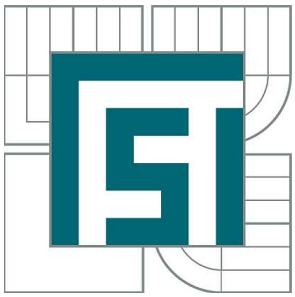
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POROVNÁNÍ VRTACÍCH PROCESŮ NA VZORCÍCH MATERIÁLŮ

COMPARISON OF THE DRILLING PROCESS ON SAMPLES OF MATERIAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — MICHAL FURCH
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. MILAN KALIVODA
SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Furch

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

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

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

Porovnání vrtacích procesů na vzorcích materiálů

v anglickém jazyce:

Comparison of the drilling process on samples of material

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pojednání o vrtacích technologiích. Problematika vrtacích strojů včetně přípravků. Přehled nástrojů pro vrtání. Návaznost na nástrojové materiály. Provedení vrtacích operací na vzorcích součástí (materiálů). Zhodnocení navržených situací.

Cíle bakalářské práce:

Znalost problematiky vrtacích operací. Orientace v sortimentu nástrojů. Schopnost realizovat navržené procesy na konkrétních strojích. Zhodnocení v podmínkách firmy.

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

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

V Brně, dne 24.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Již podle názvu můžeme usoudit, že tato rešeršní práce se zabývá porovnáním vrtacích technologii. V úvodu práce jsou shrnuty různé typy nástrojů a strojů k tvorbě vnitřních rotačních děr, další práce část naváže na pojednání o vrtacích přípravcích a nástrojových materiálech. V závěru práce je popsán provedený experiment odvrtání vnitřních rotačních děr.

Klíčová slova

Vrtání, nástroje, vrtáky, stroje, řezné podmínky, nástrojové materiály.

ABSTRACT

According to the name we can judge, that this research work is interested in comparing drilling technologies. The introduction of work includes different types of tools and machines to production interior rotated holes, another part continues with dissertation about drilling preparatory and tools materials. The end of work describes the experiment about drill interior rotated holes.

Key words

Drilling, tools, drills, machines, cutting conditions, tool materials.

Bibliografická citace

FURCH, M. *Porovnání vrtacích procesů na vzorcích materiálů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 38 s, přílohy 2. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma na téma **„Porovnání vrtacích procesů na vzorcích materiálů“** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 21.5.2011 …….

Michal Furch

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

ÚVOD

Prvopočátky vrtání jsou dle archeologických výzkumů již z doby kamenné, kde původní obyvatelé používali jako nástroj kost. Postupem času se tvary nástrojů vyvíjely, až do podoby, v jaké je známe dnes. Materiálem vrtáků již není kost, ale nejrůznější typy nástrojových ocelí, cermetů, slinutých karbidů a syntetických diamantů. Vrtáním je rozuměno třískové obrábění vnitřních rotačních ploch.

Hlavním měřítkem pohybu je řezná rychlost. U vrtacích nástrojů je největší rychlost na obvodu a směrem ke středu se zmenšuje. Ve středu nástroje dosahuje nulové nebo dokonce záporné hodnoty. Šroubovitý vrták má poměrně složitou geometrii břitu. Hlavní ostří vrtáku jsou spojena příčným ostřím, které kvůli nepříznivé geometrii zvyšuje krouticí moment a zejména posuvnou sílu. Vrtáky menších průměrů jsou konstruovány jako celistvé, vrtáky větších průměrů mají vyměnitelné břitové destičky, které jsou připájené či mechanicky připevněné na tělo vrtáku.[2,4]

Ať už se jedná o kusovou, či hromadnou výrobu, nelze se obejít bez přípravků, které mají urychlit, zlevnit a zjednodušit výrobu. Při obrábění musí být obráběný předmět uchycen tak, aby si zachoval správnou polohu i při působení vnějších sil. Nejjednodušším upínacím přípravkem je svěrák. Někdy je vyžadováno vedení nástroje, pokud není součástí stroje, musíme použít přípravky, například při vrtání jsou používána vrtací pouzdra.[10]

Nejdůležitější částí nástroje je břit. Závisí na něm průběh, produktivita a hospodárnost obrábění. Proto je důležité volbě materiálu věnovat značnou pozornost. Základní požadavky na materiál jsou tvrdost, houževnatost, pevnost, tepelná odolnost, odolnost vůči otěru. Výsledkem intenzivního a dlouholetého výzkumu je poměrně široký sortiment materiálů pro řezné nástroje, od nástrojových ocelí až po syntetický diamant.[3,8]

Obsah

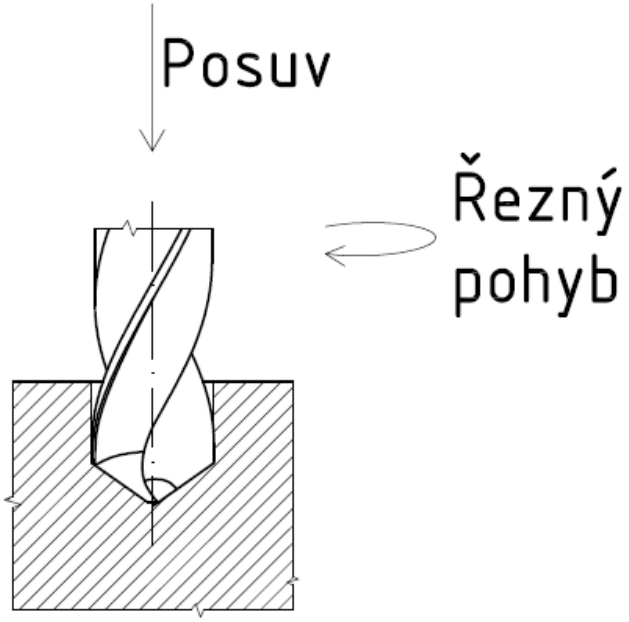
Abstrakt 4
Prohlášení 5
Poděkování 6
Úvod 7
1 Vrtání 9
1.1 Charakteristika vrtání 9
1.2 Dosažitelné přesnosti povrchů při vrtání 9
1.3 Řezné podmínky 10
1.4 Vzorce pro výpočet řezných podmínek 11
1.4.1 Kinematika vrtání 11
1.4.2 Průřez třísky při vrtání 11
1.4.3 Jednotkový strojní čas 12
1.4.4 Řezné síly 13
1.4.5 Řezný výkon 15
1.5 Nástroje 15
1.5.1 Šroubovité vrtáky 15
1.5.2 Kopinaté vrtáky 17
1.5.3 Středicí vrtáky 17
1.5.4 Dělové a hlavňové vrtáky 18
1.5.5 Vrtací hlavy 18
1.5.6 Sdružené vrtáky 19
1.5.7 Vrtáky s vyměnitelnými destičkami 19
1.6 Vrtačky 20
1.6.1 Stolní vrtačky 20
1.6.2 Stolní řádové vrtačky 21
1.6.3 Sloupové vrtačky 21
1.6.4 Stojanové vrtačky 21
1.6.5 Otočné vrtačky 22
1.7 Vrtací přípravky 22
1.7.1 Rozdělení přípravků 23
1.7.2 Volba materiálu 23
1.7.3 Vrtací přípravky 24
1.8 Nástrojové materiály 26
1.8.1 Nástrojové oceli 27
1.8.2 Slinuté karbidy (SK) 28
1.8.3 Supertvrdé materiály 30
1.8.4 Řezná keramika 30
1.8.5 Rychlořezné oceli 30
1.8.6 Cermety 31
2 Experiment 32
2.1 Postupování při experimentu 33
2.2 Dokumentace experimentu: 33
2.3 Výsledky experimentu 34
Závěr 35
Seznam použitých zdrojů 36
Seznam použitých zkratek a symbolů 37
Seznam příloh 38

1 VRTÁNÍ

Vrtání je třískové obrábění materiálu, kterým se zhotovují vnitřní rotační plochy do plného materiálu, nebo se zvětšují díry již předvrtané či předlité.[1]

1.1 Charakteristika vrtání

Hlavní pohyb je rotační a zpravidla ho koná nástroj - vrták. Vedlejší pohyb je posuvný přímočarý v ose otáčení a koná ho opět nástroj (Obr. 1.1). Hlavním měřítkem u vrtání je řezná rychlost, největší rychlost je na obvodu nástroje, a ke středu materiálu se zmenšuje. Ve středu nástroje je řezná rychlost nulová. Za řeznou rychlost se považuje rychlost největšího průměru vrtáku:[1,2]



Obr. 1.1 Hlavní a vedlejší pohyb při vrtání

1.2 Dosažitelné přesnosti povrchů při vrtání

Střední aritmetická úchylka profilu povrchu závisí na řezných podmínkách, geometrii břitu, volbě procesní kapaliny a tuhosti stroje. Jakost povrchu se zhoršuje zvětšením posuvu a řezné rychlosti. Při vrtání šroubovitými vrtáky se dosahuje přesnosti IT11, vrtacími hlavami až IT8. V tabulce (Tab. 1.1) je znázorněno, jakých přesností povrchu je dosahováno různými nástroji.[7]

Vystružováním je dosahováno lepší jakosti povrchu a to IT6 až IT8.[6]

Tab. 1.1 Tabulka dosahovaných přesností[5]

Nástroj	Přesnost rozměru IT	Střední aritmetická úchylka profilu obrobeného povrchu $Ra\ [\mu m]$
Šroubovitý vrták	11-13	6,3-25
Šroubovitý vrták s vodícím pouzdrem	10	6,3-25
Kopinatý vrták	10	6,3-25
Dělový vrták	8	1,6-6,3
Vrták s VBD	8-10	3,2-12,5

1.3 Řezné podmínky

Volba řezných podmínek je ovlivněna řadou parametrů. Závisí na vlastnostech stroje, nástroje, obrobku i prostředí (druh stroje, materiál řezného nástroje, procesní kapalina, atd.) a na požadavcích obrobku (střední aritmetická úchylka profilu obrobeného povrchu, přesnost tvaru a rozměrů, atd.). Při volbě řezných podmínek je vhodné se řídit doporučeními výrobce nástrojů, které výrobci uvádí v příručkách či katalogu.[7]

Řezné podmínky se pohybují v širokém rozsahu v závislosti na druhu nástroje. V tabulce (Tab. 1.2) je znázorněn výběr několika materiálů a jejich řezné podmínky.[7]

Tab. 1.2 Tabulka řezné podmínky při vrtání[5]

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	Šroubovité vrtáky		Dělové vrtáky		Vrtáky s VBD	
			$v(m \cdot mm^{-1})$	fo(mm)	$v(m \cdot mm^{-1})$	fo(mm)	$v(m \cdot mm^{-1})$	fo(mm)
Ocel 500-800MPa	13-14b	RO	25-30	0,1-0,5	20-30	0,05-0,5		
		SK	50-70	0,05-0,2	80-100	0,07-0,5	200-300	0,04-0,1
Ocel 800-1000MPa	11-12b	RO	10-20	0,01-0,3	15-25	0,05-0,3		
		SK	40-60	0,05-0,1	60-100	0,07-0,5	170-250	0,06-0,2
Šedá litina 200HB	11a	RO	10-25	0,1-0,8				
		SK	40-100	0,1-0,5			210-280	0,1-0,2
Slitiny Cu 90HB		RO	40-70	0,12-0,4				
		SK	80-100	0,08-0,3			250-350	0,05-0,2
Slitiny Al 100HB		RO	120-200	0,15-0,5				
		SK	200-300	0,15-0,4			250-400	0,05-0,2

