kované.

1.5.1 Výkovek jakosti EA1N

Pro výrobu běžných náprav se používá materiál, který je určen hlavně pro výrobu náprav osobních a nákladních vagónů, a to výkovky jakosti pod značkou EA1N. Výkovky speciální jakosti se dodávají dle evropské normy EN 13 261+A1, která je také převzatá Českou republikou jako ČSN EN 13 261+A1 [4]. Maximální procentuální obsah prvků materiálu EA1N je uveden v Tab. 1.1, mechanické vlastnosti tepelně zpracovaných výkovků jakosti EA1N jsou uvedeny v Tab. 1.2 ÷ 1.4.

Tab. 1.1 Mezní hodnoty po analýze výrobku [%]

C	Si	Mn	P ^a	S ^{ab}	Cr	Cu	Mo	Ni	V
0,40	0,50	1,20	0,020	0,020	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06
a Maximální obsah 0,025% může být odsouhlasen při poptávce a objednavce									
b Minimální obsah síry se může odsouhlasit při poptávce a objednavce podle způsobu výroby oceli za účelem ochrany před vodíkovou křehkostí									

Tab. 1.2 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 (%)
≥ 320	550 ÷ 650	≥ 22
a Pokud není zřetelná mez průtažnosti, musí se stanovit smluvní mez kluzu R _{p0,2}		

Tab. 1.3 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
≥ 30	≥ 20

Tab. 1.4 Mezní napětí hodnot únavy

F ₁ ≥	F ₂ ≥	R _{fL} ≥	R _{fE} ≥	R _{fL} / R _{fE} ≤
200 N/mm ²	80 N/mm ²	250 N/mm ²	170 N/mm ²	1,47

1.5.2 Výkovek jakosti EA4T

Pro výrobu hnacích náprav pro kolejová vozidla – elektrické a dieselelektrické lokomotivy, motorové a elektrické vozy, speciální vozidla, se používají výkovky jakosti EA4T. Výkovky pro hnací vozidla uvedené jakosti se také dodávají dle evropské normy EN 13 261+A1, která je také převzatá Českou republikou jako ČSN EN 13 261+A1 [4]. Chemické složení materiálu EA4T je uvedeno v Tab. 1.5, mechanické vlastnosti tepelně zpracovaných výkovků jakosti EA4T jsou uvedeny v Tab. 1.6 ÷ 1.8.

Tab. 1.5 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. 1.6 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 pružnosti, musí se stanovit smluvní mez kluzu R _{p0,2}		

Tab. 1.7 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. 1.8 Mezní napětí hodnot únavy

F ₁ ≥	F ₂ ≥	R _{fL} ≥	R _{fE} ≥	R _{fL} / R _{fE} ≤
240 N/mm ²	96 N/mm ²	350 N/mm ²	215 N/mm ²	1,63

2 Rozbor technologie soustružení

Dříve než začnu popisovat technologii soustružení, tzn. přetvoření vstupního materiálu – výkovku, na konečný výrobek – nápravu, se zmíním o operacích, které nepatří přímo do operace obrábění, ale mají také ve výrobě náprav svůj význam. Tyto operace provádí tzv. režijní zaměstnanci firmy, které již moc inovovat nelze.

2.1 Operace nesouvisející s obráběním

2.1.1 Kontrola jakosti

Po dodání výkovků na sklad provede zástupce kontroly jakosti (KJ) vstupní přejímku. Kontroluje se dle dodaných atestů číslo tavby a pořadové číslo v tavbě každého výkovku, namátkově se kontrolují rozměry, na všech výkovicích při přenášení čísla tavby a pořadového čísla v tavbě se kontroluje pohledem, zda se nevyskytují na površích výkovků vady. Pro každý typ nápravy je kovárenský náčrtek s ideálními přídávky na opracování (Obr. 2.1). Pokud vše souhlasí a je v pořádku dá zástupce KJ mistrovi střediska pokyn, že je výkovky možno použít pro výrobu na konkrétní zakázku. Obvykle je k výkovkům požadován Inspekční certifikát dle ČSN EN 10 204 3.2 [3] obsahující materiálový atest s chemickým složením tavebního vzorku, s výsledky mechanických destruktivních zkoušek, rozměry, potvrzením o radioaktivitě, která nesmí překročit 100 Bq/kg.

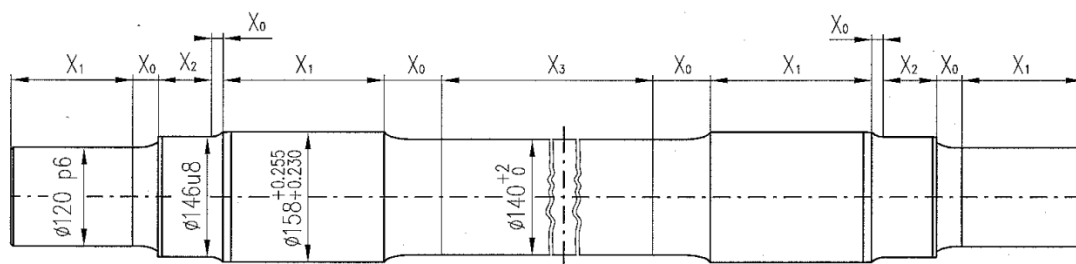
Během výroby – obrábění, provádí KJ namátkově kontrolu rozměrů, kontrolu geometrických tolerancí. Po ohrubování výkovků se provádí nedestruktivní kontrola a to zkouška ultrazvukem na vnitřní vady v axiálním směru. Také zaměstnanci provádějící jednotlivé operace musí během výroby provádět kontrolu rozměrů, geometrických tolerancí, kontrolu předepsané drsnosti opracování, kontrolu na výskyt povrchových vad. Při zahájení nové výroby musí zaměstnanec provádějící operaci obrábění provést 100% kontrolu všech průměrových a délkových rozměrů.

Zákazník: Bc. Pavel Sedláček				
Zakázka/Kupní smlouva: S-1-1-1-2016/1234567891				
Číslo výkresu: 3/SED-2016-04-04				
Hmotnost: 410,-kg				
	Tolerance [mm]	Rozměry na čisto [mm]		Nákovky pro zkoušky
		průměry	délky	
D1	+9 -6	∅ 120	179	
D2	+12 -3	∅ 159	274	
D3	+9 -6	∅ 140	1250	
D4	+12 -3	∅ 158	274	
D5	+9 -6	∅ 120	179	
L	+16 -14		2156	
N				∅ 140 mm, L = 250 mm

Obr. 2.1 Kovárenský náčrtek pro výrobu nápravy

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 kontrola magnetickou práškovou metodou, při které se zjišťují povrchové vady. Povrchové podélné vady jsou povoleny dle kategorizace náprav – pro jaké rychlosti jsou dané nápravy použity. Nápravy jsou zařazené dle maximální rychlosti, které jsou předepsané pro jednotlivá vozidla, do dvou kategorií a to do kategorie 2 - rychlost vozidla do 200 km/hod a do kategorie 1 – rychlost vozidla nad 200 km/hod. Vady zjištěné při provedené nedestruktivní zkoušce magnetickou práškovou metodou, jsou podélné vady přípustné s výjimkou oblastí X₀ (Obr. 2.2) za

podmínky, že nejsou překročeny meze stanovené v Tab. 2.1 a v Tab. 2.2, příčné vady se nedovolují. Za podélnou vadu se považuje taková, která svírá s osou rotace nápravy úhel menší než 10° .



Obr. 2.2 Oblasti pro vyhodnocení vad

Tab. 2.1 Meze podélných povrchových vad kategorie 2

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.

Tab. 2.2 Meze podélných povrchových vad kategorie 1

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	≤ 6 mm	≤ 15 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.

Konečnou fází výroby náprav je výstupní kontrola a přejímka, která se provádí dle ČSN EN 10 204 3.2 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 se zapisují do měřících listů, které jsou uchovávány v archívu výrobce 10 let a kopie jsou odesílány s nápravami k zákazníkovi. 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 se musí použít 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 se zpět do výroby k opravě, pokud již nelze nápravu opravit, označí se jako neshodný výrobek a musí se zmetkovací komisí vyřadit. Náprava, která prošla 100% kontrolou, a nebyly na ní shledány odchylky od platné výkresové dokumentace, se označí na čele nápravy značkou KJ. Po té vyzve zástupce KJ zástupce odběratele - např. přejímače Českých drah (ČD, a.s.), který provede kontrolu a přejímku náprav.

