



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RACIONALIZACE TECHNOLOGIE VRTÁNÍ

RATIONALISATION OF DRILLING TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JOSEF ROZUM

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Josef Rozum

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Racionalizace technologie vrtání

v anglickém jazyce:

Rationalisation of drilling technology

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést rozbor technologických operací svrtávání na součástkách ložiskových kroužků. Navrhnout racionalizační opatření ke zlepšení současného stavu a provést ekonomické vyhodnocení.

Cíle diplomové práce:

Úvod.

Rozbor stávající technologie svrtávání na součástkách ložiskových kroužků.

Návrh variant racionalizačních opatření.

Výběr optimální varianty.

Ekonomické vyhodnocení bilance nákladů.

Diskuze.

Závěr.

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scienta, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 270s. ISBN 80-214-1996-2.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MMPublishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

JUROVÁ, Marie. Řízení výroby I, Část 1. 2. přepracované a doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005, 81 s. ISBN 80-214-3066-4.

JUROVÁ, Marie. Řízení výroby I, Část 2. 2. přepracované a doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006, 138 s. ISBN 80-214-3134-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 25. 11. 2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na racionalizaci technologie vrtání děr v ložiskových kroužcích určených pro větrné elektrárny. Práce obsahuje přehled vrtacích nástrojů, rozbor stávajícího stavu a návrh racionalizačních opatření. Racionalizační opatření jsou zaměřena především na vhodnou volbu technologie vrtání a použité nástroje. Dle ekonomického vyhodnocení byla vybrána nejvhodnější varianta pro vrtání děr.

Klíčová slova

racionalizace technologie, vrtání, vrták, ložiskový kroužek

ABSTRACT

Master's thesis focus on the rationalisation of the holes drilling technology in the bearing rings which are defined for wind generators. This work contains review of drilling tools, analysis of the current state and proposal of rationalising precautions. Rationalising precautions are focused mainly on the adequate choice of the drilling technology and applied tools. The most suitable option was chosen for the drilling of holes according to the economical evaluation.

Key words

rationalisation of technology, drilling, drill, bearing ring

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ROZUM, J. *Racionalizace technologie vrtání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Racionalizace technologie vrtání** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26.5.2014

.....
Datum

Bc. Josef Rozum

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji panu Romanu Dočkalovi a panu Ing. Davidu Husákovi ze společnosti Brück AM za cenné rady a informace o výrobě ložiskových kroužků.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ	10
1.1 Kinematika vrtání	10
1.2 Řezné podmínky	10
1.3 Průřez třísky.....	11
1.4 Řezné síly.....	13
1.5 Řezný výkon	15
1.6 Jednotkový strojní čas.....	16
2 NÁSTROJE	17
2.1 Středící vrtáky.....	17
2.2 Šroubovitě vrtáky.....	18
2.2.1 Ostření šroubovitých vrtáků.....	19
2.3 Kopinaté vrtáky.....	22
2.4 Vrtáky s vyměnitelnou špičkou	22
2.5 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami	23
2.6 Korunkové vrtáky	23
2.7 Dělové a hlavňové vrtáky	24
2.8 Ejektorové vrtáky.....	25
2.9 BTA nebo STS vrtáky.....	26
2.10 Vrtáky do plechu.....	27
2.11 Odstupňované vrtáky	27
3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	28
3.1 Rychlořezné oceli	28
3.2 Slinuté karbidy.....	28
3.2.1 Povlakované slinuté karbidy	29
3.3 Cermety.....	30
3.4 Řezná keramika.....	30
3.5 Supertvrde řezné materiály	30
3.5.1 Kubický nitrid boru.....	30
3.5.2 Polykrystalický diamant	30

4	ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE.....	31
4.1	Použité nástroje.....	35
5	NÁVRH VARIANT RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ.....	41
5.1	Varianty racionalizace	41
5.2	Vrtání děr skrz na jednovřetenovém vrtacím centru.....	41
5.3	Svrtávání děr na dvouvřetenovém vrtacím centru	46
5.4	Vrtání děr skrz na dvouvřetenovém vrtacím centru.....	50
6	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	53
6.1	Stávající technologie.....	53
6.2	Vrtání děr skrz na jednovřetenovém vrtacím centru.....	54
6.3	Svrtávání děr na dvouvřetenovém vrtacím centru	56
6.4	Vrtání děr skrz na dvouvřetenovém vrtacím centru.....	57
6.5	Shrnutí.....	58
7	DISKUZE	59
7.1	Další možnosti racionalizace	59
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63
	SEZNAM PŘÍLOH.....	66

ÚVOD

Předložená diplomová práce se zabývá problematikou ložiskových kroužků, které patří k důležitým komponentům větrných elektráren. Umožňují natáčení jejich lopatek kolem podélné osy za účelem regulace chodu elektrárny. Kroužky jsou na čele opatřeny velkým množstvím průchozích děr. Těmito dírami procházejí šrouby při montáži ložiskových kroužků do tělesa větrné elektrárny. Na válcovou plochu díry tedy nejsou kladeny vysoké požadavky na jakost povrchu a není nutné používat žádnou dokončovací metodu obrábění děr. Vrtání děr patří k základním obráběcím operacím, které se na součástkách ložiskových kroužků provádějí. Racionalizace technologie byla zaměřena na výběr nejvhodnější varianty technologie vrtání děr.

Výroba ložiskových kroužků probíhá ve společnosti Brück AM v Zámrsku. Společnost byla založena v roce 1993. Její mateřská společnost Brück GmbH Ensheim je renomovaná výrobně obchodní společnost s osmdesátiletou tradicí. Brück AM vyrábí především součásti rotačního charakteru pro energetický, petrochemický, stavební, dopravní, potravinářský a farmaceutický průmysl. Disponuje více než sedmdesáti výrobními zařízeními pro řezání, lisování, válcování, tepelné zpracování a obrábění. Je vybavena velkým množstvím karuselových soustruhů a přibližně 80% z nich je vybaveno magnetickým upínáním. Typickými součástkami jsou ložiskové kroužky pro větrné elektrárny, otočné spojovací prvky, tramvajová kola a další. Kromě Německa vyváží společnost Brück AM své výrobky do řady zemí všech kontinentů.

1 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ

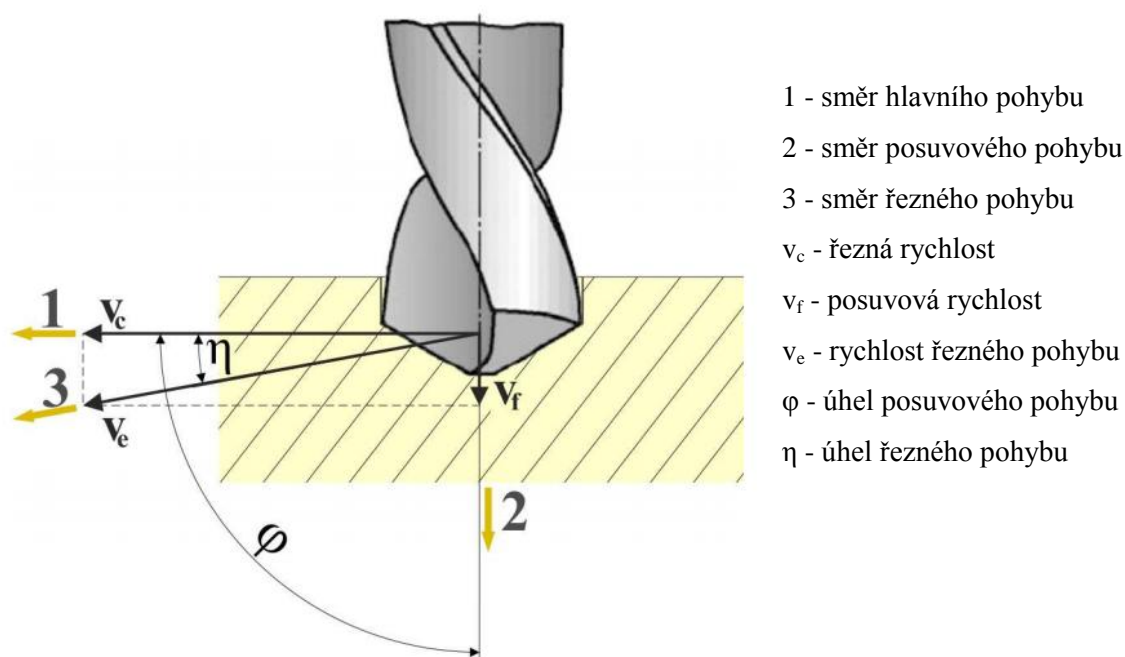
Vrtání je metoda třískového obrábění sloužící k výrobě válcových děr. Vrtat lze do plného materiálu nebo zvětšovat už předpřipravené díry (předvrtané, předlité, předkované, předlisované). Hlavní pohyb je rotační a koná ho většinou nástroj, vedlejší posuvový pohyb je ve směru osy vrtáku a obvykle ho koná nástroj. Plocha, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu, je obvykle kolmá na osu vrtáku.

