

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh technologie broušení tlačných pružin

The Proposal of Grinding Technology for
Compression Springs

Student:

Bc. Lukáš Drábek

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Drábek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie broušení tlačných pružin**
The Proposal of Grinding Technology for Compression Springs

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky broušení.
2. Analýza současného stavu broušení na pérovně.
3. Návrh technologie broušení pružin.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení technologie.
5. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 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: **prof. Dr. Ing. Josef Brychta**


Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Landa

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




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 13. 5. 2015

.....
Jiří Štáhl

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 nákladu, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona c. 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 : 13.5.2015



Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Drábek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Mírová 574

Klimkovice, 742 83

Anotace diplomové práce

DRÁBEK, L. *Návrh technologie broušení tlačných pružin: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2015, 73 s. Vedoucí práce: Brychta, J.

Diplomová práce se zabývá návrhem vhodné technologie broušení tlačných pružin. V úvodu je teoretická část, kde jsou uvedeny jednotlivé metody broušení. Charakteristika procesu broušení, tvorba třísky, používané kotouče, materiál kotoučů. Praktická část je zaměřena na analýzu současné technologie broušení pružin a poptání nových brusek. Pro potřeby poptávkového řízení na nákup nové brusky a porovnání parametrů broušení je provedena analýza výrobního sortimentu a volba typového představitele pružin. Srovnána je technologie broušení na stávajícím zařízení na kotoučích ze syntetického korundu a kubického nitridu boru. Dále možnost použití nových brusek od firem G+M DORN, Wafios a Bennett Mahler. Srovnání nových brusek je provedeno z ekonomického a technického hlediska výroby typového představitele pružiny.

Annotation of master thesis

DRÁBEK, L. *The Proposal of Grinding Technology for Compression Springs: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining, assembly and engineering metrology, 2015, 73 p. Thesis head: Brychta, J.

This thesis describes the design of appropriate technology for grinding compression springs. In the introduction, the theoretical part, which lists the various methods of grinding. Characteristics of the grinding process, the formation chips used blade material discs. The practical part is focused on the analysis of current technology grinding springs Ask for a new grinders. For the purposes of the tender for the purchase of a new grinding and grinding parameter comparison is an analysis of the production range and choice of representative type springs. The comparison is grinding technology at existing facilities rolls of synthetic corundum and cubic boron nitride. Furthermore, the possibility of using new grinders from companies G + M DORN, Wafios and Bennett Mahler. Comparison of new grinder is made from economical and technical aspects of production type Representative springs.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Úvod	10
1. Úvod do problematiky broušení	12
1.1 Charakteristické znaky procesu broušení	13
1.2 Základní způsoby broušení.....	15
1.2.1 Broušení rotačních ploch	15
1.2.2 Broušení rovinných ploch.....	17
1.2.3 Tvarové broušení.....	19
1.3 Základní prvky tvoření třísky při broušení.....	19
1.4 Tepelné jevy při broušení.....	20
1.5 Vznik jisker při broušení	21
1.6 Řezná média pro broušení	22
1.7 Broušící nástroje.....	23
1.7.1 Materiál brusných zrn	23
1.7.2 Zrnitost brusiva	24
1.7.3 Tvrdost nástroje	25
1.7.4 Struktura kotouče	25
1.7.5 Pojivo kotouče.....	26
1.7.6 Upínání nástrojů.....	26
1.7.7 Vyvažování brusných kotoučů.....	27
1.7.8 Orovňávání broušících kotoučů	29
1.8 Broušící stroje.....	32
1.9 Upínání obrobků	33
1.9.1 Upínání obrobků na rovinných bruskách	33
1.9.2 Upínání obrobků na hrotových bruskách.....	34
1.10 Kontrolní pomůcky	34
2. Analýza současného stavu na pérovně	35
2.1 Stroje pro broušení pružin	35
2.1.1 Stojanové brusky	35
2.1.2 Automatické brusky	36
2.2 Brusné kotouče	43
2.2.1 Materiál brusných kotoučů	44
2.3 Současná technologie broušení	45
3. Návrh technologie broušení pružin.....	47

3.1	Použití kotoučů s povlakem z kubického nitridu boru na brusce KUNZ M5	48
3.2	Nákup nového brusného zařízení	50
3.2.1	Brusky WAFIOS.....	50
3.2.2	Brusky BENNETT MAHLER	56
3.2.3	Bruska G+M DORN	58
4.	Technicko-ekonomické zhodnocení technologie.....	61
4.1	Broušení na stroji KUNZ M5 na kotoučích s keramickým pojivem	62
4.2	Broušení na stroji KUNZ M5 pomocí kotouče z kubického nitridu boru	63
4.3	Technické zhodnocení obou variant broušení	63
4.4	Srovnání výrobních nákladů pro roční dávku 1 000 000 ks pružin na starých bruskách .	65
4.4.1	Srovnání výroby na současném zařízení s použitím různých kotoučů	65
4.5	Výroba 1 000 000 ks pružin na nových bruskách	67
5.	Závěrečné zhodnocení	69
	Použité zdroje.....	71

Seznam použitých zkratek a symbolů

Ra	střední aritmetická odchylka profilu [μm]
HRC	stupeň tvrdosti dle Rockwella [-]
IT	stupeň přesnosti [-]
Rm	mez pevnosti tahovou zkouškou [MPa]
Re	mez kluzu tahovou zkouškou [MPa]
Z	tažnost oceli zjištěná tahovou zkouškou [%]
A	kontrakce oceli zjištěná tahovou zkouškou [%]
KV	vrubová houževnatost s vrubem tvaru V [J]
n_w	frekvence otáčení obrobku [min^{-1}]
n_s	frekvence otáčení brousícího kotouče [min^{-1}]
n_o	frekvence otáčení podávacího kotouče [min^{-1}]
f_r	radiální posuv stolu brusky [mm]
v_c	řezná rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
v_{fa}	axiální rychlost posuvu brusky [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
f_a	axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku [mm]
D_2	průměr podávacího kotouče [mm]
D_1	průměr brusného kotouče [mm]
d	průměr obrobku [mm]
χ	uhel natočení podávacího kotouče [$^\circ$]
v_{ft}	tangenciální rychlost posuvu brusky [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
a_e	pracovní záběr [mm]
v_w	obvodová rychlost obrobku [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
v_{fs}	axiální rychlost posuvu stolu brusky [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
a_{max}	maximální šířka třísky [mm]
e_1	tolerance kolmosti povrchu k opěrné ploše tlačné pružiny uzavřené obrobene [mm]
e_2	přípustná odchylka v rovnoběžnosti nosných ploch broušené pružiny měřena k vnějšímu průměru pružiny [mm]
D_e	vnější průměr pružiny [mm]
CBN	kubický nitrid boru

Úvod

V práci budou popsány jednotlivé způsoby broušení. Dosahované parametry přesnosti a jakosti povrchu. Samotná charakteristika procesu broušení, vznik a tvorba třísky během broušení a jednotlivé druhy třísky. Tepelné jevy při broušení, vznik jisker při broušení v závislosti na broušeném materiálu. Popsány budou řezná média používaná během broušení. Používání broušicích nástrojů, materiál brusných zrn, zrnitost brusiva, druh pojiva a tvrdost nástroje. Řešeno bude také upínání obrobků a nástrojů, vyvažování brusných kotoučů a následně jejich orovnávání. Rozebrány budou také jednotlivé druhy brusek.

Provedena bude analýza současného stavu na pérovně. Používané stroje pro broušení pružin, ruční a automatické brusky. Parametry jednotlivých brusek budou sepsány podle manuálů a výrobní dokumentace k bruskám od výrobce. Sepsány budou používané brusné kotouče s rozměry. Popsána současná technologie broušení a analýza výrobního sortimentu. Z výrobního sortimentu bude stanovena jedna pružina, která se vyrábí v největších objemech. Pružina bude použita pro vyhodnocení experimentu a zaslána společně s výkresem jednotlivým výrobcům brusek pro navrhnutí a vyhotovení cenové nabídky strojů. Pro výpočet bude použita výrobní dávka 1 000 000 ks pružin.

Cílem diplomové práce zaměřené na návrh technologie broušení pružin je volba nejvýhodnějšího způsobu broušení. Porovnáváno bude broušení současnou technologií na starých bruskách pomocí kotoučů ze syntetického korundu a možnost použití kotoučů z kubického nitridu boru. Výsledky broušení budou pozorovány v metalografické laboratoři. V další části bude srovnání nabídek jednotlivých výrobců brusek. Poptány budou brusky společnosti G+M DORN, Wafios a Bennett Mahler.

Porovnány budou náklady na pořízení strojů, případně dalšího příslušenství, jako je například nákup brusných kotoučů z kubického nitridu boru, nebo automatické podávací zařízení. Srovnání bude provedeno také z hlediska kvalitativních požadavků na pružiny. Mezi které patří například kvalita obrobené plochy, kolmost pružiny a dodržení tolerance délky. Důležitá bude také výrobní kapacita strojů a životnost použitých kotoučů. Četnost a náročnost seřizování strojů pro jednotlivé pružiny. Nutnost kontroly stroje během chodu.

V závěru dojde k ekonomickému zhodnocení výroby na starém zařízení s použitím kotoučů ze syntetického korundu a kubického nitridu boru a volba vhodnější varianty. Také zhodnocení výroby na novém zařízení, volba nejvhodnějšího stroje s ohledem na cenu stroje a výrobní sortiment. Náklady spojené s výrobou požadovaného množství pružin. Důležitý bude také případný servis a zaučení obsluhy strojů. Nakonec bude provedeno doporučení nejvhodnější varianty broušení pružin.

1. Úvod do problematiky broušení

Broušení je metoda obrábění, kterou dosahujeme velmi přesných rozměrů, požadovaných tvarů, rovinnost a válcovitost a také drsnosti povrchu Ra 1,6 až 0,2 μm . Jedná se o dokončovací operaci, kdy k úběru materiálu dochází ve formě drobných částeczek třísky mnohobřítým nástrojem, brusným kotoučem. Brusné kotouče jsou nástroje s nedefinovanou řeznou geometrií, zrna brusiva, které jsou spojeny pojivem. Broušením je možno obrábět tvrdé kalené a cementované povrchy, slinuté karbidy a další tvrdé kovové i nekovové materiály. Pomocí broušení je také možno obnovovat řezivost již otupených nástrojů, tuto operaci nazýváme ostřením.

Velmi přesných a jakostních povrchů dosahujeme početními technologiemi, například chemickým, mechanickým a elektrochemickým vyrovnáváním nerovností povrchu. Dalšími abrazivními dokončovacími technologiemi s nedefinovanou řeznou geometrií je kromě broušení honování, lapování a superfinašování.

Tab. 1.1 Dosahované parametry obrobených ploch pro abrazivní metody obrábění [1]

Metoda obrábění			Přesnost rozměrů		Drsnost povrchu	
			IT		Ra [μm]	
			Střední	Rozsah	Střední	Rozsah
Vnější rotační	Broušení	Hrubovací	10	9÷11	2,4	0,8÷3,2
		Dokončovací	5	5÷6	0,4	0,2÷0,6
		Jemné	4	3÷5	0,2	0,05÷0,4
	Lapování	Dokončovací	4	3÷4	0,1	0,05÷0,2
		Jemné	2	1÷2	0,03	0,012÷0,05
	Superfinašování	Dokončovací	4	3÷5	0,2	0,05÷0,4
Jemné		3	2÷4	0,06	0,025÷0,1	
Vnitřní rotační	Broušení	Hrubovací	10	9÷11	2,4	1,6÷3,2
		Dokončovací	6	5÷7	0,8	0,4÷1,6
		Jemné	5	3÷6	0,2	0,5÷0,4
	Honování	Hrubovací	7	6÷8	0,4	0,2÷0,8
		Dokončovací	6	5÷7	0,15	0,1÷0,2
		Jemné	4	3÷5	0,07	0,05÷0,1
Lapování	Dokončovací	4	3÷5	0,2	0,01÷0,4	

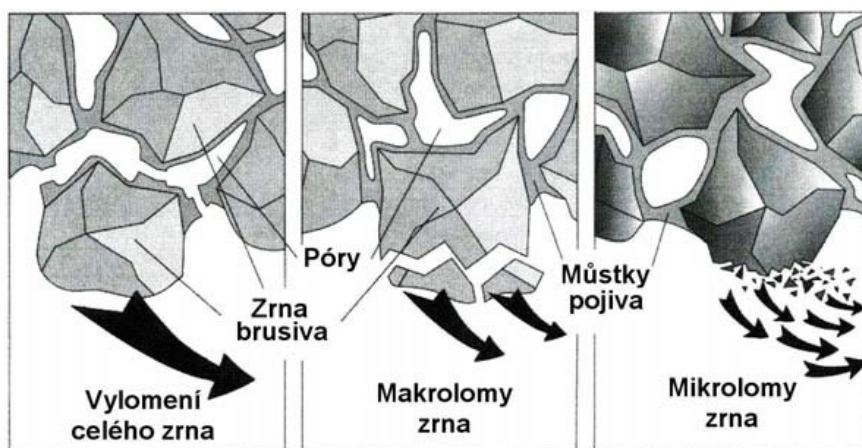
		Jemné	2	1÷3	0,03	0,012÷0,05
Rovinné	Honování	Hrubovací	10	9÷11	2040	1,6÷3,2
		Dokončovací	6	5÷7	0,8	0,4÷1,6
		Jemné	5	3÷6	0,2	0,05÷0,4
	Lapování	Dokončovací	4	3÷5	0,2	0,1÷0,4
		Jemné	2	1÷3	0,03	0,12÷0,05

V současnosti jsou kladeny nároky na vysokou kvalitu povrchu z důvodu vyšších požadavků na jejich životnost, především odolnost proti opotřebení. Broušení patří mezi nejstarší způsoby obrábění. Broušení se používá nejen jako dokončovací operace, ale také jako hrubovací a svou produktivitou je srovnatelná s ostatními metodami obrábění.

1.1 Charakteristické znaky procesu broušení

Vlivem různé geometrie zrn a nepravidelnému rozmístění v brousicím nástroji se odebírá nepravidelná tříška. Brousicí kotouč nemá souvislý břit.

Zrna přenášejí pouze malé řezné síly z důvodu slabého upevnění zrn pojivem, během obrábění dochází k uvolňování již otupených zrn a tím vzniká samoostřicí efekt.



Obr. 1.1 Ukázka vylamování zrn [9]

Úhly čela jednotlivých zrn jsou různé, mají vliv na oblast primární plastické deformace. Během obrábění dochází k úběru třísek s malým a proměnlivým průřezem, řez je přerušovaný. Při broušení dochází v důsledku velkých plastických deformací a tření třísky ke vzniku vysokých teplot až 1500 °C a některé třísky se roztaví a shoří. Jednotlivá

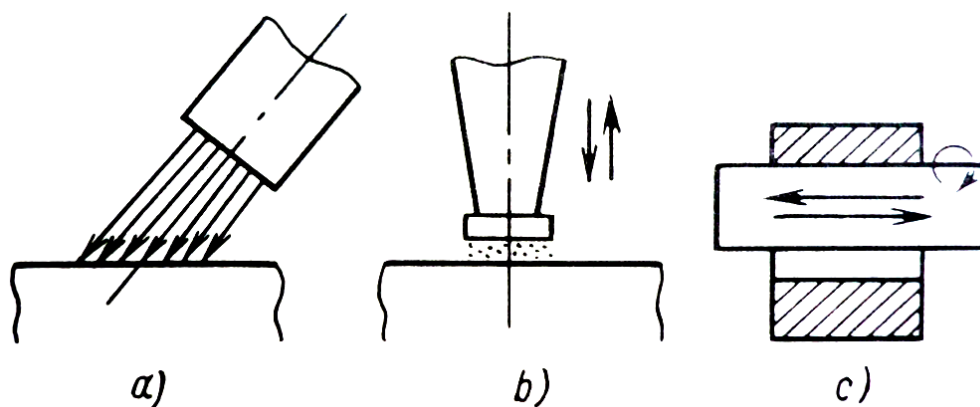
zrna jsou velmi krátkou dobu v záběru, řezná rychlost $30\div 100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, během procesu také působí velké řezné síly.

Vysoké teploty, které vznikají při obrábění, se snižují pomocí chlazení, chladí se řezný kotouč i obrobek. Chlazením dochází k oduhličení povrchu obrobku, ke vzniku trhlin a změnám struktury. Všechny tyto jevy vedou ke vzniku nepříznivých zbytkových tahových napětí v povrchové vrstvě obrobku. Obráběním dochází k otupování ostří zrn a zanášení pórů brusného kotouče a ztrátě řezivosti. Řezivost se obnovuje pomocí orovnávačů.

Druhy broušení podle typu broušícího nástroje

Broušení s vázaným pevným brusivem, zrna jsou spojena pojivem do tvaru kotouče, broušícího tělíska, segmentu, broušícího kamene, případně nástroje jiného tvaru. Zrna mohou také být přilepená k pružnému podkladu, nástroj je ve tvaru broušícího pásu.

Broušení volným brusivem, zrna jsou ve formě prášku a využívá se pro broušení kapalinou, ultrazvukem a dalšími obdobnými způsoby.



Obr. 1.2 Základní způsoby broušení volným brusivem: a) proudem brusiva, b) ultrazvukové, c) lapování [2]

Nejčastěji používanou technologií je obrábění vázaným brusivem, může být tvořeno korundem, karbidem křemíku, diamantem, kubickým nitridem boru a dalšími tvrdými částicemi.