2.1.2 Značení náprav

Další důležitou operací technologického postupu výroby náprav je značení. Po uřezání čel výkovek se na jeho čelo vybije za studena číslo tavby a pořadové číslo v tavbě. Číslo jsou 8 mm vysoká, razí se za studena do hloubky min. 0,4 mm, na jedno čelo. Tyto dva údaje se musí také přenášet během obrábění společně s číslem výkresu a zakázkou, na kterou jsou nápravy určeny. Během výroby se tyto údaje přenáší popisem nesmazatelnou barvou – např. tužka KOFIX. Po provedené výstupní kontrole a před přejímkou se vyrazí všechny značky (Obr. 2.3) dle výkresové dokumentace k danému typu nápravy. Pokud značení není předepsáno, musí se vyrazit minimálně následující značky: Značka výrobce, Číslo tavby, Jakost oceli, Měsíc a poslední dvě čísla roku výroby opracované nápravy, Číslo nápravy v dávce při tepelném zpracování.



Obr. 2.3 Vyražení značení na nehnací nápravě pro motorový vůz řady 812

2.1.3 Povrchová úprava, balení, paletizace a expedice

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 $\varnothing 140 \text{ mm} +2 \text{ mm}$ byl nastříkán základní a po zaschnutí vrchní barvou. Na ostatní průměry se budou montovat a lisovat další díly, proto tyto průměry se natřou konzervačním olejem pro krátkodobou konzervaci. Barva musí být schválená odběratelem, musí mít platnou expirační dobu – doba spotřeby, a musí být nanášena za podmínek uvedených v technickém listě 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.

Průměry, které jsou natřené konzervačním olejem, se zabalí do mastného papíru a mirelonu, který se stáhne lepicí 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 dřevěné EU Ro paletě

anebo na speciálních dřevěných paletách, zapáskují se ocelovou nebo polyesterovou páskou. Pro snadnější orientaci se nalepí etiketa s daty expedovaných náprav na dřevěnou paletu anebo se napíše nesmazatelným popisovačem na obal. Ukázka zabalení náprav pro expedici je na Obr. 2.4.



Obr. 2.4 Natřené a zabalené nehnací nápravy

Poslední operací, která není přímo spjatá s obráběním, je expedice k zákazníkovi dle údajů v podepsané kupní smlouvě a řídí se podmínkami Incoterms 2016.

2.2 Proces obrábění – soustružení

V těchto bodech popisují původní operace, které se váží přímo k soustružení, ale také řezání, frézování a vrtání. Je zde popsán původní technologický proces. V dalším bodě bude popsán technologický proces s využitím moderních obráběcích strojů, nástrojů a přípravků, které přinesou zvýšení produktivity, jakosti, snížení počtu zaměstnanců nebo při stejném počtu zaměstnanců se zvýší kapacita výroby náprav. Náprava, jejíž výrobu zde popisují, bude zhotovena dle rozměrů, geometrických tolerancí, drsnosti opracování a ostatních technických podmínek a poznámek uvedených na výkrese číslo 2/SED 2016-04-05 – NÁPRAVA BĚŽNÁ (Příloha A) a dle detailního technologického postupu, který je na Obr. 2.6. Pro příklad v něm uvádím operaci zarovnání obou čel nápravy na hotovo a vyvrtání středících důlků do obou čel. Výkresová dokumentace musí být vypracovaná dle platných norem a předpisů, dle oboustranně odsouhlasených technických podmínek, dle výpočtů na různé druhy namáhání, musí být schválena odběratelem.

2.2.1 Řezání výkovků

Po provedené vstupní kontrole výkovků a uvolnění do výroby, se provede operace řezání konců výkovků určených pro daný typ náprav na požadované délky. Pro tuto operaci se používá strojní dvoukotoučová pila PKA 25 (Obr. 2.5). Základní rozměry nástrojů – pilových segmentových kotoučů jsou $\varnothing 800 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ ČSN 22 2941 [2] HSS 30, počet zubů 96. Pro materiál jakosti EA1N se použije řezná obvodová rychlost $v_c = 15 \text{ m/min}$, hodnota posuvu na zub $f_z = 0,03 \text{ mm/zub}$. Jako chladicí kapalina se použije BLASOCUT 2000 CF. Je to vodou mísitelná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi minerálních olejů.



Obr. 2.5 Dvoukotoučová pila PKA 25

DETAILNÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Číslo zakázky: 1-19-1234-6	Dávka: 001	Název součásti: BĚŽNÁ NÁPRAVA	Číslo výkresu: 2/SED 2016-04-05			
Číslo operace: 50	Název operace: ZAVRTÁNÍ DŮLKŮ		Číslo pracoviště: 4331	Typ stroje: SU 63A				
Polotovary: VÝKOVEK ZÁPUSTKOVÝ	Jakost materiálu/norma: EA1N / ČSN EN 13261+A1		Hmotnost hrubá v kg: 480,-	Hmotnost čistá v kg: 267,-	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/SED 2016-04-02 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 šroubovým vrtákem důlek $\varnothing 8$ mm do HL = 25 mm \pm 5 mm / $\varnothing 30$ mm \pm 2 mm / 90°, dodržet předepsanou drsnost opracování Ra max. 1,6 μm; 6. Vyfoukat třísky z vyvrtaného důlku; 7. Změřit rozměry $\varnothing 8$ mm do HL = 25 mm \pm 5 mm / $\varnothing 30$ mm \pm 2 mm / 90° pomocí plechové šablony v. č. 4/SED 2016-04-01, posuvného měřítka, hloubkoměru, zkontrolovat drsnost opracování Ra max. 1,6 μm drsnoměrem Surftest SJ 201P; 8. Otočit nápravu; 9. Provést úkony bod č. 2 ÷ 7; 10. Přepsat na dřík nápravy $\varnothing 140$ mm fixolidem číslo tavby a číslo nápravy v dávce při tepelném zpracování; 								
Číslo úseku úkonu	Nástroj	Výrobní podmínky						
		f_n [mm]	a_p [mm]	i	v_c [m/min]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min]	t_B [min]
4	Soustružnický držák PTFNR 3225 P22; VBD TNMG 220408E-R;T9325	0,25	3 2	2	175	464	1,1	1
5	Odstupňovaný šroubovýtý vrták 8 mm/30 mm/90°	0,1		1	28	90	2,4	0,5
Měřidla, šablony, přípravy, program: zvedací přípravek v. č. 3/SED 2016-04-02, šablona tvaru v. č. 4/SED 2016-04-01, hloubkoměr, posuvné měřítko, drsnoměr Surftest SJ 201P,								
Zpracoval: Bc. Pavel Sedláček	Podpis:	Telefon: 724 253 356	Dne: 1. 2. 2016					

Obr. 2.6 Detailní technologický postup

2.2.2 Zavrtání důlků

Na středisku obrábění se pokračuje v operaci, při níž se do středu výkovků navrtají pomocné důlky. Nejprve se provede označení středu za pomoci šablony, křídý a důlčíku. Vyvrtání se provede na jednoúčelovém vyvrtávacím stroji zavrtáním důlku 60° z obou stran. Důlky se odjehlí a vyfoukají se z nich třísky stlačeným vzduchem. Pro zavrtání důlků se použije 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. Pro chlazení se používá přípravek BLASOCUT 2000 CF.

2.2.3 Hrubování výkovků

Výkovky se převezou k provedení operace hrubování, v mém případě k hrubovacímu soustruhu typu SPT 32 s kopírovacím systémem (Obr. 2.7), kde se provede zapíchnutí jednoho čela k $\varnothing 70$ mm v délce 10 mm (dále se nedá dostat nožem z důvodu bránění čelistí sklíčidla), pokračuje se v hrubování, soustružení čepu na $\varnothing 120,6$ mm +0,1 mm (přídavek na broušení) na délce 120 mm. Zbytek výkovku se hrubuje s přídavkem +6 mm +9 mm na průměr. Rádiusové přechody a náběhy se hrubují pod technologicky proveditelným úhlem.

Kopírování se provádí pomocí tzv. palců a kopírovacích šablon, které musí být z otěru odolného materiálu – plechu, např. jakosti 14 260.3. Náprava se upne do koníku s hrotem 60° a do upínací hlavy, kde je 6 ks kolíků s ostrou hranou, které se zapíchnou do čela. Náprava se neotáčí. Drsnost čepu po opracování musí být R_a max. 6,3 μ m, zbytek nápravy musí mít drsnost opracování R_a max. 12,5 μ m. 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 EA1N s uvedenými mechanickými vlastnostmi v tab. 1.2 až 1.4 do skupiny dle výrobce. Po zařazení vyšla skupina označení P2 [12] (firma Pramet) anebo P8 [13] (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 použije soustružnický nůž – držák typu PSBNL 5050 T25 výrobce firma Pramet a VBD typu SNMM250724-NRR;WPP30 výrobce firma Walter (pro jakost EA1N) a VBD typu SNMM 250724E-HM;UE 6035, výrobce firma Mitsubishi [19] (pro jakost EA4T). Uvedeným držákem a VBD se nahradily nože s připájenou břitovou destičkou. Doporučené řezné podmínky pro VBD obou firem jsou v Tab. 2.3.