Analogické pohyby nástroje jsou využívány i při vyhrubování a vystružování, které se používá za účelem dosažení lepších rozměrových a geometrických přesností. Dále pak při zahlabování, které slouží k úpravě tvaru konců děr.

U nástrojů sloužících k výrobě děr se řezná rychlost směrem od obvodu k ose nástroje zmenšuje (v ose nástroje je její hodnota nulová). Proto je za řeznou rychlost považována obvodová rychlost na maximálním průměru nástroje [1].

1.1 Kinematika vrtání

Kinematika procesu vrtání šroubovitým vrtákem je znázorněna na obr. 1.1:



Obr. 1.1 Kinematika procesu vrtání [6].

1.2 Řezné podmínky

Řeznou rychlost lze vyjádřit vztahem [1]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

kde: v_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr obráběné díry,
 n [min⁻¹] - otáčky nástroje (případně obrobku).

Posuvovou rychlost lze vyjádřit vztahem [1]:

$$v_f = f \cdot n, \quad (1.2)$$

kde: v_f [mm.min⁻¹] - posuvová rychlost,
 f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku,
 n [min⁻¹] - otáčky nástroje (případně obrobku).

Rychlost řezného pohybu lze vyjádřit vztahem [1]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2}, \quad (1.3)$$

kde: v_e [mm.min⁻¹] - rychlost řezného pohybu,
 v_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost,
 v_f [mm.min⁻¹] - posuvová rychlost,
 n [min⁻¹] - otáčky nástroje (případně obrobku),
 D [mm] - průměr obráběné díry,
 f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku.

Posuv na zub lze vyjádřit vztahem [1]:

$$f_z = \frac{f}{z}, \quad (1.4)$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,
 f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku,
 z [-] - počet zubů (břitů) nástroje.

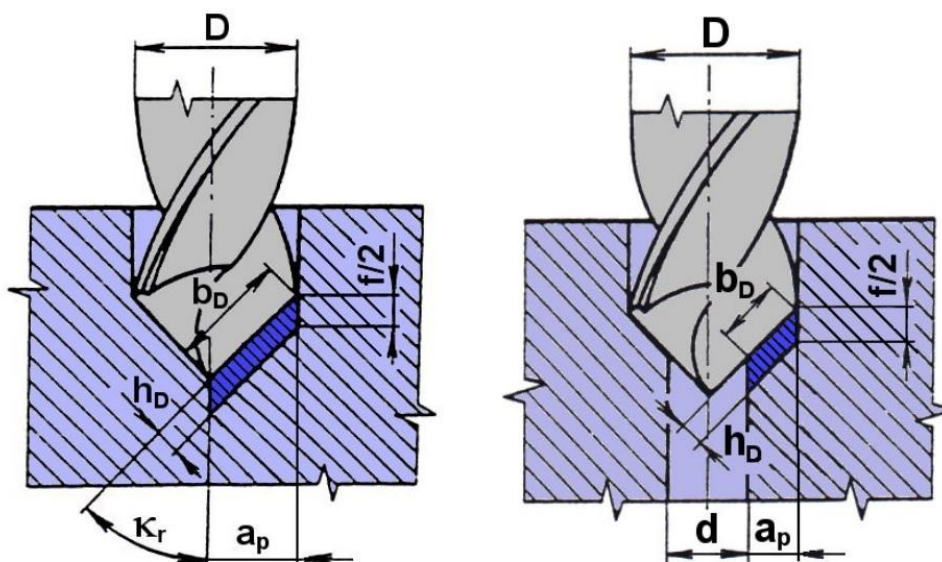
1.3 Průřez třísky

Na obrázku 1.2 jsou uvedeny parametry průřezu třísky pro základní případy vrtání. Vztahem (1.5) lze vyjádřit jmenovitý průřez třísky, který je odebírán jedním břitem šroubovitého vrtáku [1]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2}, \quad (1.5)$$

kde: A_D [mm²] - jmenovitý průřez třísky,
 b_D [mm] - jmenovitá šířka třísky,

- h_D [mm] - jmenovitá tloušťka třísky,
 a_p [mm] - šířka záběru ostří,
 f [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku.



Obr. 1.2 Parametry průřezu třísky [1].

Šířka záběru ostří při vrtání do plného materiálu je $a_p = \frac{D}{2}$, a při vrtání předvrtané díry je $a_p = \frac{D-d}{2}$ z toho vyplývají výsledné tvary vztahů pro výpočet průřezu třísky:

pro vrtání do plného materiálu [1]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4}, \quad (1.6)$$

a pro vrtání předvrtané díry [1]:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{4}. \quad (1.7)$$

Tyto vztahy ovšem platí pro průřez třísky odebraný jedním břitem. Pro dvoubřitý nástroj budou mít vztahy následující tvar:

pro vrtání do plného materiálu [1]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2}, \quad (1.8)$$

a pro vrtání předvrtané díry [1]:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{2}, \quad (1.9)$$

Při vrtání šroubovitým vrtákem lze jmenovité hodnoty parametrů průřezu třísky vyjádřit následujícími vztahy:

jmenovitá tloušťka třísky [1]:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r, \quad (1.10)$$

jmenovitá šířka třísky:

při vrtání do plného materiálu [1]:

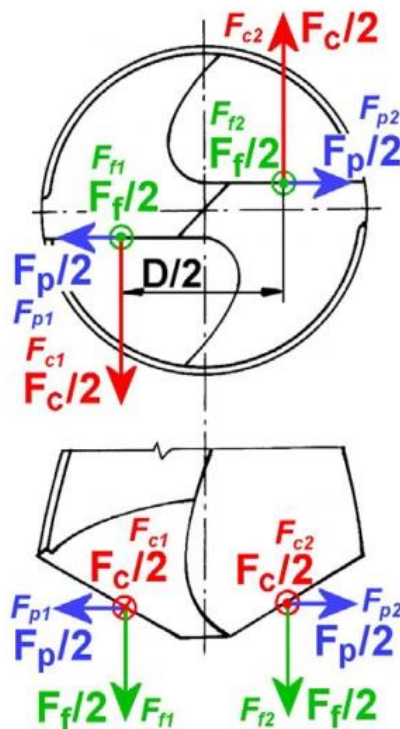
$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r}, \quad (1.11)$$

při vrtání předvrtané díry [1]:

$$b_D = \frac{D - d}{2 \cdot \sin \kappa_r}. \quad (1.12)$$

1.4 Řezné síly

Při použití standardního šroubovitého vrtáku dochází k oddělování materiálu dvěma břity současně. Břity vrtáku jsou postaveny symetricky vůči jeho ose. Pro nástroje se symetricky umístěnými zuby tvoří výsledné síly součty nebo rozdíly hodnot na obou břitech nástroje (obr. 1.3) [1]:



Obr. 1.3 Řezné síly při vrtání [1].

posuvová síla [1]:

$$F_f = F_{f1} + F_{f2}, \quad (1.13)$$

pasivní síla [1]:

$$F_p = F_{p1} - F_{p2}, \quad (1.14)$$

řezná síla [7]:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} = k_c \cdot A_D. \quad (1.15)$$

Při správném a přesném naostření jsou síly působící na obou břitech stejně velké ($F_p = 0$), z toho plyne [1]:

$$F_{f1} = F_{f2} = \frac{F_f}{2}, \quad (1.16)$$

$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{F_p}{2}, \quad (1.17)$$

$$F_{c1} = F_{c2} = \frac{F_c}{2}. \quad (1.18)$$

Při vrtání lze pro celý nástroj stanovit jednotlivé síly (odpory) podobně jako u soustružení pomocí empirických vztahů [1]:

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}}, \quad (1.19)$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}}, \quad (1.20)$$

kde: C_{Ff}, C_{Fc} [-] - konstanty, vyjadřující především vliv obráběného materiálu,
 x_{Ff}, x_{Fc} [-] - exponenty, vyjadřující vliv průměru vrtáku,
 y_{Ff}, y_{Fc} [-] - exponenty, vyjadřující vliv posuvu na otáčku,
 D [mm] - průměr vrtáku,
 f [mm] - posuv na otáčku.

Za předpokladu, že platí (1.18) a (1.20) lze odvodit empirický vztah pro výpočet krouticího momentu k ose vrtáku [1]:

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D}{4} = \frac{1}{4} \cdot F_c \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{f_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{f_c} \cdot D^{(x_{F_c}+1)} \cdot f^{y_{F_c}},$$

pro zjednodušení:

$$\frac{1}{4} \cdot C_{f_c} = C_M, \quad x_{F_c} + 1 = x_M,$$

$$M_k = C_M \cdot D^{x_M} \cdot f^{y_{F_c}}. \quad (1.21)$$

1.5 Řezný výkon

Přibližný řezný výkon při vrtání se určí dle vztahu [1]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 10^3} = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5}. \quad (1.22)$$

Sílu F_c je poměrně složité přesně vyjádřit i lokalizovat (například těžištěm) vzhledem k proměnné geometrii nástroje a řezné rychlosti (závislé mj. na průměru vrtáku). Je také obtížné oddělit vliv pasivních odporů, jádra vrtáku, atd. Z těchto důvodů je využíván vztah (1.23) [7]:

$$P_c = \frac{M_k \cdot n}{9,55}, \quad (1.23)$$

kde: M_k [Nm] - řezný (krouticí) moment,
 n [min^{-1}] - otáčky vrtáku.