1.2 Základní způsoby broušení

Výsledný řezný pohyb je dán výslednicí hlavního pohybu (obvodové rychlosti) v_c [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], který vykonává nástroj a pomocných pohybů obrobku (posuvů). Existuje mnoho způsobů broušení, v této práci budou popsány pouze tři základní způsoby. Broušení rotačních ploch, kde je pomocný pohyb rotační a broušení rovinných ploch, pomocný pohyb je přímočarý vratný, nebo rotační a tvarové broušení. [4]

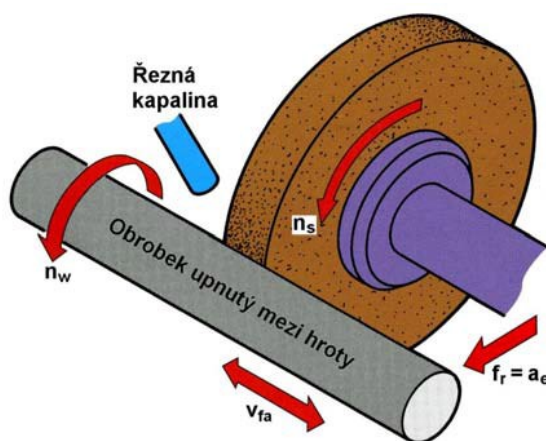
1.2.1 Broušení rotačních ploch

Podle orientace a skladby pomocných pohybů určující kinematiku obráběcího stroje rozlišujeme:

- podélné broušení válcových ploch
- zapichovací broušení válcových ploch
- bezhroté broušení
- broušení vnitřních válcových ploch

Podélné broušení

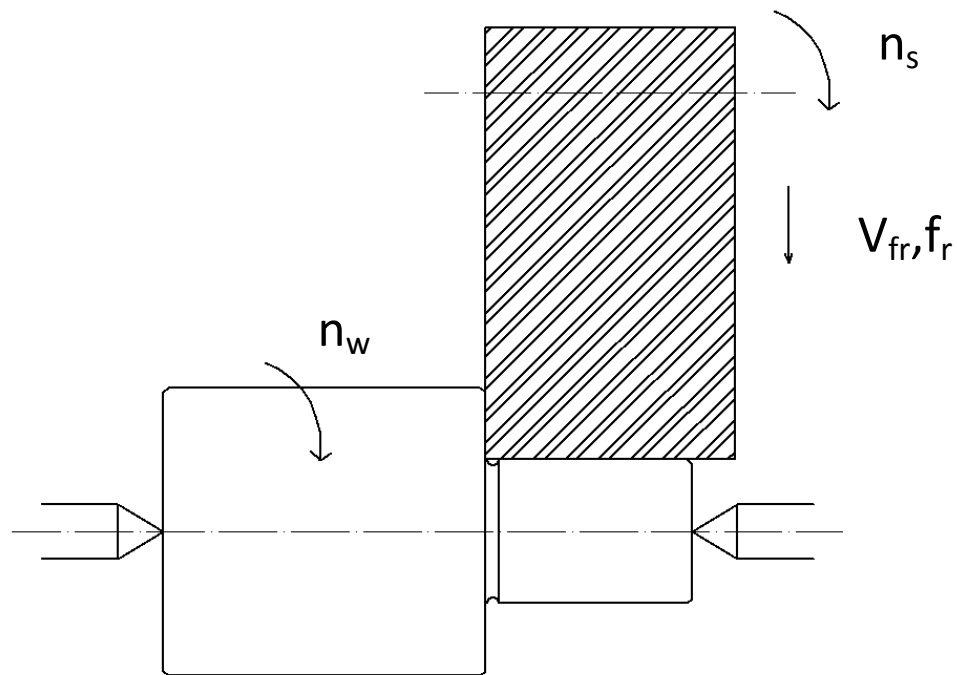
Tento způsob se využívá především pro broušení delších válcových a kuželových ploch. Velmi dlouhé a štíhlé obrobky jsou podepřeny lunetou. Obráběná součást se upíná mezi hroty na stůl obráběcího stroje. Hlavní pohyb vykonává brousící kotouč. Pomocný pohyb je rotační, je 60x-100x menší než hlavní pohyb a vykonává ho obrobek. Dalším pohybem je podélný posuv v axiálním směru, který vykonává stůl s obrobkem. Podélný posuv je vyjádřen posuvem na otáčku obrobku [mm], nebo hodnotou rychlosti [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]. Hloubka záběru je realizovaná přísuvem brusného kotouče.



Obr. 1.3 Broušení s podélným posuvem [8]

Zapichovací broušení

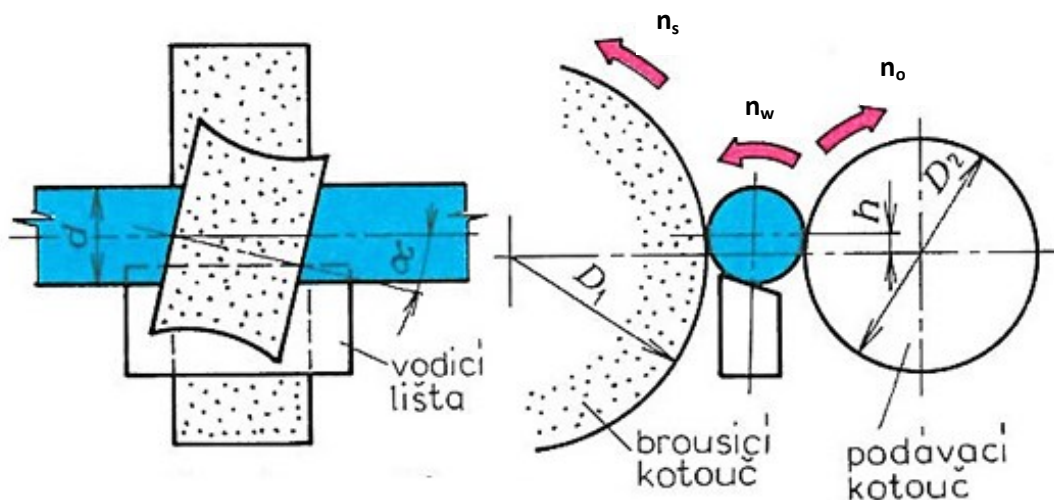
Používá se především v sériové výrobě menších a tuhých obrobků. Nástroj vykonává radiální posuv kolmo ke směru osy obrobku, velikost posuvu se udává v mm na otáčku obrobku, nebo hodnotu rychlosti zápichu. Broušená plocha obvykle nepřesahuje 100 mm z důvodu růstu aktivní plochy broušícího kotouče a tím také řezných sil a příkonu, který je potřebný pro proces broušení. Boční strany obrobku se brousí bokem kotouče, nebo pomocí šikmého zápichu.



Obr. 1.4 Zapichovací broušení [4]

Bezhraté broušení

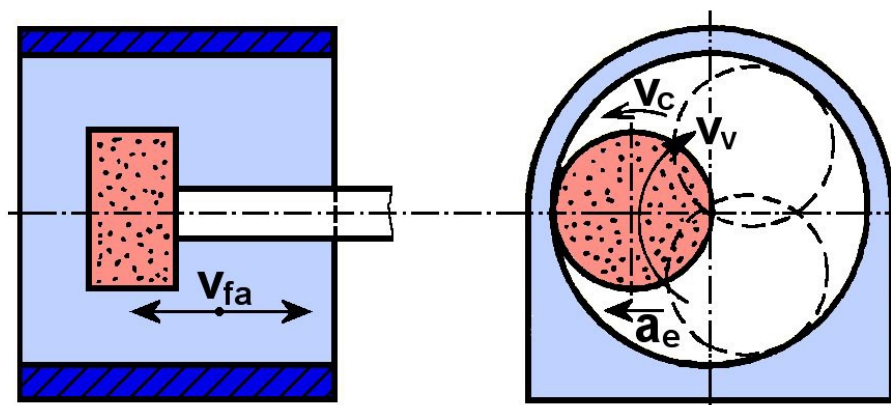
Je speciálním případem obrábění, obrobek se pohybuje na podpěrném pravítku mezi broušícím a podávacím kotoučem. Osa obrobku se nachází mírně nad osami brusných kotoučů, asi 10 – 15 mm. Krátké a odstupňované obrobky můžeme obrábět zápichem. Dlouhé a neosazené podélným způsobem. Vyvození axiální složky posuvu se realizuje vykloněním podávacího kotouče o 5°. V případě větších přídavků na broušení musí obrobek projít strojem opakovaně.



Obr. 1.5 Bezhruté broušení [10]

Broušení vnitřních válcových ploch

Provádí se nástroji, jejichž průměr nepřesahuje 0,7 – 0,9 rozměru obráběného otvoru. Pro malé průměry se využívá vysokootáčkových vřeten pro dosažení optimální řezné rychlosti. Vřetena jsou schopna přenést až otáčky $100\,000\text{ min}^{-1}$. Provedení broušení může být podélné, nebo planetové. Planetového broušení využíváme při obrábění rozměrných obrobků, které nemohou vykonávat pomocný rotační pohyb. U planetového broušení všechny pohyby vykonává vřeteno stroje.



Obr. 1.6 Planetové broušení vnitřních válcových ploch [9]

1.2.2 Broušení rovinných ploch

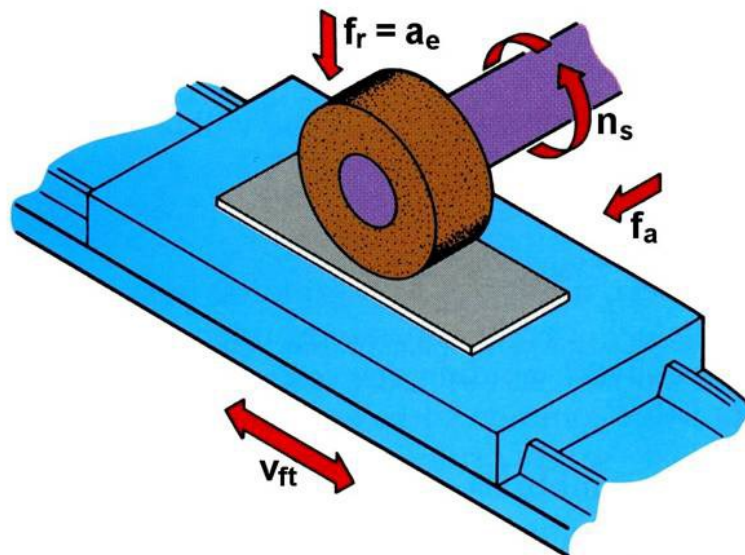
Pro broušení rovinných ploch se využívají dva základní principy, které využívají pomocného přímočarého pohybu obrobku. Rovinné broušení se obvykle používá jako dokončovací operace po frézování, nebo hoblování.

- rovinné broušení obvodem kotouče
- rovinné broušení čelem kotouče

Broušení obvodem kotouče

Obrobek vykonává přímočarý vratný nebo kruhový pohyb. Pracovní stůl se společně s obrobkem posouvá v přímočarém směru o hodnotu příčného posuvu, ten závisí na šířce kotouče. Ve výjimečných případech vykonává obrobek otáčivý pohyb.

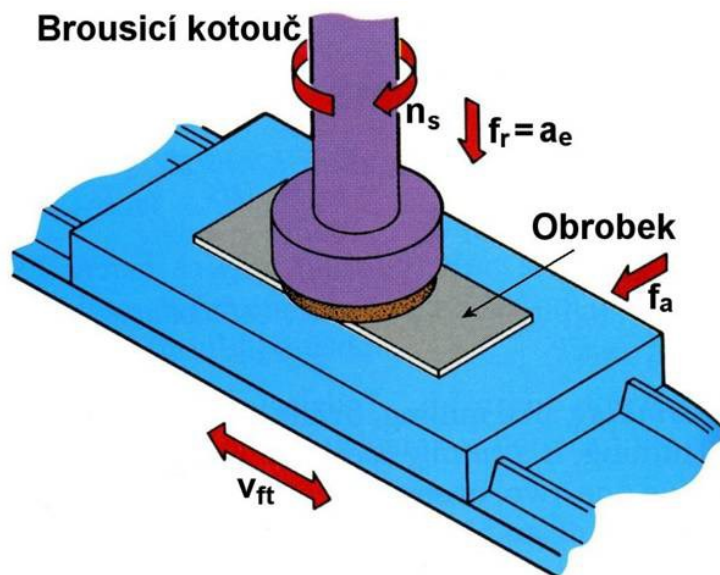
Obvodové broušení patří mezi nejpřesnější způsob broušení rovinných ploch. Využívá se především pro broušení přesných rovin, při výrobě nástrojů, měřidel a přípravků. [1]



Obr. 1.7 Broušení obvodem kotouče [9]

Broušení čelem kotouče

Používá se pro broušení ploch větší šířky. Není tolik přesné jako broušení obvodem, ale mnohem výkonnější. Obvykle je průměr kotouče větší než šířka broušené plochy. Obrobek může vykonávat přímočarý nebo rotační pohyb. Přímočarého pohybu stolu se využívá především pro výrobu malých součástí v sériové a hromadné výrobě. V případě broušení kotouči velkých rozměrů využíváme segmentových hlavic.



Obr. 1.8 Broušení čelem kotouče [9]

1.2.3 Tvarové broušení

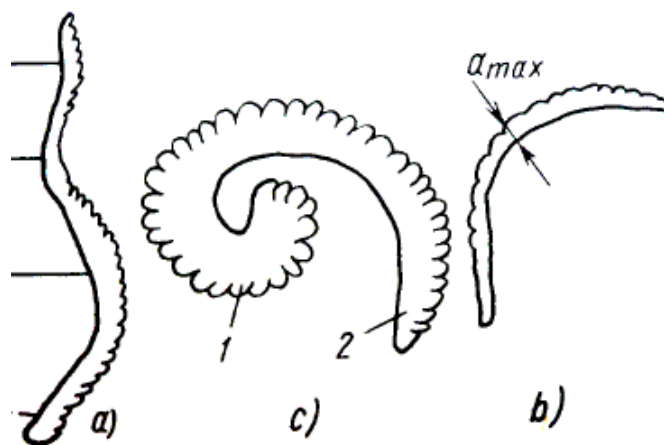
Ve výrobě se také vyskytují obrobky s tvarovými plochami, které je potřeba brousit. Tyto obrobky se brousí tvarovými kotouči, nebo pomocí klasických kotoučů kopírovacím způsobem. Kopírování se provádí pomocí šablon a pantografů. Při tomto způsobu broušení vykonává pracovní pohyb brusný kotouč nebo obrobek na speciálně upravených bruskách.

1.3 Základní prvky tvoření třísky při broušení

Tříška je objem materiálu odebíraného jedním brusným zrnem. Jedná se o vzdálenost mezi plochami řezu vytvářenými dvěma následujícími záběry břitů sousedních zrn. Měření se provádí v kolmém směru k ploše řezu. Při broušení vnějších válcových ploch s podélným posuvem je plocha řezu tvořena souborem hypocykloidních šroubovic. Tloušťka třísky odebíraná jedním zrnem má velký vliv na proces broušení, změnu pracovního režimu kotouče a podmínky broušení. Na tloušťce třísky odebírané jedním zrnem brusiva závisí otupení zrn, okamžitá teplota v místě řezu, řezná síla působící jedním zrnem, R_a . [11]

Vlivem nepravidelného rozložení zrn brusiva na pracovní ploše kotouče způsobuje různou konfiguraci a rozměry třísek vrstev odebíraných jednotlivými zrny. Pro určitý brousicí kotouč závisí tvar a rozměry třísek na řezných podmínkách. [11]

Při broušení se nejčastěji vytvářejí tři druhy třísek, páskovitě, zavinuté a segmentové. Páskovitá tříška vzniká nejčastěji, její tloušťka se postupně zvětšuje. Méně častá je tříška zavinutá. Během hrubování obrobků z houževnatých ocelí mohou být třísky značně velké. Při dosažení určitých podmínek může vzniknout tříška segmentová. [11]



Obr. 1.9 Typy třísek vznikajících při broušení. a) páskovitá, b) zavinutá, c) segmentová [11]

1.4 Tepelné jevy při broušení

V procesu mikrořezání se vytváří v povrchové vrstvě obrobku velký počet míst, kde jsou vysoké teploty. Působením těchto teplot se povrchová vrstva intenzivně zahřívá. Tepelný proces vznikající v povrchové vrstvě obrobku se vyznačuje vysokou rychlostí místního ohřevu, krátkou prodlevou na této teplotě a rychlým ochlazením.

Mechanická práce, která vzniká v procesu mikrořezání se téměř všechna spotřebuje ve formě tepla a její malá část na přeměnu krystalické mřížky obráběného materiálu.

Teplo, které vzniká při broušení, přechází do obrobku, kotouče, třísky a řezné kapaliny. Až 80% tepla přechází do obrobku, nejmenší podíl tepla přechází do okolního prostředí. Vysoké teploty mohou způsobovat defekty povrchové vrstvy obrobku a tím také jeho znehodnocení. Vliv teploty na proces broušení je zásadní.

Působení vysokých teplot souvisí také se vznikem jisker, tyto jiskry vznikají dokonce i při dostatečném přívodu řezné kapaliny. Vysoké teploty zvyšují plasticitu obráběného kovu, což zlepšuje odebrání třísek v procesu mikrořezání.

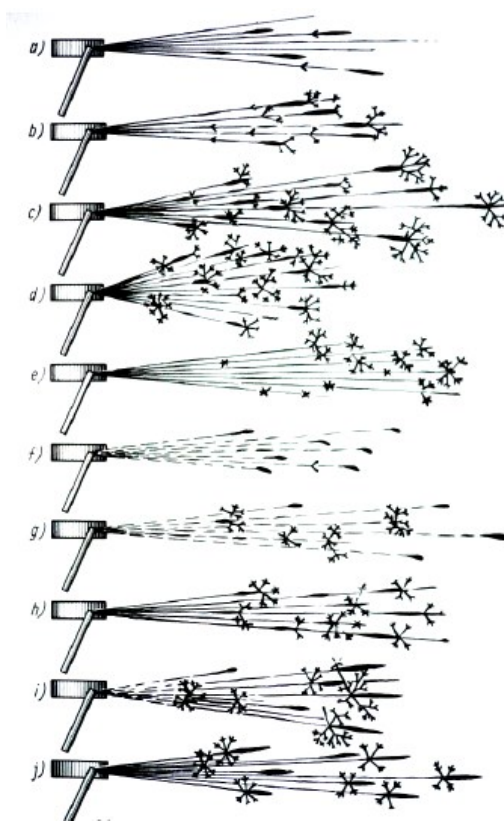
Vznik a rozdělení tepla závisí na všech podmínkách broušení, na typu kotouče, mechanických a fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, vlastnostech řezné kapaliny a řezných podmínkách. [11]

1.5 Vznik jisker při broušení

Během broušení kovů s vysokou pevností vznikají jiskry, které jsou drobné roztavené částice kovů, odletují ve směru tečny k obvodu rotujícího kotouče v místě jeho styku s obrobkem. Tříška a jiskry odletují vlivem působení odstředivé síly.

