

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PROBLEMATIKA VÝROBY ŽELEZNIČNÍHO DVOJKOLÍ PRO KOLEJOVÁ VOZIDLA

THE PROBLEMS OF PRODUCTION OF RAILWAY WHEELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Vladimír Šimčík

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vladimír Šimčík

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Problematika výroby železničního dvojkolí pro kolejová vozidla

v anglickém jazyce:

The problems of production of railway wheels

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Charakteristika dvojkolí pro nápravy železničních vozidel (konstrukce, názvosloví, typy, polotovary). Průřez základními výrobními technologiemi. Doložení současného stavu technologií (kolo, náprava, montážní celky). Posouzení kritických míst dvojkolí z hlediska opotřebení a defektů vyskytujících se při provozu kolejových vozidel. Základní rozbor defektových stavů. Zhodnocení problematiky výroby z pohledu celosvětového vývoje.

Cíle bakalářské práce:

Analýza výroby kol a náprav doplněných o montážní práce. Formulování návrhů na zlepšení na základě rozboru defektových stavů. Orientace v produkci náradí nástrojových firem s celosvětovou působností.

Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 24.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavní myšlenkou této bakalářské práce je především podat přehlednou formou princip technologie výroby železničního dvojkolí, skládajícího se z kol, nápravy a dalších nezbytných komponent. Na základě dostupných informačních pramenů, literatury firmy BONATRANS GROUP a.s., praktických rad, zkušeností a poznatků z praxe budou pojmenovány problémy při výrobě železničního dvojkolí a návrhy na jejich eliminaci.

Klíčová slova

Dvojkolí, kolo, náprava, únava materiálu, tváření, obrábění.

ABSTRACT

The main idea of this work is especially to make clear the principle of railway wheelset technology, consisting of wheels, axle and other necessary components. Based on available information sources, BONATRANS GROUP a.s. literature, practical advices, experience and knowledge of practical issues, the problems in the manufacture of railway wheelsets and proposals for their elimination will be named.

Key words

Wheelset, wheel, axle, material fatigue, forming, machining.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠIMČÍK, Vladimír. *Problematika výroby železničního dvojkolí pro kolejová vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 40 s., 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Problematika výroby železničního dvojkolí pro kolejová vozidla vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 26.05.2011

.....
Vladimír Šimčík

Poděkování

Děkuji Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Také děkuji všem bývalým i současným zaměstnancům firmy BONATRANS GROUP a.s., jmenovitě mému konzultantovi, panu Martinu Javoríkovi za laskavý přístup a odborné rady.

Rovněž děkuji mé rodině za morální podporu v náročných chvílích během mého studia.

OBSAH

Abstrakt.....	3
Prohlášení.....	4
Poděkování	5
Obsah	6
Úvod	7
1 PŘEDSTAVENÍ ŽELEZNIČNÍHO DVOJKOLÍ JAKO CELKU	8
1.1 Charakteristika dvojkolí	8
1.2 Vazba mezi výrobcí a zákazníky.....	11
1.3 Aplikace dvojkolí.....	11
1.4 Vznik, vývoj, problémy.....	13
1.5 Nehody	14
1.6 Namáhání dvojkolí vlivem vnějšího silového působení.....	16
1.7 Únava materiálu a opotřebení	18
2 TECHNOLOGIE VÝROBY.....	20
2.1 Tváření za tepla.....	21
2.1.1 Kola.....	22
2.1.2 Náprava.....	24
2.2 Tepelné zpracování	25
2.3 Strojní obrábění	26
2.3.1 Náprava.....	26
2.3.2 Kolo	28
2.4 Technická kontrola	29
2.5 Povrchová úprava.....	30
2.6 Montáž.....	31
3 SVĚTOVÝ VÝVOJ PRODUKCE V BUDOUCNU.....	33
4 ZÁVĚR.....	34
Seznam použitých zdrojů.....	35
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	39
Seznam příloh.....	40

ÚVOD

Člověk je odpradáвна motivován potřebou činit si život jednodušším. Z technického hlediska jde například o možnosti přepravy osob, výrobků, či materiálu na větší vzdálenosti. Vynález kola se může směle řadit k jednomu z největších vynálezů všech dob. První počátky se datují¹ 4000 let před Kristem do říše Sumerské.

V širším slova smyslu má kolo na hřídeli, potažmo na nápravě, mnoho technických aplikací, jako např.: různé mechanismy (převody, kladky, mlýnské kola, kola automobilu nebo vlaku, apod.) uvedené na ilustraci (obr. 1).

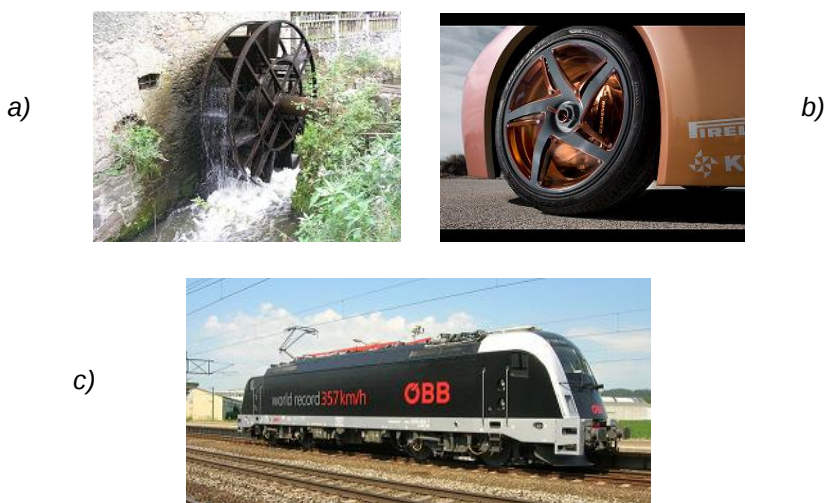
Hlavním úkolem železničního dvojkolí je přenos všech působících sil a bezproblémový odval po kolejnici. Ve vztahu ocelové kolo a kolejnice se jedná o styk dvou nekonformních povrchů, kdy je silové působení zprostředkováváno pouze na velmi malé stykové ploše, tímto se snižuje valivé tření v porovnání např.: s pneumatikou na asfaltu.

Práce se zaměřuje na výrobu železničních kol, především tvářených za tepla, a kovaných náprav. Po obrobení jsou pevně spojeny lisovanými spoji. Jednotlivé výrobky se od sebe liší způsobem použití. Rozdílné nároky bývají kladeny na dvojkolí pro vlaky nákladní, osobní, rychlovlaky, tramvaje a metra.

S rostoucími požadavky zákazníků na kvalitu a provozní podmínky, rostou nároky na jakost vstupního polotovaru, kvalitu tepelné zpracování, obrábění, montážní díly, technickou kontrolu a v neposlední řadě na povrchovou úpravu železničního dvojkolí.

Tento sofistikovaný výrobek v sobě zahrnuje soubor technologických operací, postupů a také problémů, které budou popsány v této publikaci společně s návrhy na jejich možná řešení.

Důležitým zdrojem informací se pro mě stala firma BONATRANS GROUP a.s. se sídlem v Bohumíně, kde pracuji na brigádě jako externí zaměstnanec firmy Jan Hefner – Progres.



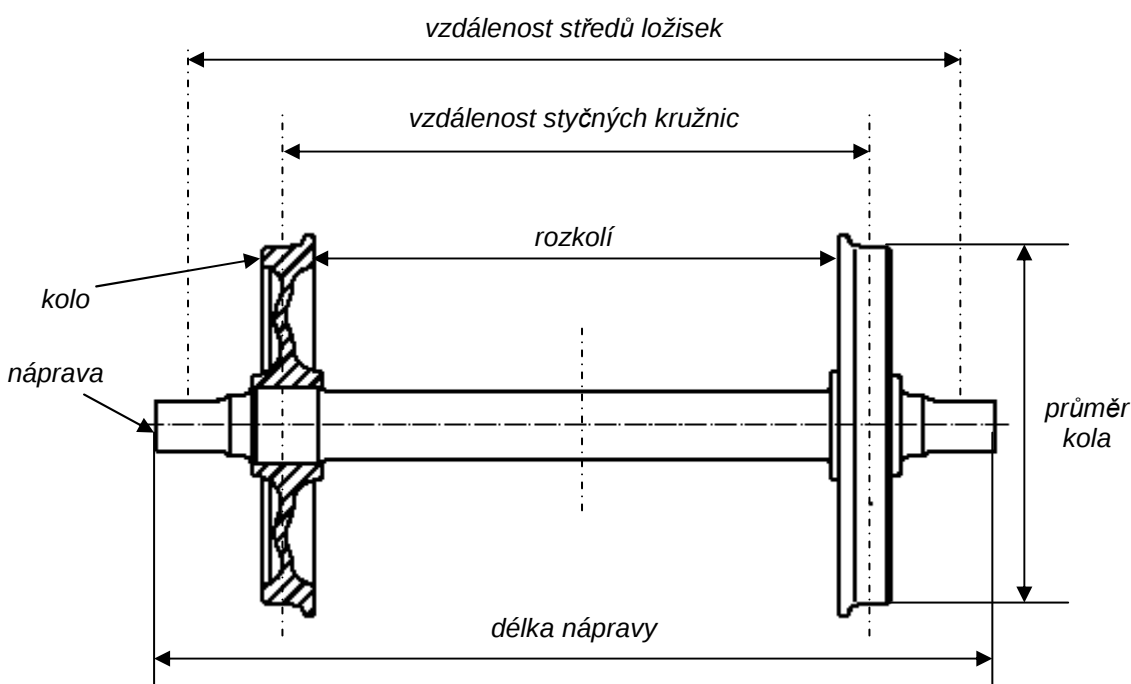
Obr. 1 Kolo na hřídeli: a) mlýnské kolo², b) kolo automobilu³,
c) dvojkolí lokomotivy Taurus⁴

1 PŘEDSTAVENÍ ŽELEZNIČNÍHO DVOJKOLÍ JAKO CELKU

Na první pohled působí výrobek jednoduše, stojí za ním však řada náročných a specifických technologických operací. Selhání v provozu by znamenalo ohrožení života a zdraví lidí včetně rozsáhlých škod na majetku.

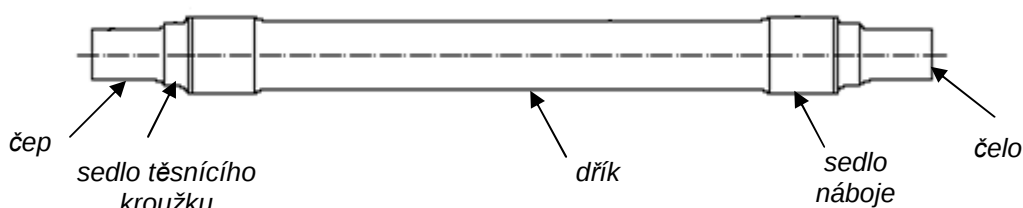
1.1 Charakteristika dvojkolí

Železniční dvojkolí (obr. 1.1) pro nákladní vagóny se skládá z celistvých kol, které jsou za studena nalisovány na nápravu. Geometrie dvojkolí musí být kompatibilní s geometrií železnice.