Tab. 2.3 Řezné podmínky pro VBD firmy Walter a Mitsubishi

SNMM250724-NRR;WPP30		SNMM250724E-HM;UE6035	
Walter		Mitsubishi	
V_{c45} [m/min]	100 ÷ 120	V_{c45} [m/min]	115 ÷ 130
a_p [mm]	3 ÷ 17	a_p [mm]	3 ÷ 16
f_n [mm]	0,6 ÷ 1,6	f_n [mm]	0,5 ÷ 1,4
Počet ohrubovaných náprav	6	Počet ohrubovaných náprav	4



Obr. 2.7 Univerzální kopírovací soustruh SPT 32

Dále se provede výpočet vstupní řezné rychlosti v_c dle vzorce [2.1]. Pro uvedený výpočet se zvolí hloubka řezu $a_p = 5$ mm, posuv na otáčku $f_n = 0,8$ mm a řezná rychlost $v_{c45} = 130$ m/min.

$$v_c = v_{c45} \cdot k_{vx} \cdot k_{vT} \cdot k_{vHB} \quad [2.1]$$

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 [-]

$$v_c = 130 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,82 = 85,3 \text{ m/min} \quad [2.2]$$

Dle vypočítané řezné rychlosti v_c se vypočítá počet otáček n dle vzorce:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{85,3 \cdot 1000}{\pi \cdot 125} = 217 \text{ min}^{-1} \text{ pro } \varnothing 125 \text{ mm} \quad [2.3]$$

D – průměr obráběné plochy [mm]

n – počet otáček vřetene [min^{-1}]

Řezná rychlost se nastaví s ohledem na výpočet na 80 m/min, hloubka odběru třísky $a_p = 5 \text{ mm}$ a posuv $f_n = 0,8 \text{ mm}$. Pro hrubování náprav jakosti materiálu EA1N 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 výkovku.

2.2.4 Soustružení náprav

Po ohrubování se náprava upne do CNC soustruhu typu DFS 400 (Obr. 2.8) do tříčelistového sklíčidla, které je ovládáno hydraulicky. Náprava se upne tak, aby byl ve sklíčidle čep, na kterém je přídavek pro broušení tzn. za $\varnothing 120,6 \text{ mm} +0,1 \text{ mm}$, aby se náprava nemusela otáčet. V revolverové hlavě je místo pro 8 ks klap, do kterých se vsadí a upevní soustružnické nože. V každé klapě je otvor pro nožový držák o kvadrátu 32 mm x 25 mm. Nejprve se celá náprava vyhrubuje s úběrem třísky 2 mm ÷ 3 mm na plochu a zůstane přídavek 2 mm na průměr pro druhé hrubování a 1 mm pro poslední tzv. šlichtovací soustružení, kdy se průměry na nápravě, které mají drsnost opracování $R_a 1,6 \mu\text{m}$ a nižší, soustruží s přídávkem +0,4 mm +0,6 mm na průměr oproti středním hodnotám uvedeným na výkrese. Průměry, které mají drsnost opracování $R_a \text{ max. } 3,2 \mu\text{m}$ a vyšší se soustruží na hotovo, na horní tolerance.



Obr. 2.8 CNC hrotový soustruh DFS 400

Přídavek je určen pro plochy, které se po soustružení brousí. V mém případě se bude soustružit hotově jen dřík $\varnothing 140$ mm +2 mm s dodržáním předepsané drsnosti opracování R_a max. $3,2 \mu\text{m}$. Dle zkušeností na uvedeném typu CNC soustruhu, kde není luneta pro podepření nápravy, se musí dle potřeby tento dřík také brousit, poněvadž menší třískou než 0,5 mm už nelze zhotovit homogenní tzv. nepobrněný povrch. Pro danou operaci se zvolí nožový držák typu DTG NR 3225 P 22 (Obr. 2.9), k němu VBD typu TNMG 220408E-R T9325 (Obr. 2.10) a TNMG 220412E-R T9325, vše firmy Pramet. Dle normy ISO pro nožový držák typu DTG NR 3225 P 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;

32 – výška držáku – 32 mm;

25 – šířka držáku – 25 mm;

P – celková délka – 170 mm;

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



Obr. 2.9 Nožový držák typu DTG NR 3225 P 22 s VBD TNMG 220408E-R T9325

Dle normy ČSN ISO 1832 pro vyměnitelnou břitovou destičku TNMG 220408E-R; T9325 (Obr. 2.10) znamenají jednotlivá písmena a číslice následující:

T – tvar destičky – rovnoramenný trojúhelník;

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

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

G – provedení

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

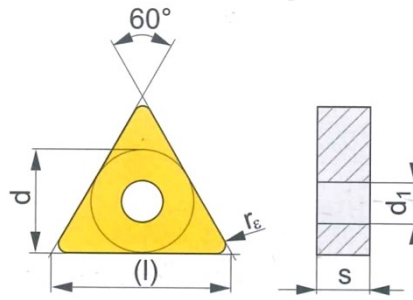
04 – tloušťka destičky – 4,76 mm;

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

E – provedení řezné hrany – zaoblené hrany;

R – typ utvařeče;

T9325 – typ povlaku na břitové destičce;



Obr. 2.10 VBD typu TNMG 220408E-R; T9325

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

Pro uvedený typ vyměnitelné břitové destičky jsou předepsané od výrobce řezné podmínky uvedené v Tab. 2.4.

Tab. 2.4 Řezné podmínky pro VBD firmy Pramet

TNMG 220408E-R; T9325	
Pramet	
V_{c15} [m/min]	220 ÷ 165
a_p [mm]	2 ÷ 6
f_n [mm]	0,25 ÷ 0,48

Dle zkušeností pro výše uvedený typ soustruhu se volí $f_n = 0,5 \text{ mm}$ a $v_c = 230 \text{ m/min}$. Soustružení probíhá bez chladicí kapaliny – na sucho, a stroj není vybaven lunetou, jak jsem již zmínil výše. Jelikož se jedná o soustružení štíhlé hřídele, provede se výpočet stupně štíhlosti dle vzorce:

$$\lambda_{red} = \frac{L_c}{D_s} [-] \quad [2.4]$$

λ_{red} – redukováná štíhlost [-]

L_c – celková délka nápravy [mm]

D_s – střední průměr nápravy [mm]

$$D_s = \frac{D_1 L_1 + D_2 L_2 + D_n L_n}{L_c} \text{ [mm]} \quad [2.5]$$

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

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

$$D_S = \frac{2 \cdot 120 \cdot 179 + 2 \cdot 146 \cdot 79 + 2 \cdot 158 \cdot 195 + 140 \cdot 1250}{2156} = 140,4 \text{ mm} \quad [2.6]$$

$$\lambda_{\text{red}} = \frac{L_c}{D_S} = \frac{2156}{140,4} = 15,36 [-] \quad [2.7]$$

Pokud je $\lambda_{\text{red}} \gg 12$ je zapotřebí použít lunety. Po různých zkouškách: změnou řezných podmínek, změnou typu nožového držáku, VBD i dodavatele, problémy se soustružením dřívku na hotovo přetrvávají. Proto je program vytvořen tak, aby po odebrání poslední třísky byl průměr dřívku na horní toleranční mez, tzn. na $\varnothing 141,5$ mm. Pokud neodpovídá drsnost, musí se dřív nápravy opracovat broušením.

2.2.5 Zavrtání nových důlků

V této operaci se provede soustružení středících důlků $\varnothing 8 \text{ mm} / \varnothing 30 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm} / 90^\circ$. Jako stroj se použije hrotový soustruh SU 63A. Náprava se upne do tříčelistového sklíčidla, podepře se pevnou lunetou za průměr $\varnothing 158 \text{ mm}$ 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 jsou uvedené v Tab. 2.4. Jsou zvoleny následující řezné podmínky: $v_c = 175 \text{ m/min}$, $f_n = 0,25 \text{ mm}$. Pro zhotovení středících důlků se použije odstupňovaný středící vrták, který je přesně vybroušen na požadované rozměry důlku (obr. 2.11) a je z materiálu HSS 56. Pro tuto část operace se použijí řezné podmínky: $v_c = 28 \text{ m/min}$, posuv bude ruční, $f_n = 0,1 \text{ mm}$. Po vyvrtání důlku se vzniklé třísky vyfoukají stlačeným vzduchem mimo nápravu. Náprava se otočí, a opakuje se předchozí část operace. Vrták je 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 se vypočítá dle vzorce:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f_n} \quad [min] \quad [2.8]$$

$$L = \frac{D}{2} + l_n \quad [mm] \quad [2.9]$$

L – délka obráběné plochy [mm]

i – počet třísek [-]

l_n – délka náběhu [mm]

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f_n} = \frac{\left(\frac{120}{2} + 3\right) \cdot 2}{464 \cdot 0,25} = 1,1 \text{ min} \quad [2.10]$$

Jednotkový strojní čas pro vyvrtání důlku se vypočítá dle vzorce:

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} \quad [\text{min}] \quad [2.11]$$

l – hloubka díry [mm]

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} = \frac{3 + 30}{90 \cdot 0,1} = 3,9 \text{ min} \quad [2.12]$$

Celkový jednotkový strojní čas t_{AS} pro tuto operaci je 10 min.