Pokud se nachází v broušeném materiálu uhlík, je styk rozžhavených částic se vzduchem doprovázen oxidací. Uhlík se spaluje na oxid uhličitý, za vzniku jisker. Větší třísky, které nedosáhnou teploty tavení, si zachovávají svůj původní tvar, nebo se pouze nataví. Vzdálenost, kam odletují jednotlivé třísky, závisí na jejich hmotnosti.

Barva a tvar jisker je dána hlavně chemickým složením broušeného materiálu. Pomocí barvy a tvaru jisker se využívá při určování druhu oceli.



Obr. 1.10 Jiskry při broušení různých ocelí

- a) měkká uhlíková 0,12%C, b) uhlíková 0,5%C, c) uhlíková 0,9%C, d) uhlíková 1,2-1,4%C, e) manganová tvrdá 13%Mn, f) rychlořezná, g) wolframová, h) křemíková, i) chromová, j) chromniklová [11]

1.6 Řezná média pro broušení

Řezná média používaná při broušení mají chladicí a mazací účinek, mohou být v pevném, kapalném i plynném stavu. Mají různé složení a fyzikálně-chemické vlastnosti a podstatně ovlivňují kvalitu broušené plochy a celkovou produktivitu broušení.

Mezi pevné řezné prostředky se používají polymerní, lehce tavitelné, chemicky aktivní vrstvy tuhé pasty nanesené na brusný kotouč nebo obrobek. V některých případech se používají plynná řezná média, především aerosoly, rozprášené řezné kapaliny. Nejčastěji se však využívají řezné kapaliny.

Vlastnosti řezných kapalin:

- chladicí a mazací účinek, zlepšení odvodu třísek
- antikoroziční účinek, ochrana brusky i obrobku před korozi
- chemická a fyzikální stálost
- bezpečnost před požárem a explozí
- nesmí být toxická, jsou baktericidní a hygienická

Základní funkcí řezné kapaliny je chladicí účinek. Kapalina musí dobře chladit celý obrobek v oblasti broušení, snižovat tření a odstraňovat nečistoty z místa řezu. Zajištěním těchto požadavků zlepšujeme kvalitu broušené plochy, zvýšíme trvanlivost kotouče a produktivitu broušení. Řezná kapalina především ovlivňuje povrchovou vrstvu materiálu, kde působením zrn brusiva při vysokých rychlostech vzniká velký počet ohnisek s vysokou teplotou. Kapalina zlepšuje činnost brusiva a omezuje vznik hlubokých povrchových rýh.

Další důležitou funkcí řezné kapaliny je mazací účinek, který se projevuje vytvořením mazacího filmu na třecích plochách zrn brusiva a pojiva kotouče. Odstraněním přímého styku třecích částic snížíme tření i třecí síly. V případě velkého množství mazacích částic dochází k zanášení kotouče a snížení řezivosti.

Podle chemického složení a vlastností dělíme řezné kapaliny na emulze a oleje. Emulze obsahují mikroskopické částičky jiné kapaliny. Ke spojení základních složek emulze slouží glykoly, nebo jejich étery. Emulze mají mléčně bílou bravu a dobrý chladicí účinek, ale malý mazací účinek.

Řezné oleje se skládají z minerálního oleje s tukovými a chemicky aktivními látkami. Chemicky aktivní látky zajišťují stálost kapaliny při vysokých teplotách a tlacích.

Prívod řezné kapaliny je nejčastěji realizován poléváním. Proud řezné kapaliny musí být vydatný a nepřerušovaný, s šířkou větší než je šířka kotouče.

1.7 Broušící nástroje

Nástroje pro standartní broušení jsou broušící kotouče, segmenty a tělíska různých tvarů a rozměrů. Brusné nástroje jsou tvořeny brusivem a pojivem. Tvary nástrojů jsou normalizovány. Podle typu operace se volí vlastnosti broušícího nástroje. Brusné nástroje posuzujeme dle druhu brusného materiálu, zrnitosti brusiva, tvrdosti nástroje, struktury nástroje a druhu pojiva.

Broušící nástroje se obvykle upínají na vřeteno stroje pomocí přírub. Nevyvážením nástroje vnikají vibrace, které negativně ovlivňují kvalitu povrchu a snižují trvanlivost kotouče. Kotouče je potřeba vyvažovat společně s přírubami.

Velký vliv na výsledek procesu broušení má stav brusného kotouče. Opatřovaná pracovní plocha se obnovuje orovnáváním. Pro orovnávání se používá celá řada různých orovnávačů, jednozrné i vícezrné diamantové orovnávače. Umísťují se na stůl nebo vřeteník, orovnávání lze provádět s různým stupněm automatizace. [12]

1.7.1 Materiál brusných zrn

Podle způsobu výroby rozlišujeme brusné materiály na přírodní a syntetické. Přírodního původu je vápenec, kazivec, křemen, korund a diamant. Mezi umělé materiály se řadí umělý korund, karbid křemíku, karbid boru, kubický nitrid boru a syntetický diamant.

K výrobě brusných kotoučů se nejčastěji využívá oxid hlinitý, umělý korund, elektrolyt může být bílý, růžový, hnědý, barevný, manganový, zirkoniový, mikrokrytalický, polokřehký. Karbid křemíku, černý nebo zelený. Druh materiálu volíme dle vlastností obráběného materiálu.

Pro broušení oceli, oceli na odlitky temperované litiny a tvrdé bronzy je vhodný umělý korund, karbid křemíku se používá pro šedé litiny, mosazi, měď, lehké kovy a jejich slitiny, slinuté karbidy, keramiku a sklo.[5]



Obr. 1.11 Umělý korund A99 bílý [6]



Obr. 1.12 Umělý korund A96 hnědý [6]



Obr. 1.13 Umělý korund A98 růžový[6]



Obr. 1.14 Karbid křemíku C49 zelený [6]



Obr. 1.15 Karbid křemíku C48 černý[6]



Obr. 1.16 Karbid boru [6]

1.7.2 Zrnitost brusiva

Na velikosti brusných zrn závisí jakost brusného nástroje a také má vliv na drsnost obrobeného povrchu. Zrnitost brusiva se volí dle předepsané drsnosti povrchu broušené plochy.

Tvrký a křehký materiál vyžaduje jemnější zrno než materiál měkký a houževnatý. Čím je vyšší požadovaná jakost povrchu obrobku, tím využijeme jemnější zrno. Na vývin

tepla a zanášení kotoučů má vliv velikost dotykové plochy nástroje s obrobkem, proto volíme při rovinném broušení těžší zrna než při broušení dokulata. Větší zrna se volí pro úběr většího množství materiálu.

1.7.3 Tvrdost nástroje

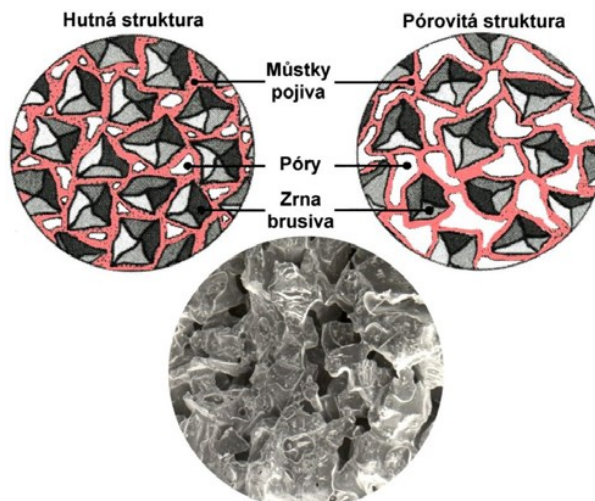
Tvrdost je dána tvrdostí pojiva a je to odpor, který klade pojivo proti vylamování brusných zrn z nástroje. Nástroj volíme tím měkčí, čím je tvrdší obráběná součást. Měkčí kotouče lépe uvolňují brusná zrna, čímž dochází k ostření nástroje.

Měkký kotouč	PODMÍNKY	Tvrký kotouč
Tvrký, křehký	Obráběný materiál	Měkký, houževnatý
Velká	Kontaktní plocha	Malá
Vysoká	Řezná rychlost	Nízká
Nízká	Posuvová rychlost (v_f , v_w)	Vysoká
Dobrá	Přesnost brusky	Špatná
Zkušený	Pracovník	Nezkušený

Obr. 1.17 Podmínky volby kotouče [1]

1.7.4 Struktura kotouče

Struktura kotouče udává poměr objemu póru k celkovému objemu brousícího nástroje. Pro tvrdší a křehčí materiál volíme hutnější kotouč. Pórovitější kotouče volíme pro větší dotykové plochy. Čím více odebíráme materiálu, tím pórovitější volíme kotouč, aby se nezanášel.



Obr. 1.18 Struktura kotouče [9]

1.7.5 Pojivo kotouče

Pojivo slouží pro spojení brusných zrn, umožňuje, aby se otupená zrna uvolňovala a byla nahrazována v brusném procesu novými, dále zajišťuje požadovaný tvar kotouče. Mají vliv na odolnost kotouče před vlivy teplot a chladicích kapalin.

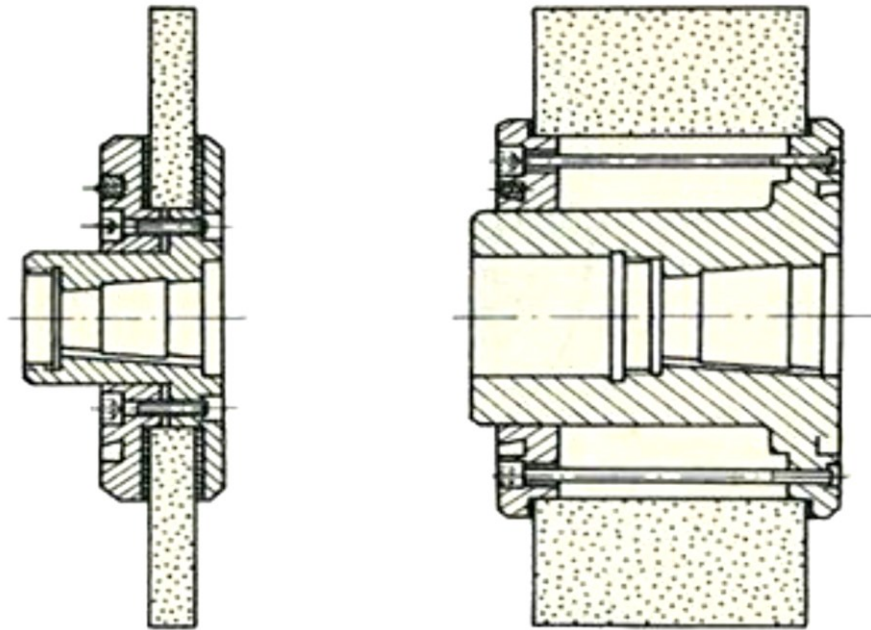
Pojiva mohou být organická – pryžová, pryskyřičná, šelaková, plastická, polyuretanová a anorganická, která jsou keramická, silikátová, magnezitová a kovová. Nejčastěji používané je keramické pojivo, z důvodu univerzálnosti. Silikátové pojivo je méně pevné než keramické pojivo a je pružnější. Magnezitové pojivo nesnáší vlhko.

1.7.6 Upínání nástrojů

Upínání brusných kotoučů se provádí pomocí přírub. Ty jsou nejčastěji upevněny mechanickým sevřením. Mezi brusný kotouč a příruby je vložena pružná gumová vložka nebo vložka z lepenky. Brusné kotouče malých rozměrů se upínají za díru.

Postup při upínání nástrojů:

- zvolíme vhodný brusný kotouč
- poklepáním dřevěnou paličkou zjistíme, zda není brusný kotouč prasklý
- brusný kotouč nasadíme na příruby
- mezi příruby a brusný kotouč vkládáme pružné podložky
- šrouby a matice při upínání kotouče nesmí být dotaženy násilím
- brusné kotouče se chrání krytem
- po upnutí nástroje se provede vyvážení kotouče
- kotouč musíme napřed po dobu 5 minut uvést do chodu na prázdno a poté s ním můžeme pracovat [6]



Obr. 1.19 Upínání brusného kotouče k přírubám [6]

1.7.7 Vyvažování brusných kotoučů

Hmota brusného kotouče musí být vyvážená, aby osa vřetena brusky byla v těžišti kotouče, po upnutí nesmí brusný kotouč házet.

Příčiny házejícího kotouče

- nadměrné chvění, vede ke zhoršení jakosti povrchu
- namáhání ložisek vřetene
- snížení výkonu brusky
- velké odstředivé síly, které mohou roztrhnout brousící kotouč

Nevyváženost je způsobená

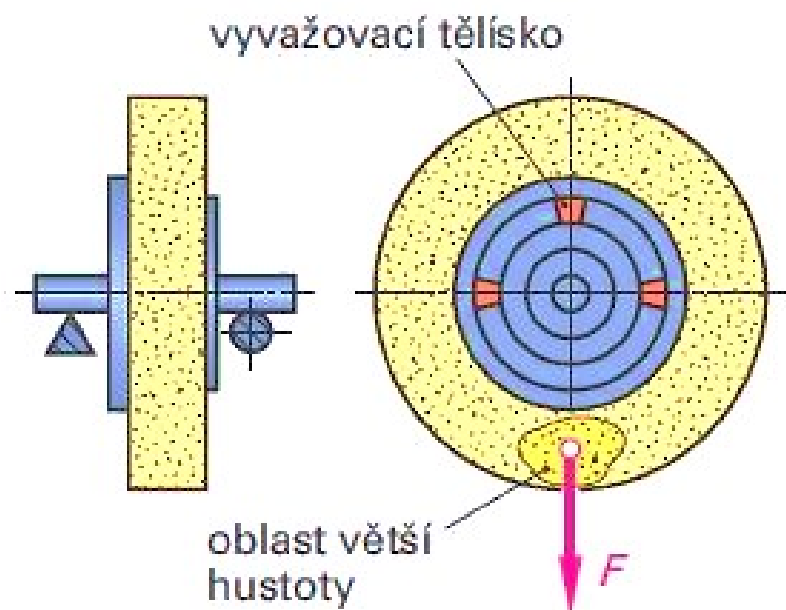
- nerovnoměrně rozloženou hmotou
- obvodem kotouče, který není válcový
- nerovnoměrně nasáknutým brusným kotoučem chladicí kapalinou

Způsoby vyvažování

- statické
- dynamické

Statické vyvažování

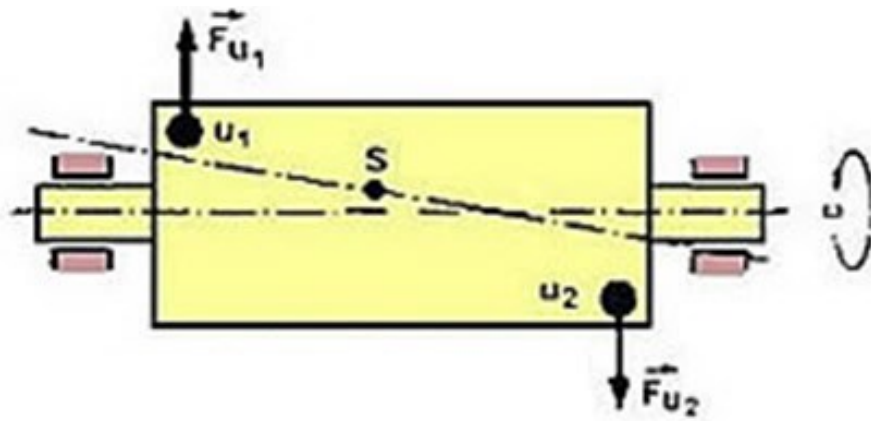
Brusný kotouč i s přírubami se nasadí na vyvažovací trn a položí na odvalovací válečky, které jsou umístěny na vyvažovacím stojánu. Vyvažovací stojánek musí být ustaven do vodorovné polohy. Kotouč ručně roztočíme, nevyvážený kotouč zůstane nejhmotnější částí dole. Na protější straně se udělá značka pro umístění vyvažovacích tělísek. Tento postup se neustále opakuje, až je kotouč nehybný v kterékoli poloze. Po prvním vyvážení kotouč nasadíme do vřetene, orovnáme a znovu vyvážíme. [6]



Obr. 1.20 Statické vyvažování na stojanu [6]

Dynamické vyvažování

Zařízení pro dynamické vyvažování se montuje na přírubu broušícího kotouče, případně na řemenici broušícího vřetena. Stisknutím knoflíku se vyvažovací závaží, které je umístěno na spirální drážce, vzdaluje nebo přibližuje k ose rotace kotouče a tím mění polohu těžiště. Vyrábějí se čtyři velikosti vyvažovacích zařízení. Pro dynamické vyvažování je možné použít snímače chvění, které vytváří motor a přenáší ve tvaru křivky. Závaží je poté přemísťuje po řemenici tak, aby bylo chvění vřetena co nejmenší.



Obr. 1. 21 Dynamické vyvažování kotoučů [6]

1.7.8 Orovnávání brousících kotoučů

Jedná se o jemné obrábění brousícího kotouče. Brusná zrna jsou vylamována, tříštěna a přefézávána.

Účel orovnávaní

- získat požadovaný tvar brusného kotouče
- obnovit řezivost
- odstranit prach a obroušené zrna z kotouče
- zlepšit jakost povrchu obrobku

Druhy orovnávacích kotoučů

Bezdiamentové orovnávače

Používají se k vytvoření hrubého tvaru brousícího kotouče a pro méně přesné orovnávaní. Méně přesné orovnávaní se provádí ručně nebo s použitím zvláštního zařízení.