Obr. 1.1 Železniční dvojkolí¹²

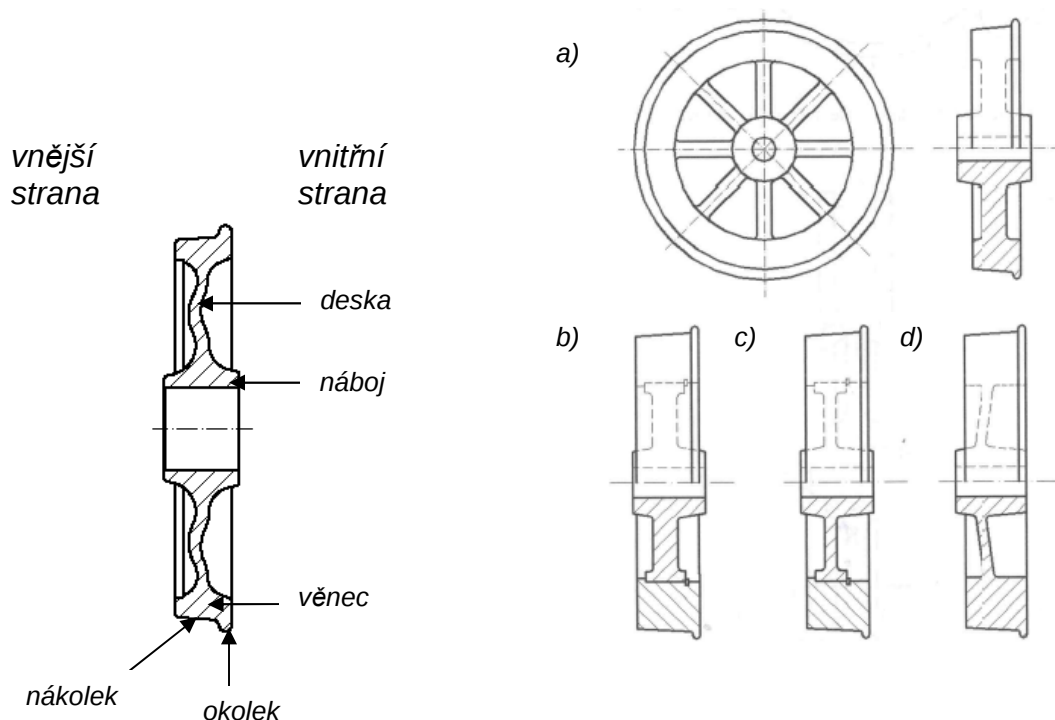
Náprava tvoří spojovací prvek mezi oběma koly (obr. 1.2). Jedná se v podstatě o odstupňovanou válcovitou hřídel. Dle použití se nápravy mohou rozdělit pro lokomotivy a dále pro osobní a nákladní vozy. U sofistikovanějšího dvojkolí bývá mezi sedly nábojů úložné plochy pro brzdové kotouče, převodovou skříň, či ozubení převodu pohonu. Je vždy tvářená. Většinu nápravy tvoří nápravový dřík, na broušená sedla se lisují kola buď za tepla či za studena, na čepy se lisují ložiska uložená v ložiskových skříních, těsnící kroužek zabraňuje vnikání vlhkosti a nečistot do ložiska.



Obr. 1.2 Náprava¹¹

Stykovým prvkem mezi kolejnicí a železničním vozem je kolo. Rozlišujeme několik základních typů. Dle konstrukce kola celistvá (monobloky), složená a dle způsobu výroby tvářená a litá (obr. 1.3).

Světový železniční fond čítá na 200 000 osobních a 3 700 000 vozů nákladních. Je jasné, že z pohledu výrobců jednotlivých litých a tvářených kol existuje v tomto směru vysoká konkurence, protože cena litých kol bude vždy menší, než kol tvářených. Je to dáno technologií výroby. U litých kol odpadá obrábění desky kola a také technologie tlakového lití je ekonomicky výhodnější. Pro tvářené kolo za tepla je charakteristické pěchování, tvarování, děrování, válcování a prohýbání.²⁰



Obr. 1.3 Řez železničním kolem celistvým (vlevo)^{11,38},
Vývoj konstrukce železničních kol (vpravo)¹³:

a) odlévané hvězdicové kolo, b) kolo složené z litého středu a tvářené obruče, c) kolo složené z tvářeného disku a obruče, d) monoblokové kolo (celistvé)

Ve světě existují dva rozdílné proudy dané charakterem železniční infrastruktury. Pro Evropu je charakteristická smíšená dopravní síť, kde nákladní a osobní vlaky využívají shodných železničních cest. Jelikož nákladní vlaky nesmí snižovat propustnost železničních koridorů, musí být schopné zabrzdit na stejných drahách, jako vlaky osobní, které jsou z hlediska bezpečnosti osazeny pouze tvářenými koly. Věnce kol jsou vysoce namáhány teplem způsobeným vysokými brzdnými výkony od špalíkových brzd, tudíž obsah uhlíku v oceli kola musí být nižší (zpravidla 0,5 % a méně), aby kolo nebylo poškozeno tepelnými trhlinami na jízdním profilu. Z tohoto důvodu se v Evropě zatížení náprav nákladních vagónů pohybuje okolo 20 tun.¹⁷ Kola jsou vyráběna také v drtivé většině tvářením (výjimkou je Polsko, kde se v poslední době objevují kola litá).²⁰

Pro kola v oblasti obchodního společenství NAFTA (North American Free Trade Agreement), sdružující Kanadu, Spojené státy americké a Mexiko platí odlišná norma AAR (Association of American Railroads), která připouští kola litá i tvářená pro všechny nákladní vozy.²⁰ Rychlosti na nákladních železnicích jsou menší než v Evropě, nákladní vlaky bývají velmi dlouhé, nápravové zatížení je kolem 30 tun a brzdné výkony jsou menší než v Evropě. Proto mohou být na amerických železnicích bez problému kola vyráběna z ocelolity (obsah C do 0,6 %), protože nehrozí nebezpečí únavy materiálu vlivem tepla.¹⁷ Litá kola se vyskytují na železnicích například v Latinské Americe, Africe, Číně, Indii a také v Anglii.²⁰

Hvězdicové kolo (obr.1.3a) se používá především jako hnací člen na lokomotivách z důvodu lepší přístupnosti údržby do podvozkové části. V Evropě se pro lokomotivy vyrábějí kola většinou tvářená, tzv. monobloky, s vrtanými otvory v desce kola pro umožnění pravidelné kontroly podvozku. Výhodou tvářených kol oproti litým jsou samozřejmě lepší mechanické vlastnosti (tab.1.1). Potřeba přesného statického a dynamického vyvážení je limitující pro kola litá, nepoužívají se pro rychlosti vyšší než 160 km.h⁻¹.

Tab.1.1 Srovnání mechanických vlastností kola tvářeného a litého²⁰

Mechanické vlastnosti		Kované kolo Class C	Lité kolo Class C	Jednotky
Věnc	R _{p0,2}	750	710	[MPa]
	R _m	1220	1150	[MPa]
	A	13	6	[%]
	Z	32	5	[%]
	K _{CU}	13	7	[J]
	K _{v(-20°C)}	6	2	[J]
	HB	340	320	[HB]
Deska	KQ	55	34	[MPa.m ^{0,5}]
	R _{p0,2}	470	410	[MPa]
	R _m	940	800	[MPa]
	A	14	3	[%]
	Z	32	3	[%]

Smluvní mez kluzu

Mez pevnosti

Tažnost

Kontrakce

Vrubová houževnatost

Vrubová houževnatost za teploty -20°C

Tvrdost dle Brinella

Lomová houževnatost

R_{p0,2}

R_m

A

Z

K_{CU}

K_{v(-20°C)}

HB

KQ

Mezi další nevýhody litých kol patří především větší hmotnost (o 30 až 50 kg), z čehož plyne větší hmotnost celého vozu a tím pádem rostou i provozní náklady. Dále je to větší nerovnoměrnost tvrdosti po obvodu věnce kola, jehož rozptyl činí až 45 HB, u kol tvářených je to 25 HB.

Norma AAR sice neupravuje odchylku této hodnoty, ale ze zkušeností lze říci, že nerovnoměrnost tvrdosti po obvodu věnce kola má podstatný vliv na nerovnoměrné opotřebení projevující se degradací kruhovitosti jízdního profilu, což s sebou přináší bezpečnostní, ekonomické a provozní rizika.²⁰

Na druhou stranu je nutné dodat, že kola vyráběná z ocelolity jsou levnější než tvářená a to je jejich nesporná výhoda.

Protože je levnější výměna opotřebovaného kola, než výměna opotřebované kolejnicové tratě, platí pravidlo, že tvrdost jízdní plochy kola by měla být o 10 % nižší než tvrdost kolejničky.

1.2 Vazba mezi výrobcí a zákazníky

Ve světě existuje několik desítek firem, které se zabývají výrobou železničního dvojkolí a dalšího nezbytného příslušenství pro železniční dopravu. Snahou výrobních podniků je být stále o krok napřed před konkurencí. Cesta vede přes získávání stále nových a přísnějších certifikátů o kvalitě výroby a také pozitivní reference od stálých zákazníků, to znamená co nejméně reklamačních událostí a kvalitní servis. Mezi jedny z největších zákazníků na trhu se řadí Bombardier Transportation, Alstom Transport, či Siemens Mobility, kteří se přímo zabývají stavbou vlakových souprav jako takových. Možnost dodávat nová kola nejen pro německé (DB), rakouské (ÖBB), či francouzské dráhy (SNCF) je jistě dobré znamení pro další potenciální zákazníky jednotlivých výrobců železničních dvojkolí. Dalším krokem pro udržení zákazníka je samozřejmě garance záruční lhůty po dobu životnosti daného výrobku, kvalitní servisní opravy a možnost řešit reklamace okamžitě na místě určené zákazníkem.

1.3 Aplikace dvojkolí

Dle způsobu použití musí být každý druh dvojkolí navržen optimálně tak, aby mohl spolehlivě plnit svoji funkci. Většinou je vyžadována antikorozní úprava povrchů kol i náprav použitím nástřiku barev (obr. 1.4), či úprava proti abrazivnímu opotřebení např.: povrch nápravy je obalen pásky plastické hmoty, která slouží k ochraně povrchu proti poškrábání cizími tělesy při transportu, nebo provozu daného dvojkolí, tzn. zamezení vzniku vrubu a možné iniciace únavové trhliny na povrchu nápravy.



Obr. 1.4 Sestava podvozkového rámu a dvojkolí s korozivzdorným nástřikem nápravy a desky kola³⁴

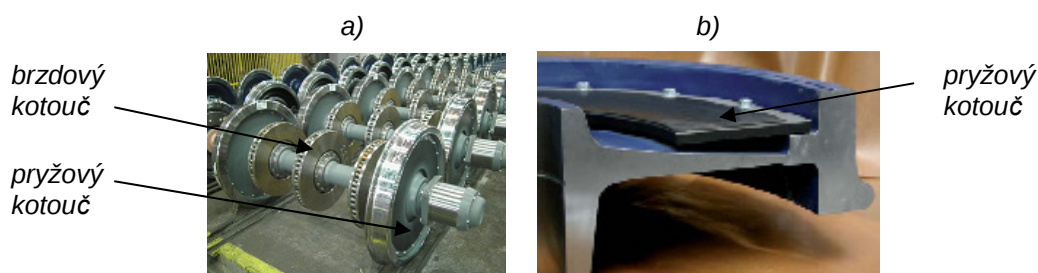
Vysokorychlostní (provozní rychlost více než 200 km.h⁻¹)

Brzdové kotouče jsou umístěny na vnitřních a vnějších stranách desky kola, nebo mohou být nalisovány na sedla odstupňované nápravy mezi koly (viz. obr.1.5a) a tím pádem vzniká při brzdění kombinované namáhání na ohyb a krut. Špalíkové brzdy nejsou vhodné z důvodu ztráty brzdné účinnosti při vysokých rychlostích.

Meziměstské a regionální (provozní rychlost je menší než 200 km.h⁻¹)

Je možné použití špalíkových brzd. Nevýhodou je vznik opakovaného tepelného namáhání povrchů kola a možnost únavového poškození. Základem tvářeného kola určené pro brzdění špalíkovými brzdami je kvalitní vakuovaná ocel s obsahem uhlíku 0,50% a méně. Důležité je navrhnout optimální design kola tak, aby bylo schopno přebytečné teplo bezpečně pojmout. Výhodou špalíkových brzd je možnost zatírání povrchových mikronerovností způsobených odvalováním po kolejnici, což má příznivý vliv na rovnoměrnost opotřebení jízdní plochy.

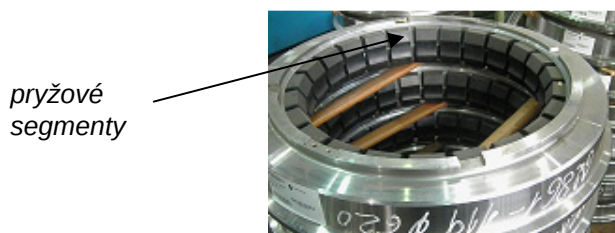
Při pohybu v obydlených částech měst se klade důraz na snižování hlučnosti pomocí nerezových kroužků, pryžových kotoučů (obr. 1.5 a,b) nebo nanesením vrstvy antivibračního nátěru na desku kola.