Hloubka záběru při vrtání do plného materiálu je dána poloměrem nástroje, u předvrtaných či předlitých děr, je dána rozdílem poloměru díry před a po vrtání. Jestliže má mít díra vyšší přesnost a jakost, jsou nástroje voleny tak, aby zůstal dostatečný přídavek na obrábění (vyhrubování, vystružování, atd.)[7]

Řezné rychlosti jsou v porovnání s frézováním a soustružením nižší, v důsledku nepříznivých podmínek, ve kterých nástroj pracuje: špatný odvod tepla z místa řezu, břit je značně tepelně namáhán, proto je ve většině případů použita procesní kapalina.[7]

Řezné rychlosti se u vrtání zpravidla pohybují okolo $10 - 300\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{min}^{-1}$.[7]

1.4 Vzorce pro výpočet řezných podmínek

1.4.1 Kinematika vrtání

Řezná rychlost[1]

$$v_c = \frac{\pi.D.n}{1000} \qquad [m \cdot min^{-1}] \qquad (1.1)$$

Posuvová rychlost[1]

$$v_f = f.n \qquad [mm \cdot min^{-1}] \qquad (1.2)$$

Rychlost řezného pohybu[1]

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3}.n.\sqrt{(\pi.D)^2 + f^2} \qquad [m \cdot min^{-1}] \qquad (1.3)$$

Posuv na zub - Vrtáky jsou zejména vícebřité nástroje[6]

$$f_z = \frac{f}{z} \qquad [mm] \qquad (1.4)$$

1.4.2 Průřez třísky při vrtání

Jmenovité rozměry třísek se při vrtání šroubovitým vrtákem vyjádří na základě poměru znázorněných na (Obr. 1.2)

Jmenovitá tloušťka třísky[6]

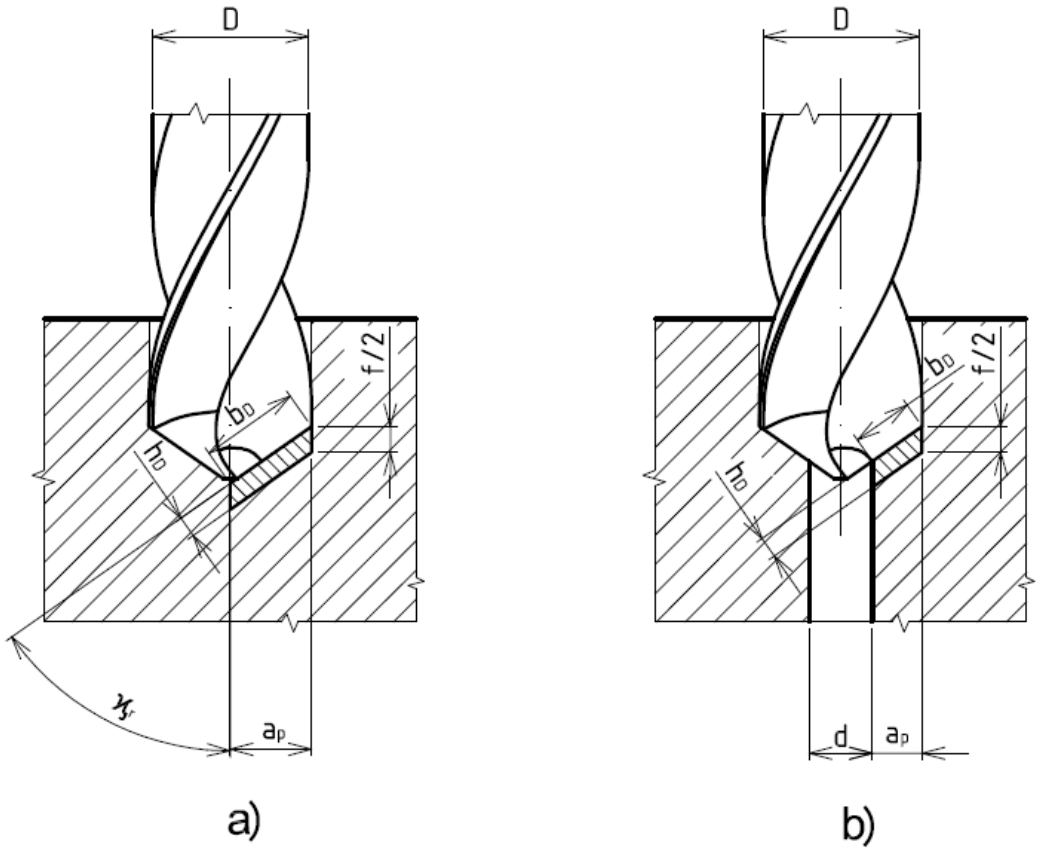
$$h_D = \frac{f}{2}.sin\,\kappa_r \qquad [mm] \qquad (1.5)$$

Jmenovitá šířka třísky při vrtání to plného materiálu[6]

$$b_D = \frac{D}{2.sin\,\kappa_r} \qquad [mm] \qquad (1.6)$$

Jmenovitý průřez třísky pro šroubovitý vrtáni při vrtáni do plna[6]

$$A_D = h_D.b_D = \frac{D.f}{4} \qquad [mm^2] \qquad (1.7)$$



Obr. 1.2 Průřez třísky při vrtání dvoubřitým vrtákem a)Vrtání do plna
b)Vrtání předvrtané díry

Jmenovitá šířka třísky při rozšiřování předvrtané díry[6]

$$b_D = \frac{D-d}{2.sin\,\kappa_r} \qquad [mm] \qquad (1.8)$$

Jmenovitý průřez třísky při rozšiřování předvrtané díry[6]

$$A_D = h_D.b_D = \frac{D-d}{4} \cdot f \qquad [mm^2] \qquad (1.9)$$

1.4.3 Jednotkový strojní čas

Jednotkový strojní čas t_{AS} je dán při vrtání šroubovitým vrtákem na základě (Obr. 1.3) vztahem:

$$t_{AS} = \frac{L}{n.f} = \frac{l_n+l+l_p}{n.f} \qquad [min] \qquad (1.10)$$

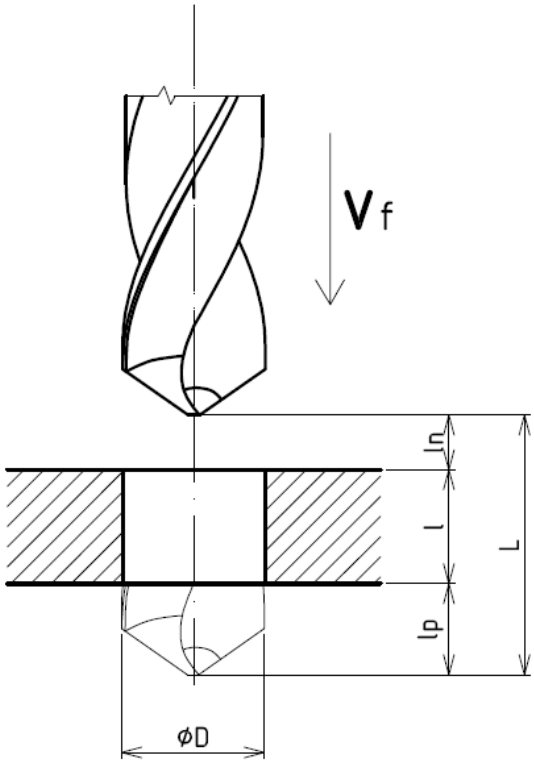
Pro vrtáky s úhlem $2\kappa_r = 118^\circ$ platí:[6]

Délka přeběhu[6]

$$l_p = 0{,}5.D.tan\,31^\circ + (0{,}5\ až\ 1) \qquad [mm] \qquad (1.11)$$

Délka náběhu[6]

$$l_n = (0{,}5\ až\ 1) \qquad [mm] \qquad (1.12)$$



Obr. 1.3 Dráha nástroje ve směru posuvu při vrtání šroubovitým vrtákem

1.4.4 Řezné síly

Výpočet celkových řezných sil je znázorněn na (Obr. 1.4):

Posuvová síla[4]

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \qquad [N] \qquad (1.13)$$

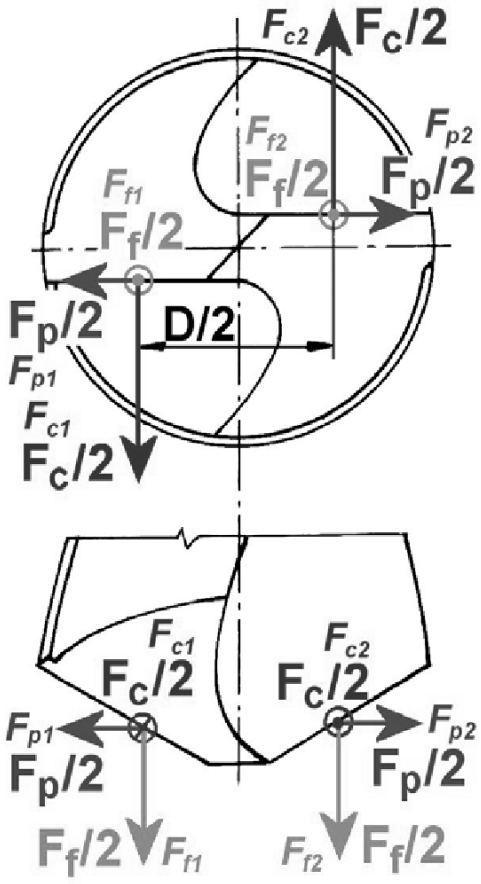
Pasivní síla[4]

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} \qquad [N] \qquad (1.14)$$

Řezná síla[4]

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \qquad [N] \qquad (1.15)$$

Při správném naostření jsou složky na obou břitech stejné.[4]



Obr. 1.4 Řezné síly při vrtání[4]

Při vrtání lze sestavit jednotlivé síly pro celý nástroj pomocí empirických vztahů:[6]

$$F_c = C_{Fc} . D^{X_{Fc}} . f^{y_{Fc}} \quad [N] \qquad (1.16)$$

$$F_f = C_{Ff} . D^{X_{Ff}} . f^{y_{Ff}} \quad [N] \qquad (1.17)$$

Hodnoty konstant exponentů pro výpočet řezné síly F_c a posuvové síly F_f jsou zadány v tabulce (Tab. 1.3)

Tab. 1.3 Hodnoty konstant exponentů pro výpočet řezné síly F_c a posuvové síly F_f [6]