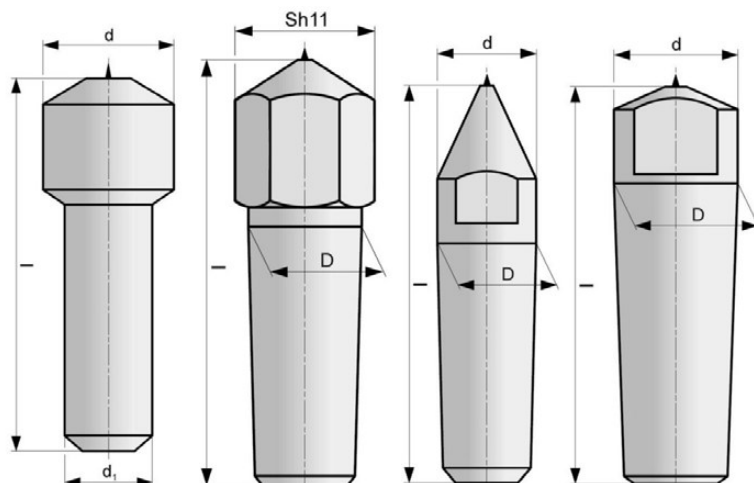
Obr. 1.22 Orovnávací kolečka [7]

Diamantové orovnávače

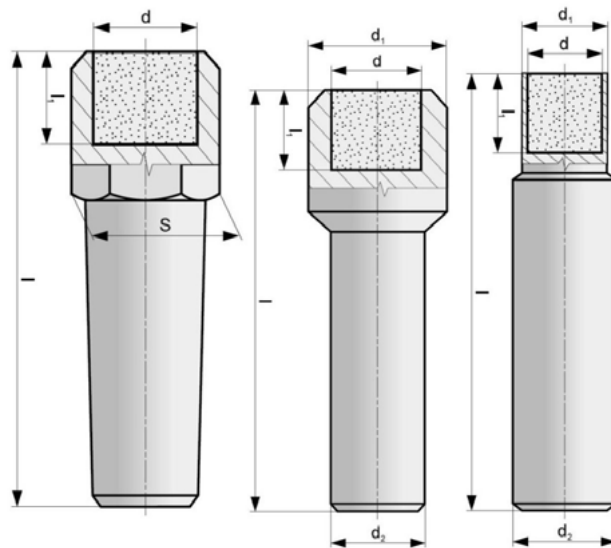
Tyto orovnávače se používají k přesnému orovnávání a tvarování brusného kotouče. Podle způsobu pohybu je rozlišujeme na pevně stojící a oběžné.

Pevně stojící orovnávače

Jsou vzhledem k brousícím kotoučům nehybné, rychlost orovnávání se rovná obvodové rychlosti kotouče. Podle počtu vsazených kotoučů rozeznáváme orovnávače jednokamenové a vícekamenové.



Obr. 1.23 Jednokamenové orovnávače [1]



Obr. 1.24 Vícekamenové orovnávače [1]

Postup orovnávaní brousicích kotoučů

- zvolíme vhodný způsob orovnávaní
- vybereme vhodný orovnávač
- diamant musíme chránit před nárazy a kolísáním teplot
- zajistíme mechanické vedení orovnávačů
- diamantové kotouče směřují na střed brusného kotouče a jsou sklopeny o 5° až 15°
- odsouvání a přisouvání brusných kotoučů je možné provádět pouze za plných otáček kotouče
- seřizování a přisouvání provádět v nejvyšším bodě kotouče
- pro orovnávaní kotouče je optimální rychlost 15 až $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- pro jednokamenové orovnávače je optimální rychlost přísuvu 0,01 až 0,03 mm
- u vícekamenových je 0,01 až 0,05 mm
- drsnost povrchu kotouče ovlivňujeme posuvem, pro jednokamenové je do 0,1 mm a pro vícekamenové a oběžné je 0,3 až 0,5 mm na otáčku kotouče
- pokud je délka opotřeбенé plošky diamantu větší než 1 mm, musíme diamant v držáku pootočít. [6]

1.8 Broušící stroje

Podle účelu a způsobu práce lze brusky rozdělit na hrotové, bezhroté, brusky na díry, rovinné a speciální.

Hrotové brusky

Používají se pro broušení válcových ploch, kuželů, čelních ploch. S použitím přídatných vřeten lze brousit i otvory. Nejpoužívanější jsou univerzální hrotové brusky, které jsou tvořeny ložem, na kterém je umístěn pohyblivý stůl s vřeteníkem na obrobek. Při broušení táhlých kuželů se využívá dvou částí stolu, ze kterých horní je možné natáčet.

Bezhroté brusky

Mají vřeteník, na kterém je brusný kotouč a podávací vřeteník. Každý vřeteník pohání vlastní elektromotor. Brusný vřeteník je pevně spojen se stojanem a pracuje s konstantními otáčkami. Posuvně je uložen podávací vřeteník, který je sklopný a má měnitelné otáčky. Sklopení podávacího vřeteníku zajišťuje mimoběžnost os proti ose brusného kotouče. Bezhroté brusky umožňují brousit zapichovacím způsobem vnější plochy a také rotační plochy.

Brusky na díry

Jsou sklíčidlového, planetového a bezhrotého provedení. Nejpoužívanější je sklíčidlová bruska. Používá se pro broušení válcových nebo kuželových otvorů menších rozměrů. Obrobky se při broušení musí otáčet. Sklíčidlo pracovního vřeteníku, které je umístěno na příčných saních zajišťuje upnutí obrobku. Otáčky vřetena je možné plynule měnit.

Vodorovné rovinné brusky

Patří mezi nejpoužívanější systémy broušení. Brousí se jimi rovinné plochy a mají vodorovnou osu broušícího vřetene. Upínání obrobku je zajištěno pomocí elektromagnetické desky na pracovním stole. Největší zastoupení v této kategorii mají brusky s přímočarým vratným pohybem. Základním ukazatelem velikosti stroje je šířka pracovního stolu.

Svislé rovinné brusky

Slouží při broušení součástí s větším úběrem materiálu. Mají svislou osu broušícího vřetena, také disponují vysokými výkony broušení. Dosahují však nižších přesností a drsností povrchu. Hřídel elektromotoru zastává současně funkci brusného vřetene. Brusný kotouč může být prstencový, segmentový a hrncovitý. Průměr použitého kotouče musí být větší než šířka broušené plochy, protože pracovní stůl se pohybuje přímočarým vratným pohybem.

Speciální brusky

Používají se pro broušení obrobků se speciálním technologickým zaměřením. Brusky slouží pro ostření, broušení závitů, broušení ozubení a broušení klikových a válečkových hřídelí.

1.9 Upínání obrobků

Při broušení vnějších rotačních ploch se obrobky nejčastěji upínají mezi hroty. Otáčivý pohyb se na obrobek přenáší pomocí srdcového unášeče, obdobně jako u soustružení. Pro vnitřní broušení se obrobek upíná pomocí sklíčidla nebo upínek na desku vřeteníku. U rovinného broušení se obrobek upíná magneticky, pomocí magnetické desky.

1.9.1 Upínání obrobků na rovinných bruskách

Obrobky se upínají na podélný stůl několika způsoby:

- přímo, pro těžké a velké obrobky, pomocí upínek a upínacích šroubů
- pomocí strojních svěráků, ty se používají pro broušení úkosů a mohou být otočné nebo sklopné
- dalším způsobem upínání je pomocí elektromagnetických upínačů, tento způsob upínání je nejpoužívanější, obrobek se upíná spuštěním elektrického proudu a vypnutím se provede uvolnění
- pomocí upínacích pomůcek jako jsou podložky, úhelníky, svěrky, sinusové pravítko, základní měrky
- upínací přípravky se používají zřídka

1.9.2 Upínání obrobků na hrotových bruskách

Upínače obrobku se nasazují na vřeteno unášecího vřeteníku našroubováním, nebo nasazením na kužel.

Způsoby upínání na hrotových bruskách:

- pomocí univerzálních sklíčidel, které mají stejnou konstrukci a obsluhu jako soustruhy, vyrábějí se ve třech stupních přesnosti, 1, 2, 3, pro brusky se používají nejpresnější č. 1
- upínacími deskami, pro upínání velkých a těžkých obrobků, za neválcovou plochu
- mezi hroty, pro součásti větších délek, u nichž se zajišťuje souosost všech průměrů
- na trny se používá pro součásti ve tvaru pouzder, u nichž má otvor běžet s povrchem, jsou pevné, rozpínací, které je možno přizpůsobit průměru
- opěrky se používají pro podepírání dlouhých součástí malého průměru, jsou otevřené a uzavřené
- s použitím přípravků
- do kleštin
- pomocí magnetické otočné desky

1.10 Kontrolní pomůcky

- průměrná deska, má přesně zaškrabanou plochu 500x400 mm, na které se kontroluje rovinnost ploch a která je rozměřovací základnou pro ostatní měření
- kontrolní válec je ustaven na průměrné desce s rozměry 40x80 mm a je určen ke kontrole kolmosti ploch
- základní měrky se používají k přesnějšímu měření, k ustavování obrobku a tvarování brusného kotouče
- měřicí stojánek s číselníkovým úchylkoměrem lze použít k orýsování, výměnou za rýsovací hrot
- ke kontrole rovinnosti ploch na průsvit se používá nožové pravítko o délce 125, nebo 200 mm
- plochý úhelník je broušený a kalený, slouží k ustavování obrobků a kontrole kolmosti ploch

2. Analýza současného stavu na pérovně

Na pérovně se v současnosti brousí pružiny vyrobené jak z nerezového pružinového drátu EN 10270 – 3 1.4310 NS, tak také z patentovaného pružinového drátu například EN 10270 – DH. Broušení se provádí na průměrech drátu pružin od 0,4 mm až po průměr 11,8 mm. Brusné kotouče jsou s keramickým pojivem s různou hrubostí zrna a také kotouče s povlakem z kubického nitridu boru.

2.1 Stroje pro broušení pružin

Broušení pružin se provádí na několika typech brusek. Na stojanových bruskách, které se využívají zřídka, dále na automatických bruskách a automatických kyvných bruskách. Tato práce bude věnována především práci na automatických bruskách.

2.1.1 Stojanové brusky

Při broušení na stojanových bruskách je pružina podávána ručně k brusnému kotouči. Stojanové brusky rozdělujeme na malé, střední a velké, dle rozsahu průměru drátu, vnějšího průměru broušené pružiny a brusného kotouče.

Tabulka 2.1 Rozdělení stojanových brusek

Brusky	Průměr drátu pružiny [mm]	Vnější průměr pružiny [mm]	Rozměr [mm]	Brusný kotouč typ
Malé	Max. 3	Max. 40	175 x 20 x 20	99A60M6V3270
			200 x 20 x 51	A9963N6V2875
Střední	Max. 5	Neomezen	500x 50 x 203	A9654N6V1150
Velké	5,6 až 11,8	Neomezen	600 x 100 x 203	99A24P4V950

Při ručním broušení se pružina podává k brusnému kotouči ručně, případně je přidržována různými přípravky.

U malých brusek se čela závěrných závitů brousí na boční straně brusného kotouče přitlačením pružiny ve směru osy vinutí. Na středních a velkých bruskách se provádí broušení na čelní straně brusného kotouče. Obroušenou plochu brusič dorovná mírným přitlačením pružiny na boční stranu brusného kotouče. Broušení se provádí směrem

k volnému konci krajního závitu u pružin, které přesahují tloušťku brusného kotouče, u ostatních pružin se broušení provádí od počátku dokonce závitů.

Pro usnadnění broušení je možno u středních brusek použít otočné opěrné páky pro zvýšení přitlačné síly. U pružin s malou volnou délkou se při broušení používá pomocný trn a u pružin s velkým poměrem vinutí a malou tuhostí se vkládá mezi závěrný a činný zavit tuhý papír, aby nedošlo k nežádoucímu pobroušení činného závitu.

2.1.2 Automatické brusky

Při broušení na automatických bruskách jsou pružiny podávány k brusnému kotouči mechanicky, pomocí podávacího kotouče, do kterého jsou průběžně za chodu stroje vkládány a z něhož po obroušení volně vypadávají do připravené bedny. Při broušení pružin na automatických kyvných bruskách (typ ZPH – 5) jsou pružiny upevněné v kyvné kulise, do které jsou vkládány ručně za klidu stroje. Automatické brusky rozdělujeme dle typu brusky a brusného kotouče, tabulka 2.2.

Tabulka 2.2 Tabulka automatických brusek

Typ brusky	Rozměr	Brusný kotouč	Otáčky Brusného kotouče [min^{-1}]	Otáčky podávacího kotouče [min^{-1}]
Kunz M5	225 x 40 x 51	A99B16N7V	2800	2,3
				21,9
				1
FMS 3	175 x 50 s přírubou	C. 5A/46/3	2800	2 variátor
				0,8
ZPH - 2	250 x 40 x 127	A9954N7V	2840	40,6
				0,6
ZPH - 4	450/435x65/8x150	A99B50N6V	114	42
ZPH - 5	750/725x115/10x305	A9620N6V	826	1
ZPH - 6	600/562x100/10x203	A9920N6V	965	42

BRUSKY KUNZ

Pro pohon těchto brusek se používají speciální motory, které jsou prachotěsné na speciálních ložiscích, montované hřídele jsou vyrobeny jako brusná vřetena. Brusná vřetena nesou příruby s labyrintovým utěsněním, na které se navine kotoučová příruba s našroubovaným hrncovitým brusným kotoučem. Volba otáček brusky je závislá na průměru drátu pružiny, průměru pružiny a požadované přesnosti. Pro vysokou přesnost, velký průměr drátu a pružiny se používají malé otáčky. Rychlé otáčky se využívají pro malou přesnost, malý průměr drátu a pružiny.

Pro přesné broušení hlavně malých pružin je vhodné každý kotouč před jeho použitím vyvážit na vlastní přírubě. Výměna kotouče se provádí odklopením horní vřetenové skupiny. Orovnávání kotoučů se provádí na vodorovně pohyblivém nosiči.

Dolní brusný kotouč není výškově posuvný. Skupina podávacího talíře se proto dle výšky kotouče pomocí ručního kola seřizuje tak, aby kluzný kotouč stál 0,5 až 1 mm nad rovinnou brusného kotouče. Kluzný kotouč slouží jako dolní vodítko pružin. Přítlačná deska vede pružiny při vstupu ve stlačeném stavu mezi brusné kotouče. Pružiny se brousí pod vlastním napětím, dotýkají se však brusného kotouče teprve, když více než polovina průměru pružiny vstoupila mezi kotouče. Přítlačná deska na vstupu zabraňuje vyskakování pružin a jejich deformaci.

Po obroušení pružiny padají do výstupního kanálu. U pružin, které jsou dlouhé, nebo kuželové a nemohou samovolně propadnout z podávacího talíře, se v mezeře vkládá deska a odebírání pružin probíhá ručně.

Pohon podávacích talířů lze regulovat pomocí převodů s devíti rychlostmi, čímž dochází ke změně otáček. Volba otáček je závislá na síle drátu, průměru pružiny a požadované přesnosti. Stroj také obsahuje bezpečnostní spojku proti přetížení. Spojka šetří stroj proti přetížení při výskytu poruch. Poruchy mohou být způsobeny pružinami, nedodržením správné délky pružiny, které volně vypadávají z podávacího talíře. Pružina, která volně nevypadne z výstupního kanálu, se může vzpříčit a způsobit poruchu stroje.

Tabulka 2.3 Volba kotoučů pro brusky KUNZ

Průměr drátu d [mm]	Zrno kotouče
0,3 – 1	70 – 80
1 – 2	46 – 70
2 – 3	36 – 46
3 – 5	20 – 36
5 – 8	14 – 20

KUNZ M5

Tato bruska se využívá pro broušení pružin maximálního vnějšího průměru 20 mm, průměru drátu 0,5 až 3 mm a maximální volné délky pružiny 100 mm. Rychlost této brusky se volí v rozmezí 0,4 až 2,3 min⁻¹. Vnější průměr podávacího talíře je 250 mm.



Obr. 2.1 Bruska KUNZ M5

Brusky ZPH

Způsob broušení:

Pružiny se ukládají do revolverového talíře, talíř je poháněn variátorem a je vedený mezi dva páry brusných kotoučů, které se vertikálně nastaví na potřebnou výšku. První pár kotoučů slouží pro předbroušení, druhý pro konečné broušení. Po skončení předbroušení má zbylá délka pro broušení pružiny činit 0,5 až 1 mm. Tímto způsobem získáme při konečném broušení čistý obroušený povrch s malou délkovou tolerancí.

Mezi předbroušením a konečným broušením je přidržovač pružin.

Tento způsob broušení je pro tento typ brusky z hlediska kvality a produktivity broušení nejvhodnější. Předpětí při vstupu pružin má za následek rovnoměrné ubírání třísek a částečné zahřátí konců pružin.

Na vstupu pružin je naváděcí deska, která má úkos, což umožňuje plynulý vtok pružin do předbroušovací vřeten. Při vycházení pružin z dokončovací brusných kotoučů je podobná naváděcí deska, která umožňuje plynulé odvádění pružin z brusného prostoru.

Seřazení stroje

Čtyři brusné vřeteníky jsou vertikálně seřazeny. Každý se dá samostatně nastavit pomocí kola. Kruhové brusné kotouče jsou nalepeny na brusných talířích. Talíře jsou přišroubovány na vřetena, které jsou přímo poháněny elektromotory. Každé vřeteno je ovládáno samostatně tlačítkem start/stop.

Poloha brusného stolu, po kterém jsou unášeny pružiny revolverovým talířem, se nemění, seřízení probíhá nastavením kotoučů. Současně s nastavením kotoučů je potřeba provést seřízení naváděcí desky pomocí přidržovače mezi vřeteny kol a naváděcí deskou odcházení pružin. Polohu přidržovače pružin je potřeba zajistit šrouby. Současně musíme zajistit vřeteníky pomocí pák.

Spodní brusné kotouče se přestavují pomocí ročního kola. Je nutné, aby brusné kotouče a brusný stůl byly na jedné úrovni.

Horní brusné kotouče se také přestavují pomocí ručního kola. K seřízení kotoučů na určitou výšku slouží odměřovací zařízení, které je umístěno v horní části skříně stroje.

Revolverový talíř, do kterého se vkládají pružiny, je upevněn na vřeteníku. Vřeteník je poháněn přes spojku převodovkou variátoru.

Výměna brusných kotoučů

Aby bylo možné vymontovat brusný kotouč, je potřeba odklopit hlavu revolverového kotouče o 90° a provést odklopení horních brusných kotoučů. Kotouče se na přírubu lepí vhodným lepidlem. Zatvrdnutí lepidla trvá 24 až 48 hodin. Následně je potřeba kotouče vyvážit.

Orovnávání kotoučů

Orovnávání brusných kotoučů je nutné pro udržení dostatečné brusné schopnosti a rovinnosti. Včasným orovnáváním kotoučů zajistíme, že se pružiny během broušení nebudou příliš přehřívat.

Každá bruska musí být vybavena odsáváním prachu. To je realizováno centrálně pro každé pracoviště.