Obr. 1.5 a) Vysokorychlostní dvojkolí, b) Řez kolem odhlučňným pryžovým kotoučem¹⁴

Metro a tramvaje

Nutností je snížení hmotnosti a co největší eliminace kvílivého hluku, způsobeného hlavně při smýkání kola v zatáčkách způsobených jejími malými poloměry, použitím například pryžových segmentů (obr. 1.6) mezi obručí a deskou nebo pomocí nerezových drátů vložených do drážky pod věnec kola.



Obr. 1.6 Obruč tramvajového kola s pryžovými segmenty

Lokomotivy

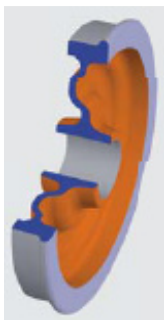
Nápravy bývají duté (obr. 1.5b) z důvodu odlehčení a nutnosti kontroly vzniku únavových trhlin, které mohou vznikat během provozu dvojkolí pod sedly, kde jsou nalisována kola, převodová skříň, či brzdové kotouče.



Obr. 1.7 Dutá náprava lokomotivy¹⁵

Nákladní vagóny

Pro nákladní dvojkolí je charakteristická prohnutá deska (obr. 1.8), která lépe snáší dynamická zatížení v radiálním směru tím, že dochází k její elastické deformaci. Zatížení bývá 20 až 30 tun na jednu nápravu. Věncová kola musí být odolná vůči tepelnému namáhání od špalíkových brzd, které se používá především u nákladního dvojkolí.

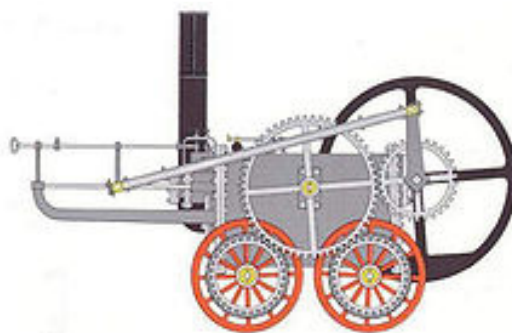


Obr. 1.8 Model nákladního kola s prohnutou deskou¹⁶

1.4 Vznik, vývoj, problémy

První průmyslové aplikace popsal pan Ing. Ladislav Jílek, CSc.: „Kolejová vozidla se objevila již v r. 1550 v Německu, kolejová doprava se však začala významně uplatňovat až v období průmyslové revoluce v Británii. Zde se železné dráhy nejdříve rozšířily v dolech, kde po nich vozači ručně tlačili vozíky, přičemž se méně unavili a dosahovali vyšších výkonů. Je to logické, tření na kovových plochách je výrazně nižší než na kamenité.“¹³

Skutečný rozmach železnice následoval samozřejmě až několik let po první opravdu fungující parní lokomotivě (obr. 1.9), kterou postavil anglický inženýr Richard Trevithick¹⁹ roku 1804. Parní stroj byl vynalezen ještě o půl století dříve (r. 1765), a byl přisouzen Jamesi Wattovi¹⁸.

Obr. 1.9 Trevithickova parní lokomotiva¹⁹

První železniční kola byla z konstrukčního hlediska prakticky převzata z povozů a kočárů, které byly taženy koňmi a jsou stále k vidění dodnes. Jednalo se o kola hvězdicová (obr.1.3a) odlévaná. Se zvyšující se rychlostí na železnici, rostla náročnost na technologii zpracování kol. Litá kola (obr. 1.10a) jsou náchylná k náhlým lomům, které jsou iniciovány skrytými vadami nebo praskání na povrchu běhounu vlivem teplotního namáhání od brzdových špalíků. Na (obr. 1.10b) je pro ilustraci zobrazena trhlina v ocelolitíně po vyjmutí odlitku z formy. Důvodem vzniku trhliny bylo nesprávné navržení tloušťky stěny k poměru poloměru zakřivení, což vedlo ke vzniku napětí vlivem nerovnoměrně rozložené teploty při chladnutí odlitku.



Obr. 1.10 a) Surový odlitek pojezdového kola, b) Detail trhlina v odlitku (vpravo)

1.5 Nehody

Materiálové defekty na železničním dvojkolí mohou vést k vážným haváriím. Konstrukce a výroba podléhá normám nadnárodním (ISO – mezinárodní, UIC – železniční), nebo normám národním (ČSN – česká, STN – slovenská, DIN – německá, BS – britská, GOST – ruská, apod.)¹¹

Nezastupitelnou roli v předcházení vážných nehod hraje prevence, to znamená aktivní vyhledávání rizik (provozní revize) a snižování pravděpodobnosti jejich výskytu (evidence).⁵

K defektovým stavům dvojkolí vede buď nejakostní výroba, zanedbání kontrol za provozu, či použití v podmínkách jiných, než doporučených výrobcem.

Podrobnosti o některých nehodách způsobených lomem materiálu:*Viareggio (Itálie)⁵*

Dne 29. června roku 2009 projížděl vlak převážející nebezpečný náklad stlačeného plynu (LPG) v kotlových vozech nádraží ve Viareggiu. Náhle došlo k vykolejení jednoho vozu, poté se pět dalších převrátilo (obr. 1.11a). Byl proražen plášť vozu a nastala mohutná exploze. Požár se rozšířil na obydlené části kolem nádraží. Bylo usmrceno přes 20 osob, 30 jich bylo zraněno a na 1000 evakuováno. Rovněž infrastruktura utrpěla vážné škody.



Obr. 1.11 a) Havárie kotlového vozu s nákladem LPG⁵, b) Únavový lom nápravy⁵

Z vyšetřování vyplynulo, že pravděpodobnou příčinou nehody byl únavový lom nápravy (obr. 1.11b) z důvodu zanedbané údržby, nedostatečné identifikace dvojkolí (nejasná historie) a špatně prováděných pravidelných defektoskopických zkoušek.

Kolín nad Rýnem (Německo)⁷

V červenci roku 2008 došlo k náhlému lomu nápravy (obr. 1.12b) německé vlakové soupravy ICE 3 (obr. 1.12a), která může dosahovat maximálních rychlostí až 300 km.h⁻¹. Nehoda se obešla bez následku na zdraví a majetku. Jako příčina se ukázala přítomnost nekovových vměstků v materiálu.



Obr. 1.12 a) Vlaková souprava ICE 3⁶, b) Lom nápravy⁷

Eschede (Německo)⁹

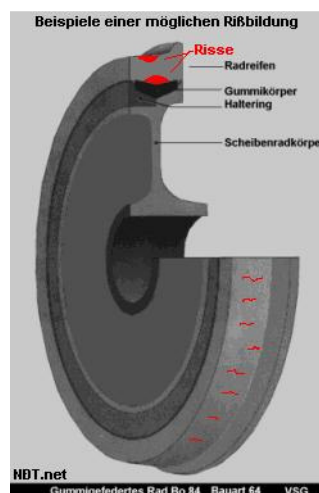
Železniční neštěstí v Eschede se stalo nejhorší havárií vysokorychlostního vlaku na světě. Stalo se 3. června roku 1998 v Dolním Sasku.

Několik let před katastrofou došlo ke konstrukční změně kol, protože díky nedokonalému vyvážení se za vyšších rychlostí jízdní plocha kola opotřebovávala do tvaru vlnkovitých plošek. To následně vedlo k nadměrným vibracím uvnitř vlaku, projevující se hlavně nepříjemně v jídelním voze. Technici proto navrhli řešení na principu pryže odpružených kol, známých do té doby pouze z tramvajových vozů. Ty byly však stavěny na menší rychlosti, než kterých vlaky ICE 1 běžně dosahovaly. Při vývoji byly zanedbány technické zkoušky, které vedly o několik let později k lomu obruče a následné katastrofě. Vznik únavových trhlin uvnitř obruče (obr. 1.13b) měl za následek lom obruče, která následně prorazila podlahu vozu. Poté narazila na výhybku a poslala zbytek vlakové soupravy na druhou kolej. V rychlosti přes $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ došlo ke kolizi vykolejených vagónů s pilířem silničního mostu vedoucího přes železniční koridor. Most se zřítil a ostatní vozy do něj narazily (obr. 1.13a).

a)



b)



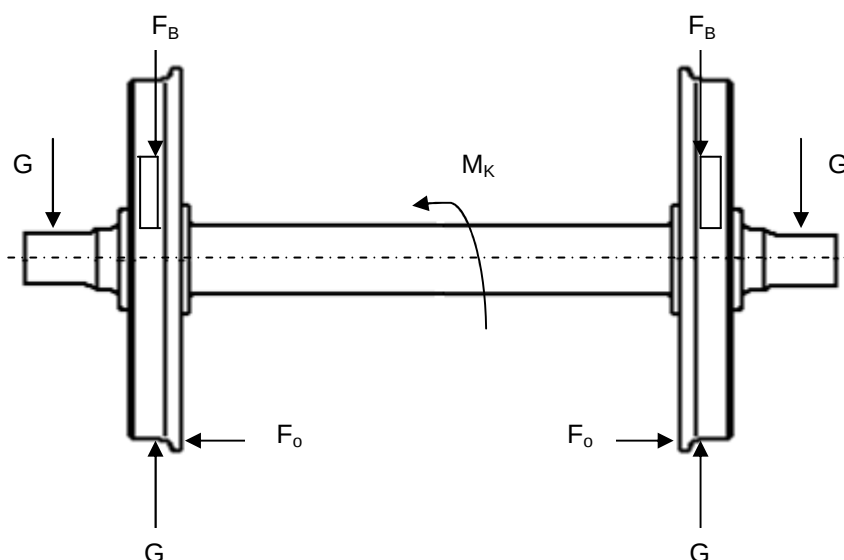
Obr. 1.13 a) Havárie vlaku ICE 1 u Eschede¹⁰, b) Rekonstrukce vzniku únavových trhlin u pryží odpružených kol (červená barva značí místa iniciace trhlin)⁸

Následky havárie byly hrozné. 101 mrtvých, 88 raněných, vykolejení třinácti vozů a zřícení pilířového mostu.

1.6 Namáhání dvojkolí vlivem vnějšího silového působení

Při každém novém návrhu dvojkolí musí být respektovány všechny vlivy, které na něj za provozu působí s dostatečnou bezpečností vůči vybraným mezním stavům. Výsledný model je ověřen pomocí metody konečných prvků, vyrobí se prototyp, který je podroben zátěžovým testům.

Silové působení je zjednodušeně demonstrováno na hnacím dvojkolí, které je osazeno špalíkovými brzdami (obr. 1.14).

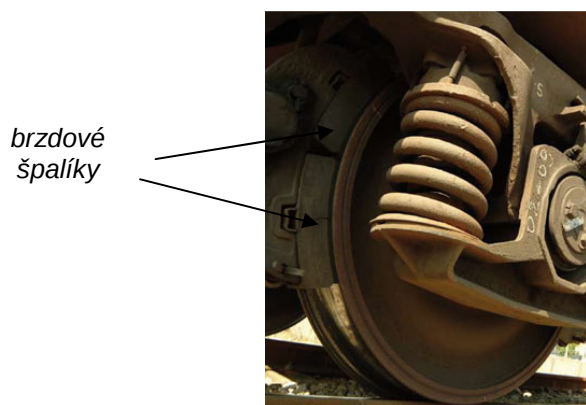
Obr. 1.14 Schéma působení vnějších sil na dvojkolí¹³

Výsledné charakter napětí ve všech částech dvojkolí je dán superposicí základních druhů namáhání. Jedná se o tah, tlak, ohyb, krut a smyk.

Síla G představuje tíhu vozu, která je nesena nápravovými ložisky na vnější straně kola. Kolo se stýká s kolejnicí na velmi malé ploše, z důvodu úkosu. Ten je důležitý, protože pevné spojení kola a nápravy má za následek, že při průjezdu zatáčkou, se vnější kolo odvaluje po větší roztečné kružnici než kolo vnitřní a nedochází tím pádem k prokluzu nákolku po kolejnici.¹³

Okolek zachycuje vliv axiální síly F_0 , působící při průjezdu zatáčkami.¹³

Působením brzdné síly F_B na nákolku od brzdových špalíků (obr. 1.15) se snižuje rychlost celého vlaku. Při zablokování kol za jízdy, může dojít k poškození jízdní plochy kola (obr. 1.15a). Aby se předešlo tomuto poškození, moderní jednotky jsou vybaveny elektronickou regulací, která zamezí zablokování kol.