Obráběný materiál	C_{Fc}	x_{Fc}	y_{Fc}	C_{Ff}	x_{Ff}	y_{Ff}
Ocel Rm=750 MPa	3650	0,9	0,78	865	1	0,72
Litina 200HB	2450	0,85	0,8	630	1	0,78

1.4.5 Řezný výkon

Řezný výkon[6]

$$P_c = \frac{F_c.v_c}{60.2.10^3} \quad [kW] \qquad (1.18)$$

1.5 Nástroje

Nástrojem pro vrtání je vrták, který slouží pro vrtání kruhových děr do různých typů materiálu. Většinou mají tvar dvojchodé šroubovice na jedné straně zakončené břitem a na druhé straně přechází do upínací stopky. Vrtáky mají poměrně složitou geometrii. Pokud není nástroj řádně naostřen, může to vést ke zhoršení kvality obráběné díry, k házení, nadměrnému zatěžování jedné strany nástroje. Dělí se podle typů obráběného materiálu, upínání či tvaru.[9]

Dělení dle tvaru na:

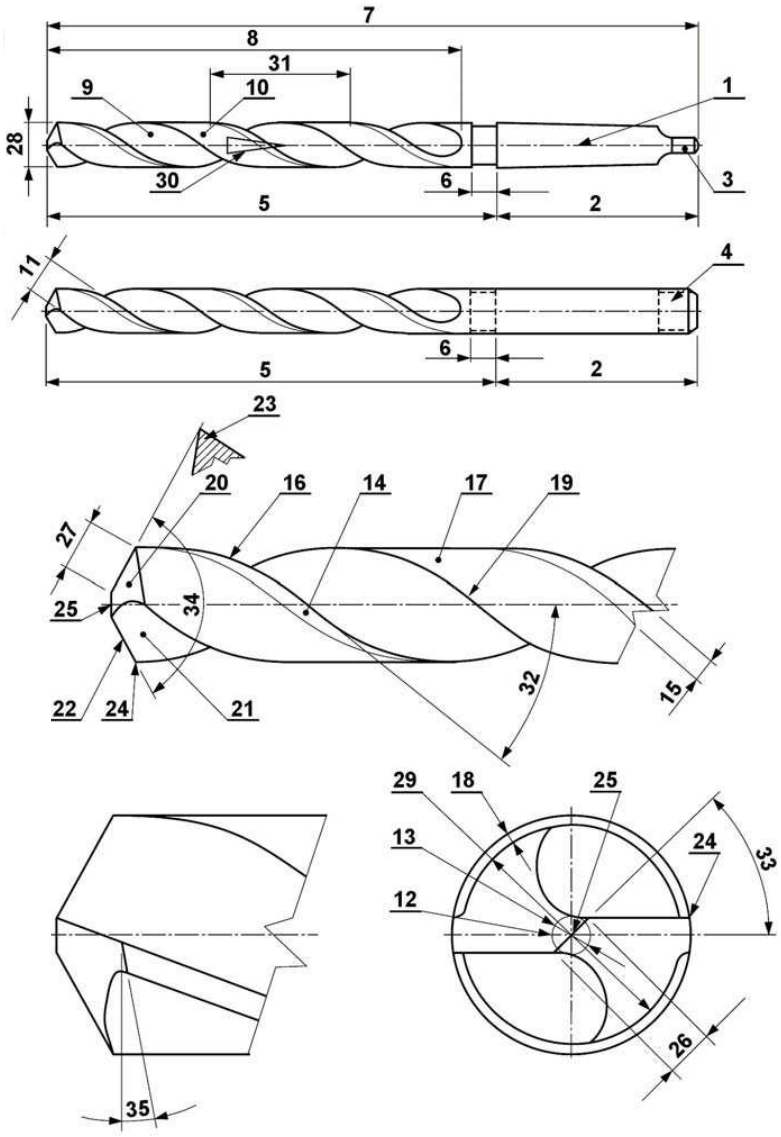
- šroubovité,
- kopinaté,
- středicí,
- dělové a hlavňové,
- vrtací hlavy,
- sdružené vrtáky,
- vrtáky s vyměnitelnými destičkami.

1.5.1 Šroubovité vrtáky

Nejčastěji používaný nástroj pro vrtání krátkých děr je šroubovitý vrták (Obr. 1.5). Jsou to dvoubřité nástroje, vyrobeny z válcového tělesa, mají vybroušeny šroubovité drážky pro přívod procesní kapaliny a odvod třísek z vrtaného obrobku. Vedení v otvoru zajišťuje fazetka na vedlejším ostří. Hlavní ostří jsou spojena příčným ostřím, vzhledem k nepříznivým pracovním podmínkám se výrazně zvyšuje posuvová síla a krouticí moment. Kvůli snížení tření je tělo vrtáku kuželovité s kuželovitostí (na délce 100 mm se ØD zmenšuje o 0,004 mm až 0,3 mm). Šroubovitý vrták má poměrně složitou geometrii, protože jsou nástrojové úhly hřbetu i čela podél hlavního ostří proměnné. Z hlediska procesu vrtání je velmi nevýhodné, že vrták má v ose nástroje nulovou řeznou rychlost.[1,2,4]

Fazeta - úzká, válcová plocha na žebrech šroubovitého vrtáku, snižuje tření a zajišťuje vedení vrtáku v otvoru.[2]

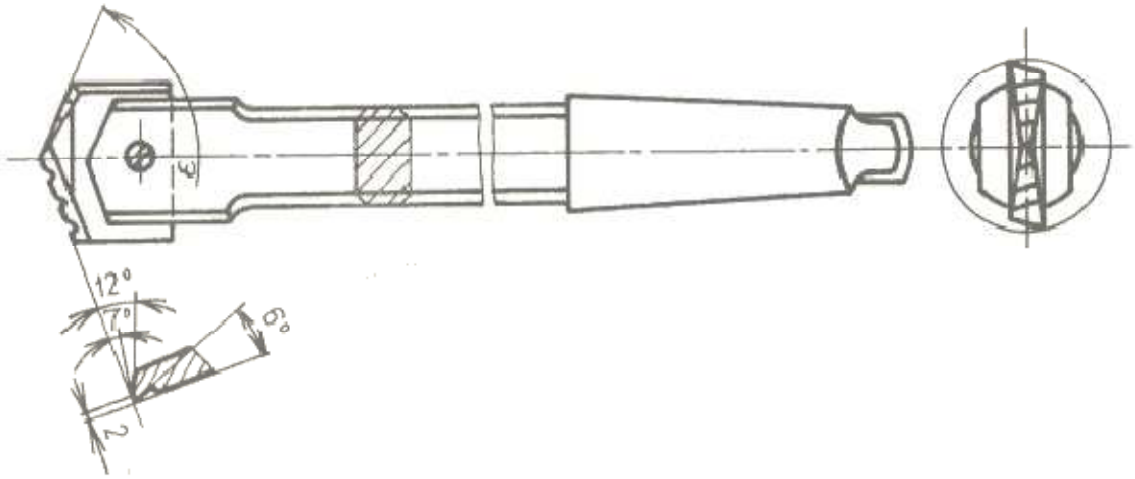
1. Osa
2. Stopka (kuželová, hladká válcová, hladká válcová s unašečem)
3. Vyražeč
4. Unašeč
5. Tělo
6. Krček
7. Celková délka
8. Délka šroubovité drážky
9. Šroubovitá drážka
10. Druhý vedlejší hřbet
11. Šířka vedlejšího hřbetu
12. Jádro
13. Tloušťka jádra
14. První vedlejší hřbet (fazetka)
15. Šířka fazetky
16. Vedlejší ostří
17. Odlehčení vedl. hřbetu
18. Hloubka odlehčení
19. Pata
20. Hlavní hřbet
21. Čelo
22. Hlavní ostří
23. Břit
24. Vnější špička
25. Příčné ostří
26. Délka příčného ostří
27. Délka hlavního ostří
28. Jmenovitý průměr vrtáku
29. Průměr odlehčení
30. Zpětná kuželovitost
31. Stoupání šroubovice
32. Úhel šroubovité drážky
33. Úhel sklonu příčného ostří
34. Úhel špičky
35. Úhel hřbetu



Obr. 1.5 Základní parametry šroubovitého vrtáku[4]

1.5.2 Kopinaté vrtáky

Kopinaté vrtáky (Obr. 1.6) jsou nejjednodušší druh nástrojů na vrtání. Řeznou část tvoří dva hlavní břity a příčné ostří. Obě ostří navzájem svírají úhel $\varepsilon = 2\chi$. Čím tvrdší vrtaný materiál, tím se úhel volí vetší $(90 - 146^{\circ})$. Současné kopinaté vrtáky mají řeznou část jako vyměnitelné břitové destičky z RO a SK. Nevýhodou těchto vrtáku je špatný odvod třísek, toto lze zlepšit přívodem dostatečného množství procesní kapaliny, která třísky vyplavuje. Často používané jsou u CNC strojů pro výrobu krátkých děr větších průměrů.[5]



Obr. 1.6 Kopinatý vrták[5]

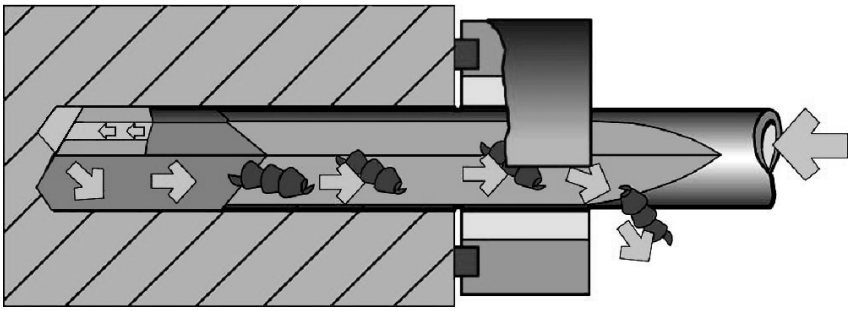
1.5.3 Středicí vrtáky

Středicí vrtáky (Obr. 1.7) se používají pro navrtání středicího důlku, k přesnému určení polohy osy díry, pro vrtání šroubovitým vrtákem nebo k navrtání tvarových důlků pro upínání obrobku mezi hroty.[5]

Obr. 1.7 Středicí vrták[5]

1.5.4 Dělové a hlavňové vrtáky

Dělové a hlavňové vrtáky (Obr. 1.8) jsou používány k vrtání hlubokých děr. Jejich tělo a ostří jsou konstruovány tak, aby v díře měli co nejlepší vedení. Lze s nimi vrtat díry v délce několika desítek až stovek průměrů vrtáků, aniž by došlo k jejich vybočení. Vrták většinou koná pouze posuvný pohyb a rotační pohyb koná obrobek. Před vrtáním dělovým vrtákem musí být díra předvrtána šroubovitým vrtákem, aby byl dělový vrták veden. Řezná část vrtáku je tvořena RO nebo SK. Držák je tvořen trubkou menšího průměru než vrtaná díra. Vnitřkem vrtáku je do místa vrtání přiváděna procesní kapalina, která zároveň vyplavuje třísky.[5]