ZPH – 2

Použití této brusky je v oblasti broušení pružin s vnějším průměrem 8 až 30 mm, průměrem drátu 0,35 až 3 mm a volnou délkou 14 až 70 mm. Do délky 18 mm není potřeba používat vodící pouzdra.

Stroj pohánějí čtyři motory s výkonem 1,1kW a otáčkami 2840 min⁻¹. Pohon revolverového talíře je zajištěn převodovým elektromotorem.

ZPH – 4

Bruska pro broušení pružin vnějšího průměru 12 až 65 mm, průměru drátu 1,5 až 6mm a volné délky 25 až 150 mm. Pružiny délky 25 až 35 mm je možné brousit bez vodících pouzder. Pružiny s délkou nad 35 mm je nutné brousit s vodícími pouzdry.

K pohonu stroje slouží čtyři motory s výkonem 4kW a otáčkami 1440 min⁻¹. Pohon revolverového talíře je zajištěn variátorem přiřazenou převodovkou a regulovatelnou spojkou.

ZPH – 5

Na tomto stroji se brousí pružiny průměru drátu 4,5 až 11,8 mm, vnějšího průměru pružiny 30 až 100 mm a volné délky 80 až 250 mm.

Pohon stroje zajišťuje jeden motor s výkonem 11kW a otáčkami 1445 min⁻¹. Pohon je zjištěn hydraulickým válcem přes pákový převod.

ZPH – 6

Používá se pro pružiny s vnějším průměrem maximálně 65 mm, průměrem drátu 4 až 10 mm a volné délky 25 až 250 mm. Délky 25 až 50 mm je možné brousit bez vodičích pouzder. Pružiny s délkou větší než 50 mm s vodičimi pouzdry.

Pohon této brusky je realizován čtyřmi motory s výkonem 7,5kW a otáčkami 965 min⁻¹. Revolverový talíř je poháněn hydromotorem s převodovkou.

Kyvne brusky

Pružiny se ručně vloží do prizmatických vložek kyvné kulisy. Do prizmatických vložek je možno upnout až 5 kusů pružin o vnějším průměru 30 až 60 mm. Upnutí pružin a zasunutí do upínacího rámu do pracovní polohy probíhá hydraulicky.

Vlastní broušení probíhá oscilací kyvného ramene, vůči otáčejícímu se brusnému kotouči o daný časový úsek, po němž se pohyb ramene zastaví. Vysunutí ramene z pracovní polohy a uvolnění pružin probíhá hydraulicky.

Výměna pružin obroušených za neobroušené probíhá ručně. Při výměně pružin je nutno dbát, aby při vkládání pružin byl konec závěrného závitu nahoře.

Rychlost kývání, tj. rychlost posuvu a doba broušení se nastavuje škrtícími ventily. Doba broušení v závislosti na průměru drátu, škrtícím ventilu a vačce je uvedena v tabulce

2.1. Obsluha může upravit manipulaci se škrťícími ventily broušení tak, aby nedošlo k přebroušení závěrného závitu pružiny.

Tabulka 2.4 Doba broušení

Číslo ventilu	Průměr drátu [mm]	Doba broušení [min]	Použitá vačka
6	3,75 – 6	1	Dvojitá
6	6,3 – 7,1	2	Jednostranná
5,5	7,5 – 8,5	2,9	Jednostranná
5	9 – 10,6	3,7	Jednostranná
4,5	11,2 – 11,8	4,6	Jednostranná

Velikost posuvu se nastavuje na pákovém převodu, kdy brusný kotouč se na základě posuvné vačky posouvá do závěru. Nastavení velikosti posuvu (tlak na brusný kotouč), ovlivňuje povrchová struktura brusného kotouče. Dále velikost posuvu závisí na velikosti úběru, tedy na průměru drátu.

Pro dodržení rovinné plochy obroušeného závitu je povinná obsluha orovnávat brusný kotouč orovnávacím nástrojem. Orovnávání se provádí pro pružiny s průměrem drátu do 6 mm po cca 100 ks pružin obroušených oboustranně a u průměru drátu od 8 do 11,8 mm po cca 10 ks pružin obroušených oboustranně.

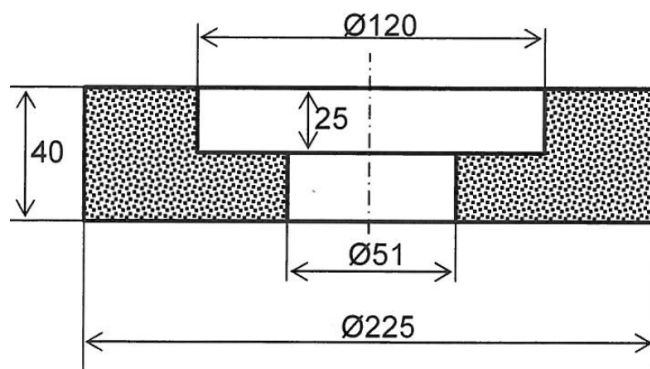
U pružin s požadavkem na dodržení síly vyvinuté pružinou, je nutno předem vyzkoušet potřebnou délku.

Obsluha dále provádí vnější odhrotování závěrných závitů, měření volné délky pružin a před započítáním směny čištění ochranného síta v odsávacím potrubí. Během výroby je nutné kontrolovat kvalitu obroušených pružin a dodržení hodnot pružiny.

2.2 Brusné kotouče

Klasifikace brusných kotoučů se řídí normou ČSN 22 4010. Norma EN 12413 řeší bezpečnostní požadavky na nástroje z pojeného brusiva. Pro tuhé pružiny a pružiny s menší větší tolerancí volíme kotouče tvrdé, pro měkké a přesné pružiny volíme měkké kotouče. Pro broušení pružin se používají kotouče od výrobce Best business a.s.

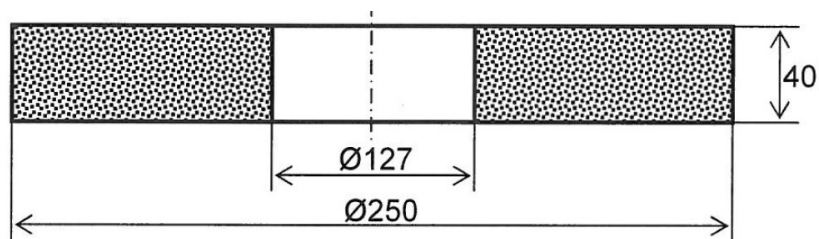
Brusný kotouč pro brusku KUNZ M5



Obr. 2.2 Brusný kotouč KUNZ M5

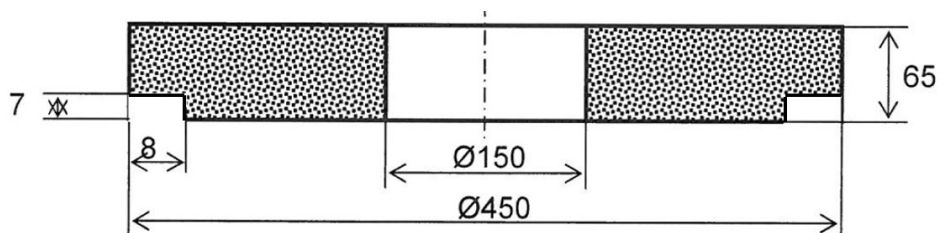
Brusný kotouč pro pružiny, které jsou kratší než síla podávacího talíře, se vyrábí s osazením.

Brusný kotouč pro brusku ZPH – 2



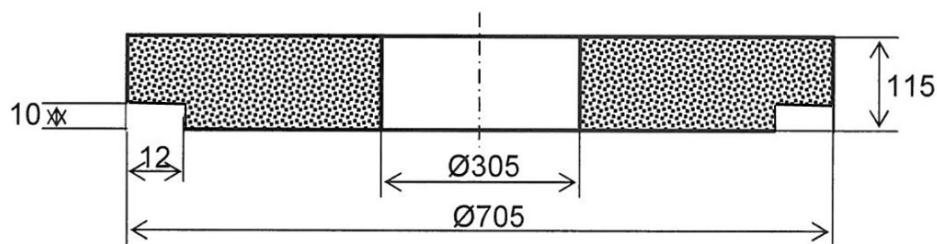
Obr. 2.3 Brusný kotouč ZPH – 2

Brusný kotouč pro ZPH – 4



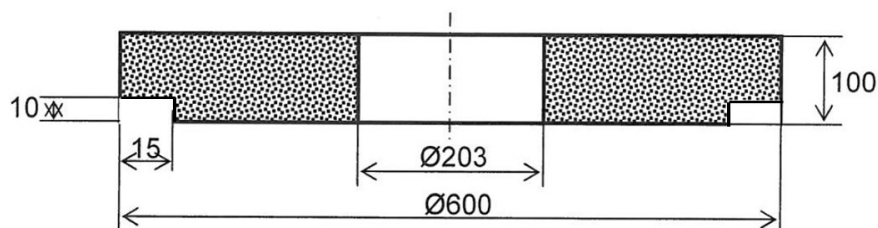
Obr. 2.4 Brusný kotouč ZPH – 4

Brusný kotouč pro ZPH – 5



Obr. 2.5 Brusný kotouč ZPH – 5

Brusný kotouč pro ZPH – 6



Obr. 2.6 Brusný kotouč ZPH – 6

2.2.1 Materiál brusných kotoučů

Brusivo

Brusivo je podle původu rozděleno na přírodní a umělé. Jakost je dána tvrdostí a houževnatostí zrn jednotlivých druhů brusiva. Brusivo se drtí na jemná zrna, jež se třídí na měrnou velikost. Měrným rozměrem je šířka zrna. Velikost tohoto zrna je očíslována a udává se v mikrometrech. Umělý korund se vyrábí tavením bauxitu v obloukové peci při teplotě 2000 až 2400 °C. Karbid křemíku se vyrábí z křemičitého písku smíšeného s uhlíkem v odporové peci při 1800 až 2200 °C.

Tvrдость brusných kotoučů

Tvrđostí brusných kotoučů rozumíme odpor, který klade pojivo proti uvolnění jednotlivých zrn z nástroje. Tvrđost brusných nástrojů se označuje velkými písmeny G až Z.

Struktura brusných kotoučů

Struktura brusných nástrojů je označována pořadovými čísly. Strukturou se rozumí hutnost brusných nástrojů, tj. objem pórů v procentu celkového objemu. Pórovité kotouče

mají velké prostory mezi zrny, nezanášejí se a dobře se chladí, protože přijímají mezi zrna řeznou kapalinu.

Pojivo brusných kotoučů

Účelem pojiva je držet zrna brusiva v brusném nástroji pokud jsou ostrá. Při dobře voleném pojivu se zrna po otupení začnou samočinně vytrhávat z brusného kotouče, čímž se uvolní ostrá, hlouběji položená zrna k činnosti. Při výrobě a údržbě nástrojů se nejčastěji používá pojiva keramického, které má dostatečně velkou pevnost v tahu a připouští rychlost broušení do 45 m.s^{-1} . Nevýhodou keramického pojiva je jeho křehkost. Z organických pojiv je výhodné pojivo bakelitové, které je pružné a zároveň odolné proti tahu, takže připouští rychlosti do 60 m.s^{-1} . Ještě větší rychlostí přes 60 m.s^{-1} , se může brousit kotouči s pryžovým pojivem, kterými se dosáhne velké hladkosti povrchu, popř. kotouči s bakelitovými pojivy s textilní vložkou.

Označení používaných brusných kotoučů je **A99 24 N V**. Dle ČSN 22 4010 lze stanovit vlastnosti kotouče.

A99 označuje použité brusivo, jedná se o umělý bílý korund. Tvrdost tohoto materiálu je dle Mohsovy stupnice 9 až 9,5. Tvrdost dle Knoopu 16 350 až 20 850 MPa.

Číslo 24 označuje zrnitost brusiva. Jedná se o hrubá brusná zrna s měrným rozměrem zrna od 800 do 630 μm , používají se především pro hrubování.

Označení N je tvrdost brusiva, jedná se o střední tvrdost.

Písmeno V označuje druh použitého pojiva, keramika.

2.3 Současná technologie broušení

Broušení pružin na současném zařízení probíhá tak, že se pružiny vloží do podávacího kotouče, který postupně všechny pružiny přivádí mezi brusné kotouče. Velikost úběru se nastavuje snížením popřípadě zvýšením vrchních kotoučů, tedy změnou vzdálenosti mezi horními a spodními kotouči. Blíže bude popsána technologie nejpoužívanějších strojů KUNZ M5, kterých se bude týkat možnost zlepšení technologie broušení.

Nevýhodou této technologie je, že se kotouče nerovnoměrně opotřebovávají a na krajích kotoučů dochází k jejich vylamování vlivem rázů pružin do kotoučů, které jsou způsobeny absencí postupného náběhu pružin do záběru. Další nevýhodou je dlouhá doba broušení pružin z důvodu postupného snižování vzdálenosti brusných kotoučů dle požadované délky pružiny. Dále nutnost stálého přeměřování délky pružin mezi jednotlivými úběry na pružinách, které se provádí přiblížením horního kotouče ke spodnímu. Další nevýhodou je velké zahřívání pružin během broušení.

Odvádění spalin a třísek od jednotlivých strojů je realizováno pomocí centrálního odsávání. Nevýhodou současného systému odsávání je, že nemá zařízení na zhášení třísek a vzniká zde riziko vzplanutí třísek, které se nahromadily v určité části potrubí. Ke vzplanutí dojde, když na nahromaděné třísky dopadne rozžhavená tříska od procesu broušení. Z tohoto důvodu je nutné odsávací potrubí pravidelně čistit od těchto nánosů. Možným řešením je instalace zařízení na uhašení vznikajících jisker před vstupem do odsávacího potrubí.

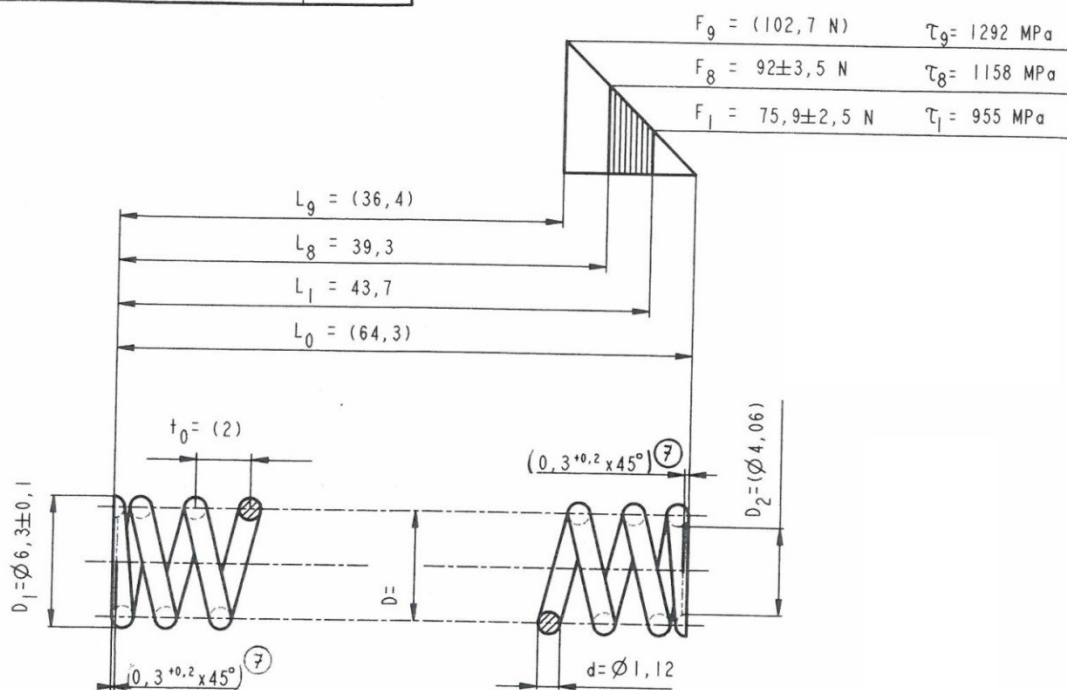
Další nevýhodou starých brusek je, že brusné kotouče nemají postupný náběh brousicích kotoučů. Tento nedostatek se projevuje pobroušením pružin na bocích. Kdy se pružina před vstupem do brusného prostoru nezmačkne, případně, při výstupu se příliš brzy roztáhne.

3. Návrh technologie broušení pružin

V práci budou srovnány dvě možnosti zlepšení technologie broušení pružin. První je úprava technologie broušení na stávajících bruskách s použitím nových brusných kotoučů. Další variantou je koupení nového stroje včetně brusných kotoučů.

Analýzou výrobního sortimentu se zaměříme na zařízení pro broušení nejčastějšího typu pružin z výrobního sortimentu tlačné pružiny 1,12x6,3x64,3x33. Pružina je popsána průměr drátu, průměr pružiny, délka pružiny, celkový počet závitů.