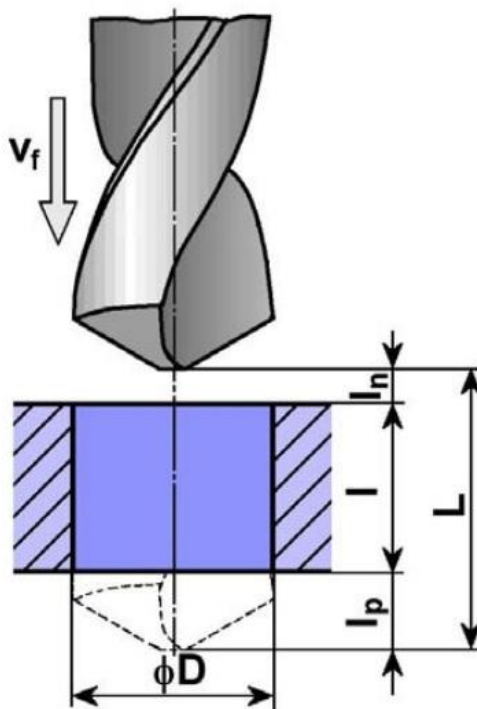
Přibližný posuvový výkon při vrtání lze určit dle vztahu [7]:

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{6 \cdot 10^4}, \quad (1.24)$$

kde: F_f [N] - posuvová síla,
 v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] - posuvová rychlost.

1.6 Jednotkový strojní čas

Při vrtání průchozí díry šroubovitým vrtákem (obr. 1.4) lze jednotkový strojní čas vyjádřit pomocí vztahu (1.25) [1]:



Obr. 1.4 Dráha vrtáku [1].

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f}, \quad (1.25)$$

kde:	t_{AS} [min]	-	jednotkový strojní čas,
	l_n [mm]	-	náběh vrtáku,
	l [mm]	-	délka vrtané díry,
	l_p [mm]	-	přeběh vrtáku,
	v_f [mm.min ⁻¹]	-	posuvová rychlost,
	n [min ⁻¹]	-	otáčky vrtáku,
	f [mm]	-	posuv na otáčku.

Pro vrtáky s úhlem $2\kappa_r = 118^\circ$ bude:

$$l_p = 0,5 \cdot D \cdot \operatorname{tg} 31^\circ + (0,5 \div 1) \text{ [mm]}$$

$$l_n = (0,5 \div 1) \text{ [mm]}$$

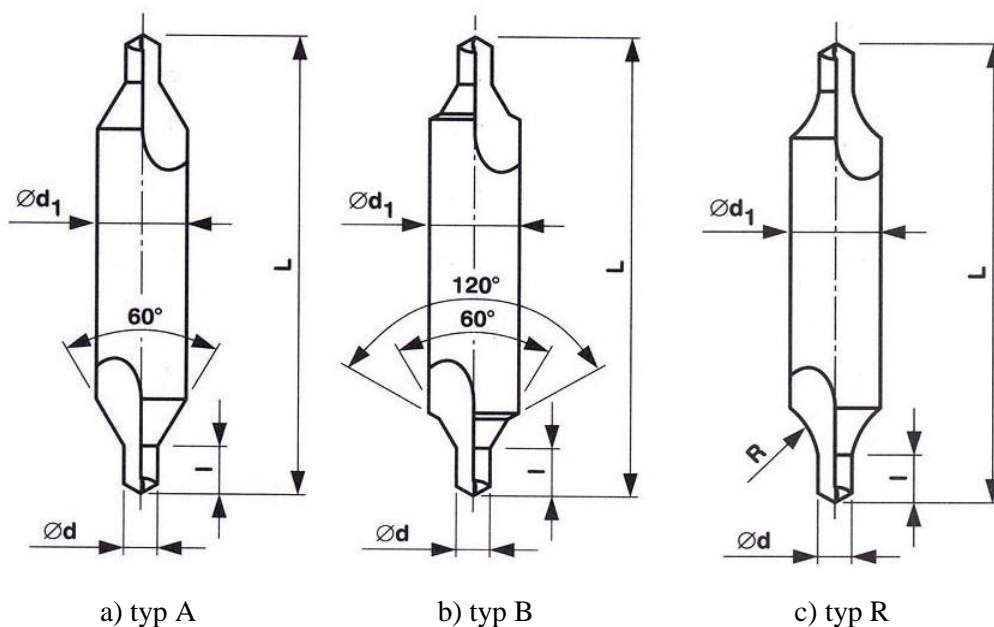
2 NÁSTROJE

Vrtáky lze rozdělit do několika skupin dle technologie vrtání, dále dle druhu, konstrukce a geometrie vrtáku:

- středící vrtáky,
- šroubovitě vrtáky,
- kopinaté vrtáky,
- vrtáky s vyměnitelnou špičkou,
- vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami,
- korunkové vrtáky,
- dělové a hlavňové vrtáky,
- ejektorové vrtáky,
- BTA nebo STS vrtáky,
- vrtáky do plechu,
- odstupňované vrtáky,
- speciální sdružené nástroje [1].

2.1 Středící vrtáky

Nástroje na vrtání středících důlků tvoří zvláštní skupinu vrtacích nástrojů. Středící vrtáky znázorněné na obr. 2.1 jsou vlastně stupňovitě tvarové vrtáky. Jednotlivé tvary se liší tvarem a geometrií břitu [2].

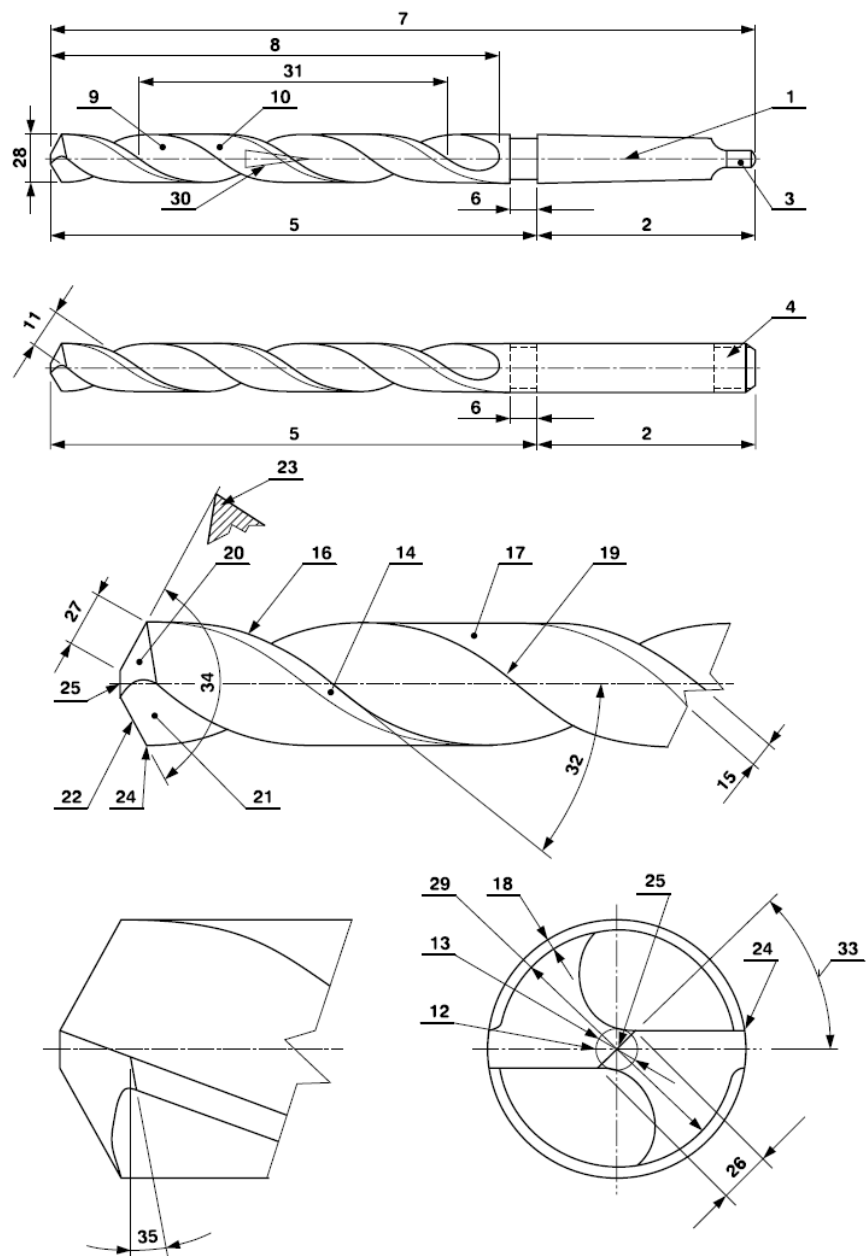


Obr. 2.1 Středící vrtáky [14].