Obr. 1.15 Nákladní dvojkolí s brzdovými špalíky³⁶

Brzdový špalek nesmí být v kontaktu s okolcem, protože by při cyklickém namáhání vlivem tepla a ochlazování došlo k iniciaci trhlin na nákolku. Umístění brzdného systému hraje významnou roli v celkové životnosti kola. Nejkratší životnost mají kola posunovacích lokomotiv v depu, z důvodu častého brzdění.¹³

Jízdní profil kola lze po ujetí určitého počtu kilometrů re-profilovat (znovuobnovit) (obr. 1.15b). O počtu re-profilací rozhoduje poloha drážky poloměru sjetí. Po jejím dosažení by se mělo opotřebované kolo z nápravy odstranit rozlisováním a nahradit jej kolem novým. Standardní tloušťka materiálu od jízdní plochy k poloměru sjetí je od 30 do 70 mm.

Kroutícím momentem M_k jsou namáhány všechny nápravy hnací a navíc také nápravy hnané, které mají umístěny brzdové kotouče na nápravě (obr.1.5a).



Obr. 1.15 a) Nácolek poškozen zablokováním kola za jízdy²¹
b) Re-profilace nákolku²²

1.7 Únava materiálu a opotřebení

Během provozování železničního dvojkolí dochází k degradaci materiálu vlivem opotřebení. Jedná se o adhezi, abrazi a únavu materiálu.

Adhezní opotřebení vzniká při relativním pohybu dvou ploch přitlačovaných k sobě silou (prokluz při ztrátě trakce). Nedochází ke kontaktu v celé ploše styku, ale pouze na ploškách mikronerovností, čímž se plasticky deformují a vznikají mikrosvary. Pokud je kontaktní napětí příliš velké, dochází k odlupování tenkých vrstev ve formě plátků. Tento jev se nazývá shelling.¹¹ Může se vyskytnout na kolech, kde je jiný systém brzdění, než brzdové špalíky (obr. 1.16).

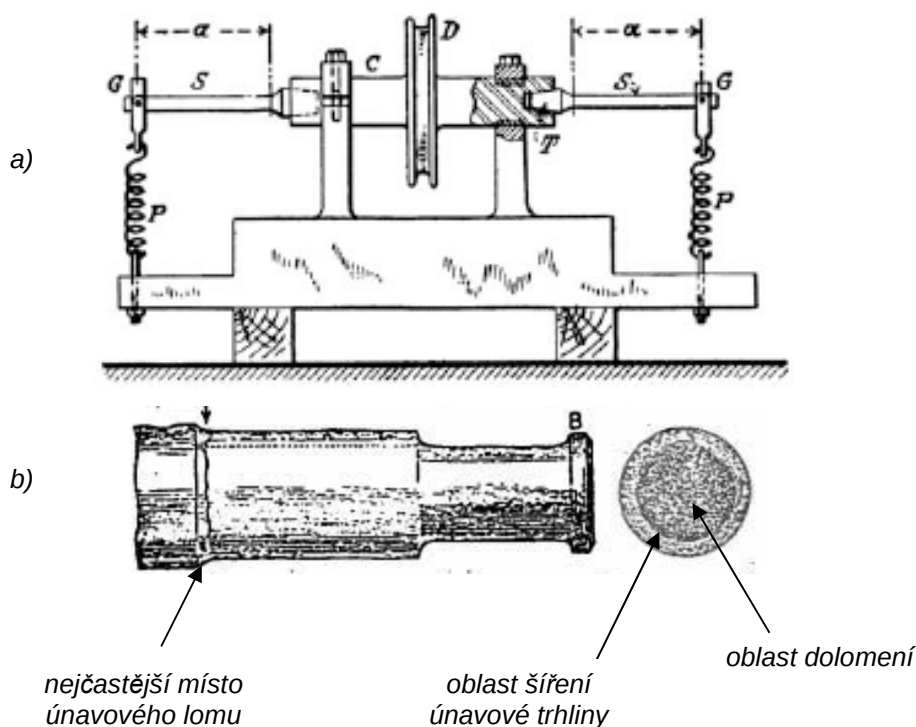


Obr. 1.16 a) Poškození jízdní plochy shellingem³⁵, b) detail³⁵

Díky abrazivnímu účinku brzdových špalíků na povrchu jízdní plochy dochází k zatírání nerovností na kole, což má za následek rovnoměrnější opotřebení jízdní plochy.

Únava materiálu je zapříčiněna cyklickým namáháním jízdní plochy kola. Projevuje se růstem trhlin pod povrchem a následným vypadáváním částic materiálu z povrchu kola. Projevuje se vznikem jamek. Tento jev se nazývá pitting. V místě únavového opotřebení, může vzniknout ohnisko únavového lomu.¹¹

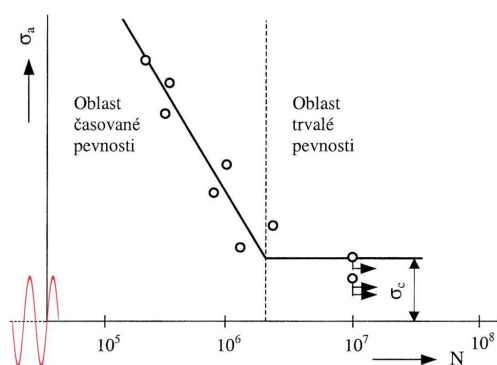
Z historického hlediska se vděčí za rozvoj v oblasti únavy materiálu Augustu Wöhlerovi (1819-1914), který svými únavovými zkouškami pomohl objasnit příčinu lomů náprav u tehdejších dvojkolí, které byly zatěžovány pouze v elastické deformační oblasti. Roku 1850 navrhl první metodiku, jak provádět únavové zkoušky. Jednalo se o zatěžování ohybem za rotace (obr. 1.17a).²³



Obr. 1.17 a) Únavová zkouška ohybem za rotace navržená Wöhlerem (r. 1850)²³
b) Místo nejčastějšího lomu náprav (r. 1850)²³

Únavou materiálu se rozumí postupný proces změn strukturního stavu materiálu a jeho vlastností vyvolaný cyklickým zatěžováním. Nejvyšší napětí je menší, než mez pevnosti R_m a dokonce také menší než mez kluzu R_e . Následkem toho se v materiálu hromadí únavové poškození, které se nakonec projeví únavovým lomem, jenž bývá iniciován na povrch materiálu a má charakteristickou lomovou plochu (obr. 1.17b).²³

Výsledkem Wöhlerovy práce byla funkční závislost velikosti amplitudy napětí cyklického namáhání na počtu cyklů do porušení, později nazvaná jako Wöhlerova křivka (graf. 1.1).



Graf.1.1 Wöhlerova křivka pro symetrický zatěžovací cyklus²³

2 TECHNOLOGIE VÝROBY

Podrobný popis výroby by převýšil rozsah bakalářské práce, proto bude proveden pouze průřez základními technologickými operacemi. Pozornost bude především věnována tváření za tepla, obrábění a závěrečné montáži hotových dílců. Výroba kola a nápravy probíhá v oddělených provozech a následně po obrobení je kolo lisováno na nápravu. Přehledné schéma na následující straně zobrazuje návaznost technologických operací (obr. 2.1).

Legenda jednotlivých výrobních operací dle (obr. 2.1):

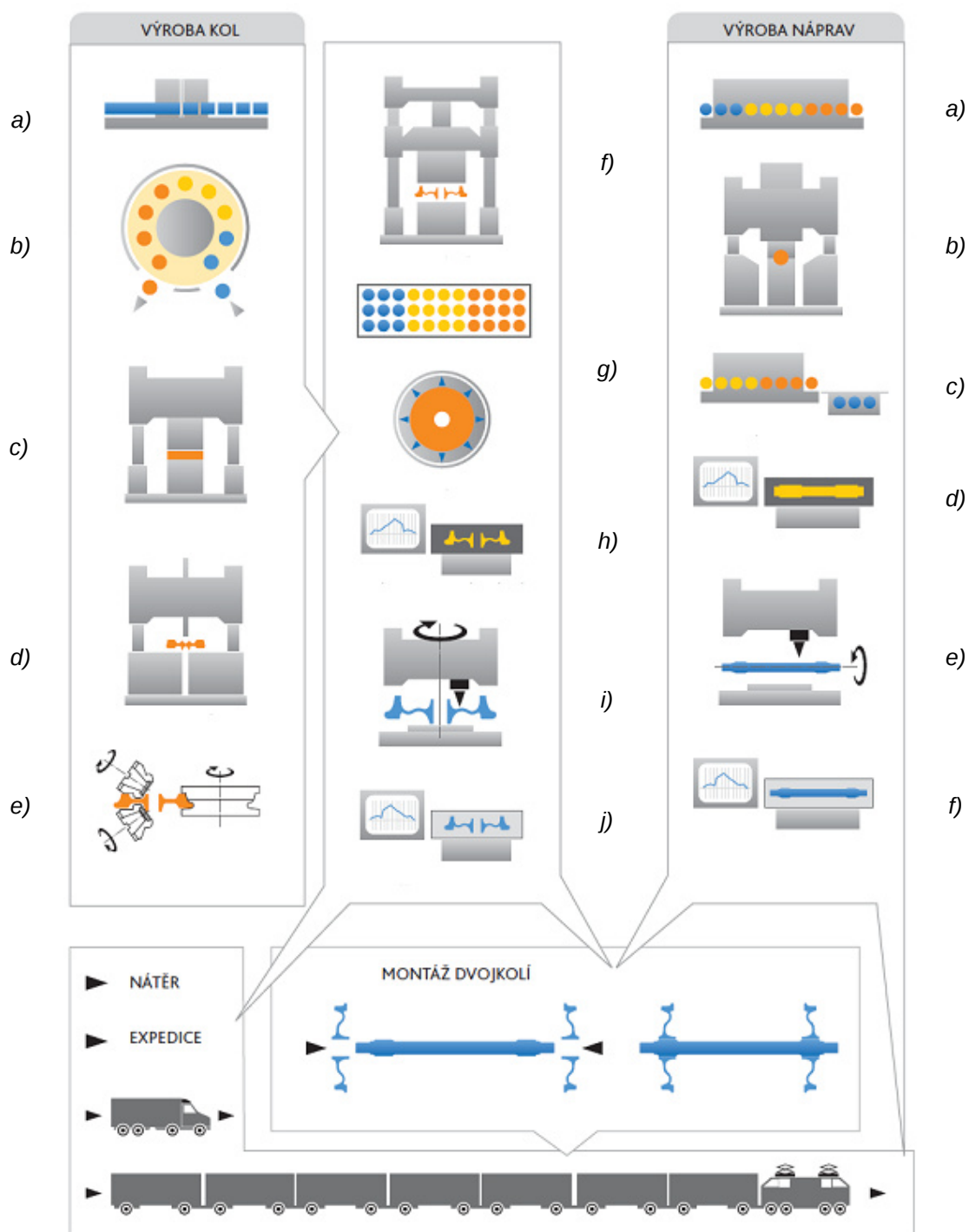
Výroba kol:

- a) Dělení materiálu
- b) Karuselová pec
- c) Kovací lis
- d) Děrovací lis
- e) Válcování
- f) Prohýbací lis
- g) Tepelné zpracování
- h) Mechanické a materiálové zkoušky
- i) Obrábění
- j) Nedestruktivní zkoušky

Výroba náprav:

- a) Ohřev materiálu
- b) Kovací lis
- c) Tepelné zpracování
- d) Mechanické a materiálové zkoušky
- e) Obrábění
- f) Nedestruktivní zkoušky

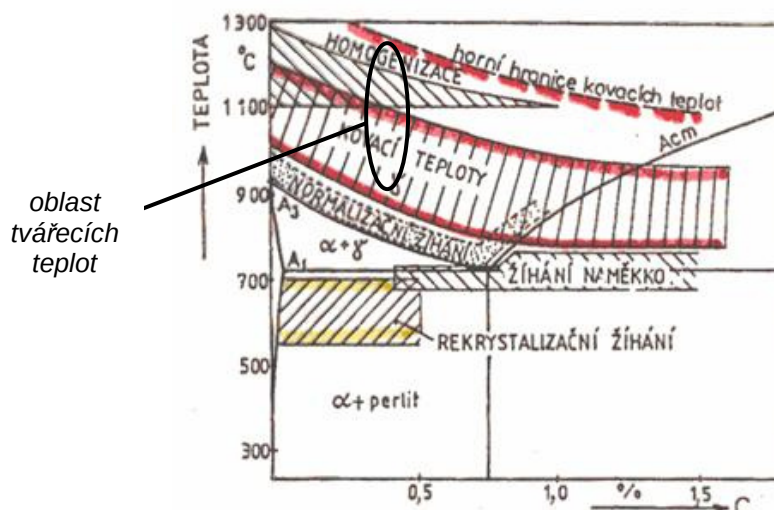
Nátěr, Montáž dvojkolí, Expedice



Obr. 2.1 Zobrazení návaznosti jednotlivých technologických operací.²⁵

2.1 Tváření za tepla

Ohřev vstupního materiálu na konkrétní teplotu v oblasti austenitu určuje obsah uhlíku v železe (viz. obr. 2.2). Po ohřevu do oblasti kováčích teplot následuje kování, v případě kol i válcování, díky kterému obojí získá požadovaný tvar a může být následně tepelně zpracováno.