POČET ČINNÝCH ZAVITŮ	31
CELKOVÝ POČET ZAVITŮ	33
SMYSL VINUTÍ	VPRAVO
PRŮMĚR VODIČIHO ČEPU	3,7
PRŮMĚR VODIČI DUTINY	6,5
PRŮMĚR KONTROLNÍHO TRNU	3,7
PRŮMĚR KONTROLNÍHO POUZDRA	6,5
ROZVINUTÁ DÉLKA PRUŽINY	561,5



ZKOUSKY A PROVEROVANI DODAVEK "F" DLE	CSN 02 6002 KAT. VIII /F8, F1 KAT. VII /
HODNOTY PLATI PO 3-NASOBNEM ZATIZENI PRUŽINY	NA DELKU L ₉ PO DOBU 24 HODIN (7)
TEPELNE ZPRACOVANI	NAPUSTENO
KONCOVE ZAVITY (nehodici se skrtnete)	UZAVRENE NEOBROBENE UZAVRENE OBROBENE NA 1/4d OTEVRENE

Materiál PRUŽINOVÝ DRÁT	Kusů
Polotovary EN 10 270-1 D4 (7) $\varnothing 1,12$ DIN 17-223-D	

Obr. 3.1 Výkres poptávané pružiny

3.1 Použití kotoučů s povlakem z kubického nitridu boru na brusce KUNZ M5

Diamantové kotouče – jedná se o formu uhlíku, která krystalizuje v kubické modifikaci o hmotnosti $3,52 \text{ g.cm}^{-3}$. Připravuje se syntézou za vysokých tlaků a teplot. Je to nejtvrdší známý materiál a na Mohsově stupnici má číslo 10. Další výhodou je jeho vysoká tepelná vodivost a odolnost až do teploty 860°C . Za normálních teplot je odolný vůči všem chemickým vlivům. Z důvodů blízké afinity k železu za vysokých teplot není vhodný pro obrábění ocelí. Během broušení vznikají vysoké teploty mezi kotoučem a pružinou. Diamant se využívá pro broušení keramiky, slinutých karbidů, skla a kamene. [21]

Pro potřeby broušení pružin je vhodný kubický nitrid bóru. Jedná se o syntetický materiál, který se vyrábí syntézou za vysokých tlaků a teplot z hexagonálního nitridu boru. Kubický nitrid boru se nachází ve dvou modifikacích v měkké hexagonální a tvrdé kubické mřížce. Je tedy tvořen atomy bóru a dusíku. Každý atom bóru se váže na čtyři atomy dusíku, rozdělenými na vrcholech čtyřstěnu. Má podobné vlastnosti jako diamant. Specifická hmotnost je $3,48 \text{ g.cm}^{-3}$, tvrdost dle Mohse je 9 až 10. Na rozdíl od diamantu má vyšší chemickou stálost a tepelnou odolnost 1500 až 1600°C . Nerozpouští se v běžných rozpouštědlech ani za zvýšených teplot, nerozpouští se ani v roztavených kovech. Používá se především na opracování zušlechťených kalených nástrojových ocelí. Kubický nitrid boru byl vyvinut v roce 1960 v Sovětském Svazu.

V souvislosti se zvyšujícími se požadavky na kvalitu, pevnost a tvrdost konstrukčních materiálu je potřeba vyvinout vhodné materiály pro jejich broušení. Zde má velký význam kubický nitrid boru. Výroba větších monolitických zrn se ukázalo jako neefektivní. Výroba se provádí podobně jako u polykrystalického diamantu v podobě práškové metalurgie. V současné době je možné vyrobit krystaly kubického nitridu bóru až do průměru 6 mm. Kubický nitrid bóru má dostatečnou plastickou pevnost při obrábění legovaných ocelí, titanových a žáruvzdorných slitin.

Výhoda je možnost opracování tvrdých materiálu, které jsou klasickými brusivy těžko obrobitelné nebo neobrobitelné, zlepšení hospodaření s odpady (úspora chladicí kapaliny). Vysoký výkon broušení, vysoká produktivita, životnost, stálost tvaru kotouče, zlepšení

pracovních podmínek. Velkou výhodou je také možnost nanesení nové vrstvy kubického nitridu boru po jeho opotřebení. [21]

Technologie broušení zůstává stejná jako při použití běžných kotoučů. Velikost úběru se realizuje snižováním vzdáleností brusných kotoučů. Výhodou použití těchto kotoučů oproti klasickým je vyšší přesnost broušení. Odpadá nutnost orovnávání kotoučů a snižují se intervaly výměny kotoučů z důvodu delší životnosti.

Výroba kotouče z kubického nitridu boru byla poptána u několika firem pro posouzení cenových nabídek a také produktivity a životnosti kotoučů.

Prvním dodavatelem byla zvolena společnost DIAMA CZ s.r.o. Navržen byl kotouč kubického nitridu boru v pryskyřičné vazbě 14U1 D175 U20 X2 R6 T20 H20 K100 D107P s nosičem bez osazení. Cena za jeden kus kotouče je 6 070 Kč bez DPH.

Další nabídka od společnosti DIA-Praha s.r.o. kotouč pro broušení za sucha s označením 1U1F D175 W20 T20 X2/3 R6 H20 D1070410. Cena tohoto kotouče byla stanovena na 11 056 Kč bez DPH.

Od společnosti Best - Business, a.s. byla vyhotovena nabídka na kotouč 1LL1 175x20x20x3xR6x20 D107 RB3 D100 s cenou 11 600 Kč

Poslední nabídka přišla od společnosti Urdiamant, s.r.o. cena nanesení povlaku B251 pro talíř D225xT40xH51 byla 11 920 Kč bez DPH.

Ceny jsou pouze za nanesení vrstvy z kubického nitridu boru a k této částce je nutno dále připočítat cenu kovového kotouče, na který se tato vrstva nanáší. Cena kovového kotouče je 500 Kč bez DPH. Z těchto cenových nabídek byla zvolena nabídka Urdiamant, s.r.o. z důvodu rychlosti dodání, komunikaci a kvality nabízeného povlaku.

Na základě poptávkového řízení byly objednány dva brusné kotouče D225xT40xH51 od společnosti Urdiamant, s.r.o., kde je vyroben kovový brusný talíř, na který je následně galvanicky nanesená vrstva B251, povlak kubického nitridu boru. Tento povlak se používá pro broušení a hrubování, kde je požadován vysoký výkon broušení. Drsnost povrchu Ra je 1,2. Pojivo je pryskyřičné s tloušťkou brousící vrstvy 1,5 mm. Pryskyřičné pojivo je

nejpoužívanější, vyznačuje se vysokou produktivitou broušení, nízkým vývinem tepla a dobrými samoostřicími vlastnostmi.

3.2 Nákup nového brusného zařízení

Druhá varianta řešení je nákup nové brusky včetně příslušného brusného kotouče. Bruska, která je poptána u dodavatelů brusek bude odpovídat parametrům brusky KUNZ M5 pro možnost náhrady za novější zařízení.

Mezi dodavatele brousicích zařízení pružin patří německá společnost G+M DORN. Firma dodává zařízení pro průměr drátu od 1 mm do 30 mm. Dalším dodavatelem brusek pro broušení pružin je firma WAFIOS, které jsou schopny brousit pružiny s průměrem drátu od 1 do 12 mm. Jako další firma vyrábějící brusky je Bennet Mahler.

3.2.1 Brusky WAFIOS

Počátek firmy sahá až do roku 1893, kdy v oblasti německého Reutlingenu byla založena firma Ernst Wagner, zabývající se výrobou strojů na zpracování drátů. Následně se spojila s firmami Hans Ficker a Otto Schmid a v roce 1914 byla založena firma WAFIOS.

WAFIOS má výrobní závody v Německu a Brazílii, celkově se 770 zaměstnanci. Téměř všechny státy světa mají své obchodní zastoupení. V dnešní době firma vyrábí stroje pro zpracování drátů a trubek.

Jedná se o stroje pro ohýbání drátů a profilových materiálů ve 2D a 3D. Stroje pro ohýbání trubek do průměru 60mm. Rovnací a dělicí stroje na drát a profilový materiál, pružinové automaty, stroje pro broušení konců pružin. Stroje pro výrobu řetězů, hřebíků, válcovačky hřebíků. Stroje pro výrobu čtyřhranného pletiva a ostnatého drátu, stáčení a svařování přesných kroužků, odvíjecí stojany.

Stroje pro broušení konců pružin jsou G6-135, G6-235 a G6-256. Jejich výhodou je výkonný motor a nový koncept větrání. Robustní tělo stroje pohon pro nastavení a měření délky pružiny, což zajišťuje maximální kvalitu a přesnost. Vysoká provozní bezpečnost a dostupnost díky centrálnímu mazání, nastavitelnému ochrannému krytu, brzdě na svislé

ose stroje a programovacímu systému WPS 3.2 EasyWay. Výrazně snižuje náklady díky vyššímu výkonu broušení, zlepšení odsávacího systému a nový design stroje. Pro naše účely je nejvhodnější stroj G6-135.

Bruska WAFIOS G6-135

Tab. 3.1 Parametry stroje [22]

Průměr drátu	1 – 12 mm
Vnější průměr pružiny	max. 140 mm
Délka těla pružiny	350 mm
Brusné kotouče	660 x 120 x 150 mm
Požadavek na prostor	2700 x 3300 x 3100 mm
Hmotnost	8000 kg



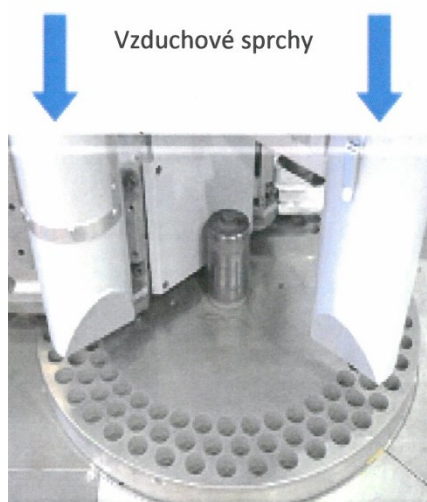
Obr. 3.2 Bruska WAFIOS G6-135 [22]

Funkce stroje

Stroj nabízí zjednodušení vkládání pružin pro automatický výpočet průběhu programu, velmi výkonný orovnávací systém pro snížení vedlejší doby, který je možné provádět i během broušícího procesu. Deflektor částic pro zabránění tvorby nánosu v odsávacím kanálu, vzduchové sprchy pro chlazení pružin. Umožňuje měření teploty pro regulaci broušícího procesu. Rychlost brusných kotoučů až $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro zvýšení produktivity. Dále je vybaven automatickým ukládáním broušených pružin.

Vzduchové sprchy

Jedná se o odvětrávací koncept pro kratší dobu cyklů. Dimenzování broušícího prostoru podporuje simulaci proudění. Výsledkem simulace proudění je menší využívání chlazení zespod, díky kotoučům a vřetenům. Koncept chlazení nakládacích talířů k bočnímu chlazení pružin v broušícím prostoru. Dvě vzduchové sprchy k chlazení pružin během procesu broušení prostřednictvím aktivního přívodu vzduchu. Umístění vzduchových sprch se automaticky přizpůsobí délce pružiny. Dochází tak ke zvýšení efektivity díky kratším dobám cyklu s optimalizovaným konceptem chlazení.

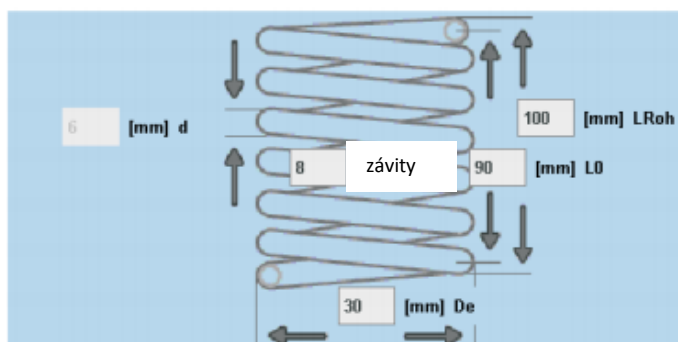


Obr. 3.3 Vzduchové sprchy brusky G6-135 [22]

Zjednodušené podávání pružin k automatickému výpočtu průběhu programu

Automatický výpočet průběhu programu na základě geometrických údajů je základ pro individuální nastavení procesu broušení. Kratší doba až do broušení prvního kotouče pomocí nové geometrie pružin. Umožňuje zadání surového rozměru, vnějšího průměru a počtu vinutí. Přiřazení průměru drátu podle katalogu s materiálem. Průběh programu je počítán automaticky v závislosti na geometrii pružin. Dochází ke zvýšení efektivity díky kratšímu času přípravy díky zjednodušenému vkládání pružin.

Geometrie pružin



Váha materiálu

	hmotnost [g]	počet [Stk]
nebroušená	0	1
broušená	0	1
Odstraněno z pružiny	0	0
	hmotnost [g]	objem [cm ³]
	0	0

Katalog materiálu

označení	index	komentář	výrobce	průměr	síla
4 mm Draht	0			4	0
6 mm Draht	0			6	0
8 mm Draht	0			8	0

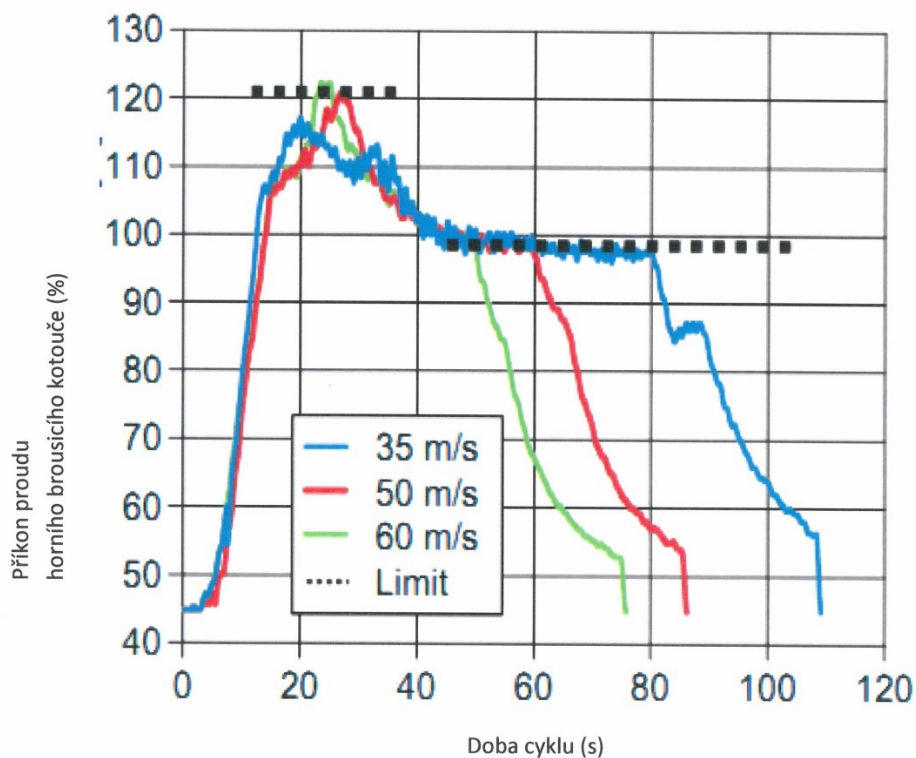
Procesní údaje

Nr.	[mm]	IV [%]	IF [%]	[m/s]	[m/s]	[U/min]	[s]		
1	100	100	120	35	35	50			
2	99	50	90						
3	98	40	81						
4	97	30	72,9				20		
5	96								

Podmínky pro broušení konců pružin s rychlostí $63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ podle DIN EN 13218

Musí být zajištěn broušící prostor. Nutno dodržet předepsanou tloušťku plechu. Měníče a monitory musí dosahovat potřebného točivého momentu a počtu otáček. Aby mohly být broušící kotouče schváleny pro tyto rychlosti broušení, musí úspěšně absolvovat test průtažnosti (dnes jsou k dispozici broušící kotouče do $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Stroje WAFIOS G6 na broušení konců pružin splňují požadavky pro broušení s rychlostí $63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Srovnání výsledků broušení při rychlosti broušících kotoučů $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s omezením točivého momentu. Omezení točivého momentu se provádí pomocí omezení příkonu proudu horního broušícího kotouče. $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vede ke kratší době cyklu a tím také ke zvýšení efektivity.



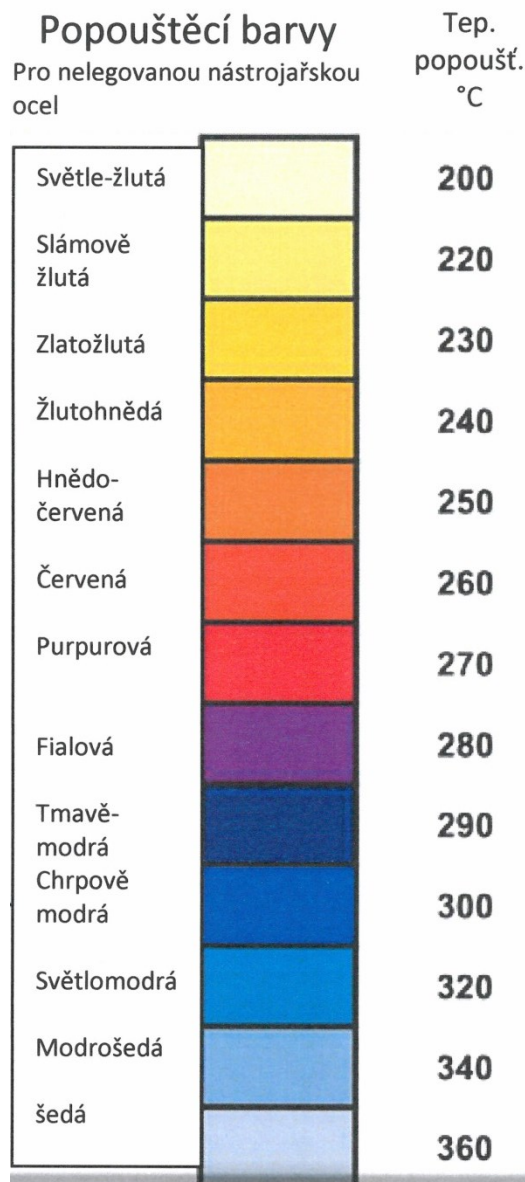
Graf 3.1 Srovnání výsledků broušení $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [25]

Dimenzování procesu broušení – křehnutí do modra při broušení konců pružin

Pokud má pružina dostatečnou pevnost, zpravidla se maximální rychlost broušení omezí pomocí přípustné teploty pružiny. K výskytu popouštěcích barev tvorbou oxidů dochází s tzv. křehnutím do modra (nazýváno také křehnutí $300 \text{ }^\circ\text{C}$). K optimalizaci dochází zpravidla v poslední třetině brusného procesu při nízkém brusném výkonu.