2.2 Šroubovité vrtáky

Pro vrtání krátkých děr je nejčastěji používán šroubovitý vrták (obr. 2.2), pro odvod třísky jsou na jeho válcovitém těle vytvořeny obvykle dvě drážky. Úhel stoupání šroubovice drážek má u vrtáků určených pro vrtání ocelí a litin běžné pevnosti a tvrdosti hodnotu $27^\circ \pm 5^\circ$, pro vrtání materiálů s vysokou houževnatostí (např. měkké cementační oceli, slitiny hliníku bez přísady Si, termoplasty) mají vrtáky úhel $42^\circ \pm 5^\circ$, vrtáky s úhlem $12^\circ \pm 5^\circ$ se používají pro vrtání tvrdších materiálů s drobnou třískou (mosaz, bronz, slitiny hořčíku, tvrdá pryž, skelný laminát, tvrzený papír, umakart, novodur, polystyrén, plexisklo) [1].

1. osa
2. stopka (kuželová, hladká válcová, hladká válcová s unašečem)
3. vyražec
4. unašeč
5. tělo
6. krček
7. celková délka
8. délka šroubovitě drážky
9. šroubovitá drážka
10. druhý vedlejší hřbet
11. šířka vedlejšího hřbetu
12. jádro
13. průměr jádra
14. první vedlejší hřbet (fazetka)
15. šířka fazetky
16. vedlejší ostří
17. odlehčení vedlejšího hřbetu
18. hloubka odlehčení
19. pata
20. hlavní hřbet
21. čelo
22. hlavní ostří
23. břít
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 šroubovitě drážky
33. úhel sklonu příčného ostří
34. úhel špičky
35. úhel hřbetu



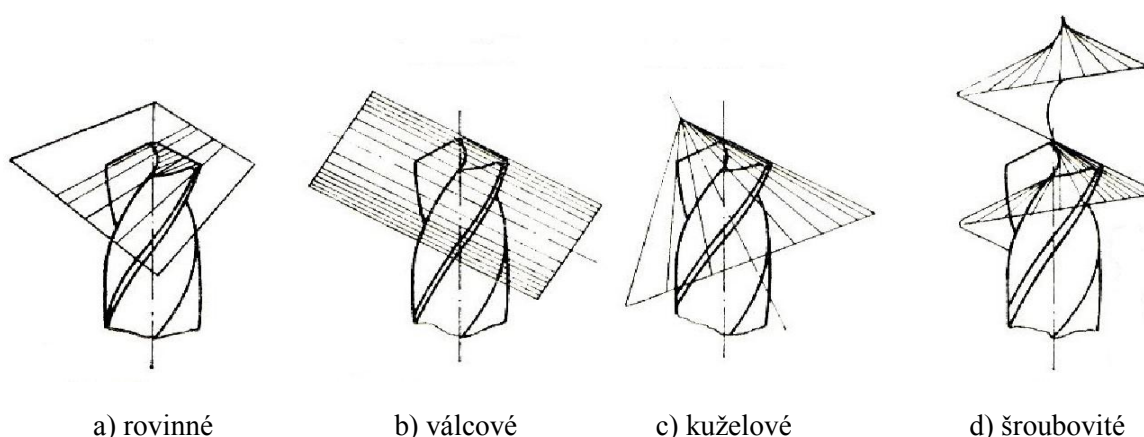
Obr. 2.2 Popis částí vrtáků [15].

Jádro vrtáku má po vytvoření drážek sloužících k odvodu třísky průměr 0,25 až 0,5 x D a zajišťuje jeho pevnost v krutu a na vzpěr. Odlehčením vedlejších hřbetů vrtáku na menší průměr a kuželovitým zužováním vrtáku směrem ke stopce (0,12:100) se snižuje tření vrtáku o stěnu vrtané díry. Průměr jádra se naopak směrem ke stopce zvětšuje (s úkosem 1:130), tím se zvyšuje tuhost vrtáku. Jmenovitý průměr vrtáku je zachován pouze na hřbetní fazetce. U běžného šroubovitého vrtáku, který je určen pro vrtání běžných nelegovaných ocelí střední pevnosti a litin střední tvrdosti, má úhel špičky hodnotu $\varepsilon_r = 2 \cdot \kappa_r = 118^\circ$, pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů 140° , pro vrtání tvrdých pryží a plastů 90° . Především pro vrtání materiálů s horší obrobitelností se někdy špička vrtáku vybrušuje pod dvojitým úhlem, např. 90° a 120° . Tím dochází ke snížení tepelného namáhání a následkem je snížení opotřebení nástroje. Zároveň dochází ke snížení posuvové síly [1,2].

Protože jsou nástrojové úhly hřbetu i čela podél hlavního ostří proměnné, je geometrie břitů šroubovitých vrtáků poměrně složitá. Hodnota úhlu čela se směrem od obvodu k ose nástroje zmenšuje a v ose může dokonce dosahovat nulových nebo i záporných hodnot. Vzhledem k nulové řezné rychlosti v ose nástroje je to pro proces řezání velmi nepříznivé. Ostření šroubovitých vrtáků lze realizovat podle rovinné, válcové, kuželové nebo šroubovitě plochy. Způsob ostření hlavních hřbetů ovlivňuje průběh úhlů hřbetu a čela [1].

2.2.1 Ostření šroubovitých vrtáků

Rovinné (obr. 2.3a) a válcové (obr. 2.3b) ostření se používá pro vrtáky menších průměrů. Nevýhoda těchto způsobů ostření spočívá ve zmenšujícím se úhlu hřbetu směrem k příčnému ostří. Nejpoužívanější je ostření kuželové (obr. 2.3c), poloha osy a vrcholu kužele je taková, aby u příčného ostří vznikl menší poloměr zakřivení hřbetní plochy. Tím se u příčného ostří docílí většího úhlu hřbetu α . Kombinací rotačního pohybu vrtáku a axiálního pohybu brousícího kotouče vznikne šroubovitá plocha. Šroubovitým způsobem ostření (obr. 2.3d) lze získat výhodné úhly hřbetu u příčného ostří, dobré středící vlastnosti a menší posuvové síly pro takto naostřený vrták [2].

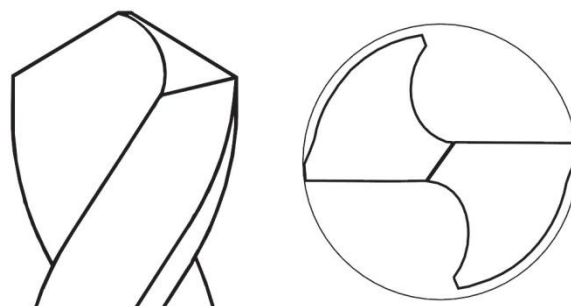


Obr. 2.3 Způsoby ostření šroubovitých vrtáků [1].

Příčné ostří spojuje hlavní ostří vrtáku. Nepříznivá geometrie břitu a pracovní podmínky v tomto místě výrazně zvyšují krouticí moment a především posuvovou sílu. Z těchto důvodů jsou příčná ostří zkracována pomocí podbroušení nebo je příčné ostří zcela odstraněno vhodnou konstrukcí nástroje [1].

Podbroušená kuželová plocha,
 $\varepsilon_r = 118^\circ$

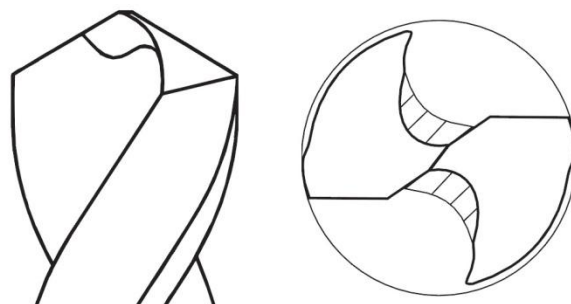
Univerzální podbroušení pro vrtání do
 mnoha typů ocelí, železných kovů,
 umělých hmot a jiných materiálů [3].



Obr. 2.4 Podbroušená kuželová plocha, $\varepsilon_r=118^\circ$ [3].

Podbroušení A (zašpičatěné příčné
 ostří), $\varepsilon_r = 118^\circ$

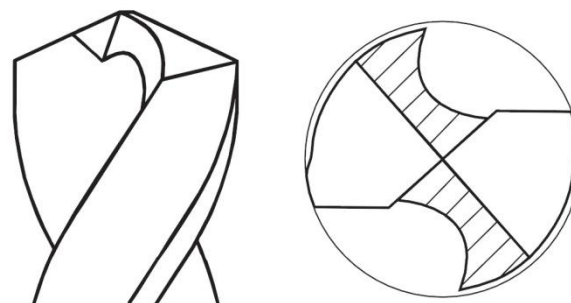
Podbroušení se zlepšeným výkonem při
 vrtání a velmi dobrým vystředěním [3].



Obr. 2.5 Podbroušení A (zašpičatěné příčné ostří),
 $\varepsilon_r=118^\circ$ [3].