Obr. 2.2 Diagram železo – uhlík²⁶

2.1.1 Kola

Výchozím polotovarem pro kola je vakuovaná, kontinuálně odlévaná ocel, nebo-li kontislitek. Délka dodávaného vstupního materiálu je standardně 6 m, průměr je od 310 do 525 mm a hmotnost každého se pohybuje od 3 300 do 9 500 kg (obr. 2.3a). Materiál se dělí s tolerancí 3 kg na jednotlivé špalky kotoučovými pilami značky Lazzari a Framag řeznými kotouči o ϕ 1 500 mm. Po opotřebení je možno řezné plochy zubů kotoučových pil (obr. 2.3b) renovovat.

a)



b)

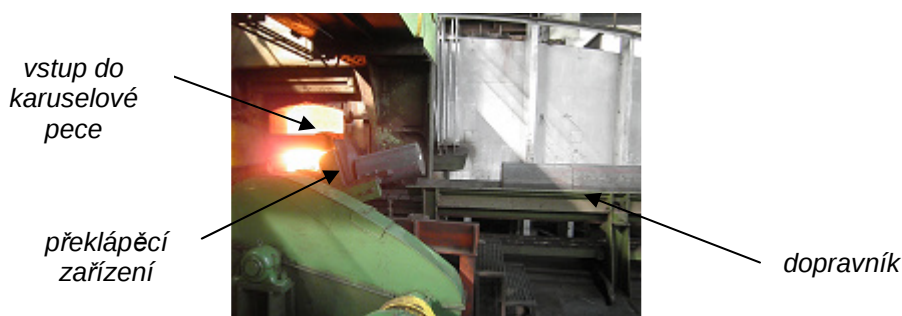


Obr. 2.3 a) Kontislitek na vstupu do pily Framag,
b) Detail boku zubu řezných kotoučů

Každý špalek je po uříznutí na požadovanou hmotnost označen identifikací, která obsahuje informace především o jakosti oceli, čísle tavby a

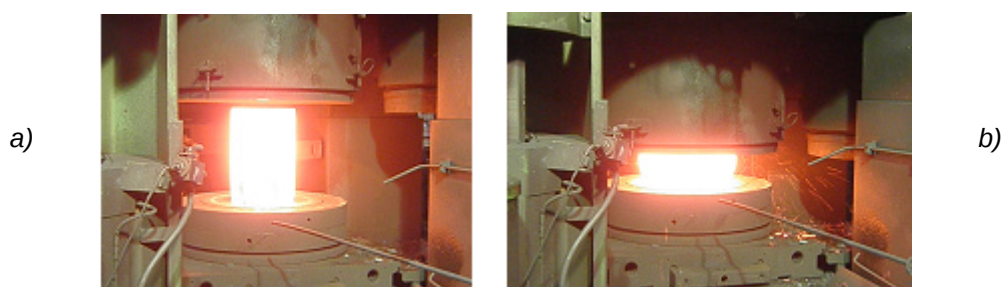
pořadí v řezu kontislitku. Identifikace provází kolo celou výrobu. Při provozování na železnici se dá zpětně dohledat.

Poté se ukládá elektromagnetem mostového jeřábu ve skladu a dále na dopravník vedoucí do karuselové pece. Po ustavení do vertikální polohy se vkládá pomocí manipulačního ramena do karuselové pece řízeným operátorem výroby (obr. 2.4).

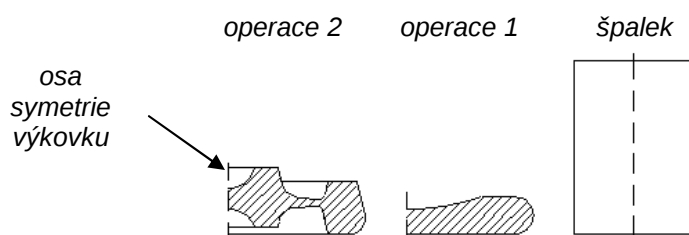


Obr. 2.4 Vkládání špalků do karuselové pece

Ohřev každého špalku na tvářecí teplotu 1250 až 1280 trvá 3,5 až 5 hodin.¹¹ Špalek je poté vytažen na druhé straně a pomocí řetězového rotačního odkulovače a ostřikem tlakové vody se zbavuje okují. Pokud by okuje ulpívaly na povrchu špalku a byly by po objemovém tváření zatlačeny do materiálu, docházelo by ke vzniku vnitřních vad. Následně se vkládá do hydraulického kovacího lisu²⁶ CKZW 5600/6500, který je dimenzován na jmenovitou tvářecí sílu 56 000 kN. V první operaci se provádí pěchování (obr 2.5), po přestavení zápusť se tváří v druhé operaci profil kola.



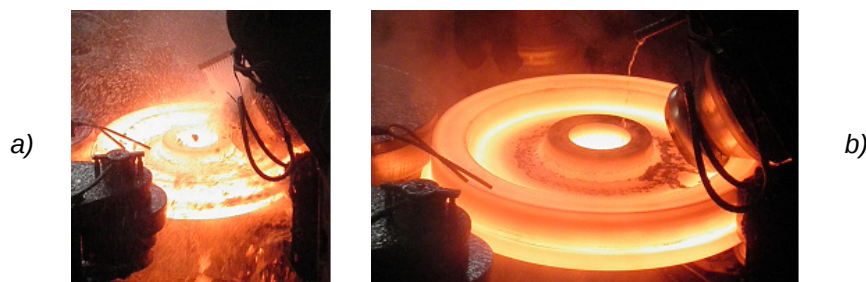
Obr. 2.5 a) Před pěchováním, b) Pěchování.



Obr. 2.6 Vkládání špalků do karuselové pece¹¹

Děrovací lis proděruje blánu vytvořenou v ose symetrie výkovku. V nutných případech mezi materiálem a střížnou hlavou bývá použito mazivo, které tvoří prášek s grafitem.

Po vyděrování otvoru vloží robotický manipulátor kolo do válcovačky, kde je upnuto do soustavy válců. Voda chladí válce a odstraňuje zbylé okuje. Silový působením kolo získává na průměru a tvaruje se okolek s náolkem. (obr. 2.7a). Po vyválnování (obr. 2.7b) se přemístí do prohýbacího lisu, kde je mu vtisknut profil desky.



Obr. 2.7 a) Válnování kola., b) Vyválnované kolo

Každý kus je pomocí laserového měření zkontrolován a informace o rozměrech putují přímo operátorovi válcování, který může upravovat silové poměry válcování dle potřeby.

Jako problém se jeví pokles teploty v čase během objemového tváření. Tímto se zabýval kolektiv autorů v seriálové publikaci Kovárenství (r. 2010 č. 37) v příspěvku s názvem: „Modelování procesu tváření železničních kol.“

2.1.2 Náprava

Vstupním polotovarem jsou předvalky čtvercového průřezu 150 až 300 mm z kontinuálně lité oceli.¹¹ Jsou dodávány buď už naděleny stříhacími nůžkami z ocelářenské tratě anebo bývají děleny na rámové pile.

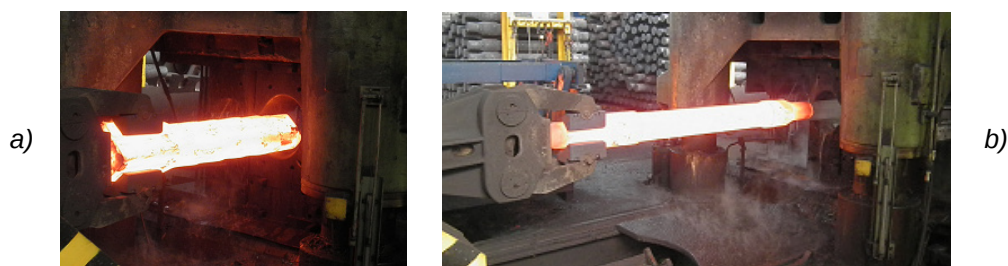
Mostový jeřáb s elektromagnetem sází jednotlivé kusy vstupního polotovaru na dopravník vedoucí ke krokové peci (obr. 2.8), kde probíhá řízený ohřev materiálu až na teplotu 1250 °C. Doba ohřevu trvá od 150 do 340 min v závislosti na velikosti jednotlivých kusů.¹¹



Obr. 2.8 Vstup do krokové pece.

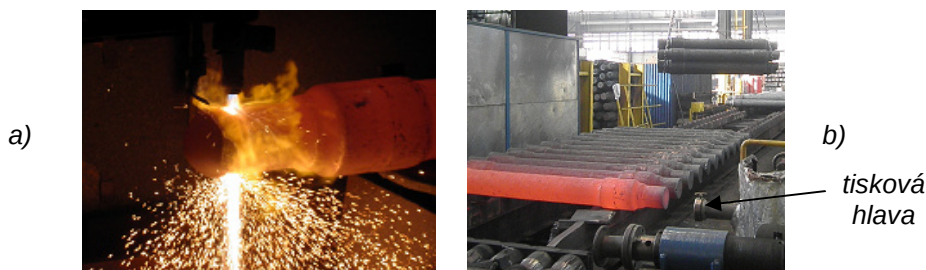
Na druhé straně pece manipulátor vyjme ohřátý materiál. Okuje jsou nejdříve mechanicky narušeny rotujícími řetězy odkulovači a poté odstraněny tlakovou vodou.

Proces kování probíhá v kovací lisu²⁸ CKN 800 postupně ve třech zápustkách. Po každém zdvihu kovacího lisu manipulátor typu²⁷ ŽĐAS QKK 1,5 pootočí nápravou kolem její osy o daný úhel. Nejdříve dojde k překování ze čtvercového do zhruba kruhového průřezu (obr. 2.9a), poté se kovají ložiskové čepy, sedla a dřík nápravy. Dojde k otočení nápravy podél vertikální osy a to samé se děje i na druhé straně až je zhotoven celý výkovek nápravy (obr 2.9b).



Obr. 2.9 a) Překování čtvercového průřezu, b) Vykovaná náprava

Po vykování náprava putuje k řezacímu stroji, který řeže (obr. 2.10a) kyslíko-acetylenovým plamenem kulové konce náprav vzniklé při kování. Následuje ražení identifikace do čela nápravy, která je uložena na chladník (obr. 2.10b), ze kterého je po ochlazení na vzduchu přemístěna mostovým jeřábem do skladu náprav.



Obr. 2.10 a) Řezání konců náprav plamenem, b) Chladník

2.2 Tepelné zpracování

Díky řízenému ohřevu, výdrže na požadované teplotě a řízenému ochlazení, se dosahuje požadovaných vnitřních struktur v materiálu kol i náprav, vykazující příznivé mechanické vlastnosti.