Obr. 3.4 Popouštěcí brava pružin při broušení [25]

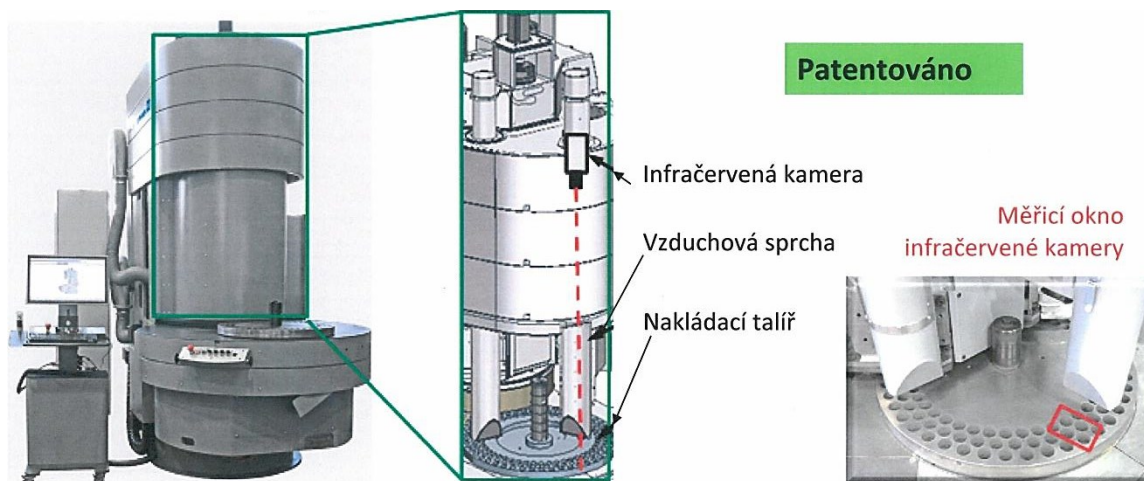


Obr. 3.5 Popouštěcí barvy pro nelegovanou ocel [25]

Stav vývoje teplotně řízeného broušení

Odhad teploty pružiny, která se nachází v procesu, na základě popouštěcích barev po ukončení procesu broušení.

Novým přístupem je měření teploty během procesu broušení. Integrace infračervené kamery do pružinové brusky. Cílem je odvození optimální teploty broušení na základě rozložení teploty během doby cyklu. Dále získání zpětné vazby křivky závislosti teploty na čase za účelem regulace broušicího procesu. Důsledkem je zvýšení ekonomičnosti prostřednictvím optimalizace doby cyklu a zabránění tvorby zmetků. Měření teploty pružin se provádí mezi kotouči.



Obr. 3.6 Schéma infračerveného měření teploty pružiny během procesu [25]

Cena stroje G6-135 je 2 890 540 Kč bez DPH včetně kotoučů z CBN. Cena zaškolení obsluhy je 15 000 Kč bez DPH.

3.2.2 Brusky BENNETT MAHLER

Na základě zaslaného výkresu a vyrobených vzorků pružin firma nabídla dva typy brusek. BENNETT CG-350 CRASH GRINDER a kompletně repasovaný stroj BENNETT SG1-14 SPRING END GRINDER.

Bruska Bennett CG-350

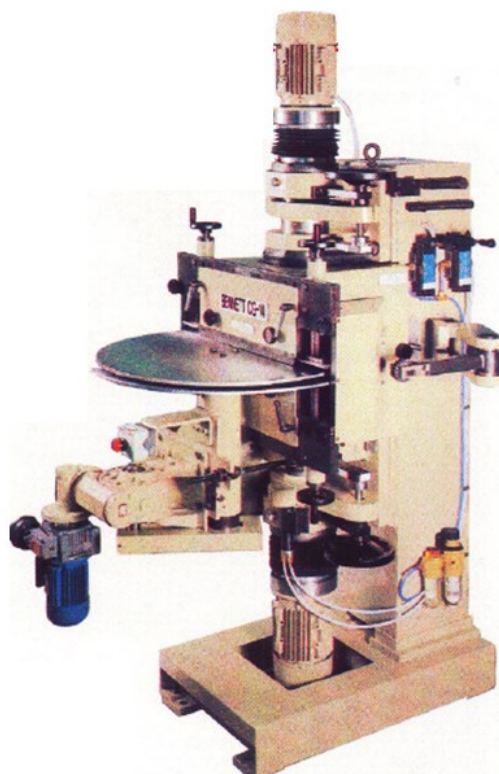
Bruska umožňuje funkci průjezdu pružin za středem broušícího kotouče. Což vede k navýšení životnosti brusných kotoučů. Navýšení produktivity o 30 až 70%. Navýšení hodnoty maximálního průměru pružiny až o 54%. 50% snížení rychlosti orovnávače zvyšuje jeho životnost při stejném času orovnávání.

Ke stroji je možné dokoupit systém automatického nakládání pružin. Kdy jsou pružiny pomocí hadiček přiváděny přímo do podávacího talíře. Tento systém umožňuje brousit současně velké množství pružin. Ke stroji je možné dokoupit také odsávání prachu.

Stroj je schopen brousit maximální průměr drátu 3,6 mm. Maximální průměr pružiny 70 mm. Délku pružiny 152 mm na nových neobroušených kotoučích a na obroušených až 203 mm. Výška stroje je 2 134 mm, šířka 965 mm a hloubka 1 170 mm. Hmotnost stroje je 1 207 kg.

Kapacita stroje je až 20 000 pružin za hodinu s odchylkou kolmosti do 2° s použitím automatického ukladače pružin a až 5 000 pružin při obsluze jednou osobou. Výkon stroje je 1,5 kW. Stroj umožňuje naklápění horního kotouče ve směru otáčení stolu. Naklopením dojde eliminaci nárazů pružin na hranu kotouče při vstupu pružiny mezi pár kotoučů. Dochází tak ke zvýšení životnosti kotoučů a zlepšení kolmosti pružin.

Bruska bude dodána s jedním párem brusných kotoučů, včetně dopravy a záruky 12 měsíců. Za cenu 1 482 000 Kč bez DPH. Cena podávacího zařízení je 98 800 Kč bez DPH. Cena za zaškolení obsluhu na stroji je 5 000 Kč bez DPH.



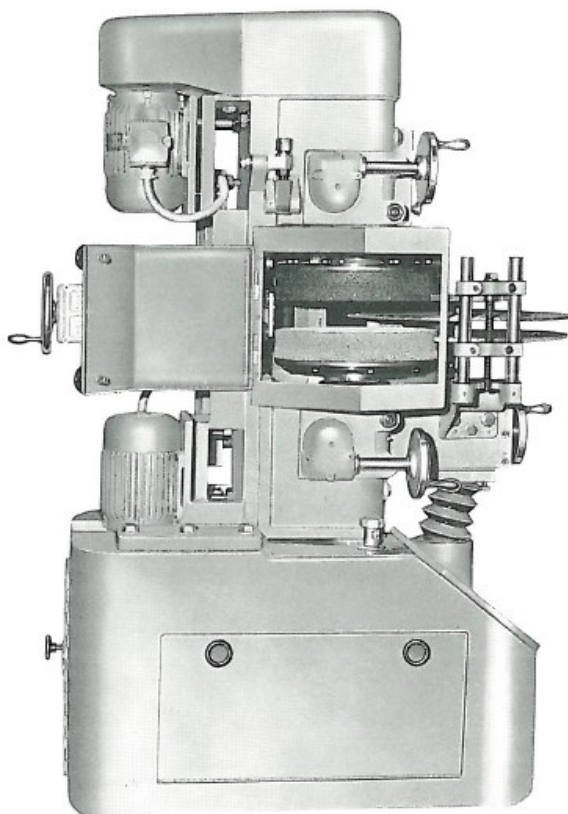
Obr. 3.7 Bruska Bennett CG-350 Crash Grinder [24]

Bennett SG1-14

Jedná se o repasovaný stroj s brusnými kotouči průměru 350 mm s možností naklopení horního kotouče. Stoj má vestavěné ampérmetry pro snímání zatížení horní a dolní hlavy. Přesnost nastavení horního a spodního kotouče je zajištěno tvarovým stykem. Možnost plynulého seřízení rychlosti. Jednoduchý způsob seřízení brusky. Nabízí také napojení na odsávací zařízení.

Průměr drátu pro ekonomické broušení je maximálně 2,3 mm, stroj je však schopen brousit až do průměru drátu 6,4 mm. Maximální průměr pružiny 38 mm a délka 140 mm. Výška stroje je 1 675 mm, šířka 1 030 mm a hloubka 1 450 mm. Hmotnost stroje je 1 520 kg. Kapacita stroje je 1 500 kusů za hodinu. Výkon stroje je 1,5 KW.

Cena této brusky včetně dopravy a sestavení je 666 400 Kč bez DPH. Cena zaškolení obsluhy je 5 000 Kč bez DPH.



Obr. 3.8 Bruska Bennett SG1-14 [24]

3.2.3 Bruska G+M DORN

Této firmě byl taktéž zaslán výkres pružiny včetně vzorků a na jejich základě firma nabídla odpovídající zařízení pro broušení. Firma nabídla stroj DR 300 a větší stroj DR 400.

Stroj DR 300/CBN

Zařízení poskytuje vysokou úroveň uživatelské přívětivosti. Dotykovou ovládací obrazovku. Snadnou výměnu brusných kol. Rychlé seřízení a nastavení nových pružin. Elektronicky řízené načasování desky pro automatické podávání pružin. Ergonomický design a robustní konstrukce.

Stroj obrousí průměr drátu od 0,3 po 2 milimetry, maximální délka pružiny 110mm. Průměr podávacího talíře 250 nebo 420 mm. Průměr brusného kotouče 300 mm. Kapacita stroje je 10 000 ks pružin za hodinu s použitím automatického podavače. V případě ručního podávání je kapacita 5 000 ks za hodinu. Brusný kotouč vydrží obrousit asi 1 milion kusů pružin, v závislosti na dodavateli kotouče.

Bruska má plně elektronicky řízený provoz. Na bruskách lze použít malé podávací talíře a také velké podávací talíře. Umožňuje rychlé seřízení a rychlou výměnu brusných i podávacích kotoučů. Tato možnost umožňuje větší flexibilitu a efektivitu výroby.

Cena brusky je 1 198 400 Kč bez DPH včetně kotoučů z kubického nitridu boru průměru 300 mm a podávacím kotoučem 250 nebo 420 mm. Cena automatického podávacího zařízení je 80 890 Kč bez DPH.



Obr. 3.9 Bruska DR 300/CBN [23]

Stroj DR 400/CBN

Funkce stroje jsou programovatelné ovládání. Rychlé nastavení broušení různých druhů pružin. Elektronicky synchronizované zatížení desky automatického podávacího systému. Široká škála broušených pružin. Možnost různého zatížení podávací desky. Ergonomický design a pevná konstrukce.

Bruska je schopna obrousit průměr drátu 1,5 až 3 mm v závislosti na konfiguraci stroje. Délka pružin až 100 mm. Průměr podávacího kotouče 420 nebo 580 mm. Průměr brusného kotouče 400 mm. Kapacita stroje je 10 000 ks pružin za hodinu s použitím automatického podavače. V případě ručního podávání je kapacita 5 000 ks za hodinu. Brusný kotouč vydrží obrousit asi 1 milion kusů pružin, v závislosti na dodavateli kotouče.

Stroj má plně elektronicky řízený provoz. Dokáže obrousit větší průměr drátu na jeden průchod pružiny bruskou. Elektronické ovládání, snadná manipulace a programování. Jedná se o velmi robustní stroj, kotouče se používají z kubického nitridu boru.

Cena brusky je 1 475 600 Kč bez DPH, včetně brusných kotoučů průměru 400 mm z kubického nitridu boru. Podávací kotouč 420, nebo 580 mm. Cena automatického podávacího zařízení je 91 540 Kč bez DPH.



Obr. 3.10 Bruska DR 400/CBN [23]

4. Technicko-ekonomické zhodnocení technologie

V této části práce dojde ke srovnání a zhodnocení, nákladů a produktivity při použití nových brusných kotoučů z kubického nitridu boru, případně nákup nového zařízení oproti současné technologii broušení na stávajícím zařízení a kotoučích. Pro ekonomické zhodnocení budu počítat režijní náklady pracovníka 150 Kč/hod. Cenová kalkulace bude provedena pro roční odběrné množství 1 000 000 ks pružin.

Pro srovnání bude použita tlačná pružina 1,12x6,3x64,3x33, parametry pružiny: průměr drátu, průměr pružiny, délka pružiny, počet závitů. Materiál pružiny je EN 10270-1 DH. Experiment bude proveden na výrobní dávce 2750 kusů pružin. 1000 kusů pružin bude obroušeno na brusce KUNZ M5 pomocí kotoučů s keramickým pojivem, druhých 1000 kusů na kotoučích s kotoučem z kubického nitridu boru. Zbýlých 750 kusů bude odesláno do firem G+M Dorn, Bennet Mahler a Wafios. V těchto firmách provedou volbu vhodného brusného zařízení a obroušení 250 kusů pružin pro srovnání výchozích parametrů pružin.

U pružin broušených pomocí stávajícího zařízení bude provedeno srovnání drsnosti broušeného povrchu v metalografické laboratoři a další parametry pružin, které jsou dány výkresem.

Charakteristika materiálu pružin

Materiál EN 10270-1DH. Jedná se o patentovaný drát tažený za studena, drát tažený na rozměr deformací výchozího materiálu za studena, který byl podroben tepelnému zpracování patentováním, který má svou strukturu pro následné válcování nebo tažení.

Tab. 4.1 Chemické složení oceli v %

Druh oceli	C	Si	Mn	P	S	Cu
DH	0,45 – 1	0,1 – 0,3	0,4 – 1,2	0,02	0,025	0,12

Mechanické vlastnosti pro průměr drátu 1,12 mm

Pevnost v tahu $R_m = 1910 - 2140$ MPa

Minimální kontrakce po lomu $Z = 40\%$

Minimální počet krutů při zkoušce krutem $N_t = 25$

Přípustná hloubka povrchových vad maximálně 1% z průměru drátu

Přípustná hloubka oduhličení maximálně 1,5% z průměru drátu

4.1 Broušení na stroji KUNZ M5 na kotoučích s keramickým pojivem

Použity byly kotouče s označením **A 99B**. Jedná se o umělý bílý korund.



Obr. 4.1 Kotouč z umělého bílého korundu A 99B

Broušení bylo provedeno na výrobní dávce 1000 kusů s rychlostí 1000 ks/ 60 min. Při broušení pružin pomocí klasických kotoučů je potřeba provádět jejich orovnávaní každých 500 kusů obroušených pružin. Orovnávaní zahrnuje vypnutí stroje, odsunutí vodící desky stroje a postupné orovnaní horního a spodního kotouče. Po orovnaní kotoučů je nutné vrátit zpět vodící desku a zabezpečit ji proti pohybu pomocí zabezpečovacího šroubu. Celá operace orovnávaní a sestavování stroje při výrobní dávce 1000 kusů trvá 15 minut.

Nevýhodou použití klasických kotoučů je, že je možné je používat jen do jedné poloviny jejich tloušťky a poté je nutné je vyhodit. Použití kotoučů pouze do jedné poloviny je dáno možností vzájemného přiblížení brusných kotoučů. Jejich maximální přiblížení odpovídá zhruba jedné polovině brusných kotoučů. Používání kotoučů pouze do jedné poloviny je také dáno jejich bezpečností, kdy při větším opotřebení by mohlo dojít k prasknutí a rozpadnutí celého kotouče.

Další nevýhodou je nutnost kontrolovat a seřizovat brusky každých 5 minut v průběhu broušení nastavení vzdálenosti obou brusných kotoučů. Tato kontrola je dána postupným úběrem materiálů z brusných kotoučů a nestabilitou stroje.

Cena jednoho kotouče je 410 Kč bez DPH.

4.2 Broušení na stoji KUNZ M5 pomocí kotouče z kubického nitridu boru

Broušení výrobní dávky 1000ks pomocí kotouče z kubického nitridu boru probíhá rychlostí 1000 ks/60 min. Při použití kotoučů z kubického nitridu boru je nutné kontrolovat průběh broušení a seřizování vzdálenosti kotoučů každých 35 minut. Celkový čas potřebný pro přípravu kotoučů z kubického nitridu boru pro výrobní dávku 1000ks je 5 minut.

Výhodou kotouče z kubického nitridu boru je jeho trvanlivost, kdy pro obroušení stejného počtu pružin spotřebujeme jeden kotouč z kubického nitridu boru a pět kotoučů s keramickým pojivem.

Po obroušení povlaku z kubického nitridu boru je možné na kotouč znovu nanést novou vrstvu. Nesmí však dojít k příliš velkému zbroušení povrchu, kdy již vrstva kubického nitridu boru nanést nelze. Je nutné tedy kontrolovat povrch kotoučů.

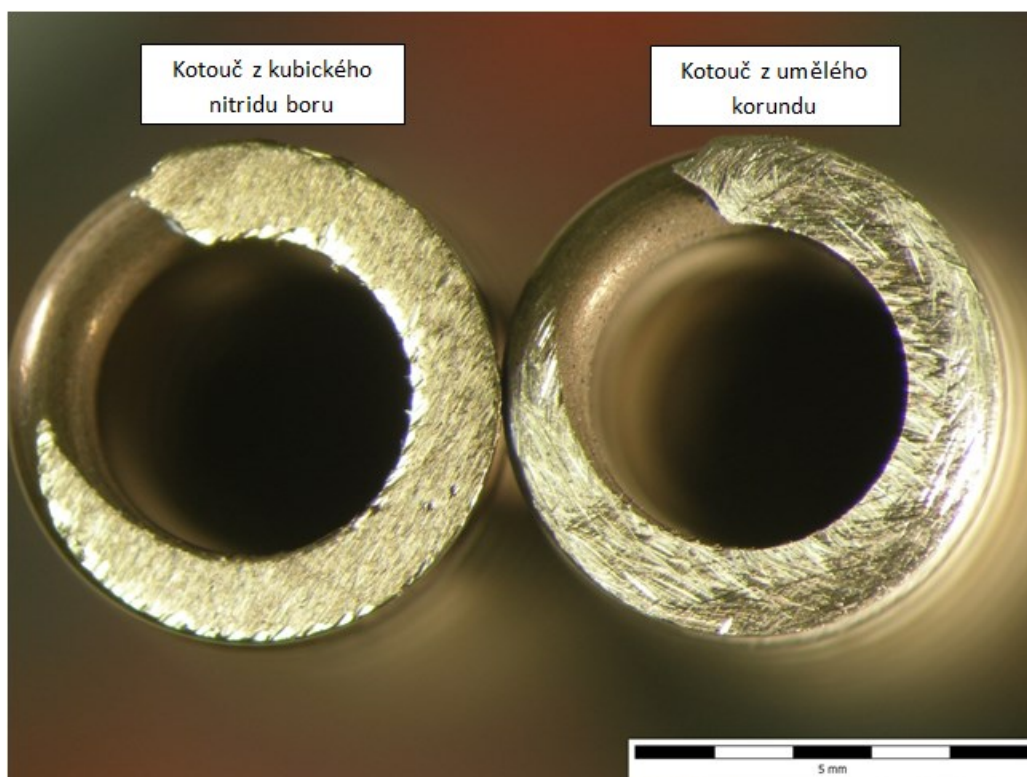
4.3 Technické zhodnocení obou variant broušení

Hodnoty počtu obroušených pružin byly stanoveny na základě sledování výroby na bruskách a jejich záznamem. Doby výměny kotoučů a vedlejších časů byly taktéž určeny na základě pozorování.