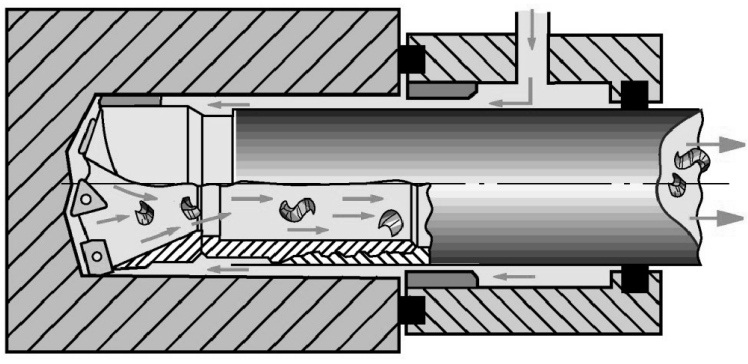


Obr. 1.8 Odvod třísky při vrtání hlavňovým vrtákem[4]

1.5.5 Vrtací hlavy

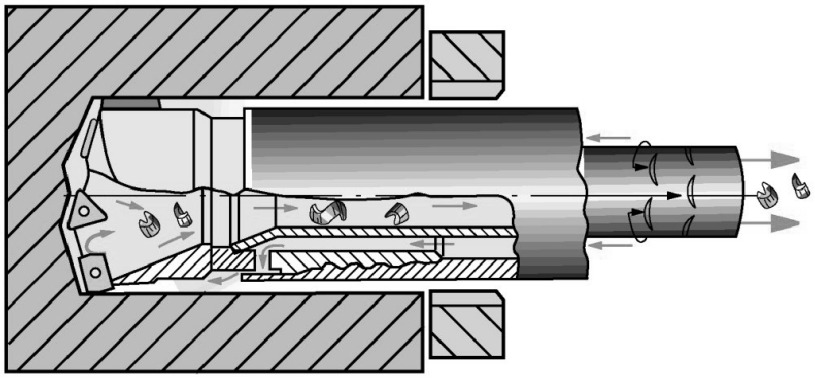
Jsou obvykle používány pro vrtání děr velkého průměru, ale je s nimi možno vrtat díry již od $\emptyset 20$ mm. Jsou osazeny mechanicky upínanými nebo pájenými břitovými destičkami. Procesní kapalina je přiváděna prostorem mezi vrtákem a dírou (metoda BTA) nebo mezi vnějším pláštěm vrtací tyče a vnitřní trubkou, kterou jsou odváděny třísky (ejektorová metoda).[5]

Vrtáky BTA (Obr. 1.9) umožňují vrtání do plného materiálů či předvrtané díry. Větší rozsahy vrtaných průměrů než u ejektorových vrtáků. Vrtací hlavice pro vrtání do plného materiálů jsou vyráběny až do $\emptyset 180$ mm. U metody BTA je procesní kapalina přiváděna mezerou mezi stěnou vrtané díry a trubkou vrtáku a je se spolu vznikající třískou odváděna středem trubky. Z toho důvodu musí být tlaková hlava pro přívod procesní kapaliny utěsněna.[4]



Obr. 1.9 Princip vrtání metodou BTA

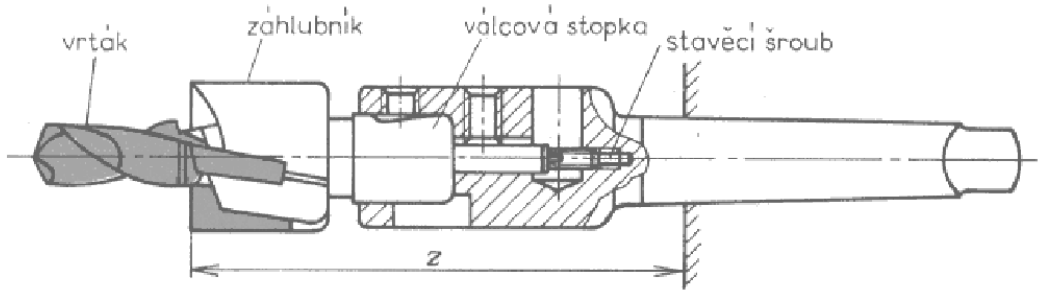
Ejektorový vrták (Obr. 1.10) je tvořen vrtací hlavicí, která je našroubována do vnější vrtací trubky. Ejektorovými vrtáky lze tvořit díry o $\emptyset 20 - 60$ mm, délce až 100x průměr díry horizontálním směrem, nebo 50x průměr díry vertikálním směrem. U vrtání ejektorovým vrtákem je procesní kapalina přiváděna mezikružím mezi vnější a vnitřní trubkou. Malé množství kapaliny odchází štěrbinami v zadní části vnitřní trubky, a to způsobuje ejektorový efekt (nasávání kapaliny směrem od břitu vrtáku a strhávání vznikajících třísek).[4]



Obr. 1.10 Princip funkce vrtání ejektorovým vrtákem[4]

1.5.6 Sdružené vrtáky

Sdružené vrtáky (Obr. 1.11) se používají pro vrtání osazených děr, zahloubení, řezání závitu, předvrtání díry pro závit apod. Jsou používány v hromadné i sériové výrobě pro úsporu času.[5]

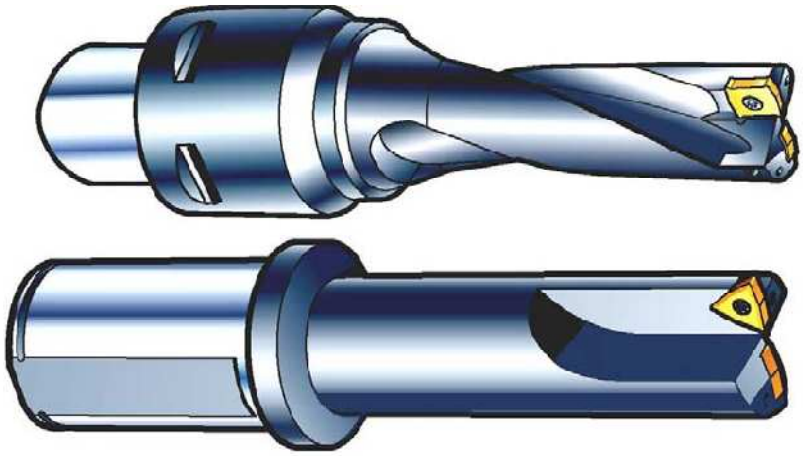


Obr. 1.11 Kombinovaný nástroj pro vrtání a zahlubování[5]

1.5.7 Vrtáky s vyměnitelnými destičkami

Vrtáky s vyměnitelnými destičkami (Obr. 1.12) jsou vysoce výkonné nástroje. Držák je z konstrukční oceli vyšší pevnosti. Řezná část je tvořena dvěma nebo více řeznými destičkami, mechanicky upínanými, nejčastěji z SK - povlakované. K odvodu třísek jsou používány destičky s dírou, upnuté šroubem. V tělese jsou vyfrézovány buď přímé, nebo ve šroubovici dvě drážky k odvodu třísky. Vrtáky jsou používány pro vrtání děr do plna od $\emptyset 12$ mm do $\emptyset 100$ mm. Přesnost díry závisí na tuhosti nástroje, protože nástroj není v díře veden. Proto nelze používat pro vrtání děr hlubších než 2-3x průměr vrtané

díry. Vzhledem k vysokým řezným rychlostem jsou výkony vrtáků, které mají vyměnitelné břitové destičky 5 – 10x vyšší než u šroubovitých vrtáku z RO.[5]



Obr. 1.12 Vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami[4]

1.6 Vrtačky

Stoje, které se obvykle využívají k: vrtání, vyhrubování, vystružování, zahlubování a řezání závitů. V případě potřeby se dané operace provádějí na soustruzích, obráběcích centrech a vodorovných vyvrtávačkách. Velikost vrtaček se určuje podle maximálního průměru díry, které lze na vrtačce vyvrtat.[1,4]

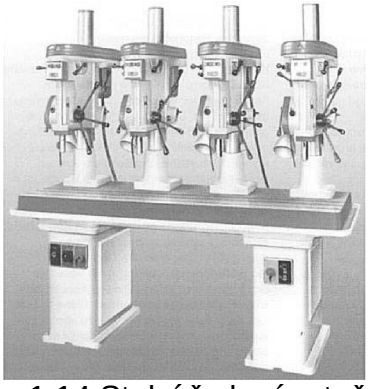
Vrtačky se rozlišují podle konstrukčně technologického hlediska na:[1]

- stolní,
- sloupové,
- stojanové,
- otočné.

1.6.1 Stolní vrtačky

Na stolních vrtačkách (Obr. 1.13) vyrábíme díry do $\emptyset 16$ mm. Jednoduchá konstrukce. Vřeteník, který nese motor je posuvný po krátkém sloupu, díky tomu může měnit svoji polohu vůči pracovnímu stolu. Změny otáček dosáhneme přestavením řemenu na stupňovité řemenici. Posuv vřetene, ve kterém je nástroj, je ruční.[1]

Obr. 1.13 Stolní vrtačka[1]



Obr. 1.14 Stolní řadová vrtačka[1]

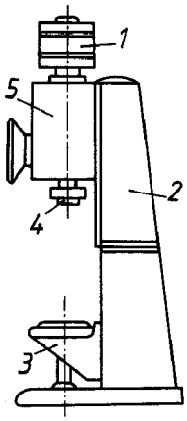
1.6.2 Stolní řádové vrtačky

Stolní řadové vrtačky (Obr. 1.14) jsou tvořeny několika vrtacími vřeteníky, umístěnými na jednom pracovním stole. Umožňuje nám to pod jednotlivými vřeteny provádět různé operace: Vrtání, zahlubování, vyhrubování, vystružování.[1]

1.6.3 Sloupové vrtačky

Na sloupových vrtačkách (Obr. 1.15) vyrábíme díry do Ø40 mm. Jsou obdobné jako vrtačky stolní, ale mají větší sloup, na kterém se pohybuje výškově nastavitelný pracovní stůl. Malé součásti jsou upínány na tento pracovní stůl, větší součásti na základovou desku.[1]

Obr. 1.15 Sloupová vrtačka[1]



Obr. 1.16 Stojanová vrtačka[5]

1.6.4 Stojanové vrtačky

Stojanové vrtačky (Obr. 1.16) jsou obdobné sloupovým vrtačkám, ale místo sloupu je zde stojan. Mají mnohem tužší konstrukci než sloupové vrtačky. Díry do Ø80 mm.[5]

1.6.5 Otočné vrtačky

Otočné vrtačky (Obr. 1.17) se používají pro vrtání otvoru do hmotnějších a rozměrnějších součástí. Mají posuvný vřeteník, který je možno jak výškově přesouvat tak i otáčet mimo základovou desku a tím pádem vrtat díry do rozměrných součástí ležících na podlaze. Používají se pro vrtání děr do průměrů až Ø100 mm.[1]

Obr. 1.17 Otočná vrtačka[1]

1.7 Vrtací přípravky

Žádný druh výroby, ať už ruční, strojní kusová, či strojní sériová, se bez přípravků neobejde. Obráběný předmět musí být na pracovním stole upnut takovým stylem, aby po celou dobu obrábění zachoval správnou polohu a při působení řezných sil se neposunoval. Nejjednoduššími upínacími přípravky jsou ruční a strojní svěráky. Další nároky na přípravky jsou, aby přípravek vedl nástroj, pokud vedení není součástí obráběcího stroje. Jako příklad vedení nástroje jsou vrtací pouzdra, která vedou vrták při vrtání.[10]

Přípravky lze definovat jako pomocná zařízení k určení:[9]

- k vedení nástroje,
- k vzájemnému přidržení součástí při jejich sestavování v celek,
- k jednoznačnému ustavení a pevnému uchycení součástí při jejich obrábění.