Křížové podbroušení C, $\varepsilon_r = 130^\circ$

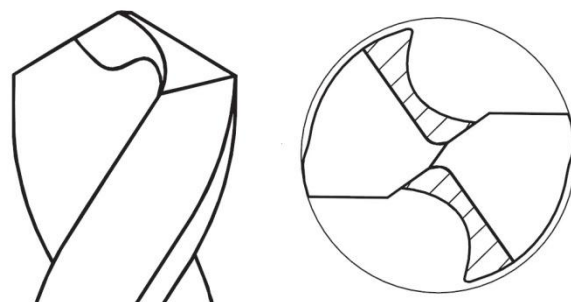
Speciální podbroušení vhodné pro
 třískové obrábění korozivzdorných
 ocelí [3].



Obr. 2.6 Křížové podbroušení, $\varepsilon_r=130^\circ$ [3].

Křížové podbroušení A-C,
 $\varepsilon_r = 118^\circ$

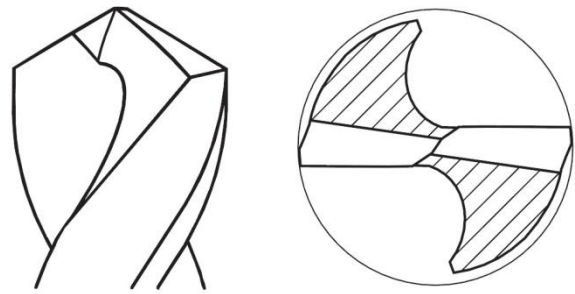
Podbroušení se zlepšeným výkonem při
 vrtání a velmi dobrým vystředěním [3].



Obr. 2.7 Křížové podbroušení, $\varepsilon_r=118^\circ$ [3].

Křížové podbroušení CZ001,
 $\varepsilon_r = 118^\circ$

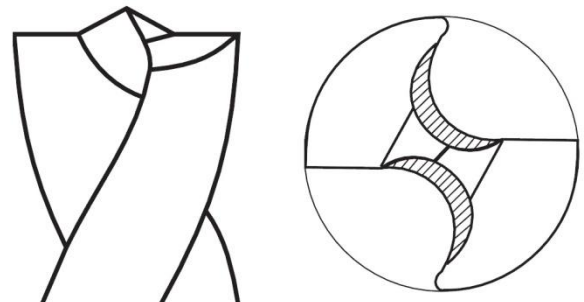
Speciální křížové podbroušení typu AC s upravenou geometrií. Podbroušení výrazně přispívá k vysoké stabilitě vrtáku a zaručuje velkou rozměrovou a geometrickou přesnost vrtaného otvoru [3].



Obr. 2.8 Křížové podbroušení CZ001, $\varepsilon_r=118^\circ$ [3].

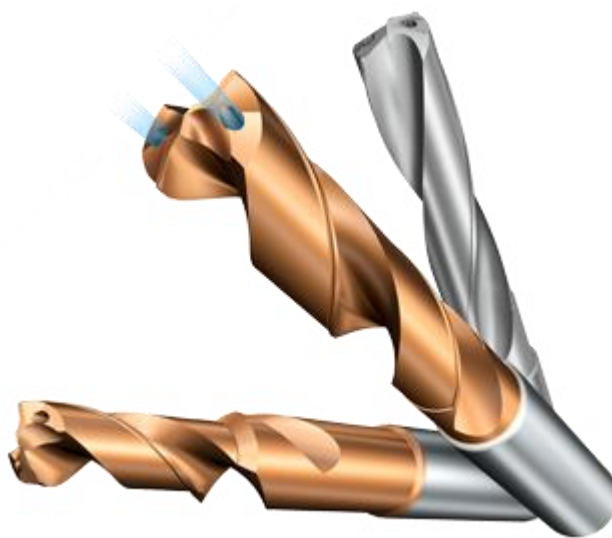
Podbroušení E,
 $\varepsilon_r = 180^\circ$

Podbroušení vhodné pro vrtání měkkých materiálů [3].



Obr. 2.9 Podbroušení E, $\varepsilon_r=180^\circ$ [3].

Nejčastěji jsou šroubovitě vrtáky vyráběny z rychlořezných ocelí. Vrtáky s pájenými břitovými destičkami ze slinutých karbidů a na obr. 2.10 znázorněné vrtáky z monolitních SK (bez nebo s otěruvzdornými povlaky, většinou na bázi TiN) jsou určeny pro těžší podmínky při obrábění. Vrtáky mohou být opatřeny šroubovitými dírami pro přívod procesní kapaliny [1].



Obr. 2.10 Monolitní šroubovitě vrtáky s vnitřním přívodem procesní kapaliny firmy Sandvik - Coromant [16].

2.3 Kopinaté vrtáky

Kopinaté vrtáky (obr. 2.11) se vyznačují velkou tuhostí a umožňují vrtat díry bez předchozího předvrtání. Dosahované parametry drsnosti povrchu jsou horší než při použití šroubovitého vrtáku. Moderní kopinaté vrtáky se skládají z těla vrtáku a vyměnitelné břitové destičky. Ta má speciální tvar a může být vyrobena z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu. Dělicí drážky na hlavních hřbetech zajišťují spolehlivé dělení odebírané třísky. Fazetky na hlavních hřbetech snižují tření ve vrtané díře [1].



Obr. 2.11 Kopinaté vrtáky [17].

2.4 Vrtáky s vyměnitelnou špičkou

Vrtáky s vyměnitelnou špičkou lze rozdělit na dvě základní provedení. Špička vrtáku je tvořena břitovou destičkou (obr. 2.12) nebo hlavicí (obr. 2.13). Mohou umožňovat přívod procesní kapaliny do místa řezu. Destičky i hlavice jsou vyráběny převážně z povlakovaných slinutých karbidů [1].



Obr. 2.12 Vrták s vyměnitelnou destičkou [18].



Obr. 2.13 Vrták s vyměnitelnou hlavicí [19].

2.5 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

Jsou moderní vysoce výkonné vrtací nástroje. Několik břitových destiček ze slinutých karbidů je upnuto v držáku z konstrukční oceli. Do tělesa držáku jsou vyfrézované šroubovitě nebo přímé drážky pro odvod třísek z místa řezu. Destičky jsou upínány šroubem se zapaštěnou hlavou. Vrtáky (obr. 2.14) jsou běžně osazeny asymetricky umístěnými destičkami, které se překrývají. Někdy jsou obvodové břitové destičky, vzhledem k nekonstantní řezné rychlosti podél hlavního ostří, vyrobené z řezného materiálu s vyšší odolností proti opotřebení (povlakovaný SK) a destičky umístěné blíže k ose nástroje (pracují s nižší obvodovou rychlostí) z nepovlakovaného SK. Tím je zajištěna přibližně stejná trvanlivost destiček a jejich výměna tak může probíhat současně. Nepříznivé pracovní podmínky, které jsou typické pro vrtací operace, lze vylepšit použitím vhodných tvarů břitových destiček. Centrálním přívodem procesní kapaliny je vybavena většina vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami [1].



Obr. 2.14 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami firmy Seco Tools [20].

2.6 Korunkové vrtáky

Pro vrtání na jádro (vykružování) se používají korunkové (trepanační) vrtáky. Tyto vrtáky se používají pro vrtání děr větších průměrů. Vrták (obr. 2.15) neodebírá materiál ve formě třísek v celém průměru, ale pouze v mezikruží po obvodu vrtané díry a uprostřed zanechává jádro, proto jsou korunkové vrtáky vhodné pouze pro vrtání průchozích děr.

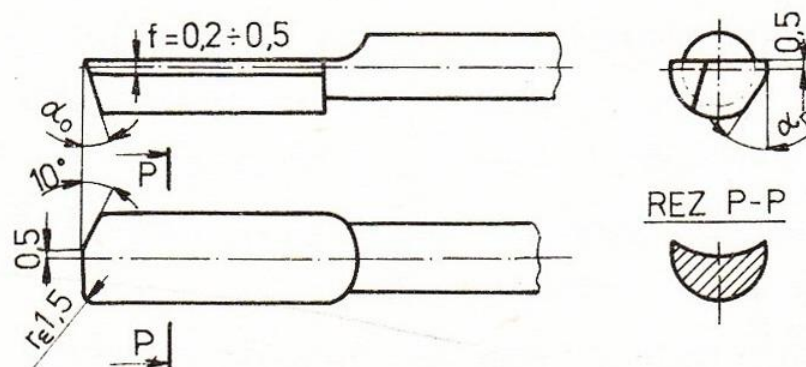
Stroj sloužící k vrtání na jádro nemusí mít takový výkon jako stroj, který by byl potřeba při konvenčním vrtání celého průřezu díry [4].



Obr. 2.15 Korunkový vrták [21].