U kol se provádí normalizační žíhání za účelem zjemnění austenitického zrna a ke zrovnoměrnění sekundární struktury. V případě použití nevakuované oceli s vyšším obsahem vodíku se musí provést protivločkové žíhání, jehož délka závisí na obsahu ve vstupním materiálu. U oceli vyráběné vakuováním tato operace odpadá. Kola bývají obvykle kalena vodou na jízdnicích plochách na kalících automatech a následně popuštěna. Poté řízeně chladnou v tunelové peci.¹¹

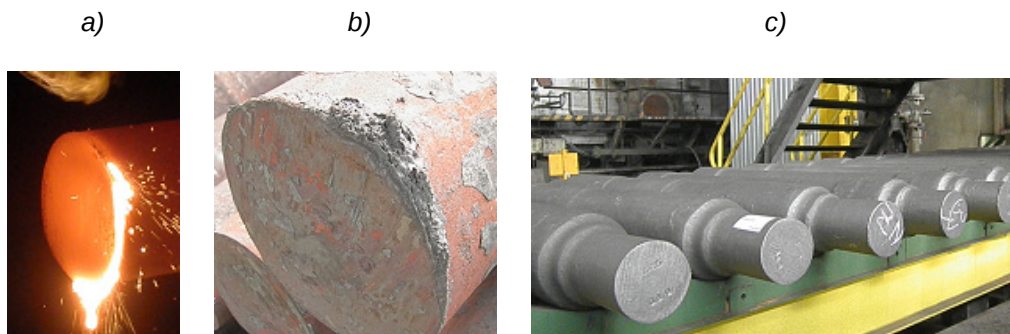
Nápravy bývají tepelně zpracovány normalizačním žíháním, dvojím normalizačním žíháním, kalením a popuštěním.¹¹

2.3 Strojní obrábění

V případě kol i náprav se jedná o úběr materiálu z povrchové vrstvy za účelem odstranění povrchové oduhličené vrstvy, díky tepelnému zpracování a vytvoření požadovaných tvarových ploch.

2.3.1 Náprava

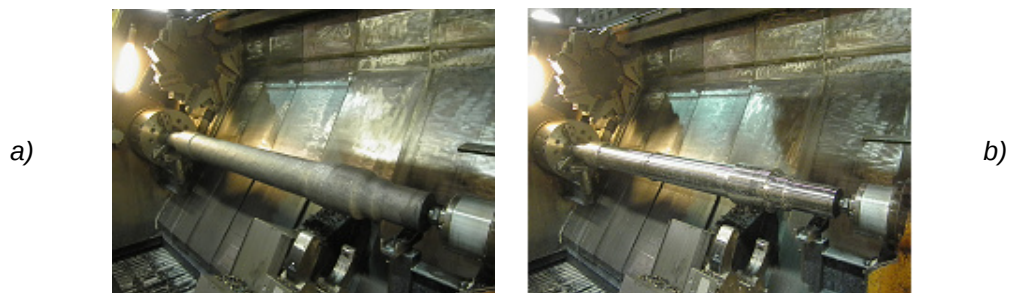
Před samotným řezným procesem je nutné povrch zbavit oxidické vrstvy vzniklé tepelným zpracováním a to tak, že je tryskán ocelovými broky (obr. 2.10c). Dále je nezbytné odstranit ztuhlou strusku vzniklou po řezání plamenem (obr. 2.11a,b) pomocí pneumatického sekáče. V opačném případě by obojí mělo neblahý vliv na průběh řezného procesu a životnost břitových destiček.



Obr. 2.10 a) Ulpívání strusky na okrajích řezné plochy na koncích náprav, b) Detail neotryskané nápravy, c) Otryskané nápravy připravené pro strojní obrábění

Krokovým dopravníkem se nápravy expedují do obrobny, kde jsou nejprve vyvrtány provizorní středící důlky z důvodu uchycení do soustruhu. Po navrtání se uloží do stromečkových regálů, aby bylo umožněno vyrovnání teploty materiálu s okolním prostředím.

První soustružnickou operací každé nápravy je hrubování (obr. 2.11), které probíhá ve stroji²⁹ SPH 50 CNC. Nachází se v něm dvě osmipolohové nástrojové hlavy, které obrábí nápravu každá z jedné strany a tím umožní provést celou hrubovací operaci na jedno upnutí, což vede ke zkrácení strojního času. Břitové destičky jsou ze slinutého karbidu. Hloubka řezu při hrubování může dosáhnout až 10 mm tam, kde dřík nápravy přechází v sedlo, což souvisí s přesností kování. Místo řezu je chlazeno kapalinou.



Obr. 2.11 a) Náprava před hrubováním, b) Náprava po hrubování

Opracování čel náprav probíhá v multifunkčním CNC centru s automaticky řízenou výměnou nástrojových držáků. Na jedno upnutí je na každé straně nápravy provedeno zarovnání čela náprav kotoučovou frézou, poté se vrtají díry, do nichž se řezou závity, a nakonec jsou frézovány normalizované středící důlky.

Soustružení čepů, dříku a sedel náprav načisto probíhá v soustruhu s označením²⁹ SPH 50 D CNC (obr. 2.12). Dvě otočné nožové hlavy, z nichž každá má jedenáct nástrojů z nástrojové oceli, obrábí nápravu každá z jedné strany. V případě použití žárového nástřiku z molybdenu na sedla, se musí provést soustružení sedel na dvě operace, před i po nástřiku. Molybdenová vrstva slouží k tomu, aby při výměně ojetého kola, nedošlo k zadření vnitřního náboje kola a sedla nápravy při rozlisování. Tím pádem se může používaná náprava opět nasadit do provozu (po provedení defektoskopie).



Obr. 2.12 SPH 50 CNC (v provedení D je osazena hlava 11 nástroji)²⁹

Závěrečnou výrobní operací je broušení. Důležitou roli hraje teplota, jež závisí na množství vyvinutého tepla při každé strojní operaci. U broušení má významný vliv, protože při ohřevu materiálu dojde k nárůstu rozměrů. Z tohoto důvodu se často brousí nad hranicí horního mezního rozměru. Vlivem poklesu na teplotu okolí dojde ke smrštění a rozměr je v úrovni pod horním mezním rozměrem. Významnou roli hraje nastavení stroje a zkušenost obsluhy.

Na některé druhy náprav je aplikovaná metoda válečkování, které má za následek zhutnění povrchové vrstvy materiálu, což vede ke zlepšení mechanických vlastností. Zhutněním se do materiálu vnáší napětí, které snižuje riziko únavy materiálu³⁰ (obr. 2.13).



Obr. 2.13 Válečkování poloměru zaoblení nápravy mezi sedly³⁷

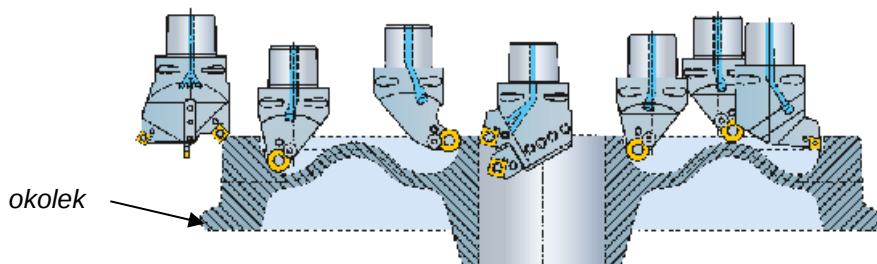
V případě hnací nápravy se provádí vrtání ve směru osy skrz celou nápravu hlavním vrtákem. Duté nápravy se vyrábí z důvodu odlehčení a také hlavně k umožnění diagnostiky vad vznikající za provozu pod sedly náprav, kde jsou nalisována kola, brzdové kotouče, či převodové skříně.

Nástrojové firmy jako např.: Seco Tools a Sandvik Coromat se přímo zabývají dodávkou řezných destiček pro železniční dvojkolí.

2.3.2 Kolo

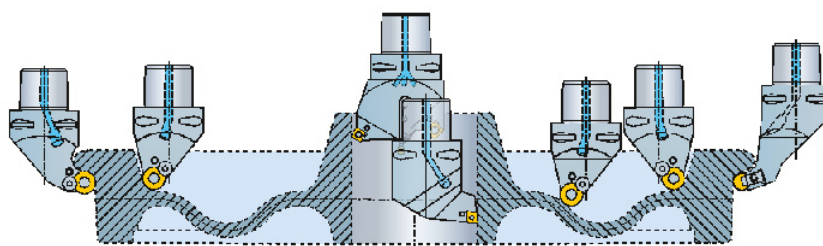
Obrábění kol probíhá v karuselových obráběcích centrech. Rám stroje a uložení pohyblivých částí musí být dostatečně tuhé, aby bylo dodrženo požadovaných výrobních tolerancí. Obrobení kola spočívá v pěti základních krocích. Soustružení vnější a vnitřní strany kola, vrtání injekčního otvoru, vrtání díry v náboji na čisto a vrtání otvorů do desky kola.

Nejdříve se kolo upne tak, aby směřovalo okolkem dolů. Obrábí se nejdříve vnější strana kola, načisto je obrobeno čelo věnce, upínací průměr věnce, deska kola a díra v náboji. Nástroje jsou umístěny v otočné revolverové hlavě. Každá plocha se obrábí standardními typy nožových vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami (obr. 2.14). Je důležité zachovat optimální polohu nástroje vůči obrobku a dosažení optimálních řezných podmínek.¹¹

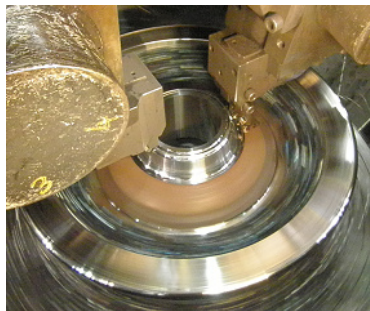


Obr. 2.14 Poloha nástrojů vůči vnější straně kola³¹

Po dokončení první operace následuje upnutí okolkem nahoru a obrábí se vnitřní strana kola (obr. 2.15). Načisto se opracuje čelo věnce, deska, nákok, čelo náboje a přechod mezi čelem náboje a deskou kola (obr. 2.16). Nahrubo se opracovává okolek. Nakonec může být provedeno číselné ražení na čelo náboje nástrojem upnutým v revolverové hlavě.¹¹



Obr. 2.15 Poloha nástrojů vůči vnitřní straně kola³²



Obr. 2.16 Obrábění přechodu náboje a desky načisto

Výroba injekčního otvoru v náboji kola spočívá v předvrtání závitové části, provrtání náboje až k díře, zahloubení ústí otvoru a nakonec závitování předvrtaného ústí otvoru.¹¹

Díra v náboji kola je opracována načisto a v případě požadavku je v místě vyústění injekční díry vyfrézována drážka, která slouží k rozvádění tlakového oleje po obvodu při výměně opotřebovaného kola.¹¹

Poslední případnou operací je vrtání děr do desky kola. Slouží k uchycení brzdových kotoučů, k servisním prohlídkám nebo jako unášecí otvory při re-profilaci jízdní plochy při opotřebením za provozu železničního dvojkolí.¹¹

Desky kol nákladních vagónů bývají v některých případech metány ocelovými broky, čímž dochází k povrchovým deformacím ve formě drobných jamek. Tímto se vnáší do povrchové vrstvy napětí, které příznivě ovlivňuje případné šíření trhlin v desce kola tím, že má snahu je opětovně zavírat.

2.4 Technická kontrola

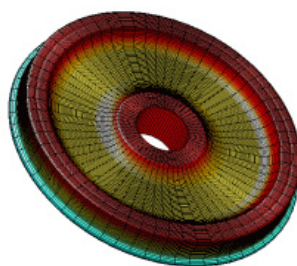
Kolo i náprava jsou po obrobení podrobeny technické kontrole. Měří se všechny tolerované rozměry na výkrese pomocí analogových, či digitálních měřících přístrojů, koncových měrek.

Při bezdotykovém měření pomocí laseru (obr. 2.17a) měřící stanice nasnímá povrch kola a převede data do trojrozměrného modelu⁴⁰ (obr. 2.17b). Software následně provede vyhodnocení úchylek a provede porovnání s předepsanou hodnotou na výkrese.

a)



b)



Obr. 2.17 a) Laserová stopa při měření desky kola⁴⁰, b) Výsledný model měření⁴⁰

Dále se provedou magnetoskopické a kapilární zkoušky. Magnetoskopie slouží k odhalení vnitřních vad v materiálu. Kapilární zkoušky jsou prováděny pomocí fluorescenční kapaliny, která je nanesena na povrch a následně se při pohledu pod ultrafialovým světlem objeví případné trhliny na povrchu. Takto připravené kolo i náprava je odeslána k povrchové úpravě, expedici, lisování, či montáži.