1.7.1 Rozdělení přípravků

Dle rozsahu použitelnosti[9]

- **Univerzální přípravky** – upínání více druhů obrobků téhož typu, avšak různých tvarů a velikostí.
- **Skupinová přípravky** – přípravek nebo alespoň jeho část je společná pro skupinu součástí. Mají vyměnitelné nebo seřiditelné ustavovací a vodící elementy.
- **Stavebnicové přípravky** – jsou sestavovány z typizovaných dílů v požadovaný přípravek.
- **Speciální přípravky** – Jednoúčelové zařízení, ve kterém je možné obrobek ustavit dokonaleji, než v univerzálním přípravku.

Dle operačního určení[9]

- **Obráběcí přípravky** – slouží k upnutí obrobku v určité poloze vzhledem k nástroji.
- **Montážní přípravky** – slouží k přidržení součásti při vzájemném rozebíratelném i nerozebíratelném spojení.
- **Kontrolní přípravky** – slouží ke kontrole správnosti rozměrů, geometrických tvarů.
- **Rýsovací přípravky** – slouží k orýsování součásti před obráběním.
- **Ostatní pomocná a dílenská zařízení** – pomůcky zvyšující pracovní možnosti strojů (vrtací hlavy), pomůcky určené k obrábění ploch speciálních tvarů (zařízení k řezání závitů s proměnným stoupáním).

Dle zdroje upínací síly[9,10]

- **Ruční upínání** – slouží ke snížení námahy dělníka k upnutí obrobku, a čas určený k výměně obrobku byl co nejkratší.
- **Mechanické upínání** – upínání vzduchovým, olejovým, magnetickým, elektromechanicky, či kombinací několika těchto upínání.

1.7.2 . Volba materiálu

Materiál přípravku musí plně vyhovovat všem požadavkům kladeným na přípravek (pružnost, dostatečná pevnost, odolnost vůči opotřebení, atd.).[10]

Hlediska rozhodující o volbě materiálů:[10]

- namáhání, opotřebení, tvar a funkce,
- nejmenší stupeň obrobení přípravku,
- počet kusů vyrobených přípravků,
- pracovní prostředí, ve kterém bude přípravek pracovat,
- požadovaná přesnost přípravku,
- cena, skladovaný druh materiálu, výrobní možnosti nářaďovny,
- hmotnost přípravku.

Všechny uvedené hlediska je nutno v plné šíři respektovat, náklady na přípravek by měli být pokud možno co nejmenší, přesnost zpracovávaného obrobku co nejvyšší, hmotnost přípravku co nejnižší, zvláště v těch případech, kdy je potřeba s přípravkem manipulovat. U všech těchto faktorů se uplatní volba použitých materiálů jako výchozí parametr k jejich úspěšnému splnění.[10]

1.7.3 Vrtací přípravky

Vrtacích přípravků se používá tam, kde se má vrtat, nebo vrtat a vyhrubovat, nebo vrtat, vyhrubovat a vystružovat jedna či více děr a jejich vzájemná poloha musí mít zachovanou určitou vzájemnou přesnost. Můžeme vyrábět jednu díru podruhé, nebo využít několika vřetenových hlav a tvořit všechny díry najednou. Jejich výhody jsou:[10]

- zkrátí se hlavní časy. Za čas vrtání jedné díry sou vyvrtány všechny,
- zkrátí se vedlejší časy, tím že není třeba předem obrobek orýsovat,
- zvýší se přesnost.

Aby byly při vrtání zachyceny řezné síly působící na obrobek, musí být obrobek řádně upnut. Mají-li se zachytit velké řezné síly a točivé momenty, je přípravek s obrobkem upevněn na stole obráběcího stroje, avšak pro malé točivé momenty a malé síly, se přípravek s obrobkem pouze opírá o dorazy na stole vrtačky. Krouticí moment je zachycen tím, že dělník do přidržuje rukou.[10]

Vrtací pouzdra vedou nástroj. Jejich povrch musí být tvrdý, jelikož jsou vystavována velkému opotřebení průchodem ostří nástroje a odcházejícími třískami z otvoru. Vrtací pouzdra do $\varnothing 20$ mm (bez nákružku), jsou vyráběny z uhlíkové oceli nástrojové a kalí se, pouzdra větších průměrů se vyrábějí z cementační oceli, cementují se a kalí.[10]

- **Pevná vrtací pouzdra hladká** (Obr. 1.18) – slouží převážně k vedení vrtáků. Jsou do tělesa vrtáků zalisována (H7/n6)[10]

Obr. 1.18 Pevná vrtací pouzdra hladká[11]

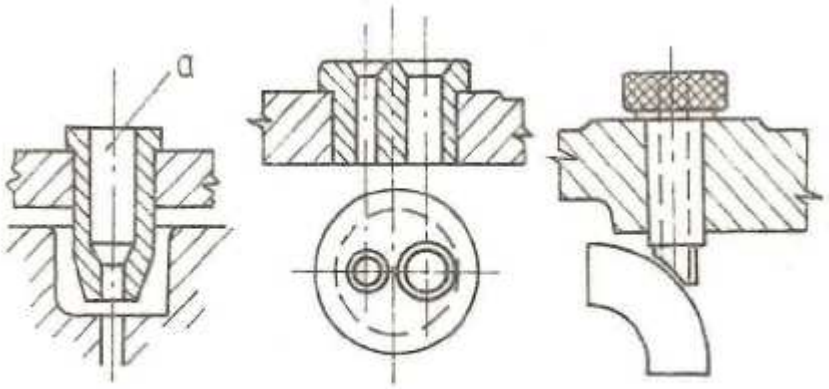
- **Pevná vodící pouzdra hladká** (Obr. 1.19) – slouží k vedení zajištění nástrčných pouzder. Do přípravků jsou zalisována. Pro zabezpečení polohy nástrčných pouzder mají pojišťovací výstupek se sklonem 10°[10]

Obr. 1.19 Pevná vodící pouzdra hladká[11]

- **Nástrčná vrtací pouzdra** (Obr. 1.20) – slouží k vedení vrtáků, výhrubníků, výstružníků s tolerancí děr (H6, H7, H8).[10]

Obr. 1.20 Nástrčná vrtací pouzdra[11]

- **Speciální vrtací pouzdra** (Obr.1.21) – Používají se tehdy, když nelze použít normalizovaných pouzder.[10]

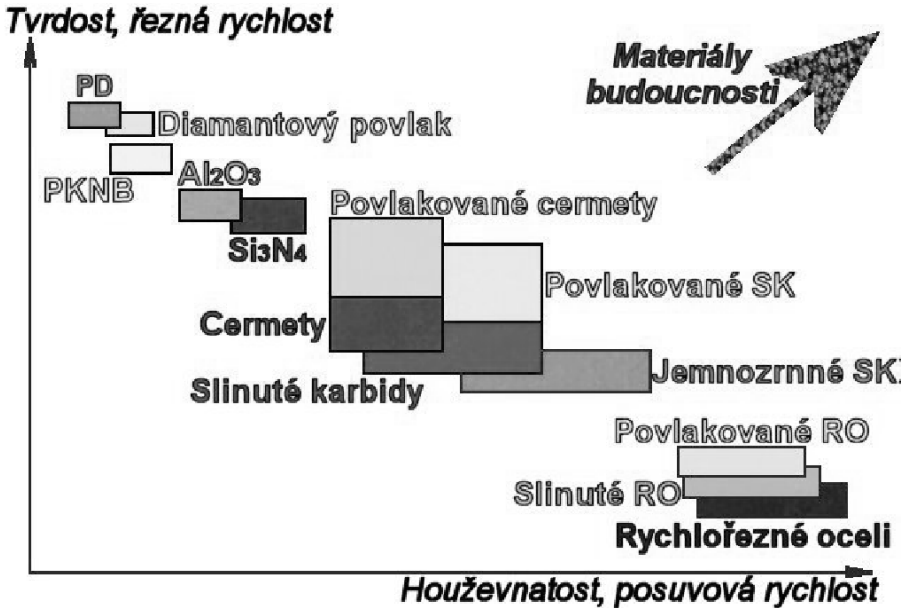


Obr. 1.21 speciální vrtací pouzdra[10]

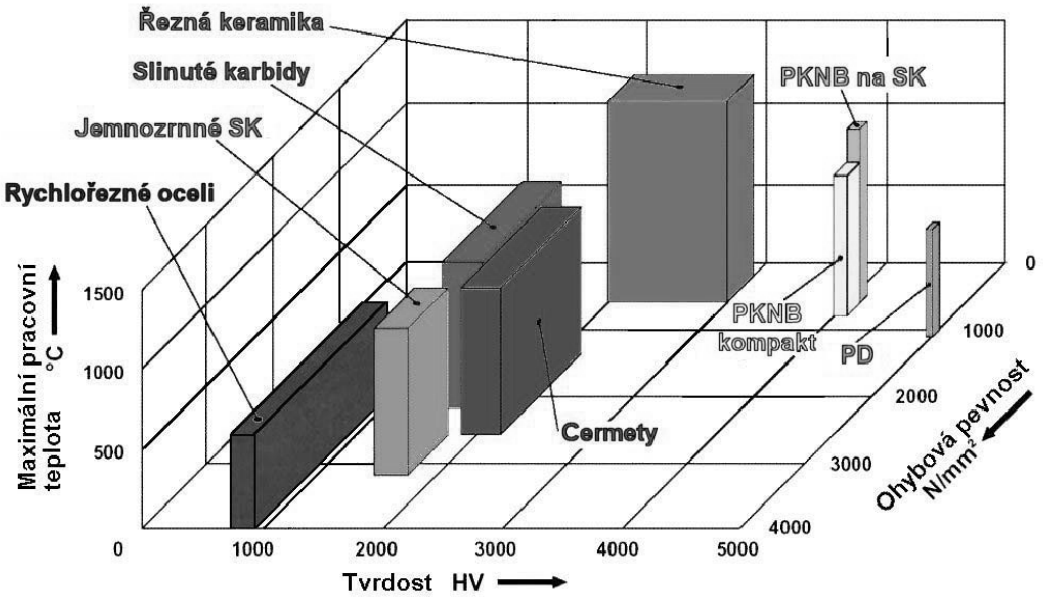
1.8 Nástrojové materiály

V současné době je poměrně široký sortiment materiálů pro řezné nástroje, od nástrojových ocelí až po syntetický diamant.[3]