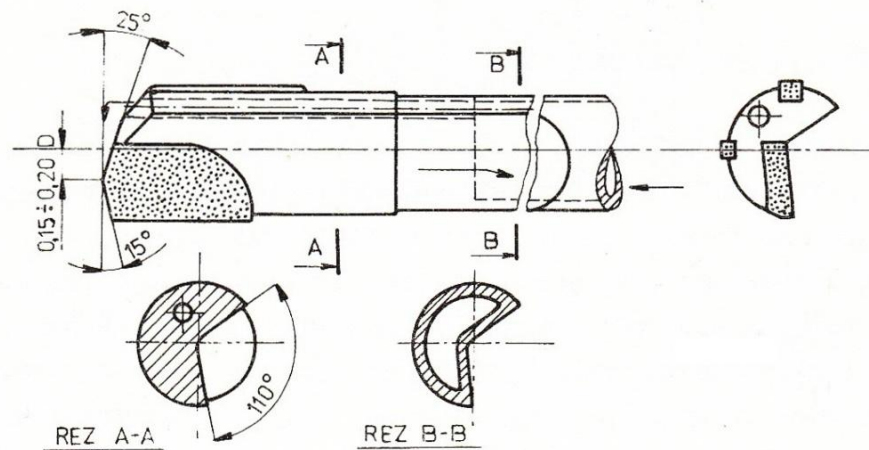
2.7 Dělové a hlavňové vrtáky

Oba typy vrtáků se používají pro vrtání hlubokých děr. Dělové vrtáky (obr. 2.16) jsou určeny pro menší hloubky, protože nezajišťují odvod třísek. Pro odstranění třísek se musí po vyvrtání určité hloubky nástroj vytáhnout. Funkční částí je po celé délce zploštělá válcová hlavička, která přechází ve válcovou stopku. Ta má o 20 % menší průměr než hlavička. Hlavička může být vyrobena z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, případně ze supertvrdých řezných materiálů (připájených nebo upnutých mechanicky). Při vrtání často dochází k rozšiřování otvoru, proto je nutné předvrtání šroubovitými vrtáky nebo vedení vrtáku vrtacími pouzdry [1,2].

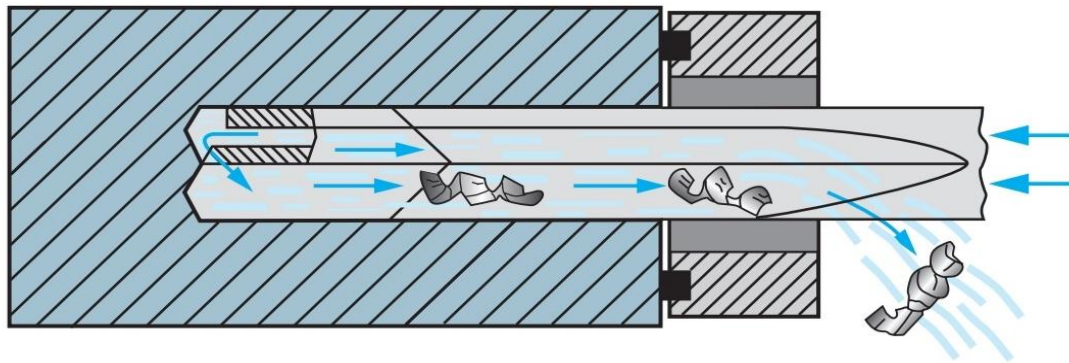


Obr. 2.16 Dělový vrták [22].

Pro vrtání přesnějších děr se používají hlavňové vrtáky (obr. 2.17). Ty mohou být s vnitřním nebo vnějším odvodem třísek. Vnitřní odvod třísek je výhodnější (zvyšuje se tuhost nástroje, zabraňuje se vzniku tření a dosahuje se lepší drsnosti povrchu vrtané díry), ale používá se pro větší průměry (obvykle nad 30 mm). Nástroj tvoří řezná část (vrtací hlavička) která je připájena nebo mechanicky spojena s trubkou. Řezná část je vyrobena z rychlořezné oceli nebo z konstrukční oceli s připájenými břitovými destičkami (vedení ve vrtaném otvoru zajišťují vodička připájená na válcovou část hlavičky). Vrtání dělovými a hlavňovými vrtáky (obr. 2.18) se provádí na speciálně upravených soustruzích [1,2].



Obr. 2.17 Hlavňový vrták [22].



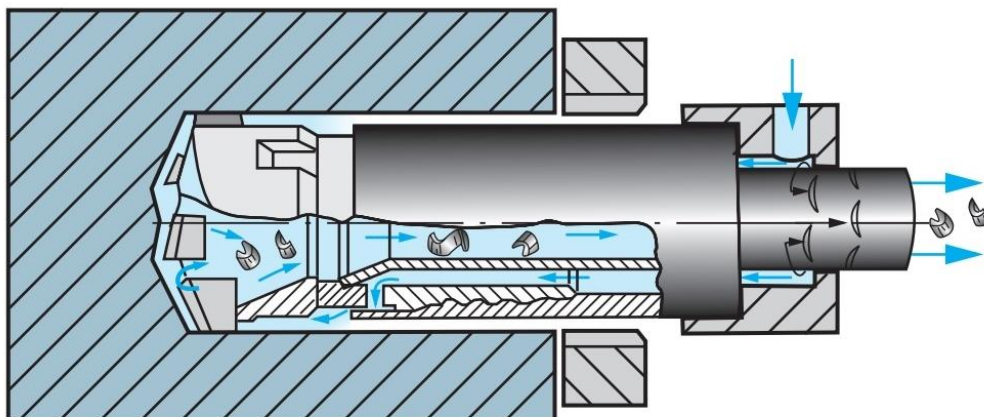
Obr. 2.18 Vrtání hlavňovým vrtákem [23].

2.8 Ejektorové vrtáky

Ejektorové vrtáky se skládají z vrtací hlavice (obr. 2.19), vnitřní a vnější vrtací trubky. Vrtací hlavice je opatřena břitovými destičkami a vodícími lištami a je přišroubována k vnější vrtací trubce. Mezikružíím mezi vnitřní a vnější trubkou je procesní kapalina pod tlakem přiváděna k břitům nástroje (obr. 2.20). Část kapaliny je ale tlačena zpět prstencovou trystkou, která je v zadní části vnitřní trubky. Tím je ve vnitřní trubce vytvořen podtlak a dochází k odsávání kapaliny s vytvořenými třískami. Ejektorovými vrtáky lze vrtat díry do plného materiálu o průměru 20 až 60 mm a hloubky až 100xD (horizontálně) případně 50xD (vertikálně) [1].



Obr. 2.19 Hlava ejektorového vrtáku firmy Botek [24].



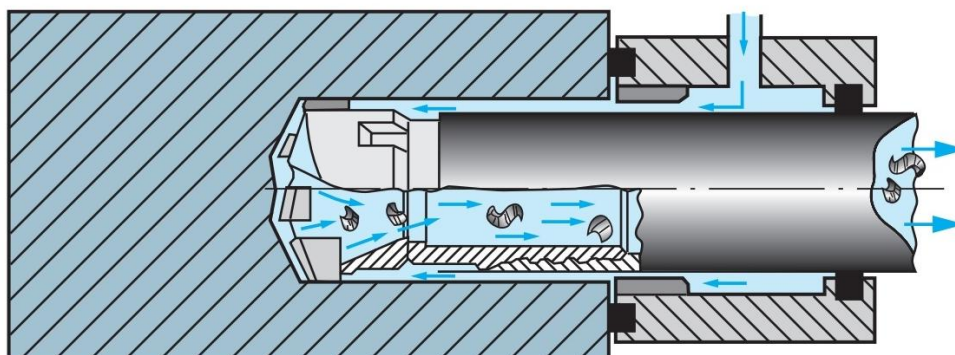
Obr. 2.20 Vrtání ejektorovým vrtákem [23].

2.9 BTA nebo STS vrtáky

Vrtáky tohoto typu jsou vybaveny vnějším přívodem kapaliny a vnitřním odvodem třísek. K břitům nástroje umístěným ve vrtací hlavě (obr. 2.21) je kapalina přiváděna mezi stěnou vrtané díry a trubicou vrtáku (obr. 2.22). Kapalina je spolu se vzniklými třískami odváděna trubicou. Odvádění třísek je díky vysoké rychlosti proudění kapaliny plynulé. Těmito vrtáky lze vrtat do plného materiálu, předvrtané díry i na jádro. Vrtané průměry jsou větší než u ejektorových vrtáků (až 180 mm) [1].



Obr. 2.21 Hlava BTA vrtáku firmy Botek [25].



Obr. 2.22 Vrtání BTA a STS vrtákem [23].