Obr. 2.11 Odstupňovaný šroubovítý vrták $\varnothing 8 \text{ mm} / \varnothing 30 \text{ mm} / 90^\circ$

2.2.6 Vrtání, řezání závitů

V další operaci se provede vrtání a následné řezání tří závitů M20–6H do hloubky 50 mm +5 mm z obou stran nápravy. Jako stroj se použije radiální vrtačka typu VR8, u které je otočný stůl s prizmaty (Obr. 2.12). Do prizmat se uloží 4 ks náprav a upnou se. Aby nedošlo k poškození náprav, je na prizmatech upevněn měkký materiál např. hliník, měď. Stůl se otočí tak, aby upnuté nápravy byly ve vertikální poloze a osa nápravy byla rovnoběžná s osou vřetena – nástroje. Na nápravu se upevní vrtací přípravek s kalenými a broušenými vrtacími pouzdry. Do vřetena se upne šroubovítý vrták se zesílenou kuželovou stopkou dle ČSN 22 1144 [1] z materiálu HSS. Vrták má průměr $\varnothing 17,5 \text{ mm}$, stopka je kuželová – morse 2, úhel špičky $2\kappa_r$ je 120° , úhel hřbetu α_0 je 12° . Strojní posuv se volí $f_n = 0,125 \text{ mm}$, řezná rychlost $v_c = 11 \text{ m/min}$.



Obr. 2.12 Radiální vrtačka VR8 s otočným stolem

K chlazení vrtáku se použije chladicí emulze BLASOCUT 2000 CF smíchaná s čistou pitnou vodou. Díra $\varnothing 17,5$ mm pro zhotovení závitu M20 se vrtá do hloubky 65 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 [13]. Výrobce doporučuje použít řezné podmínky $v_c = 19$ m/min, $f_n = 0,2$ mm. Po zavrtání všech otvorů se vrtací přípravek sundá a díry $\varnothing 17,5$ mm se vrtají bez něj. Pokud se vrtací přípravek nechá po celou dobu vrtání díry do hloubky 65 mm, vrták se může v díře zalomit. Dále se vymění vrták za strojní závitník M20-6H s válcovou stopkou např. firmy EMUGE [17]. Závitník se upne do závitorezné hlavy. Závitník je z materiálu HSS-E, tři drážky ve šroubovici. Řezná rychlost se volí $v_c = 7$ m/min. Dle zkušeností jako mazací a chladicí prostředek se použije řezný sprej Metaflux 70-03. Po vyřezání závitů se provede sražení na začátku závitu pod úhlem 120° . Jako nástroj se použije záhlubník. Řezná rychlost se volí $v_c = 4$ m/min. Po konečném provedení závitů se provede celkové odjehlení, vyfoukání třísek stlačeným vzduchem. Při vyvrtání prvních děr, prvního závitu a zahloubení, se vždy zkontrolují rozměry – průměr díry posuvným měřítkem, hloubka díry hloubkoměrem, závit závitovým kalibrem – nesmí být volný a musí jít lehce zašroubovat do závitu, zkosení se změří úhломěrem, provede se kontrola kolmosti díry k čelu např. hloubkoměrem. Pohledem se zkontroluje, zda není závit potrhaný. Po provedení této části operace se otočí stůl s upnutými nápravami o 180°

a předchozí část operace se opakuje. Výpočet strojních časů pro tuto operaci se provede dle rozměrů závitů a dle stanovených řezných podmínek.

Strojní čas t_{AS} pro vyvrtání jedné díry $\varnothing 17,5$ mm do hloubky 70 mm se vypočítá dle vzorce:

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} \quad [min] \quad [2.13]$$

n – počet otáček vrtáku [min^{-1}]

f_n – posuv vrtáku na otáčku [mm]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{11 \cdot 1000}{\pi \cdot 17,5} = 200 \text{ min}^{-1} \quad [2.14]$$

v_c – řezná rychlost vrtáku [m/min]

D – průměr vrtané díry [mm]

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} = \frac{2 + 70}{200 \cdot 0,125} = 3 \text{ min} \quad [2.15]$$

Strojní čas t_{ASZ} pro řezání závitu M20-6H do hloubky 55 mm řeznou rychlostí $v_c = 7$ m/min se vypočítá dle vzorce:

$$t_{ASZ} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} \quad [min] \quad [2.13]$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_2} = \frac{7 \cdot 1000}{\pi \cdot 18,4} = 121,1 \text{ min}^{-1} \quad [2.16]$$

$$t_{ASZ} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} = \frac{55 + 2}{121,1 \cdot 2,5} = 0,2 \text{ min} = 12 \text{ s} \quad [2.17]$$

Celkový strojní čas pro operaci vrtání, řezání šesti závitů M20-6H je cca 20 minut.

2.2.7 Broušení

Operace broušení se provádí na hrotové brusce BUC 63B/3000 (Obr. 2.13). Tato bruska má konstantní řeznou rychlost $v_c = 45$ m/s, max. délka obrobku je 3 000 mm, max. průměr obrobku je 630 mm, obvodová rychlost obrobku je $v_w = 4$ m/min ÷ 42 m/min, frekvence otáčení obrobku se zvolí, radiální přísuv brusného kotouče do řezu f_r se volí 0,0025 mm.



Obr. 2.13 Hrotová bruska BUC 63B/3000

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 EA1N volím typ brusného kotouče 98A 46 K 9 V. Zde je uvedeno, 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

Brousí se průměry, které mají průměrové tolerance v setinách mm a drsnost opracování R_a max. 1,6 μm . Průměry, které nejsou delší než 95 mm, se brousí 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:

$$t_{AS} = \frac{l_a \cdot p}{2 \cdot f_a \cdot n_w \cdot f_r} [\text{min}] \quad [2.18]$$

$$l_a = l_{na} + l_w + l_{pa} - \text{dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru [mm]} \quad [2.19]$$

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

$$l_{pa} = l_{na} + \frac{b_s}{2} - \text{délka přeběhu v axiálním směru [mm]} \quad [2.20]$$

b_s – šířka brousícího kotouče [mm]

l_w – délka obrobku [mm]

p – přídavek na broušení [mm]

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

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

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

$$t_{AS} = \frac{l_a \cdot p}{2 \cdot f_a \cdot n_w \cdot f_r} = \frac{\left(3 + 198 + 3 + \frac{100}{2}\right) \cdot 0,4}{2 \cdot 25 \cdot 43,5 \cdot 0,0025} = \frac{101,6}{5,4} = 18,81 \text{ min} \quad [2.21]$$

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{1000} \Rightarrow n_w = \frac{1000 \cdot v_w}{\pi \cdot d_w} = \frac{1000 \cdot 21,6}{\pi \cdot 158} = 43,5 \text{ min}^{-1} \quad [2.22]$$

$$q = \frac{v_c}{v_w} = 125 \Rightarrow v_w = \frac{v_c}{125} = \frac{45}{125} = 0,36 \text{ m/s} = 21,6 \text{ m/min} \quad [2.23]$$

q – poměr rychlostí – pro ocel 125 [-]

v_w – obvodová rychlost obrobku [m/min]

d_w – průměr obrobku [mm]

Celkový strojní čas pro nápravu bude dle výpočtů 95 min (pozn.: výše vypočítaný strojní čas je pro průměr $\varnothing 158$ mm, délku $l_w = 198$ mm a přídavek $0,4$ mm/ \varnothing).

2.2.8 Dokončení náprav soustružením, vzhledovým válečkováním, leštěním

V této operaci se dokončuje náprava na rozměry uvedené na výkrese, tzn. po této operaci již musí být náprava opracovaná na hotovo. Jedná se o soustružení na univerzálním soustruhu SU 63A tzn. rádiusové přechody, sražení a menší úpravy v délkových mírách, se dodělávají na hotovo ručně. K soustružení se použijí soustružnické nože rychlořezné s pájenou destičkou s vybroušeným tvarem rádiusů dle rozměrů na výkrese. Dále se použije válečkovácí kladka upevněná v držáku v nožové hlavě a dle potřeby také smirkové plátno zrnitosti P60 ÷ P120. Při této operaci se použije řezná rychlost $v_c = 115$ m/min.