Hlavní oblasti materiálů pro řezné nástroje jsou uvedeny v (Obr. 1.21) jsou dány vztahem mezi řeznými podmínkami (řezná – posuvová rychlost), která odpovídá jejich základním vlastnostem (tvrdost - houževnatost). Na (Obr. 1.22) jsou konkrétní hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů (tvrdost, ohybová pevnost, pracovní teplota). Tabulce (Tab. 1.4) je znázorněno různé značení nástrojových ocelí.[3]



Obr. 1.22 Oblasti použití řezných nástrojů[3]



Obr. 1.23 Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů[3]

Tab. 1.4 Značení nástrojových materiálů[3]

Materiál		Symbol
Nepovlakované slinuté karbidu s obsahem primárního WC		HW
Nepovlakované cermety s obsahem TiC nebo TiN nebo obou		HT
Povlakované slinuté karbidy a cermety		HC
Řezná keramika	Oxidická ŘK s obsahem primárního Al_2O_3	CA
	Směsná ŘKna bázi Al_2O_3 s neoxidickými přísadami	CM
	Neoxidická ŘK s obsahem primárního Si_3N_4	CN
	Povlakovaná ŘK	CC
Supertvrdé materiály	Polykrystalický diamant	DP
	Polykrystalický kubický nitrid boru	BN

1.8.1 Nástrojové oceli

Nástroje musí mít vysokou pevnost a tvrdost, u jiných se zase provádí operace, které tyto vlastnosti snižují, aby bylo dosaženo vysoké houževnatosti. Nástroje pracují za tepla tak musí jejich mechanické vlastnosti zůstat i za tepla. Odolnost proti adheznímu a abrazivnímu opotřebení je požadována u všech nástrojů. Aby se snížilo riziko praskání nástrojů, musí mít nástrojové oceli vysokou čistotu, tj. nižší obsah vměstků, a rovnoměrně rozložené karbidy. Nástrojové oceli se dělí dle chemického složení (Tab. 1.5):[3]

- nelegované oceli,
- legované oceli – nízkolegované, středně legované,
- vysokolegované oceli.

Tab. 1.5 Rozdělení, značení, vlastnosti a užití nástrojových ocelí[3]

Oceli		Nelegované	Legované	Vysokolegované (Rychlořezné)
Označení		19 0xx – 19 2xx	19 3xx – 19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku [%]		0,5 – 1,5	0,8 – 1,2	0,7 – 1,3
Obsah legujících prvků [%]	Celkem	<1,0	10 – 15	>30
	Jednotlivé prvky	Desetiny	Jednotky	Až desítky
Legující prvky		Mn,Si,Cr	**Cr**,W,Mo,V,Mn,Si,Ni	**W,**Mo,Cr,V,Co
Kalící prostředí		Voda	Olej	Vzduch
Tvrdost po kalení [HRC]		62 – 64	66	64 – 68
Užití		Ruční nástroje a nářadí(nůžky, sekáče, pilníky, pilky na kov)	Strojní nástroje pro nižší hodnoty Vc (např. protahovací trny)	Strojní nástroje(nože, frézy, vrtáky, výstružníky, atd.)

1.8.2 Slinuté karbidy (SK)

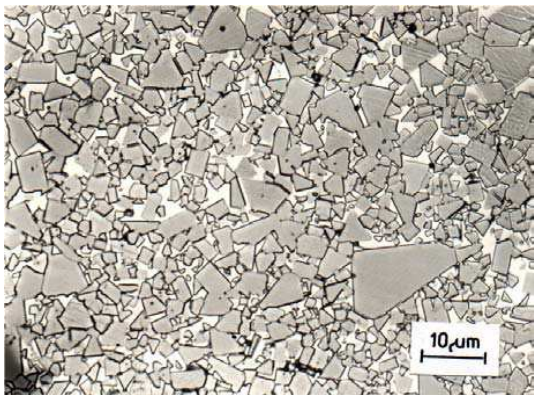
Slinuté karbidy (Tab. 1.6) jsou nejpevnějšími materiály mezi tvrdými nástrojovými materiály. Mohou být použity pro těžké přerušované řezy a pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi. V důsledku své nízké termochemické stability nemohou být použity pro vysoké řezné rychlosti.[3]

Slinuté karbidy jsou podle jejich použití rozdělovány do 3 skupin:

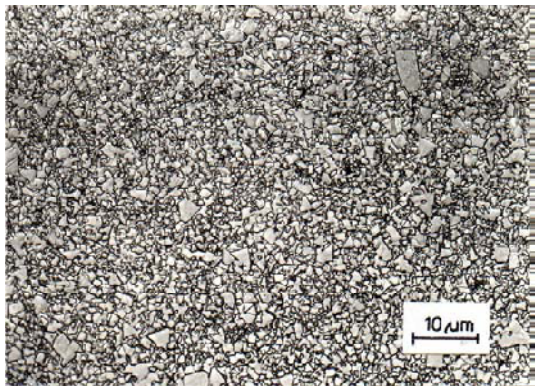
Skupina K (značení - červená barva), (Obr. 1.24, Obr. 1.25) – skupina určená pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou, drobivou třísku (litiny, neželezné slitiny, nekovové materiály). Tyto materiály je nevhodné používat pro obrábění materiálů, které tvoří dlouho třísku, protože je to tepelně zatěžuje, a s rostoucí teplotou ztrácí tvrdost.[3]

Skupina P (značení - modrá barva), (Obr. 1.26) – skupina určená pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku (uhlíkové oceli, slitinové oceli). Přísada TiC zde zaručuje odolnost při difůzi i při vysokých teplotách.[3]

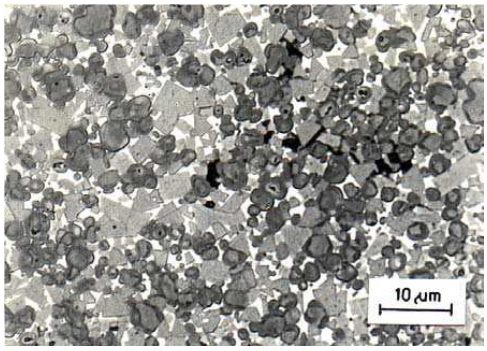
Skupina M (značení - žlutá barva) (Obr. 1.27) – univerzální skupina slinutých karbidů, která má použití u materiálů, které tvoří střední a dlouhou třísku (lité oceli, tvárné litiny).[3]



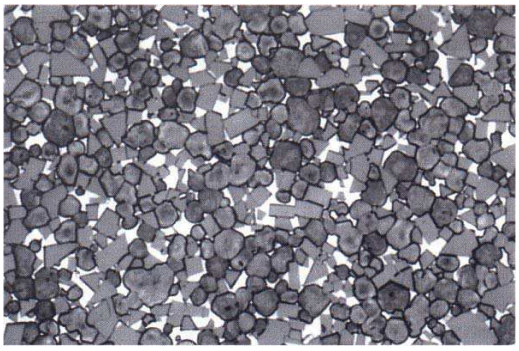
Obr. 1.24 Hrubozrný SK skupiny K



Obr. 1.25 Jemnozrný SK skupiny K



Obr. 1.26 SK skupiny P



Obr. 1.27 SK skupiny M

Tab. 1.6 Složení a vlastnosti SK[3]

označení	Složení [%] Ve většině případu Obsahuje 5-40% NbC			Měrná hmotnost [g.cm^{-3}]	Tvrdost [HV]	Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [Mpa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Tepelná vodivost [W.m^{-1}.K^{-1}]	Koeficient délkové roztažnosti [10^{-6}.K^{-1}]
	WC	TiC+TaC	Co							
P01.2	30	64	6	7,2	1800	750	3500			
P01.3	51	43	6	8,5	1750	900	4200	460	17	7,5
P01.4	62	33	5	10,1	1750	1000	4100	480	17	7,5
P05	77	18	5	12,2	1700	1100	4300			
P10	63	28	9	10,7	1600	1300	4600	530	29	6,5
P20	76	14	10	11,9	1550	1500	4800	540	34	6
P25	71	20	9	12,4	1450	1750	4800	550	42	6
P30	82	8	10	13,1	1500	1700	5000	560	59	5,5
P40	75	12	13	12,7	1400	1900	7900	550	59	5,5
P50	69	15	17	12,5	1300	2100	4000	520	54	
M10	84	100	6	13,1	1750	1350	5000	580	50	5,5
M20	82	10	8	13,4	1550	1600	5000	570	63	5,5
M30	81	10	9	14,4	1450	1800	4800	550	63	5,5
M40	79	6	15	13,6	1300	2100	4400	540	67	6
K01	92	4	4	15	1800	1200	5900	670	84	4,5
K05	91	3	6	14,5	1750	1400	5900	650	80	5
K10	92	2	6	14,8	1600	1500	5700	630	80	5
K20	93	1	6	14,8	1550	1700	5200	620	80	5
K30	90	1	9	14,4	1450	1900	4700	580	71	5,3
K40	87	1	12	14,2	1300	2100	4500	570	67	5,5

1.8.3 Supertvrdé materiály

(Polykrystalický diamant - PD, polykrystalický kubický nitrid boru - PKNB).

Vzhledem k vysoké ceně a vlastnostem, mají zcela specifické použití. Polykrystalický kubický nitrid boru je používán na obrábění tvrdých, kalených materiálů, s tvrdostí minimálně 45HRC. Polykrystalický diamant se používá na obrábění vláknově vyztužených kompozitů, hlavně na hliníkové slitiny se zvýšeným obsahem Si. Dosahuje řezné rychlosti až do 5000 $m.min^{-1}$. Vlastnosti supertvrdých materiálů jsou uvedeny v (Tab. 1.7).[3]

Tab. 1.7 Vlastnosti supertvrdých materiálů[3]

Vlastnost	Diamant		PKNB
	Monokrystal	Polykrystal	
Měrná hmotnost [$g.cm^{-3}$]	3,52	3,6 – 4,1	3,4 – 4,3
Délka strany kubické mřížky [nm]		0,3567	0,3616
Pevnost v tlaku [GPa]		4,7	3,8
Mikrotvrdost [HV]	12000	7000 – 10000	5000 – 8000
Modul pružnosti v tahu [GPa]		925	680
Modul pružnosti ve smyku [GPa]		430	280
Lomová houževnatost [$MN.m^{-3/2}$]		8,0	5,0
Poissonova konstanta [-]		0,09	0,22
Koeficient délkové roztažnosti při 200℃ [$10^{-6}K^{-1}$]	2,5	4,0	4,9
Měrná tepelná vodivost [$W.m^{-1}.K^{-1}$]		120	100 – 600
Teplotní stálost [℃]		700 – 800	1500 - 1600