2.10 Vrtáky do plechu

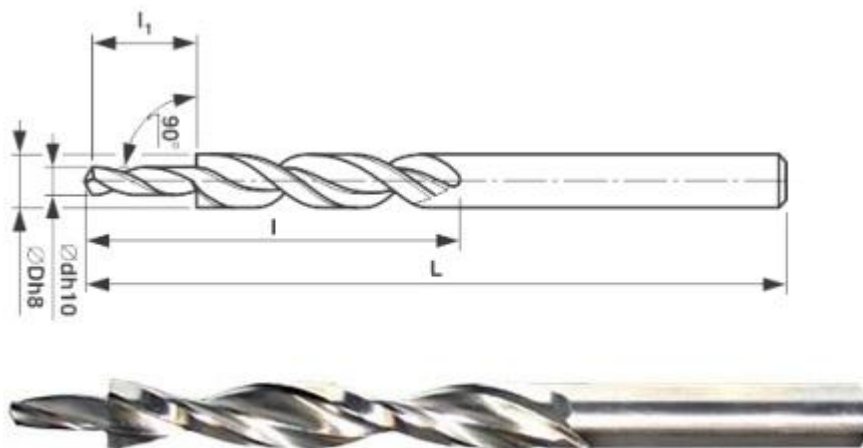
Pro vrtání plechů se používají vrtáky kuželové se širokým rozsahem průměrů nebo vrtáky odstupňované (obr. 2.23) [1].



Obr. 2.23 Vrtáky do plechu [26].

2.11 Odstupňované vrtáky

Odstupňované vrtáky (obr. 2.24) slouží především ke sloučení vrtání a zahloubení vrtaného otvoru. Zahloubení může být kuželové nebo válcové [2].



Obr. 2.24 Odstupňovaný vrták [27].

3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

S ohledem na extrémní podmínky, při kterých probíhá řezný proces, musí být kladen důraz na kvalitu nástroje nejen z hlediska konstrukčního, ale i z hlediska materiálového. Základní požadavky na nástrojové materiály jsou vysoká tvrdost a pevnost při pracovních teplotách, vysoká houževnatost, odolnost proti tepelným rázům a chemická stálost. Pro výrobu vrtáků se používá především rychlořezná ocel a slinuté karbidy [5].

3.1 Rychlořezné oceli

Patří do skupiny legovaných nástrojových ocelí. Obsahují zpravidla méně než 1 % uhlíku a mají vysoký obsah karbidotvorných prvků (W, Cr, V, Mo). Po zakalení rychlořezné oceli není dosaženo nejvyšší tvrdosti, protože ve struktuře zůstává velké množství zbytkového austenitu. Ale po popouštění na vyšší teploty (500 až 600 °C) dochází k rozpadu zbytkového austenitu a precipitaci velmi jemných karbidů a tvrdost stoupá. Rychlořezné oceli si zachovávají svou tvrdost do teplot 600 až 650 °C a mohou pracovat s řeznou rychlostí až 60 m.min⁻¹. Mají ve srovnání s ostatními nástrojovými materiály vysokou houževnatost, ale jejich tvrdost je poměrně nízká. Často se také opatřují povlaky za účelem zvýšení tvrdosti břitu a odolnosti břitu proti vysokým teplotám [6,7].

3.2 Slinuté karbidy

Jsou produktem práškové metalurgie a jsou složeny z různých karbidů a kovového pojiva. Základními vlastnostmi slinutých karbidů (SK) je vysoká tvrdost, malá pevnost v ohybu, velká odolnost proti opotřebení při vysokých teplotách a stálá tvrdost do teplot 700 až 1000 °C. Pro jejich použití je vzhledem k jejich křehkosti nutná vysoká tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek. Nejdůležitějšími karbidy jsou karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a karbid niobu (NbC). Obsahové množství karbidů ovlivňuje jejich vlastnosti. Základním prvkem převážné většiny SK je karbid wolframu, jako pojivo je používán kobalt (má vysokou smáčivost) nebo nikl. SK se vyrábějí ve tvaru normalizovaných destiček. Ty byly dříve pájeny do ocelových držáků, v současnosti je drtivá většina destiček na nástroje upínána mechanicky. Nástroje menších rozměrů (např. vrtáky a frézy) se vyrábějí jako monolitické [2,6,7].

V současnosti jsou standardní (běžné, nepovlakované) slinuté karbidy pro řezné aplikace označovány podle normy ČSN ISO 513 symboly HW a HF a podle použití rozdělovány do tří základních skupin [8].

Tab. 1 Rozdělení slinutých karbidů [8].

Označení	Použití
P	uhlíkové, slitinové a feritické korozivzdorné oceli
M	lité, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny
K	litiny, nezelezné slitiny a nekovové materiály

Další značení je např. P10, P20, P30, kde vyšší číslo vyjadřuje vyšší obsah pojiva. Tím se zvyšuje houževnatost a pevnost v ohybu, ale snižuje tvrdost a oteřuvzdornost materiálu. Je tím také vymezena oblast pro jeho aplikaci na nižší řezné a vyšší posuvové rychlosti (vhodné pro hrubování) [8].

Skupina P je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku. Jsou to především uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Tato skupina SK obsahuje velké množství TiC a TaC, které zvyšují odolnost proti vymílání na čele, ke kterému dochází při obrábění uvedených ocelí, protože při řezném procesu obvykle působí velké řezné síly. Jedna z hlavních příčin vytváření výmolu na čele nástroje v místě styku s třískou je difuze za vysokých teplot. Vysokou odolnost proti tomuto jevu zaručuje přísada TiC (WC do třísky naopak difunduje velice snadno). Pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku je vyšší tvrdost TiC za vyšších teplot ve srovnání s WC výhodná. Nevýhodou je nižší odolnost proti abrazi a vyšší křehkost TiC [8].

Skupina M má univerzální použití. Používá se pro obrábění materiálů tvořících dlouhou a střední třísku. Tyto typy třísek tvoří lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. SK skupiny M mají relativně vysokou houževnatost, proto je lze použít pro těžké hrubovací operace a přerušované řezy [8].

Skupina K je určena pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou, drobnou třísku (především šedé litiny, nezelezné slitiny a nekovové materiály). Řezný proces je obvykle doprovázen relativně nízkými řeznými silami a převládá abrazivní a adhezni opotřebení. Jedinou tvrdou strukturní složkou této skupiny tvoří WC, jeho tvrdost s rostoucí teplotou klesá rychleji než u jiných karbidů. Slinuté karbidy skupiny K nejsou vhodné pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku, protože doba kontaktu dlouhé třísky s čelem nástroje je vysoká a dlouhá tříska s ním má větší plochu styku, z tohoto důvodu je čelo nástroje více tepelně zatěžováno [8].

Pro lehké a dokončovací obrábění (vysoká řezná rychlost, nízká posuvová rychlost a šířka záběru ostří) je z nepovlakovaných slinutých karbidů skupin P, M a K používán pouze omezený počet druhů. Pro střední a těžké obrábění nebo hrubování jsou používány druhy s vyšším číselným označením. Lze je díky jejich vyšší houževnatosti použít pro vyšší posuvové rychlosti i při přerušovaném řezu a pro větší šířky záběru ostří. Lze je také použít pro frézování a vrtání [8].

3.2.1 Povlakované slinuté karbidy

Významným krokem ve vývoji řezných materiálů bylo zavedení slinutých karbidů opatřených tenkým povlakem. Použitím povlakovaných vyměnitelných břitových destiček bylo dosaženo zvýšení řezné rychlosti a trvanlivosti břitu. Nejdůležitějšími materiály pro povlakování jsou karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), oxid hlinitý (Al_2O_3) a karbonitrid titanu (TiCN). Povlakované SK jsou vyráběny nanášením tenké vrstvy povlaku s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení na podkladový materiál. Podkladovým materiálem byl původně běžný SK (typu P, M nebo K), dnes je to speciální SK. Výhodné vlastnosti vyplývají především z toho, že materiál povlaku neobsahuje žádné pojivo, jeho zrnitost je o jeden i více řádů nižší, má méně strukturních poruch a tvoří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Vývoj povlaků směřoval od původních jednovrstvých povlaků až k dnešním multivrstvým povlakům často složených z více než deseti vrstev a mezivrstev. Na zamezování tvorby nárůstku na břitu nástroje mají významný podíl povrchové vrstvy povlaku. Metody povlakování jsou rozděleny na dvě základní skupiny, PVD a CVD [8,9].

Metoda povlakování PVD (Physical Vapour Deposition - fyzikální napařování) je typická nízkými pracovními teplotami (pod 500 °C). Metoda byla původně vyvinuta pro

povlakování rychlořezných ocelí a v současné době je používána i na SK. Je schopna povlakovat i ostré hrany, v povlaku vytváří zbytková tlaková napětí a nemá nepříznivý vliv na vlastnosti podkladu. Před povlakováním vyžaduje důkladnější přípravu vzorku (čištění, odmašťování) a protože má směrový účinek, musí se vzorky neustále pohybovat, aby byly povlakovány všechny plochy rovnoměrně. Nevýhodou je tenčí vrstva povlaku (kolem 5 μm). Napařování povlaku probíhá ve vakuu odpařováním čistého kovu (obvykle Ti) pomocí elektrického oblouku [10].