3 Návrh nové technologie výroby náprav

V tomto bodě se budu zabývat novou technologií výroby náprav za použití progresivních CNC obráběcích strojů domácí produkce. Práce, které přímo nesouvisí s obráběním, nechávám původní. Jako vzor nápravy pro použití nové technologie výroby použiji výkres číslo 2/SED 2016-04-05 – viz. Příloha A.

3.1 Řezání a zavrtání důlků

Řezání (frézování) konců náprav a zavrtání středících důlků se spojí v jednu operaci a provede se na CNC horizontálním frézovacím a vyvrtávacím stroji WHN 110Q. Jedná se o moderní obráběcí stroj z dílen firmy TOS VARNSDORF, a.s. [18]. Stroj se dodává v provedení s automatickou výměnou nástroje, s křížovým uspořádáním na loži, s podélně přestavitelným stojanem, výsuvným vřetenem a příčně přestavitelným otočným stolem (Obr. 3.1). Jeho základní technická data jsou uvedena v Tab. 3.1. Sjednocením dvou operací ubude jak strojní čas, tak i přípravný čas. Provede se ustavení 3 ks výkovek do prizmat. Nejprve se zarovnají konce nápravy na délku 2 156 mm +1 mm. Výkovek se musí rozměřit tak, aby byl po odfrézování obou konců souměrný. Potom se provede vyvrtání důlků $\varnothing 8 \text{ mm} / \varnothing 30 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm} / 90^\circ$.

Tab. 3.1 Technická data CNC horizontálního frézovacího a vyvrtávacího stroje WHN 110Q

Průměr pracovního vřetená [mm]	112
CNC řídicí systém	SINUMERIK 840 D
Stojan:	
Svislé přestavení vřeteníku Y	
Provedení s normálním pracovním stolem [mm]	1 600
Minimální výška osy vřetená nad pracovním stolem [mm]	50
Podélné přestavení stojanu Z [mm]	1 250
Max. hmotnost obrobku [kg]	8 000
Hlavní pohon:	
Výkon motoru hlavního pohonu [kW]	46
Kroutící moment M_k na vřetenu [Nm]	2 623

Rozsah otáček pracovního vřetena [min^{-1}]	10 ÷ 2 800
Posuvy:	
Rozsah pracovních posuvů – X, Y, Z, W [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]	1 ÷ 6 000
Rychloposuv – X, Y, Z, W [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]	10 000
Otočný stůl:	
Rozměry upínací plochy stolu [mm]	1 400 x 1 800
Příčné přestavení stolu X [mm]	3 000



Obr. 3.1 CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj WHN 110Q [18]

3.2 Hrubování

Pro hrubování nápravy se nově použije CNC soustruh SPH 50 (Obr. 3.2), který řeší produktivně a efektivně technologii výroby náprav a je určen hlavně pro tento druh výrobků. Uvedený hrubovací stroj je z dílen firmy KOVOSVIT MAS, a.s. [15], se sídlem v Sezimově Ústí. CNC soustruh SPH 50 je určen pro silové obrábění. S tímto strojem se můžou také obrábět dlouhé těžké hřídele a válce. Obráběcí stroj je vybaven dvěma samostatně řízenými suporty, což umožňuje obrábět současně dvěma nástroji. U typu SPH 50 je 8-mi polohová hlava. Tento stroj má lože odlité ze šedé litiny, je skříňové koncepce. Uložení vřetena ve čtyřech kuličkových ložiskách zajišťuje

vysokou tuhost a přesnost chodu. Pohon vřetena zajišťuje střídavý regulační elektromotor, dvoustupňová převodovka a reduktor, který přenáší točivý moment na vřeteno ozubenými koly. Na horním vedení lože se pohybují dvoje samostatně řízené saně s příčnými suporty. Pohyb saní je realizován digitálními servopohony, které přes pružné spojky otáčejí předepnutými kuličkovými šrouby. Na horním suportu jsou umístěny levá a pravá nástrojová hlava, do které se upínají přímo nožové držáky. Na dolním vedení se pohybují saně se samostředící lunetou. Stroj je celozakrytován. K řízení stroje je dodáván moderní řídicí systém SINUMERIK 840 D. Tento hrubovací stroj je dostatečně tuhý, proto se na něm hrubují vagonové a lokomotivní nápravy s přídavkem cca 2 mm na plochu. Díky 100 kW motoru je místy hloubka třísky až 18 mm. Výkovek je upnut ve sklíčidle, v koníku a podepřen lunetou.

Strojní jednotkový čas pro vyhrubování jedné vagonové nápravy je 12 minut ÷ 15 minut (záleží na přídvcích) na nápravu bez přípravných časů – ustavení, vystředění, upnutí, a vedlejších časů mezi něž patří obrobení pásky pro lunetu, výměna nástrojů, měření sondou, apod....



Obr. 3.2 CNC univerzální hrotový soustruh SPH 50 [15]

Tab. 3.2 Technická data CNC soustruhu SPH 50

Počet řízených os – lineárně	5 (2 + 2 + 1)
CNC řídicí systém	SINUMERIK 840 D
Pracovní rozsah:	
Oběžný průměr nad ložem [mm]	760
Max. průměr soustružení [mm]	530
Max. délka soustružení [mm]	3 000
Min. délka soustružení [mm]	1 000
Max. hmotnost obrobku [kg]	1 000
Hlavní pohon:	
Výkon motoru hlavního pohonu [kW]	100
Kroutící moment M_k na vřetenu [Nm]	4 400
Rozsah otáček vřetena [min^{-1}]	20 ÷ 2 100
Horní pravý a levý suport:	
Rychloposuv osy X [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	12 000
Rychloposuv osy Z [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	15 000
Rozměry stroje:	
L x Š x V včetně dopravníku třísek [mm]	8 100 x 3 435 x 2 286
Hmotnost stroje [kg]	27 000

3.3 Soustružení náprav na hotovo

Pro soustružení náprav na hotovo mám dva návrhy pro použití CNC soustruhů. Jako první varianta se může zvolit číslicově řízený soustruh SP 430 L2/2500 (Obr. 3.3). Jedná se o další moderní obráběcí stroj z dílny firmy KOVOSVIT MAS, a.s.. Je určen pro dokončovací operace. Konstrukce stroje zajišťuje vysokou tuhost, vysoký kroutící moment na vřetenu, dynamiku a vysoké rychlosti v jednotlivých osách. Použitím valivého vedení je dlouhodobě zajištěno obrábění s vysokou přesností. Pro

opracování náprav výrobce doporučuje soustruh SP 430 L2 v provedení s koníkem, horní nástrojovou hlavou a dolní číslicově řízenou lunetou.



Obr. 3.3 CNC univerzální hrotový soustruh SP 430 L2 [15]

Jako druhý stroj, který jsem do linky opracování náprav zvolil, je CNC soustruh SPH 50D opět výrobce KOVOSVIT MAS, a.s.. Soustruh SPH 50D (Obr. 3.4) je podobné konstrukce jako hrubovací soustruh SPH 50 (Obr. 3.2), má však speciální upínače s pevným hrotem. Dále je vybaven 12-ti polohovou pravou a levou nástrojovou hlavou s možností použití rotačních nástrojů. Pomocí speciálních rotačních držáků se dá vrtat do přírub hnacích náprav, které jsou určeny pro montáž ozubených kol. Pro rychlou výměnu nástrojů při dokončování náprav se může použít systém KM firmy Kennametal. Strojní jednotkový čas pro mou běžnou nápravu je bez přípravných a vedlejších časů 12 minut. Pro porovnání uvádím v Tab. 3.4 výběr technických dat mnou vybraného CNC soustruhu SPH 50D a CNC soustruhu SP 430 L2.

Pro danou operaci se zvolí nožový držák typu PCLNR 3225 M12, k němu VBD typu CNMG 120412-PM pro hrubování radiusových přechodů, nožový držák PDJNR 3225 P15 a VBD typu DNMG 150612-PM pro soustružení čepu, sedla pro opěrný kroužek a sedla pro kolo, a držák PDJNL 3225 P15 a VBD DNMG 150612-PM pro soustružení dřívku a radiusového přechodu do sedla. Všechny tři typy VBD jsou vyrobeny z karbidu s chemicky naneseným povlakem pro dokončování až lehké hrubování oceli a ocelových odlitků, značka GC4015. Pro výše uvedený CNC soustruh volím nožové držáky od firmy Pramet [16] a VBD od firmy Sandvik [20]. Doporučené řezné podmínky firmy Sandvik pro VBD CNMG 120412-PM GC4015 jsou uvedeny v Tab. 3.3 a jsou pro všechny tři typy VBD firmy Sandvik shodné.