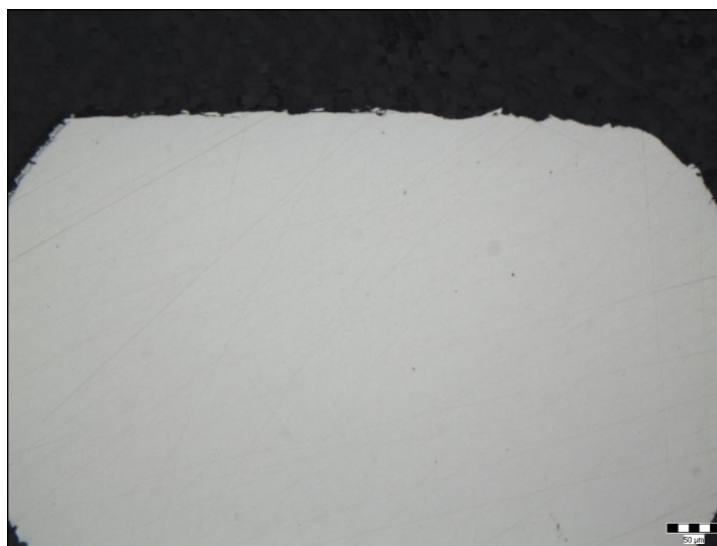
Kotouče z umělého korundu obrousí 74 709 kusů pružin. Poté je nutné oba kotouče vyměnit doba výměny je 20 min. Každých 500 kusů je nutné je orovnat. Čas potřebný pro orovnění a znovu seřízení kotoučů je 15 minut. Dále je nutno brusky každých 5 minut kontrolovat a seřídít.

Kotouče z kubického nitridu boru obrousí 500 000 ks pružin. Kotouče není nutné orovnat. Kontrolu brusek je nutné provádět každých 30 minut. Doba výměny kotoučů je 20 min.

Součástí experimentu bylo také porovnání vzniklého broušeného povrchu pomocí kotouče z umělého korundu a kubického nitridu boru. Pozorování bylo provedeno v metalografické laboratoři.



Obr. 4.2 Snímek povrchu pružin při zvětšení 12,5x



Obr. 4.3 Povrch po kotouči z umělého korundu na příčném řezu při zvětšení 200x



Obr. 4.4 Povrch po kotouči z kubického nitridu při zvětšení 200x

Z obrázku 4.3 a 4.4, kde je proveden příčný řez broušeného povrchu, je pouhým okem patrné, že povrch po broušení CBN je mnohem kvalitnější bez velkých nerovností.

4.4 Srovnání výrobních nákladů pro roční dávku 1 000 000 ks pružin na starých bruskách

Požadované parametry pro výrobu pružin splňují všechny poptané i současné způsoby broušení. Z tohoto důvodu bude provedeno srovnání výrobních nákladů na dávku 1 000 000 ks pružin, které odpovídají ročnímu odběrnému množství.

4.4.1 Srovnání výroby na současném zařízení s použitím různých kotoučů

Ve srovnání bude uvažováno s životností jednotlivých kotoučů, jejich pořizovací cenou a potřebném času pro výrobu 1 000 000 ks pružin. Režijní náklady stroje jsou $500 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$

Tab. 4.2 Srovnání výroby 1 000 000 ks pružin

Parametr	Druh kotouče	
	Umělý korund	CBN
Potřebný výrobní čas	1 000 h	1 000 h
Čas na seřízení orovnaných kotoučů	3,5 h	0 h
Výměna kotoučů	4,67 h	0,67 h
Četnost kontroly stroje	200 x 5 min	40 x 5 min
Četnost orovnávaní	2 000 x 15 min	0 x
Spotřeba kotoučů	14 x 2	2 x 2

Při srovnání výroby na jednotlivých strojích je nutné brát v potaz, že počítáme pouze s časy při výrobě jedné položky, ale na strojích se budou vyrábět i jiné zakázky.

Tab. 4.3 Celkové náklady pro výrobu 1 000 000 ks pružin bez energií

	Umělý korund	CBN
Náklady na výrobu	500 000 Kč	500 000 Kč
Seřizování orovnaných kotoučů	525 Kč	0 Kč
Výměna kotoučů	700,5 Kč	100,5 Kč
Kontrola stroje	2 500 Kč	500 Kč
Orovnávání kotoučů	75 000 Kč	0 Kč
Spotřeba kotoučů	11 480 Kč	69 600 Kč
Celkové náklady	578 725,5 Kč	570 200,5 Kč

K celkovým nákladům na výrobu 1 000 000 ks pružin je nutné také připočítat úsporu času během broušení. Za předpokladu, že by na stroji byla broušena pouze tato pružina na jedno počáteční seřízení a pouze by se vyměňovaly neobroušené pružiny, můžeme vypočítat rozdíl v časech broušení. Tento čas, který uspoříme použitím kotoučů z CBN můžeme použít pro broušení jiného typu pružin a dalších finančních zisků. Pro výrobu 1 000 000 ks pružin pomocí kotouče z umělého korundu je potřeba 1 524,84 h. Při použití kotoučů z CBN je potřebný čas 1 004 h. Celkový rozdíl časů je tedy 520,84 h ve prospěch kotoučů z CBN.

Úspora financí při použití kotoučů z CBN je 8 525 Kč.

4.5 Výroba 1 000 000 ks pružin na nových bruskách

Cenové nabídky na nové brusné zařízení byly zaslány od tří výrobců, G+M DORN, Wafios a Bennett Mahler. Firmy nabídly různé typy stojů, které se liší rozsahem použití, výrobní kapacitou a také možností využití automatického podavače. Kapacita stoje s využitím podavače je u některých zařízení více než dvojnásobná oproti obsluze jednou osobou.

Stroj Bennett Mahler SG1-14 není příliš vhodný, jedná se o starší repasované zařízení, na kterém nejsme schopni dosáhnout jakosti povrchu a přesností při broušení pružin jako u nových zařízení. Jeho další nevýhodou je nízký stupeň automatizace a nemožnost použití automatického podavače.

Tab. 4.4 Kompletní cenové srovnání

Položka	Cena v Kč bez DPH				
	G+M DORN		Wafios	Bennett Mahler	
Typ stroje	DR 300/CBN	DR 400/CBN	G6-135	CG-350	SG1-14
Cena stroje	1 198 400	1 475 600	2 890 540	1 482 000	666 400
Podávací zařízení	80 890	91 540	0	98 800	Nedodává se
Kotouče CBN	0	0	0	34 800	34 800
Zaškolení obsluhy	0	0	15 000	5 000	5 000
Celková cena	1 279 290	1 567 140	2 905 540	1 620 600	706 200

Tab. 4.5 Srovnání výroby 1 000 000 ks pružin

	G+M DORN		Wafios	Bennett Mahler	
Typ stroje	DR 300/CBN	DR 400/CBN	G6-135	CG-350	SG1-14
Výrobní čas bez podavače	200 h	200 h	-	200 h	667 h
Výrobní čas s podavačem	100 h	100 h	60 h	80 h	-
Výdrž kotouče z CBN	1 000 000 ks	1 000 000 ks	1 200 000ks	1 100 000 ks	700 000ks

Tab. 4.6 Celkové náklady na výrobu 1 000 000 ks pružin bez energií

	G+M DORN		Wafios	Bennett Mahler	
Typ stroje	DR 300/CBN	DR 400/CBN	G6-135	CG-350	SG1-14
Mzdové náklady bez podavače	30 000 Kč	30 000 Kč	-	30 000 Kč	100 050 Kč
Mzdové náklady s podavačem	15 000 Kč	15 000 Kč	9 000 Kč	12 000 Kč	-
Náklady na kotouče	34 800 Kč	34 800 Kč	28 884 Kč	31 320 Kč	49 764 Kč
Minimální celkové náklady	49 800 Kč	49 800 Kč	37 884 Kč	43 320 Kč	149 814 Kč

Uvedené hodnoty byly zaslány firmami na základě zkušební broušení zaslanych pružin. Minimální náklady bez energií se spotřebou kotouče na 1 000 000 ks pružin má stroj Wafios G6-135 v hodnotě 37 884 Kč, kdy oproti nákladům s použitím starých brusek a kotouči z umělého korundu je rozdíl 540 841,5 Kč.

Stroj Wafios G6-135 je nejvýkonnější ze všech nabízených brusek. Nabízí pouze automatické podávání pružin s výkonem broušení až 20 000 ks pružin za hodinu. Umožňuje plně automatické seřizování brusného procesu na základě sledování teploty pružin během broušení a požadovaným parametrům pružin. Součástí stroje je automatický chladič systém, který pomocí trysek se stlačeným vzduchem ochlazuje pružiny. Chlazení pružin umožňuje dosáhnout vysoké přesnosti pružin při zachování struktury materiálu. Dochází k minimálnímu teplenému ovlivnění materiálu. Možnost chlazení má význam především při broušení pružin z materiálu EN 10270-3 1.4310 NS. Při klasickém broušení nerezového materiálu dochází vlivem vysokých teplot při broušení k roztahování závěrných závitů pružin především u průměru drátu nad 2,5 mm. Pro současné požadavky výrobního sortimentu pérovny není vhodný nákup tohoto stroje z důvodu vysoké ceny a nadstandartním výrobním možnostem, které by nebyly využity.

Z celkového srovnání všech strojů vyplývá jako nejvhodnější varianta použití stroje DORN DR 300/CBN. Rozsah stroje nejlépe odpovídá plánovanému výrobnímu sortimentu pro nákup nového zařízení. Kapacita stroje je 5 000 ks pružin za hodinu v případě ručního podávání pružin jednou osobou, při dokoupení automatického podavače až 10 000 ks. Použitím automatického podavače odpadá nutnost stálé přítomnosti obsluhy stroje. Stačí pouze nastavit požadované parametry pružin a vložit pružiny do zásobníku.

5. Závěrečné zhodnocení

Srovnáním výroby na stávajících bruskách s použitím kotoučů z umělého korundu a CBN je výhodnější použití kotoučů z CBN. Při započtení pouze nákladů na nákup kotoučů a nákladů spojených s obsluhou stroje během výroby 1 000 000 ks pružin je spotřeba kotoučů z umělého korundu 14x2 kotouče a v případě použití kotoučů z CBN pouze 2x2 kotouče.

Při použití kotoučů z umělého korundu je nutné jejich orovňávání, které při výrobě 1 000 000 ks je nutné provádět 2000 x, tedy po každých 500 obroušených kusech a čas potřebný pro jedno orovňání je 15 minut. Celkový čas potřebný pro orovňávání kotoučů je tedy 500 h a náklady na pracovní sílu pro orovňávání kotoučů je 75 000 Kč. Celkový čas pro seřizování orovnaných kotoučů je 3,5 h a náklady 525 Kč. Orovňávání kotoučů a jejich opětovné použití je možné pouze do jejich jedné poloviny. Při odebrání kotoučů za jejich polovinu tloušťky jsou kotouče již nepoužitelné a musejí se vyměnit. Použití kotoučů pouze do jedné poloviny je dána maximálním vzájemným přiblížením kotoučů a bezpečnosti kotoučů spojenou s jejich minimální tloušťkou. Tato nutnost časté výměny kotoučů je spojena s náklady na jejich výměnu. Celkový čas potřebný pro výměnu kotoučů je 3,5 h a náklady na výměnu jsou tedy 700,5 Kč. Vlivem rychlého opotřebení kotoučů je nutná také častá kontrola seřizování stroje. Kontrola a seřizování stroje trvá 5 minut. U naší výrobní dávky je tedy celkový čas 50 h a náklady 2 500 Kč.

V případě kotoučů z kubického nitridu boru není potřeba kotouče orovňávat. Na dávku 1 000 000 ks pružin je potřeba pouze čtyř kotoučů, čas potřebný pro výměnu je tedy 0,67 h a náklady 100,5 Kč. Vzhledem k tomu, že se kotouče téměř neopotřebovávají, není nutná tak častá kontrola a seřizování během broušení a postačuje kontrola pouze jednou za 35 minut. Celkově 40x po 5 minutách s náklady 500 Kč.

Po započtení nákladů na nákup 28 kotoučů z umělého korundu v ceně 11 480 Kč a 4 kotoučů z kubického nitridu boru v ceně 69 600 Kč a započtení výrobních nákladů je výhodnější použití kotoučů z CBN o 8 525 Kč. Kromě finanční úspory je v případě použití kotoučů z CBN také časová úspora 520,84 h při stejném výrobním množství. Tento uspořený čas lze využít k dalšímu broušení pružin a zvýšení výrobních možností brusírny. Použitím kotoučů z CBN dosahujeme také lepších jakostních parametrů pružin jako je

kolmost, snadnější udržení tolerancí volné délky pružin a celkový parametr drsnosti povrchu.

Nejvhodnější variantou návrhu technologie broušení pružin je nákup nového brusného zařízení. Odpadá kontrola zařízení během procesu broušení, což vede ke snížení celkovým nákladům na výrobu pružin. Obsluha stroje pouze nastaví parametry pružin a v případě automatického podavače nasype pružiny do zásobníku. V průběhu broušení může obsluhovat jiné zařízení a vzniká tedy více strojová obsluha. Nevýhodou podavače je, že pro každý rozměr pružiny musí být dodáno speciální příslušenství pro přívod pružin do brusky. Proto je vhodné použití podavače pouze u velkých sériových dodávek.

Proti současné technologii broušení na stávajících bruskách i v případě použití kotoučů z kubického nitridu boru s kapacitou 1 000 ks za hodinu je mnohem produktivnější. Kapacita stroje DORN DR 300/CBN je 5 000 ks za hodinu, s použitím automatického podavače až 10 000 ks za hodinu. Další výhodou je zvýšená životnost brusných kotoučů, vlivem postupného náběhu. Životnost kotoučů z CBN na starých bruskách je asi 500 000 ks pružin a na nových bruskách je přes 1 000 000 ks pružin.

Nákupem nové brusky se zvýší výrobní možnosti brusírny až 10x. Uvolněním výrobních kapacit je možné zvýšit objem broušených pružin. Zvýšení kapacity je největším přínosem nové brusky vzhledem k nákupům nových navíjecích automatů a zvyšováním celkového objemu výroby. Současný stav zařízení na brusírně je nedostačující a je tudíž nejužším místem celého výrobního procesu pérovny. V současné době se kapacita brusírny uměle navyšuje využíváním přesčasové práce.

Rychlost broušení přináší úspory v energiích, protože stroj je v chodu kratší dobu a moderní motory mají nižší spotřebu. Finanční úspory vznikají také v nákladech na pracovní sílu, kde není potřeba platit přesčasovou práci. Rozdíl mezi broušením na starých bruskách s kotouči z CBN a broušením na stroji DORN DR 300/CBN je 520 400,5 Kč. Uspořený čistý výrobní čas bez započtení času na seřizování stroje, orovnávaní kotoučů a dalších potřebných úkonů je 9 900 hodin.

Použité zdroje

- [1] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. Technologie II. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 142 s. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [2] BESEDA, Vojtěch. Technologie broušení. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Milan Kalivoda.
- [3] ZOZEI [online]. 2012 [cit. 2014-10-8]. Dostupné z: <http://zozei.sssebrno.cz/brouseni---podstata-brousici-nastroje-tvary-a-znaceni-kotoucu/#content1108>
- [4] HLUCHÝ, Miroslav a Stanislav SLANEC. Strojírenská technologie 2: polotovary a jejich technologičnost, základy obrábění. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979, 404 s.
- [5] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. Nové směry v progresivním obrábění. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [6] BARTOŇOVÁ, Renáta. Technologie broušení [online]. 2012 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf
- [7] FORCH [online]. 2009 [cit. 2014-10-8]. Dostupné z: <http://www.foerch.sk/product.aspx?p=f7794759-0658-4408-b82e-ea88fc6d7fd9&g=1a9fa594-3262-475e-a7bf-28c9b3661d5c>
- [8] HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [9] HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf.

- [11] MASLOV, J. Teorie broušení kovů. 1. vyd. Praha SNTL, 1979, 246 s.
- [10] ZOZEI. [online]. 2012 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: <http://zoei.sssebrno.cz/brouseni---zpusoby/>
- [12] ŘASA, Jaroslav; Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 1. vyd. Praha: Scientia, spol s.r.o., 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [13] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; NOVÁK-MARCINČIN, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění III. Část – Technologia obrábania*. Žilina: Media/ST s.r.o. Žilina, 2006, 214 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [14] WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performace*. Gainesville, Florida: Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.
- [15] VASILKO, Karol. *Analytická teória treskového obrábania*. Prešov: COFIN Prešov: COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [16] HOLEŠOVSKÝ, František. Broušení a jeho vliv na vlastnosti povrchu: teze inaugurační přednášky ke jmenovacímu řízení profesorem v oboru Strojírenská technologie. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 43 s. ISBN 978-80-248-1644-9.
- [17] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0–19–514206–3.
- [18] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání* 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978–80–8070–711–8.
- [19] STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU. J. S. *Metal cutting theory and practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0–8247–9579–2.

- [20] *Detailní technologický postup pro VJ Pérovna*. 2012. Bohumín.
- [21] Urdiamant s.r.o. *Urdiamant, s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.urdiamant.cz/index.php?a=cat.4>
- [22] WAFIOS. *WAFIOS* [online]. 2015 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.wafios.com/en/machinery/produktgruppe/spring-end-grinding-machines/>
- [23] G+M Dorn.. *G+M Dorn* [online]. 2013 [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://www.gmdorn.de/index.php/de/produkte.html>
- [24] Bennett Mahler. *Bennett Mahler* [online]. 2011 [cit. 2015-03-8]. Dostupné z: <http://www.bennettmahler.com/g1home.html>
- [25] *Manuál stroje Wafios G6-135*. 2014. Praha.