1.8.4 Řezná keramika

Řezná keramika se používá při obrábění nízkou posuvovou rychlostí a vysokou řeznou rychlostí, protože má nízkou houževnatost, ale vysokou termochemickou stabilitu a tvrdost za tepla. Řezná keramika Si_3N_4 díky vyšší houževnatosti snese vyšší posuvovou rychlost než řezná keramika Al_2O_3. Z důvodu značně rychlého opotřebení při obrábění ocelí, je její použití omezeno na obrábění šedé litiny.[3]

Vybrané vlastnosti řezných keramik, cermetů a slinutého karbidu jsou popsaný v (Tab. 1.8)

1.8.5 Rychlořezné oceli

Rychlořezné materiály mají poměrně nízkou tvrdost, ale mají vysokou houževnatost. Z toho důvodu jsou vyráběny jako nástroje pro obrábění nízkými posuvovými rychlostmi, a jsou z nich vyráběny tvarově složité nástroje, které nemohou být vyrobeny z ostatních řezných materiálů.[3]

Tab. 1.8 Vybrané vlastnosti nástrojových materiálů[3]

Vlastnost		Nástrojový materiál				
		Slinutý karbid WC+Co	Cermet MO_2C+ TiCN+Ni	Al_2O_3+ZrO_2	Al_2O_3+TiC	Si_3N_4 + přísady
Měrná hmotnost [$g.cm^{-3}$]		12,0 – 15,1	5,6 – 7,0	3,8 – 4,0	4,2 – 4,3	3,2 – 3,4
Pevnost v ohybu [MPa]		1000 - 2400	1150 – 1800	600 – 800	600 – 900	600 – 950
Tvrdost	[HV]	1900	2000	1600 - 2200	1000 – 2400	1800 – 2000
	[HRA]	90 – 92	91 – 93	91 – 94	93 – 95	86 – 95
Modul pružnosti v tahu [GPa]		520 – 660	500	340 – 400	370 -420	300 – 380
Souč. délkové roztažnosti [$10^{-6} \cdot K^{-1}$]		4,5 – 7,0	7,0 – 7,5	7,0 – 8,5	1,5 – 3,5	
Měrná tepelná vodivost [$W.m^{-1}K^{-1}$]		80	30	20 – 30	20 – 25	30 - 50
Lomová houževnatost [$MPa.m^{1/2}$]		10 – 17	10	4 – 6		5 - 7

1.8.6 Cermety

Cermety (Tab. 1.9) je možné použít pro vyšší posuvové rychlosti než řeznou keramiku. Dosahují úrovně rychlosti povlakovaných slinutých karbidů. Dobře uplatnitelné při obrábění korozivzdorných ocelí. Při vyšších posuvových rychlostech se projevuje nižší tepelná vodivost a dochází v oblasti špičky k plastickému porušení břitu nástroje, vzhledem k nízké houževnatosti je jejich použití omezeno na lehké a střední rázy.[3]

Tab. 1.9 Užití cermetů[3]

Nástrojový materiál	Aplikace	Analýza
PD	Obrábění slitin hliníku vysokými řeznými rychlostmi Neželezné kovy a nekovové materiály	Lze použít cermetyale při nižších řezných rychlostech, náklady na jeden břit jsou při jejich použití výrazně nižší
PKNB	Tvrdé obrobky a obrábění šedých litin vysokými řeznými rychlostmi	Nelze obrábět pomocí cermetů při stejných rychlostech, náklady na jeden břit jsou u cermetů výrazně nižší
Řezná keramika lisovaná za studena	Vysokorychlostní soustružení a zapichování litin	Cermety jsou univerzální a levnější, ale nemohou pracovat při vysokých řezných rychlostech
Řezná keramika lisovaná za tepla	Soustružení a zapichování tvrdých obrobků, vysokorychlostní dokončovací obrábění ocelí a litin	Tvrdé obrobky nelze obrábět pomocí cermetů, oceli a litiny nelze obrábět při stejných rychlostech,cermety jsou univerzálnější a levnější.
Řezná keramika Si_3N_4	Hrubovací a polohrubovací soustružení a frézování šedých litin vysokými řeznými rychlostmi za nepříznivých podmínek	Pomocí cermetů nelze obrábět šedé litiny při stejných řezných rychlostech, ale při středních rychlostech mohou být levnější
Povlakované SK	Obecné použití pro obrábění ocelí (včetně korozivzdorných), šedých litin, atd.	Cermety mohou pracovat při vyšších řezných rychlostech, mají vyšší trvanlivost a jsou levnější při pohrubovacích a dokončovacích operacích
Slinuté karbidy	Houževnaté nástrojové materiály pro nižší řezné rychlosti a různé obráběné materiály	Cermety mohou pracovat při vyšších rychlostech, zaručují lepší obrobenou plochu

2 EXPERIMENT

Byl proveden experiment odvrtání děr různých průměrů šroubovitými vrtáky firmy Novato.

Vrtání bylo prováděno na sloupové vrtačce značky Heltos (viz Obr. 2.1). Tyto vrtačky jsou schopny vrtat otvory do $\emptyset 40$ mm, jsou podobné jako vrtačky stolní, mají větší sloup, na kterém se pohybuje výškově nastavitelný pracovní stůl. Malé součásti jsou upínány na tento pracovní stůl, větší součásti na základovou desku.

Pokus byl prováděn na součásti z oceli třídy 1.0036 (11 373) o rozměrech 121,5 x 43,5 x 43,5 mm, součást tedy byla upnuta na pracovním stole.

Jsou to uhlíkové oceli nelegované se zaručenou čistotou, obsahem fosforu a síry, pevností v tahu, mezí kluzu a tažností. Používají se pro méně namáhané strojní součásti, například: hřídele, čepy, menší ozubená kola. Ocel 11 373 je představitelem pevnostní řady 37 (pevnost 370 MPa), pro jejich nízký obsah uhlíku jsou vhodné pro svařování.

Parametry:

Materiál:	Ocel 1.0036 (11 373), 121,5 x 43,5 x 43,5mm
Stroj:	Sloupová vrtačka Heltos
Nástroj:	Šroubovité vrtáky firmy Novato

Řezné podmínky byly voleny dle tabulky (Tab. 2.1), z dané tabulky byli vyčteny potřebné parametry pro odvrtání děr.

Tab. 2.1 Optimální řezné podmínky pro vrtání šroubovitými vrtáky z RO[12]

Obráběný materiál	D $[mm]$	1	3	5	8	10	12	16	20
Ocel $\sigma_{Pt} < 600Mpa$	v $[m \cdot min^{-1}]$	26,5	33,3	42,2	42,2	42,2	42,2	42,2	42,2
	n $[min^{-1}]$	8000	3150	2500	1600	1250	1000	800	630
	s $[mm \cdot ot^{-1}]$	0,05	0,05	0,1	0,2	0,224	0,28	0,315	0,355
Ocel $\sigma_{Pt} = 600$ až $750Mpa$	v $[m \cdot min^{-1}]$	21,4	26,5	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
	n $[min^{-1}]$	6350	2500	2000	1250	1000	800	360	500
	s $[mm \cdot ot^{-1}]$	0,05	0,05	0,1	0,2	0,224	0,28	0,315	0,355
Ocel $\sigma_{Pt} = 750$ až $900Mpa$	v $[m \cdot min^{-1}]$	13,3	16,6	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2
	n $[min^{-1}]$	4000	1600	1250	800	630	500	400	315
	s $[mm \cdot ot^{-1}]$	0,031	0,031	0,071	0,14	0,16	0,18	0,2	0,224
Ocel Cr-Ni $\sigma_{Pt} = 750$ až $850Mpa$	v $[m \cdot min^{-1}]$	13,3	16,6	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2
	n $[min^{-1}]$	4000	1600	1250	800	630	500	400	315
	s $[mm \cdot ot^{-1}]$	0,04	0,04	0,08	0,18	0,2	0,25	0,28	0,3
Ocel legované $\sigma_{Pt} = 850$ až $1000Mpa$	v $[m \cdot min^{-1}]$	7,1	9	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
	n $[min^{-1}]$	2240	900	710	450	335	280	224	180
	s $[mm \cdot ot^{-1}]$	0,031	0,031	0,056	0,112	0,14	0,16	0,18	0,2
Ocel legované $\sigma_{Pt} = 1000$ až $1250Mpa$	v $[m \cdot min^{-1}]$	5,6	7,1	9	9	9	9	9	9
	n $[min^{-1}]$	1800	710	560	355	280	224	180	140
	s $[mm \cdot ot^{-1}]$	0,025	0,025	0,05	0,1	0,112	0,125	0,14	0,16
Litina šedá HB 1800 až 200	v $[m \cdot min^{-1}]$	16,3	21,4	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
	n $[min^{-1}]$	5000	2000	1600	1000	800	630	500	400
	s $[mm \cdot ot^{-1}]$	0,05	0,05	0,112	0,224	0,28	0,315	0,355	0,4

2.1 Postupování při experimentu

1.) Materiál byl nejprve orýsován a byly udělány středicí důlky.

2.) Materiál byl upnut do přípravku na pracovním stole (Obr. 2.2)

3.) Postupně byly vyvrtávány díry, místa děr jsou označeny body A, B, C (Obr. 2.3)

4.) Na díru s označením A byl použit vrták $\emptyset 10$ mm a z tabulky byly zvoleny patřičné řezné podmínky $v = 42{,}2\ m \cdot min^{-1}$, $n = 1250\ min^{-1}$, $s = 0{,}224\ mm \cdot ot^{-1}$

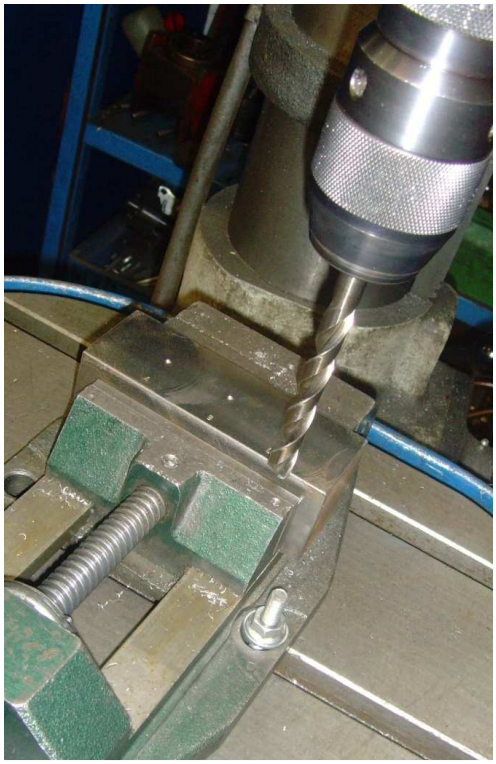
5.) Na díru s označením B byl použit vrták $\emptyset 6$ mm a z tabulky byly zvoleny patřičné řezné podmínky $v = 42{,}2\ m \cdot min^{-1}$, $n = 2200\ min^{-1}$, $s = 0{,}12\ mm \cdot ot^{-1}$

6.) Na díru s označením C byl nejdříve použit vrták $\emptyset 6$ mm a z tabulky byly zvoleny patřičné řezné podmínky $v = 42{,}2\ m \cdot min^{-1}$, $n = 2200\ min^{-1}$, $s = 0{,}12\ mm \cdot ot^{-1}$. Následně byl použit vrták $\emptyset 10$ mm a z tabulky byly zvoleny patřičné řezné podmínky $v = 42{,}2\ m \cdot min^{-1}$, $n = 1250\ min^{-1}$, $s = 0{,}224\ mm \cdot ot^{-1}$

7.) Díry jsou hotové (Obr. 2.4). Změříme střední aritmetické úchylky a porovnáme je s tabulkovými hodnotami.