Jak hrubovací stroj SPH 50 tak i soustruh pro obrábění na hotovo SPH 50D jsou vybaveny monitorovacím zařízením firmy Prometec, které zabezpečuje kolizní stavy strojů při obrábění. Software PROMETEC [15] umožňuje sledování kolize pevného nástroje s okolím, lunety s obrobkem a nástrojovými hlavami. Dále je schopen sledovat lom řezné hrany při soustružení povrchu s kolísavým zatížením – různý přídavek pro obrábění, různá tvrdost materiálu. Za obsluhu stroje sleduje opotřebení nástrojů a je schopen evidovat příčiny kolizí.



Obr. 3.4 Pohled na dokončování nápravy na soustruhu SPH 50D [15]

Tab. 3.3 Řezné podmínky pro VBD firmy Sandvik

CNMG 120412-PM; GC4015	
Sandvik	
V_{c15} [m/min]	435 ÷ 290
a_p [mm]	0,8 ÷ 5,5
f_n [mm]	0,1 ÷ 0,4

Tab. 3.4 Technická data CNC soustruhu SPH 50D a SP 430 L2

Technická data	SPH 50D	SP 430 L2
Počet řízených os – lineárně	5 (2 + 2 + 1)	4 (2 + 2)
CNC řídicí systém	SINUMERIK 840 D	SINUMERIK 840 D
Pracovní rozsah:		
Oběžný průměr nad ložem [mm]	760	640
Max. průměr soustružení [mm]	530	550
Max. délka soustružení [mm]	2 800	2 500
Min. délka soustružení [mm]	1 000	1 000
Max. hmotnost obrobku [kg]	1 000	1 100
Hlavní pohon:		
Výkon motoru hlavního pohonu [kW]	60	42
Krouticí moment M_k na vřetenu [Nm]	1 700	2 106
Rozsah otáček vřetena [min^{-1}]	20 ÷ 2 800	20 ÷ 3 150
Horní pravý a levý suport:		
Rychloposuv osy X [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	12 000	30 000
Rychloposuv osy Z [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	15 000	30 000
Rozměry stroje:		
L x Š x V včetně dopravníku třísek [mm]	8 124 x 3 435 x 2 230	7 541 x 2 671 x 2 532
Hmotnost stroje [kg]	26 000	16 200

3.4 Vrtání, řezání závitů do čel náprav

Vrtání a následné řezání šesti závitů M20-6H do hloubky 50 mm +5 mm se provede na CNC horizontálním frézovacím a vyvrtávacím stroji WHN 110Q (Obr. 3.5).



Obr. 3.5 Vrtání, řezání závitů na CNC horizontálním stroji WHN 110Q [18]

Provede se ustavení 3 ks opracovaných náprav na prizmata. Díry $\varnothing 17,5$ mm se odvrtají do hloubky 65 mm +5 mm šroubovým vrtákem např. firmy EMUGE [17], typu EF-Drill-STEEL dle DIN 6537L-HA IK-4FF, povlak TiAlN-T14, válcová stopka, úhel špičky 2κ , 140° , s vnitřním chlazením. Výrobce doporučuje strojní posuv f_n ($0,09 \div 0,14$) mm, já volím $f_n = 0,11$ mm, řezná rychlost v_c ($120 \div 170$) m/min, já volím $v_c = 145$ m/min. K chlazení vrtáku se použije chladící emulze BLASOCUT 2000 CF smíchaná s čistou pitnou vodou. Pro řezání závitů se použije strojní závitník s válcovou stopkou M20-6H, firmy DORMER PRAMET, TYP E261, tzv. ČERVENÝ SHARK [16]. Závitník je z materiálu HSS-E-PM, ze speciální práškové rychlořezné oceli, s povlakem TiAlNi-Top, drážky ve šroubovici. Řeznou rychlost volím $v_c = 25$ m/min. Dle doporučení výrobce závitníků se použije řezná kapalina Dormer M200 no. 1. Po vyřezání závitů se provede sražení na začátku závitu pod úhlem 120° . Jako nástroj se použije záhlubník. Řeznou rychlost volím $v_c = 10$ m/min. Po té se provede celkové odjehlení, vyfoukání třísek stlačeným vzduchem.

Strojní čas t_{AS} pro vyvrtání jedné díry $\varnothing 17,5$ mm do hloubky 70 mm se vypočítá dle vzorce:

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} \quad [min] \quad [3.1]$$

n – počet otáček vrtáku [min^{-1}]

f_n – posuv vrtáku na otáčku [mm]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{120 \cdot 1000}{\pi \cdot 17,5} = 2183 \text{ min}^{-1} \quad [3.2]$$

v_c – řezná rychlost vrtáku [m/min]

D – průměr vrtané díry [mm]

$$t_{AS} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} = \frac{4 + 70}{2183 \cdot 0,09} = 0,38 \text{ min} = 23 \text{ s} \quad [3.3]$$

Strojní čas t_{ASZ} pro řezání závitu M20-6H do hloubky 55 mm řeznou rychlostí $v_c = 25$ m/min se vypočítá dle vzorce:

$$t_{ASZ} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} \quad [min] \quad [3.4]$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_2} = \frac{25 \cdot 1000}{\pi \cdot 18,4} = 432 \text{ min}^{-1} \quad [3.5]$$

$$t_{ASZ} = \frac{l_n + l}{n \cdot f_n} = \frac{55 + 4}{432 \cdot 2,5} = 0,06 \text{ min} = 4 \text{ s} \quad [3.6]$$

Celkový strojní čas pro operaci vrtání, řezání šesti závitů M20-6H je cca 5 minut.

4 Srovnání stávající a nové technologie výroby náprav

Nová technologie výroby náprav pro železniční kolejová vozidla přinese zkrácení strojních časů, snížení počtu operací, snížení počtu zaměstnanců. Stávající technologie má celkem osm operací, které se týkají obrábění. Jsou zde operace řezání, zavrtání důlků, hrubování, soustružení, zarovnání čel a vyvrtání nových důlků, vrtání a řezání závitů, broušení, dokončení náprav na soustruhu včetně leštění. Oproti tomu nová technologie má jen operací pět. Vedle řezání (frézování) konců výkovek a zavrtání důlků, jsou to operace hrubování, soustružení na hotovo, vrtání a řezání závitů, a broušení. Operace, které se netýkají obrábění, jsem neinovoval. Avšak i zde se některé operace dají inovovat, např. ruční ražení značení za použití kladiva, razidla, lidské síly a šikovnosti, se dá nahradit elektrickým zařízením pro strojní ražení značení.

Zavedením nové technologie není potřeba tolik místa pro ustavení strojního zařízení jako u technologie původní. Odvod třísek řeším jako u původní technologie, tzn. harpunovými dopravníky v zemi v kanálech.

Ve zkratce uvádím strojní zařízení původní technologie:

1. Dvoukotoučová pila PKA 25 (Obr. 2.5),
2. Univerzální zavrtávačka středících důlků,
3. Hrubovací stroj SPT 32 (Obr. 2.7), který hrubuje výkovek na základě předem vyrobených kopírovacích šablon,
4. Soustruh DFS 400 CNC (Obr. 2.8), který je pro soustružení na čisto a využívá řídicího systému SINUMERIK 810. Velký nedostatek tohoto obráběcího stroje je, že nemá lunetu, která má sloužit pro podepření nápravy a tím zabránění jejímu kmitání.
5. Radiální vrtačka VR8 (Obr. 2.12), kde nápravy musí být otáčeny do svislé polohy a musí být v zemi díra. U tohoto strojního zařízení vzniká velké riziko pádu obsluhy stroje do díry, a také když nám do díry spadne náprava, velmi těžce se vytahuje ven – magnet se nesmí použít.
6. Bruska BUC 63B/3000 (Obr. 2.13). Tuto brusku bych použil i pro novou technologii. Doplnil bych ji číslicově řízeným orovnávačem pro orovnání brusného kotouče dle požadovaného tvaru čepu.
7. Klasický hrotový soustruh SU 63A na kterém se provádí operace zarovnání čel a vyvrtání nových středících důlků do čel nápravy a jako poslední operace dokončení tvaru nápravy hlavně výkružků a rádiusových přechodů.

Uvedené původní obráběcí stroje, které již přesluhují, se nahradí, jak popisují výše, stroji novými, moderními, řízenými počítačově.

Jedná se o následující tři obráběcí stroje:

1. CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj WHN 110Q (Obr. 3.1),
2. CNC soustruh SPH 50 pro hrubování výkovků (Obr. 3.2),
3. CNC soustruh SPH 50D pro soustružení na hotovo (Obr. 3.4),

CNC soustruhy SPH 50 a SPH 50D bych dal do páru a zřídil bych u nich dvoustrojovou obsluhu. Znamená to, že oba stroje by obsluhoval jeden zaměstnanec. Tím by se strojní kusové časy zkrátily o necelou polovinu.