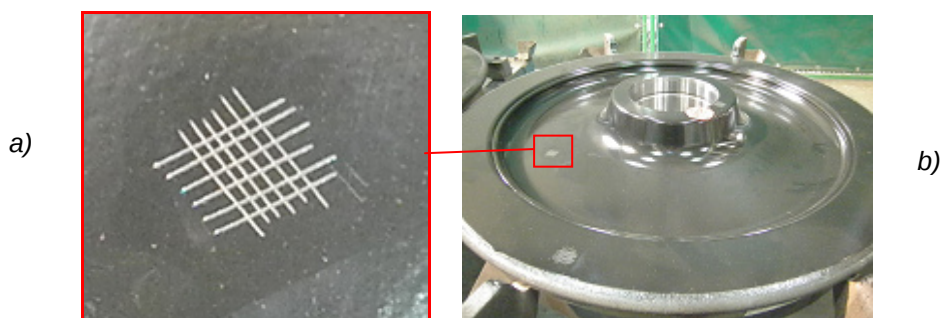
2.5 Povrchová úprava

Jednou z posledních technologických operací je úprava povrchu. Jedná se o nanášení barev, které mají antikoroziční vlastnosti, pohlcují vibrace, či indikují přehřátí kola popraskáním barvy a obnažením světlejšího podkladového nátěru.

Problém, se kterým se potýká většina výrobců je odpadávání vrstvy barvy za provozu, kdy je dvojkolí v záruční době. Příčinou je nedokonalé odmaštění povrchu kol a náprav a nepřilnutí základové vrstvy barvy k povrchu kola, či nápravy.

Pro ověření kontroly odmaštění povrchu slouží inkoustový indikátor. Pokud se slije do kapiček, znamená to, že povrch obsahuje zbytky mastnoty od vodních emulzí, které se používají při chlazení obráběcí operací.⁴⁷

Kontrolou kvality nástřiku barev prochází náhodně vybrané kusy z výrobní dávky. Kontrola probíhá tak, že se vytvoří mřížka pomocí ocelového hřebenu. Na mřížku se nanese speciální lepicí páska. Po jejím stržení musí zůstat barva na povrchu kola (obr. 2.18) či nápravy.⁴⁷

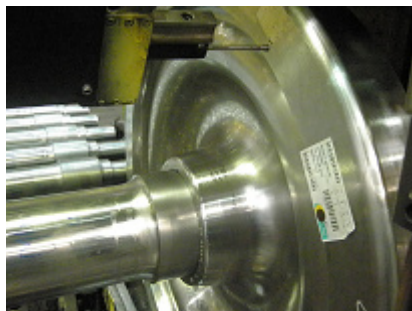


Obr. 2.18 a) Detail mřížky na desce kola, b) Kontrola přilnavosti kola pomocí mřížky

Dle mého názoru, by ke zlepšení stavu stačilo jednoduché řešení. Ohřevem saponátu, by se dosáhlo snížení povrchového napětí a došlo by ke snadnějšímu narušení mastnoty ulpívající na povrchu kola.

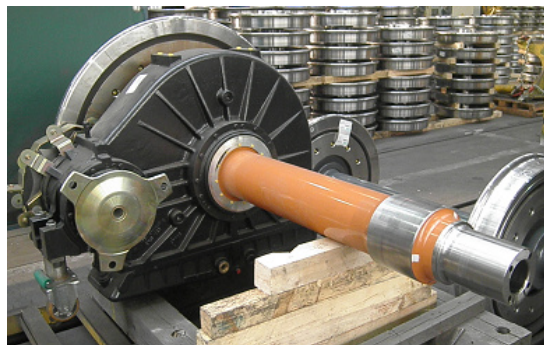
2.6 Montáž

Lisování kola na nápravu může probíhat za studena, či za tepla. Při lisování za studena (obr. 3.1) se musí dbát na průběh lisovací síly v závislosti na rychlosti lisování. Stykové plochy sedla nápravy a díry v náboji kola jsou mazány olejem, aby se zabránilo jejich zadření.



Obr. 3.1 Průběh lisování nákladního dvojkolí za studena

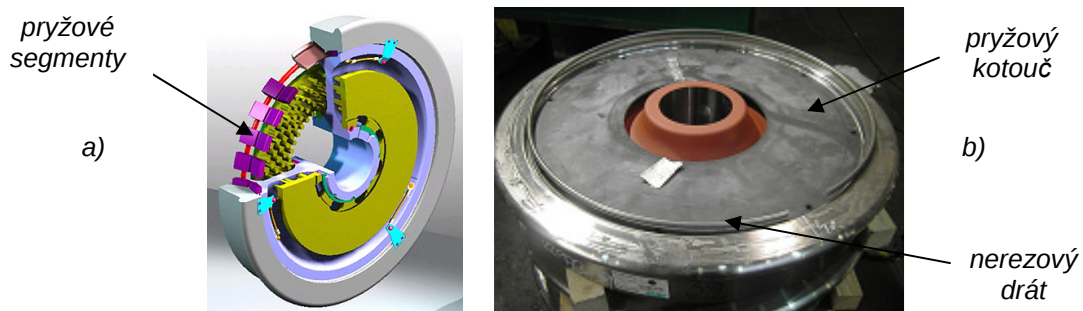
Pokud je dvojkolí osazeno kotoučovými brzdami, či převodovou skříní (obr. 3.2), musí se lisovat dříve, než kola. V případě, že v průběhu lisování dojde k zadření kteréhokoliv členu, dojde k poškození úložných ploch. Potom jde většinou o neopravitelný výrobek a kdy škoda může dosáhnout výše až několika milionů korun.



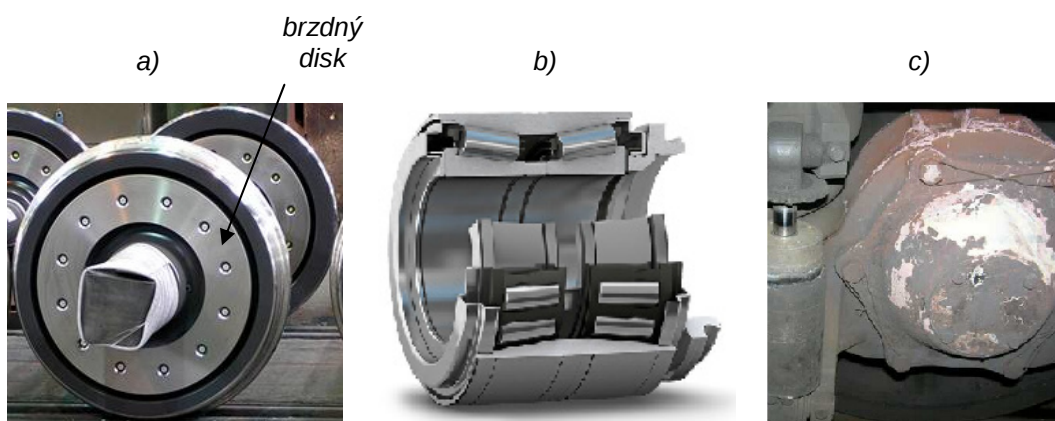
Obr. 3.2 Rozlisovaná hnací náprava s kolem a převodovou skříní (průměr kola 1250 mm)

Při lisování za tepla se kolo ohřeje v elektrické odporové peci a je nasazeno s vůlí na sedlo nápravy. Po ochlazení na teplotu okolí vznikne požadovaný přesah. Používá se u hnacího dvojkolí, které je zatíženo velkým kroutícím momentem.

K tlumení hluku se používají nerezové kruhové dráty, pryžové kotouče si segmenty. Kruhové dráty se vkládají do vyfrézované drážky na vnitřním poloměru věnce. Mohou být buď samostatně, nebo v kombinaci s pryžovými kotouči (obr. 3.3b), které mohou být i samostatně. Pryžové segmenty se používají u tramvajových kol (obr. 3.3a), což zmírňuje kvílivý hluk, který je způsoben smýkáním kola po kolejnici v zatáčkách.



V případě integrace brzdných disků v každém kole zvlášť (obr. 3.4) jsou oba přišroubovány skrz vrtané otvory v desce kola. Výhodou je lepší odvod tepla při brzdění.



Obr. 3.4 a) Integrace brzdných disků do desky kola³³, b) Dvojité kuželíkové ložisko⁴², c) Teplem poškozená ložisková skříň⁴³

Kvalitní ložiska (obr. 3.4b) osazená na čepch nápravy jsou nezbytná pro bezpečnou jízdu celého vlaku. Postup montáže se musí řídit přesně podle dodavatelů ložisek. Ložisko je za zvýšené teploty nasunuto na odmaštěné čepy nápravy a je zakrytováno v ložiskové skříni.¹¹

Nejčastěji se používají ložiska valivá (soudečková, válečková, kuželíková). Musí odolávat působení radiálních i axiálních sil. Moderní ložiska od firmy jako např.: Timken, SKF jsou vybaveny snímači polohy, či teplotními čidly. Při přehřátí (obr. 3.4c) nebo prokluzu kola je informována obsluha vlaku.⁴¹

3 SVĚTOVÝ VÝVOJ PRODUKCE V BUDOUCNU

Nutno podotknout, že jako na všech trzích na světě, existuje i na trhu se železničními komponenty zákon nabídky a poptávky. Viděno očima dneška, nacházíme se zřejmě na počátku odražení se ode dna prodělané světové hospodářské krize v uplynulých letech. Dokládají to oficiální vyjádření amerického prezidenta Baracka Obamy a postoj čínské vlády k rozvoji železnic ve svých zemích i aktuální vývoj na německých trzích.

Dle slov amerického prezidenta USA hodlá investovat do rozvoje železniční infrastruktury v následujících šesti letech v přepočtu 930 miliard korun, aby nezaostávaly za rozvinutou železniční sítí v Evropě, Asii a hlavně v Číně.⁴⁴

Čína se vypravila cestou rozvoje vysokorychlostních tratí (VRT). Čínská vláda by chtěla zajistit dostupnost až 90 % tamního obyvatelstva k tomuto druhu přepravy. K datu 20. ledna r. 2011 dosahovala síť VRT délky 4190 km. V roce 2012 by měla délka VRT dosáhnout délky 13 000 km a do roku 2020 dokonce až 25 000 km. Plánovaná finanční investice do VRT by měla být v přepočtu k dnešním kurzům amerického dolaru vůči české koruně astronomické výše 5 230 miliard korun.⁴⁵

Dá se říci, že stav české ekonomiky je pevně provázán s ekonomikou německou. Německá ekonomika se začíná pomalu vracet k předkrizovým hodnotám, tudíž lze soudit, že poptávka po železničních komponentech českých výrobců bude růst.⁴⁶

Ke zdárnému ekonomickému rozvoji je nesmírně důležité, aby výrobní podniky měly dobře analyzovaný budoucí vývoj trhu a objemy uzavřených smluv na zakázky minimálně plně pokrývaly výrobní kapacity. Pokud je zaznamenán výrazný převis poptávky nad nabídkou, mohou firmy přemýšlet nad zvyšováním kapacit své výroby, modernizaci stávajících technologií a celkovým rozvojem firmy.

4 ZÁVĚR

Proces vzniku železničního dvojkolí v sobě zahrnuje komplexní strojírenskou výrobu.

S rostoucí rychlostí dopravy na železnici a poptávkou ze zahraničí se dá předpokládat růst zájmu na trhu s železničními komponenty, což s sebou ponese náročnější požadavky na zkvalitňování a automatizaci jednotlivých technologických operací.

Zabýval jsem se základním rozdělením jednotlivých komponentů, aplikací pro kolejová vozidla, vznikem historicky první únavové zkoušky, byly popsány nehody vzniklé při provozu železničního dvojkolí a příčiny, kvůli kterým k nim došlo.