2.2 Dokumentace experimentu:

Obr. 2.1 Vrtačka Heltos



Obr. 2.2 Upnutí obrobku na pracovním stole

Obr. 2.3 Vrtání děr

Obr. 2.4 Hotové díry

2.3 Výsledky experimentu

Výsledky vrtání se dají vyčíst v příloze 1 pro díru A, a pro díru C v příloze 2. Bohužel výsledky pro díru B nejsou k dispozici, jelikož je díra moc malá a zařízení se do díry nevlezlo. Z tabulky (Tab. 1.1) je možné vyčíst, že ti vrtání šroubovitým vrtákem je možné dosáhnout střední aritmetické úchylky povrchu Ra 6,3 - 25μm.

V díře A je dosahováno $Rmax = 22.7\mu m$ což vyhovuje rozptylu, ale obráběná díra, má špatnou kvalitu povrchu.

V díře C je dosahováno $Rmax = 19.2\mu m$ což vyhovuje rozptylu, ale obráběná díra, má špatnou kvalitu povrchu.

ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na vrtací technologie v dnešní době. Z dlouholetého studia a vývinu technologií se vrtací operace stále více zkvalitňují a zrychlují. Existuje celá škála nástrojových materiálů, ale každý je vhodný na obrábění jiného typu materiálu. Z toho plyne, že doposud nebyl vynalezen žádný univerzální materiál, kterým by se dalo obrábět velké množství materiálů.

Práce byla řešena postupně od vrtacích nástrojů, přes stroje sloužící k vrtání, přípravky sloužící ke zkvalitnění, zjednodušení a zrychlení vrtání až po nástrojové materiály.

Existuje velký výběr vrtáků pro tvorbu vnitřních rotačních otvorů, ať už jsou to šroubovité, kopinaté, dělové a hlavňové nebo vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami. Nejpoužívanější typ vrtáku je šroubovitý z rychlořezné oceli či slinutých karbidů. Na vrtáky jsou kladeny jisté požadavky, jako je tvrdost, odolnost vůči opotřebení, houževnatost, atd. Dalším důležitým faktorem je prostředí, ve kterém pracuje. O životnosti nástroje rozhoduje správná volba procesní kapaliny, správnost naostření, volba řezných rychlostí, atd.

Vrtání je prováděno na vrtáčkách, ale i na soustruzích, obráběcích centrech či vodorovných vyvrtávačkách. Typ použité vrtačky se volí podle průměru díry, kterou vrtáme.

Správná volba materiálu při obrábění rozhoduje o kvalitě dané díry, ale i životnosti nástroje. V současné době je nástrojových materiálů široký sortiment. Od nástrojových ocelí přes slinuté karbidy, cermety až po polykrystalický diamant.

V závěru práce je popsán experiment odvrtání děr. Díry byly změřeny na přístroji na měření střední aritmetické úchylky. Naměřené hodnoty byly poněkud odlišné od tabulkových. Může to být dáno špatným naostřením nástroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZROJŮ

1. KOCMAN, Karel. PROKOP, Jaroslav. *Výrobní technologie II*. [cit. 2011-03-15]. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 83 s. ISBN 80 – 214 – 2189 - 4
2. NĚMEC, Dobroslav et al. *Strojírenská technologie 3 – Strojí obrábění.* [cit. 2011-03-15]. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1982. 320 s.
3. HUMÁR, Anton. *Technologie I: technologie obrábění – 1.část*. [online]. [cit. 2011-03-20]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, FSI, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory (pozn. Materiál dostupný pouze v síti VUT).
4. HUMÁR, Anton. *Technologie I: technologie obrábění – 2.část*. [online]. [cit. 2011-03-20]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, FSI, 2004. 95 s. Dostupné na World Wide Web: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory (pozn. Materiál dostupný pouze v síti VUT).
5. Vrtání,vyhrubování,vystružování,zahlubování [online]. [cit. 2011-04-01]. Dostupné na World Wide Web: http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep22.pdf
6. KOCMAN, Karel. PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění.* 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80 – 214 – 1996 - 2
7. Řezné podmínky při obrábění [online]. [cit. 2011-04-01]. Dostupné na World Wide Web: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_rp.pdf
8. HLUCHÝ, Miroslav et al. *Strojírenská technologie 2 – Polotovary a jejich technologičnost.* [cit. 2011-04-10]. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1979. 403 s.
9. Zemčík, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění.* [cit. 2011-04-20]. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003. 193 s. ISBN 80 – 214 – 2336 - 6
10. CHVÁLA, Břetislav. VOTAVA, Josef. *Přípravky* [cit. 2011-04-20]. 1.vyd. SNTL – Nakladatelství technické literatury, ALFA – Vydavatelstvo techniké a ekonomické literatury. 1988. 275 s.
11. Blohm normteile [online]. [cit. 2011-04-20]. Dostupné na World Wide Web: http://blohm.cz/download/Bohrbuchsen_Blohm.pdf
12. Kinematika vrtání [online]. [cit. 2011-04-25]. Dostupné na World Wide Web: http://www.ateam.ic.cz/vrtak.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

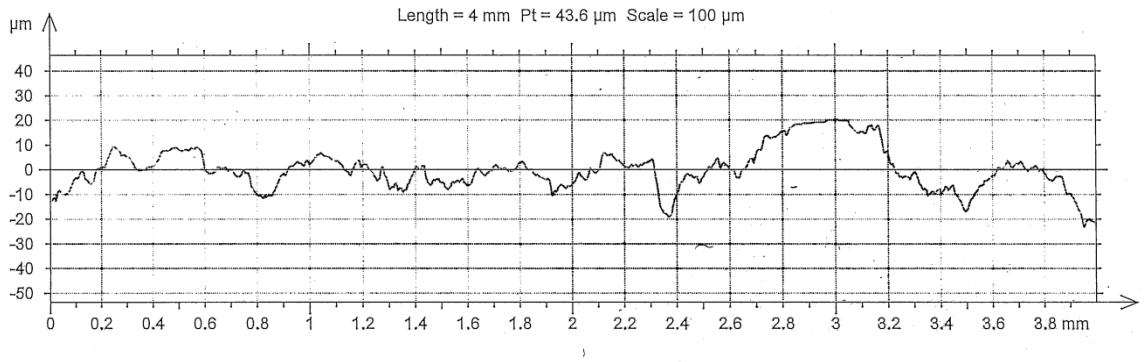
Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A_D	$[mm^2]$	Jmenovitý průřez třísky
a_p	$[mm]$	Šířka záběru ostří
b_D	$[mm]$	Šířka třísky
C_{Fc}, C_{Ff}	$[-]$	Konstanty vyjadřující vliv materiálu
d	$[mm]$	Průměr předvrtané díry
D	$[mm]$	Průměr vrtáku
f	$[mm]$	Posuv na otáčku
f_z	$[mm]$	Posuv na zub
F_C	$[N]$	Řezná síla
F_{C1}, F_{C2}	$[N]$	Složky řezné síly
F_f	$[N]$	Posuvová síla
F_{f1}, F_{f2}	$[N]$	Složky posuvové síly
F_p	$[N]$	Pasivní síla
F_{p1}, F_{p2}	$[N]$	Složky pasivní síly
h_D	$[mm]$	Tloušťka třísky
L	$[mm]$	Dráha vrtáku
l	$[mm]$	Délka díry
l_n	$[mm]$	Náběh vrtáku
l_p	$[mm]$	Přeběh vrtáku
n	$[min^{-1}]$	Otáčky vrtáku
P_C	$[kW]$	Řezný výkon
t_{AS}	$[mm]$	Jednotkový strojní čas
v_c	$[mm]$	Řezná rychlost
v_e	$[mm]$	Rychlost řezného pohybu
v_f	$[mm]$	Posuvová rychlost
X_{Fc}, X_{Ff}	$[-]$	Exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku
Y_{Fc}, Y_{Ff}	$[-]$	Exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku
z	$[-]$	Počet zubů
κ_r	$[-]$	Úhel nastavení hlavního ostří vrtáku

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Výsledky experimentu pro díru A
Příloha 2 - Výsledky experimentu pro díru C

Příloha 1

Díra A



Parameters calculated on the profile Profile

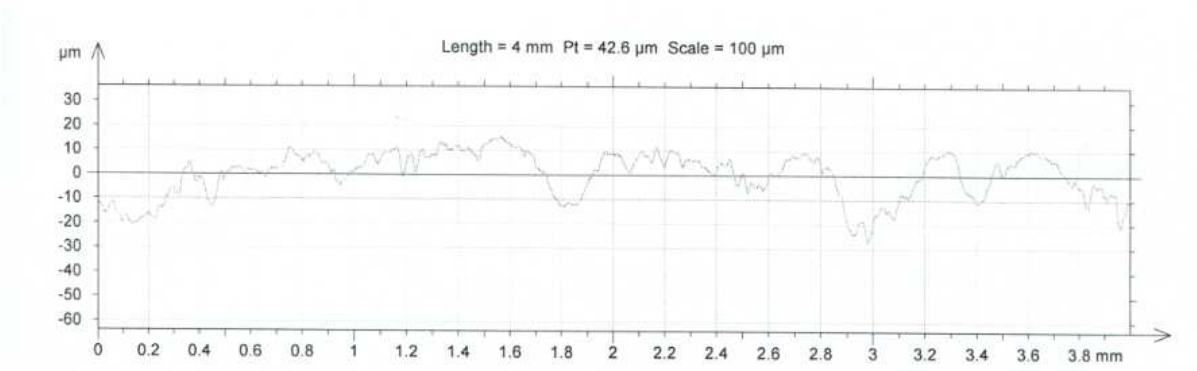
```
* Parameters calculated by mean of all the sampling
lengthes.
* A microroughness filtering is used, with a ratio of
2.5 µm.

Roughness Parameters, Gaussian filter, 0.8 mm

   Ra     = 3.17 µm
            Ra: Arithmetic Mean Deviation of the
roughness profile.
   Rmax   = 22.7 µm
            Rmax: Maximum Peak-to-Valley height of the
sampling lengthes on the roughness profile.
```

Příloha 2

Díra C



Parameters calculated on the profile Profile

* Parameters calculated by mean of all the sampling lengthes.
* A microroughness filtering is used, with a ratio of 2.5 µm.

Roughness Parameters, Gaussian filter, 0.8 mm

Ra = 3.49 µm
Ra: Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rmax = 19.2 µm
Rmax: Maximum Peak-to-Valley height of the sampling lengthes on the roughness profile.