5 Technicko – ekonomické zhodnocení

Novým strojním technologickým zařízením a tím také novým technologickým postupem, který vychází z postupu původního co se týče operací, které nejsou přímo spjaté s obráběním, se budou nápravy obrábět na dvojici nových CNC soustruhů SPH 50 a SPH 50D firmy KOVOSVIT MASS, a.s. [15], a na CNC horizontálním frézovacím a vyvrtávacím stroji WHN 110Q firmy TOS VARNSDORF, a.s. [18]. I přesto, že se v mém případě jedná o malosériovou výrobu náprav, vyplatí se investovat do nových strojů, které mají širší využití, zvládnou bez problémů stále vyšší nároky na jakost a kvalitu, které jsou v železniční dopravě dány zvyšujícími se rychlostmi a tím vysokými nároky na bezpečnost cestujících. Nové moderní obráběcí stroje nám odstraní prostoje, které vznikají při poruchách starých strojů, pro které se velmi obtížně shání náhradní díly, v horším případě již náhradní díly pořídit nelze.

5.1 Stanovení strojních časů

Strojní časy jsou stanoveny z normativů, početně, na jeden kus – viz Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Srovnání strojních časů původní technologie a nové technologie výroby běžných náprav

Původní technologie			Nová technologie		
Op. č.	Stručný popis operace	Strojní čas t_{AS} [min]	Op. č.	Stručný popis operace	Strojní čas t_{AS} [min]
1.	Řezání konců čel náprav	15	1.	Frézování konců čel náprav na hotovo, zavrtání důlků 90°	25
2.	Zavrtání důlků 60°	6			
3.	Hrubování náprav	70	2.	Hrubování náprav	15
4.	Soustružení na čisto	60	3.	Soustružení na hotovo	12
5.	Zarovnání čel, zavrtání nových důlků 90°	10			
6.	Vrtání, řezání závitů M20	20	4.	Vrtání, řezání závitů M20	5
7.	Broušení	95	5.	Broušení	29
8.	Soustružení - leštění	75			

Původní technologie celkem strojní časy t_{AS} [min]	Nová technologie celkem strojní časy t_{AS} [min]
351	86

V Tab. 5.1 můžeme porovnat strojní časy jednotlivých operací nutných k výrobě jednoho kusu nápravy při použití původní technologie, resp. starých strojů, a nové technologie za použití nových strojů. Ve strojních časech nejsou započítány časy na vystředění, uložení, upnutí obrobku, seřízení, výměny nástroje atd.... Díky zavedení nové technologie dochází k časové úspoře při výrobě, a to o více jak dvě třetiny nižší celkový strojní čas pro opracování jednoho kusu běžné nápravy oproti původní technologii výroby náprav.

5.2 Výrobní náklady pro výrobu jedné nápravy

Dalším důležitým ukazatelem, který je nutno brát v úvahu, je finanční dopad na firmu, v případě zakoupení nové technologie - nových obráběcích strojů, jejich uvedení do provozu. Kromě technického, jakostního a produktivního přínosu, musí být nová technologie pro firmu i ekonomicky výhodná.

V Tab. 5.2 a 5.3 je srovnání výrobních nákladů původní technologie a nové technologie. Jak je vidět, výrobní náklady nové technologie poklesly o necelé dvě třetiny nákladů technologie staré. Nakonec Tab. 5.4 nám ukazuje pohled na původní a novou technologii z hlediska použitých strojů, strojních kusových časů, výrobních nákladů a počtů zaměstnanců.

Tab. 5.2 Výrobní náklady původní technologie výroby běžných náprav

Původní technologie				
Op. č.	Stručný popis operace	Strojní čas t_A [min]	Sazba [Kč/hod]	Cena [Kč]
1.	Řezání konců čel náprav	15	740	185
2.	Zavrtání důlků 60°	6	740	74
3.	Vyražení značení	5	550	46
4.	Hrubování náprav	70	740	863
5.	Soustružení na čisto	60	740	740
6.	Zarovnání čel, zavrtání nových důlků 90°	10	740	123
7.	Vrtání, řezání závitů M20	20	740	247
8.	Broušení	95	740	1.172
9.	Soustružení – leštění	75	740	925
10.	Vyrazit značení	10	550	92
11.	Konzervace, balení	35	450	263
Celkem [Kč]		x	x	4.730

Tab. 5.3 Výrobní náklady nové technologie výroby běžných náprav

Nová technologie				
Op. č.	Stručný popis operace	Strojní čas t_A [min]	Sazba [Kč/hod]	Cena [Kč]
1.	Frézování konců čel náprav na hotovo, zavrtání důlků 90°	25	1.100	458
2.	Vyražení značení	5	550	46
3.	Hrubování náprav	15	950	238
4.	Soustružení na čisto	12	950	190
5.	Vrtání, řezání závitů M20	5	1.100	92
6.	Broušení	29	740	358
7.	Vyrazit značení	10	550	92
8.	Konzervace, balení	35	450	263
	Celkem [Kč]	x	x	1.737

Tab. 5.4 Srovnání původní a nové technologie výroby běžných náprav

Sledovaný parametr	Původní technologie	Nová technologie
Obráběcí stroje	Každý stroj jiný dodavatel Zastaralé Neproduktivní	Soustruhy – jeden dodavatel Horizontka – jeden dodavatel Nové
Strojní kusové časy [min]	351	86
Výrobní náklady [Kč/ks]	4.730	1.737
Počet zaměstnanců (jedna směna)	7	4

6. Závěr

Cílem mé diplomové práce je návrh inovace výroby náprav pro železniční kolejová vozidla, která spočívá v pořízení nové technologie – nových obráběcích strojů. Při analýze současného stavu výroby jsem dospěl k následujícímu závěru k původní technologii výroby náprav:

- zastaralé výrobní zařízení,
- velká pracnost výroby,
- vysoká časová náročnost výrobního procesu,
- náročná manipulace při přepínání a ustavení obrobku,
- nepřesnosti při obrábění způsobené hlavně strojním a lidským faktorem,

Zavedením nové technologie se získá:

- úspora tří čtvrtin strojních časů (úspora 75% strojních časů),
- čtyřnásobná řezná rychlost soustružení oproti původní technologii,
- pokles výrobních nákladů o necelé dvě třetiny z 4.730,-Kč/ks na 1.737,-Kč/ks (pozn.: bez přípravných časů a vedlejších časů pro uložení, upnutí, vystředění nápravy, seřízení, výměny nástroje atd...),
- snížení požadavků na počet zaměstnanců,
- zvýšení kvality jakosti výroby a její přesnosti,
- snížení prostojů vlivem poruch a následných oprav původních obráběcích strojů,
- snížení energetické náročnosti,

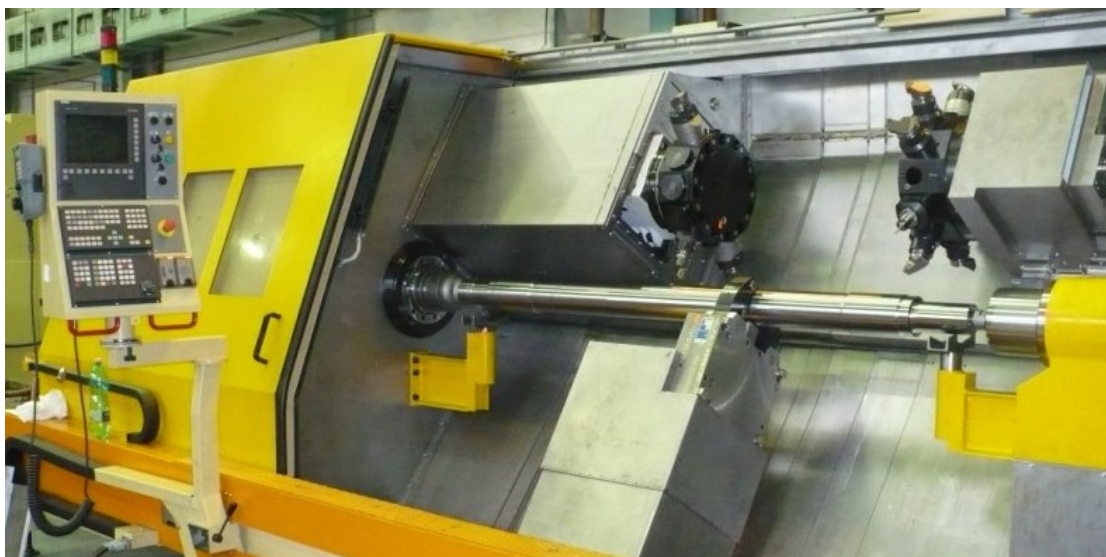
Zavedením nové technologie se nahradí sedm původních obráběcích strojů, jejichž stáří je v průměru 35 až 40 let, třemi stroji novými. CNC soustruh SPH 50 a SPH 50D nahradí tři soustruhy. Nahrazen je jeden soustruh SPT 32, který pracuje na základě kopírovacího zařízení - kopírovacích šablon. Pro každý typ nápravy musí být vyrobeny nové plechové šablony. Tyto šablony se musí kontrolovat, uchovávat v čistém a suchém prostředí. Na druhou stranu nový CNC hrubovací soustruh SPH 50 pracuje na základě připraveného programu od programátora. Příprava tohoto programu trvá dvě směny včetně simulace, výroba tří kusů šablon trvá šest směn.