Bakalářská práce byla zejména zaměřena na seznámení se s procesem výroby a přehled základních technologických operací, doložených na konkrétních příkladech a fotografiích. Byly charakterizovány dílčí problémy při výrobě a provozu dvojkolí, které mi jsou doposud známy:

- jedná se o opotřebením jízdních ploch při provozu vlivem únavy materiálu, na což má vliv konstrukční uspořádání brzd a pohonu kolejových vozidel a také kvalita tepelného zpracování,
- pokles teploty při kování a válcování kol má za následek zvýšené opotřebením zápustek, válců a pohonu tvářecích strojů,
- přesnost kování ovlivňuje životnost vyměnitelných břitových destiček,
- prevencí proti zadření při lisování kol na nápravu je správně zvolená lisovací rychlost,
- zamezení opadávání barvy z dvojkolí pomocí dokonalého odmaštění

Pro komplexní rozbor jednotlivých problémů by bylo zapotřebí bližší seznámení a zapojení do jejich řešení v praxi, čemuž bych se chtěl v navazujícím magisterském stupni studia v budoucnu věnovat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KUNOVÁ, Michaela. *První automobily versus koňská síla*. [online]. Dostupné z: <http://absolventi.gymcheb.cz/2009/mikunov/oktava/kolo.html> [cit. 2011-03-06].
2. *Mlýn Jakubov, Ohře, říční kilometr 150* [online]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_kolo [cit. 2011-03-15].
3. *Wallpaper*. [online]. Dostupné z: http://wallpaperstock.net/ichange-wheel_wallpapers_12702_1024x768_1.html [cit. 2011-03-15].
4. Taurus World Record Locomotive [online]. Dostupné z: <http://www.spiritdesign.at/showdoc.do?docid=215> [cit. 2011-03-15].
5. MIKLEND, Michal. *Krizové stavy, mimořádné události a jejich šetření*. Dostupné z: http://www.dgsa-rid.cz/redaktor/Klein/Seminar_Praha_210110/DI_ABZ_2.pdf [cit. 2011-03-15].
6. *High-speed rail* [online]. Dostupné z: http://en.wikivisual.com/index.php/High-speed_rail [cit. 2011-03-15].
7. *ICE Radsatzwellen Gedanken* [online]. Dostupné z: <http://eisenbahn.egghof.com/labels/Radsatzwelle.html> [cit. 2011-03-15].
8. *ICE Train Accident in Eschede – Recent News Summary* [online]. Dostupné z: <http://www.ndt.net/news/2000/eschedec.htm> [cit. 2011-03-17].
9. *ICE High Speed Train Disaster* [online]. Dostupné z: <http://danger-ahead.railfan.net/features/eschede.htm> [cit. 2011-03-17].
10. *CHANEL FIVE. The ICE Train disaster of Eschede*. [online]. Dostupné z: <http://www.kent.gov.uk/filmoffice/film-focus/megastructures-built-from-disaster-2009/> [cit. 2011-03-17].
11. DOSTÁL, Josef. *Železniční dvojkolí*. Bohumín: BONATRANS GROUP a.s., 2010. 166 s.
12. *Dvojkolí*. [online]. Dostupné z: <http://www.parostroj.net/technika/dvojkoli/dvojkoli.htm#Dvojkolí> [cit. 2011-05-18].
13. JÍLEK, Ladislav. *Vývoj výroby železničního dvojkolí*. KOVÁŘENSTVÍ, srpen 2009, č 35, s 25-30.
14. *Prospekt Bonatrans*. [online]. Dostupné z: <http://www.bonatrans.cz/cz/ke-stazeni.html> [cit. 2011-05-19].
15. *Dvojkolí Bonatrans pro osobní dopravu a lokomotivy*. Dostupné z: <http://www.bonatrans.cz/cz/ke-stazeni.html> [cit. 2011-05-19].
16. *Kola a dvojkolí Bonatrans pro vysoké zatížení*. Dostupné z: <http://www.bonatrans.cz/cz/ke-stazeni.html> [cit. 2011-05-19].
17. SOBOL, Pavel. *Rozhovor*. JANOŠ, Petr. ZPRAVODAJ BONATRANS, prosinec 2009, s 11-12.

18. *Parní stroj*. [online]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_stroj [cit. 2011-05-19].
19. *Steam locomotive*. [online]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Steam_locomotive [cit. 2011-05-19].
20. SOBOL, Pavel. *Litá kola – problém, nebo výzva*. JANOŠ, Petr. ZPRAVODAJ BONATRANS, listopad 2009, s 6-7.
21. *Leaves on the track*. [online]. Dostupné z: <http://www.delta.tudelft.nl/nl/archief/artikel/leaves-on-the-track/21642> [cit. 2011-05-20].
22. Machine tool UBE 150 N. [online]. Dostupné z: http://www.rafamet.com/ang/oferta_kolowa_ube.php?id=3 [cit. 2011-05-20].
23. VLACH, Bohumil. *Přednášky z předmětu Struktury a vlastnosti materiálu*. Kapitola Mechanické vlastnosti a charakteristika materiálu II.
24. BALCÁREK, Vilém. – SOBOL, Pavel. – WOLEK, Radomír. – KLUSKOVÁ, Petra. – JANOŠ, Petr – KUFA, Pavel. *50&10 Bonatrans*. Bohumín: BONATRANS GROUP a.s., 2010. 162 s.
25. *Technologie objemového tváření-kování*. [online]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm [cit. 2011-05-20].
26. *Tvářecí stroje CKZW*. [online]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/content.aspx?id=19> [cit. 2011-05-21].
27. *Tvářecí stroje QKK*. [online]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/content.aspx?id=21> [cit.2011-05-21].
28. *Tvářecí stroje QKK*. [online]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/content.aspx?catid=33> [cit.2011-05-21].
29. *CNC soustruhy*. [online]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/cz/sph-50-cnc,-sph-50d-cnc/> [cit.2011-05-22].
30. HAVELKA, Tomáš. *Obrábění válečkováním*. [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-valeckovanim> [cit. 2011-05-21].
31. *Katalog Těžké obrábění*. Sandvik Coromat, 64 s. [online]. Dostupné z: <http://www2.sandvik.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/se03570.nsf/GenerateTopFrameset?ReadForm&menu=&view=http%3A/www2.sandvik.com/sandvik/3300/coromant/internet/se03573.nsf/NAUnique/C1256B5E003B3A7FC12575390041EA3D%3FOpenDocument&banner=/sandvik/3300/Coromant/Internet/se03570.nsf/LookupAdm/BannerForm%3FOpenDocument> [cit. 2011-05-22].
32. *Bonatrans – Railway Wheels and Wheelsets for al Railway Applications*. [online]. Dostupné z: <http://www.railway-technology.com/contractors/bogies/bonatrans/bonatrans3.html> [cit.2011-05-22].

33. JANČAR, Rostislav. *Jak vzniká obutí pro nejrychlejší lokomotivu světa*. [online].. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/jak-vznika-obuti-pro-nejrychlejsi-lokomotivu-sveta-fotoreportaz-1ck-/tec_reportaze.aspx?c=A080622_221359_tec_reportaze_rja [cit. 2011-05-21]
34. HSW – *Zaklad Sprezynownia – Coil and Suspension Springs*. [online]. Dostupné z: <http://www.railway-technology.com/contractors/bogies/hsw-zaklad/hsw-zaklad3.html> [cit. 2011-05-22].
35. ERIKSSON, Ulf L. [online]. 05-24-2007. Dostupné z: <http://www.railroad.net/forums/viewtopic.php?t=58794> [cit. 2011-05-21]
36. MAG – *Machining of Railroad Wheels and Wheelset Axles*. [online]. Dostupné z: <http://www.railway-technology.com/contractors/bogies/mag/mag1.html> [cit. 2011-05-23].
37. *Speciální stroj určený pro hluboké válečkování hřídelových součástí*. [online]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/cz/roller-2800-cnc/> [cit. 2011-05-23].
38. MAHDALOVÁ, Ivana. *Dvojkolí*. Přednáška č.10 – ŽELEZNICE. [online]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/mahdalova/doprstav/pred10mi.pdf> [cit. 2011-05-24].
39. *Vykša Steel Works (United Metallurgical Company) – Steel Railway Wheels*. [online]. Dostupné z: <http://www.railway-technology.com/contractors/bogies/vsw/vsw1.html> [cit. 2011-05-24].
40. *Bezdotykové měření rozměrů železničních kol*. [online]. Dostupné z: <http://www.neovision.cz/cz/sols/wheelscan.html> [cit. 2011-05-24].
41. BABKA, Jan – Novotný, Ondřej. *MECHATRONIKA SKF PRO KOLEJOVÁ VOZIDLA*. In *Současné problémy v kolejových vozidlech 2009*. [online]. Dostupné z: http://webak.upce.cz/~lata/konference/sbornik-clanky/13_20_babka_novotny.pdf [cit. 2011-05-24].
42. KUŘE, Gottfried. *The evolution of railway axlebox technology – Part two: present and future*. [online]. Dostupné z: <http://evolution.skf.com/zino.aspx?articleID=15347> [cit. 2011-05-24].
43. Kamil238. *Uhořelý kryt tlumiče na podvozku 162 038-4*. [online]. Dostupné z: <http://www.zelpage.cz/zpravy/6602> [cit. 2011-05-24].
44. *USA mají pocit, že zaostávají, do železnic dají 930 miliard korun*. 8. únor 2011. Washington.[online] Dostupné z: <http://www.novinky.cz/ekonomika/224695-usa-maji-pocit-ze-zaostavaji-do-zeleznic-daji-930-miliard-korun.html> [cit. 2011-05-24].
45. FILIP, J – VINŠ, Matouš. *Vysokorychlostní boom v Číně – současnost a výhledy*. 2011-02-07. Dostupné z: <http://www.zelpage.cz/clanky/vysokorychlostni-boom-v-cine-soucasnost-a-vyhledy> [cit. 2011-05-24].

46. *Německá ekonomika šlape jako před krizí, Česko se sveze.* Berlín. [online]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/ekonomika/234266-nemecka-ekonomika-slape-jako-pred-krizi-cesko-se-sveze.html> [cit. 2011-05-24].
47. PLATOŠ, Radim. *Pro kola barevnější, lesklejší, kvalitnější.* ZPRAVODAJ BONATRANS, únor 2011, s 10-11. [cit. 2011-05-25].
48. *Katalog a technický průvodce 2008. Soustružení.* Seco, 446 s. [online] Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Service_Support/machining_navigator/CEE/Czech/Final_LR_CZ_Turning.pdf [cit. 2011-05-25].

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
NAFTA	-	North American Free Trade Agreement Severoamerické sdružení volného obchodu
AAR	-	Association of American Railroads
$R_{p0,2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
A	[%]	Tažnost
Z	[%]	Kontrakce
K_{CU}	[J]	Vrubová houževnatost
$K_{V(-20^{\circ}C)}$	[J]	Vrubová houževnatost za teploty -20°C
HB	[HB]	Tvrdost dle Brinella
KQ	[MPa.m ^{0,5}]	Lomová houževnatost
DB	-	Deutsche Bahn (Německé dráhy)
ÖBB	-	Österreichische Bundesbahnen (Rakouské spolkové dráhy)
SNCF	-	Société Nationale des Chemins de fer français (Francouzská národní železniční společnost)
ISO	-	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro standardizaci)
UIC	-	International Union of Railways (Mezinárodní společenství železnic)
ČSN	-	Česká technická norma
STN	-	Slovenská technická norma
DIN	-	Deutsche Industrie-Norm (Německá technická národní norma)
BS	-	British Standard (Britská norma)
GOST	-	Ruská norma
LPG	-	Liquefied Petroleum Gas (Zkapalněný ropný plyn)
ICE		InterCityExpress
G	[N]	Tíha vozu
F_o	[N]	Axiální síla
F_B	[N]	Brzdná síla
M_K	[N.m]	Kroutící moment
σ_a	[MPa]	Napětí
N	-	Počet cyklů do porušení
ϕ	[mm]	Průměr
VRT	-	Vysokorychlostní trať

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Technické parametry kovacího lisu CKZW 5600/6500

Příloha 1

Technické parametry kovacího lisu^{26,11} CKZW 5600/6500

Technické parametry	Jednotky	CKZW 5600/6500
Jmenovitá tvářecí síla	[MN]	56
Max. tvářecí síla	[MN]	65
Zpětná síla	[MN]	6,15
Zdvih	[mm]	1 100
Maximální otevření	[mm]	2 150
Průchod mezi sloupy v ose podélného posuvu	[mm]	2 650
Průchod mezi sloupy v ose přestavování	[mm]	2 750
Max. výška nad podlahou	[mm]	5 250
Max. hloubka pod podlahou	[mm]	1 800
Celková délka	[mm]	12 000
Celková šířka	[mm]	7 620
Tvářecí rychlost	[mm.s ⁻¹]	76