Další výhodou nové technologie je, že po provedení hrubovací operace je náprava co se týče přídavků a tvaru lépe připravena k soustružení na čisto.

Čtyři původní stroje a to dvoukotoučovou pilu, zavrtávačku, soustruh SU 63A a radiální vrtačku VR8 se zavedením nové technologie nahradí strojem jedním a to CNC horizontálním vyvrtávacím a frézovacím strojem WHN 110Q. Pro zvýšení produktivity je vhodné pořídit tyto stroje dva. Na jednom se na výkvcích budou frézovat konce náprav na hotovou míru a budou se zavrtávat důlky, na druhém stroji by se vrtaly a řezaly závity. Dle typu a složitosti nápravy by se mohly frézovat na nápravách dle výkresové dokumentace vybrání, osazení, drážky atd...

Zavedením nových moderních obráběcích strojů ve výrobě náprav se kromě výše uvedených skutečností (zvýšení produktivity, snížení strojních časů a výrobních nákladů) dále sníží na minimum neplánované prostoje z důvodů častých poruch původních starých strojů. K původním strojům se již obtížně shání nové náhradní díly, často se musí použít díly, které nejsou nové, ale které se vezmou ze stroje, který není zrovna v používání. Opravy jsou nákladné, údržba musí držet služby tak jak probíhá výroba, popř. musí držet hotovost pro případný svoz k nepředvídaným opravám. Na druhou stranu pro nové stroje je automaticky sjednaný servis a údržba s dodavatelem technologického zařízení na předem sjednané období a podmínky jsou již dohodnuty při koupi nového stroje.

Dle popsaných skutečností se jeví za největší přínos v inovaci výroby náprav pro železniční kolejová vozidla, která spočívá v pořízení nových obráběcích strojů, pořízení CNC soustruhu v provedení SPH 50D, výrobce KOVOSVIT MAS, a.s. [15], který je určen pro přesné dokončovací obrábění tvarově složitých součástí hřídelového charakteru. V mém případě uvedený CNC soustruh nahradí dva původní soustruhy, jednoho zaměstnance a také zrychlí strojní časy v operaci broušení – při nové technologii se budou brousit na nápravě dle výkresu číslo 2/SED 2016-04-05 (Příloha A) jen dva průměry – $\varnothing 120p6$ včetně rádiusových přechodů. Při původní technologii se brousí šest průměrů a také v některých případech dřík, který má drsnost opracování Ra max. 3,2 μm , toleranci 2 mm. Hlavní předností nového soustruhu SPH 50D jsou dvě dvanáctipolohové nástrojové hlavy umístěné na horním suportu a dále luneta, která je umístěna na spodním vedení lože mezi vřeteníkem a koníkem a je číslicově řízena (Obr. 6.1).



Obr. 6.1 Pohled do pracovního prostoru CNC soustruhu SPH 50D [15]

Použitím nové technologie výroby náprav bude znamenat pro firmu zvýšení její konkurenceschopnosti na trhu s nápravami pro železniční kolejová vozidla a dalšími díly pro různá odvětví průmyslu.

Použité zdroje

- [1] ČSN 22 1144 *VRTÁKY ŠROUBOVITÉ S KUŽELOVOU STOPKOU ZESÍLENOU – Základní rozměry*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1977. 4 s.
- [2] ČSN 22 2941 *PILOVÉ KOTOUČE SEGMENTOVÉ NA KOVY – Základní rozměry*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1977. 3 s.
- [3] ČSN EN 10 204 *Kovové výrobky – Druhy dokumentů kontroly*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005. 12 s. Třídící znak 42 0009.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Dillinger, J. a kol. *MODERNÍ STROJÍRENSTVÍ pro školu a praxi*. Praha: EUROPA-SOBOTÁLES cz., 2007. 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [11] Ross, D. *ENCYKLOPEDIÉ LOKOMOTIV A VLAKŮ*. Praha: Ottovo nakladatelství, s.r.o., 2005. 544 s. ISBN 80-7360-313-6.
- [12] Pramet; *SOUSTRUŽENÍ/SÚSTRUŽENIE*. Šumperk, 2014.
- [13] WALTER; *SOUHRNNÝ KATALOG*. Německo, 2012.

- [14] Dostupné z: <http://www.novahut.cz/>
- [15] Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/>
- [16] Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/>
- [17] Dostupné z: <http://www.emugefranken.cz/>
- [18] Dostupné z: <http://www.tosvarnsdorf.cz/>
- [19] Dostupné z: <http://www.mcncz.cz/>
- [20] Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/>

Seznam obrázků a tabulek	strana
Obr. 1.1 Jednotlivé části hnací nápravy	12
Obr. 1.2 Jednotlivé části běžné nápravy	13
Tab. 1.1 Mezní hodnoty po analýze výrobku [%]	14
Tab. 1.2 Hodnoty, které je třeba dosáhnout na středním poloměru plných náprav nebo ve střední vzdálenosti mezi vnějšími a vnitřními povrchy dutých náprav	14
Tab. 1.3 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	14
Tab. 1.4 Mezní napětí hodnot únavy	14
Tab. 1.5 Mezní hodnoty analyzovaného výrobku [%]	15
Tab. 1.6 Hodnoty, které je třeba dosáhnout na středním poloměru plných náprav nebo ve střední vzdálenosti mezi vnějšími a vnitřními povrchy dutých náprav	15
Tab. 1.7 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	15
Tab. 1.8 Mezní napětí hodnot únavy	15
Obr. 2.1 Kovárenský náčrtek pro výrobu nápravy	17
Obr. 2.2 Oblasti pro vyhodnocení vad	18
Tab. 2.1 Meze podélných povrchových vad kategorie 2	18
Tab. 2.2 Meze podélných povrchových vad kategorie 1	18
Obr. 2.3 Vyražení značení na nehnací nápravě pro motorový vůz řady 812	20
Obr. 2.4 Natřené a zabalené nehnací nápravy	21
Obr. 2.5 Dvoukotoučová pila PKA 25	22
Obr. 2.6 Detailní technologický postup	23
Tab. 2.3 Řezné podmínky pro VBD firmy Walter a Mitsubishi	25
Obr. 2.7 Univerzální kopírovací soustruh SPT 32	25
Obr. 2.8 CNC hrotový soustruh DFS 400	27
Obr. 2.9 Nožový držák typu DTG NR 3225 P 22 s VBD TNMG 220408E-R T9325	28

Obr. 2.10 VBD typu TNMG 220408E-R; T9325	29
Tab. 2.4 Řezné podmínky pro VBD firmy Pramet	29
Obr. 2.11 Odstupňovaný šroubovitý vrták \varnothing 8 mm / \varnothing 30 mm / 90°	31
Obr. 2.12 Radiální vrtačka VR8 s otočným stolem	32
Obr. 2.13 Hrotová bruska BUC 63B/3000	34
Tab. 3.1 Technická data CNC horizontálního frézovacího a vyvrtávacího stroje WHN 110Q	36
Obr. 3.1 CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj WHN 110Q [18]	37
Obr. 3.2 CNC univerzální hrotový soustruh SPH 50 [15]	38
Tab. 3.2 Technická data CNC soustruhu SPH 50	39
Obr. 3.3 CNC univerzální hrotový soustruh SP 430 L2 [15]	40
Obr. 3.4 Pohled na dokončování nápravy na CNC soustruhu SPH 50D [15]	41
Tab. 3.3 Řezné podmínky pro VBD firmy Sandvik	41
Tab. 3.4 Technická data CNC soustruhu SPH 50D a SP 430 L2	42
Obr. 3.5 Vrtání, řezání závitů na CNC horizontálním stroji WHN 110Q [18]	43
Tab. 5.1 Srovnání strojních časů původní technologie a nové technologie výroby běžných náprav	47
Tab. 5.2 Výrobní náklady původní technologie výroby běžných náprav	49
Tab. 5.3 Výrobní náklady nové technologie výroby běžných náprav	50
Tab. 5.4 Srovnání původní a nové technologie výroby běžných náprav	50
Obr. 6.1 Pohled do pracovního prostoru CNC soustruhu SPH 50D [15]	52

Seznam příloh**strana**

Příloha A VÝROBNÍ VÝKRES BĚŽNÉ NÁPRAVY

50

Poděkování

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2016/172 Vliv technologických parametrů na obrobený povrch a SP2016/174 Studium procesu obrábění progresivních materiálů s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.