Metoda povlakování CVD (Chemical Vapour Deposition - chemické napařování z plynné fáze) probíhá za vysokých teplot (900 až 1200 °C). Umožňuje nanášení vrstev o větší tloušťce (10 až 13 μm) a výhodou je výborná adheze mezi podkladem a povlakem, všestranný účinek, možnost povlakování složitějších tvarů a variabilita povlaků. Nevýhodou je snížení ohybové pevnosti ovlivněním podkladového materiálu, vyvolání tahových napětí v povlaku a neumožňuje povlakování ostrých hran. Povlakování je založeno na reakci plynných chemických sloučenin v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového SK. Produkty reakce se následně se na tento povrch uloží [10].

3.3 Cermety

Jsou řezné materiály, u nichž jsou tvrdé složky tvořeny převážně karbidem titanu (TiC), nitridem titanu (TiN) nebo karbonitridem titanu (TiCN) s niklovým nebo Ni/Co pojivem. Vynikají vysokou chemickou stabilitou, odolností proti difúznímu oxidačnímu opotřebením, odolností proti vytváření nárůstku a tvrdostí za tepla. Jsou vhodné pro dokončovací obrábění [7].

3.4 Řezná keramika

Keramické řezné materiály vykazují vysokou tvrdost za tepla, chemicky nereagují s obráběným materiálem, mohou být použity při vysokých řezných rychlostech a snášejí vysokou teplotu břitů. Řezná keramika je ale velmi křehká a má nízkou tepelnou vodivost. Dělí se na oxidickou a neoxidickou [6,7].

3.5 Supertvrdé řezné materiály

Mezi supertvrdé řezné materiály se řadí kubický nitrid bóru KBN a polykrystalický diamant PKD.

3.5.1 Kubický nitrid bóru

Je velmi tvrdý řezný materiál, vyznačuje se vysokou tvrdostí, vysokou tvrdostí za tepla i při extrémních teplotách, velkou odolností proti abrazivnímu opotřebením a dobrou chemickou stabilitou. Měl by se používat pro obrábění materiálů s tvrdostí nad 48 HRC [7,9].

3.5.2 Polykrystalický diamant

Téměř dosahuje tvrdosti přírodního monokrystalického diamantu. Malé břitky z PKD jsou umístěny na destičce ze slinutého karbidu. Ta mu zaručuje pevnost a odolnost proti tepelným a rázovým šokům. PKD nelze použít pro obrábění železných materiálů [6,9].

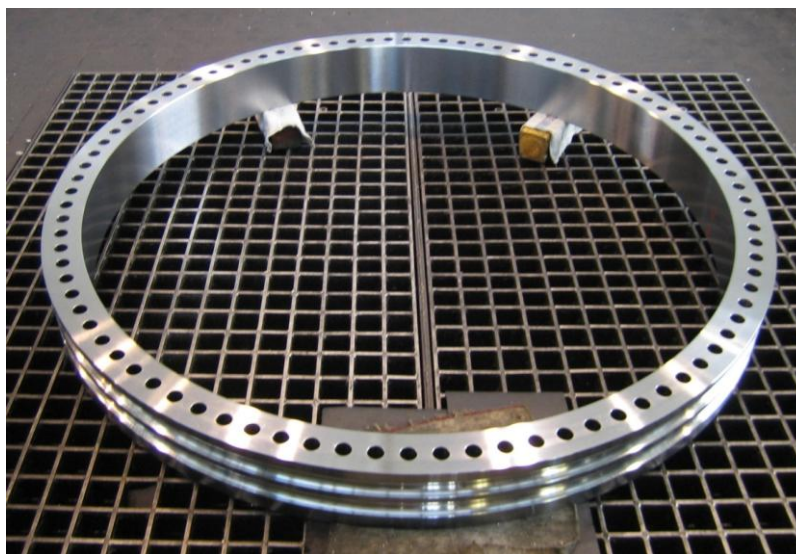
4 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

Společnost Brüch AM sídlící v Zámrsku se zabývá výrobou především součástí rotačního charakteru pro energetický, petrochemický, stavební, dopravní, potravinářský a farmaceutický průmysl. Typickými součástkami jsou ložiskové kroužky pro větrné elektrárny, otočné spojovací prvky, tramvajová kola a další.

Racionalizace technologie vrtání byla zaměřena na ložiskový kroužek pro větrné elektrárny. Ložiskový kroužek umožňuje natáčení lopatek elektrárny za účelem regulace chodu elektrárny.

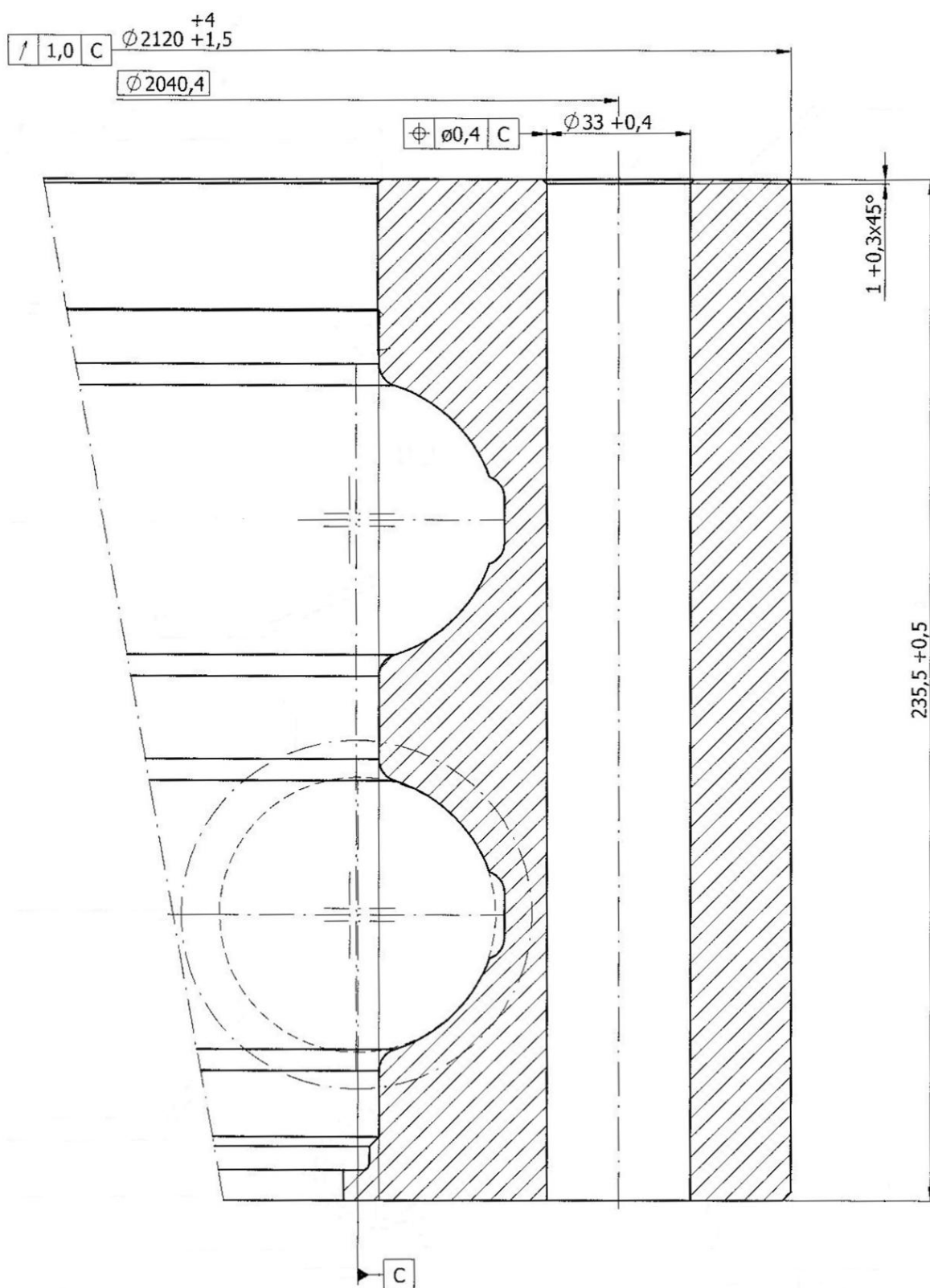
Výroba součásti ložiskového kroužku (obr. 4.1) probíhá kompletně ve společnosti Brüch AM. Výroba začíná nařezáním ingotů kotoučovou (příp. pásovou) pilou na předem učený rozměr, následuje ohřev v karuselových nebo komorových pecích a pēchování a děrování do podoby kruhového polotovaru s otvorem uprostřed. Po meziohřevu se na válcovací stolici za působení radiální a axiální síly vyválcuje požadované mezikruží. Tím je proces tváření za tepla ukončen. Dalším procesem ve výrobě je tepelné zpracování. U ložiskových kroužků se provádí zušlechťování, k tomu slouží pokloповé pece a soustava ochlazovacích nádrží. K získání požadovaného tvaru a rozměrů dochází při třískovém obrábění na CNC soustruzích a vrtačkách. Výrobní proces končí měřením a kontrolou každého kusu.

Stávající technologie vrtání ložiskového kroužku (obr. 4.2 a 4.3) probíhá tak, že se osoustružený obrobek upne (obr. 4.5 a 4.6) na rotační stůl CNC vrtacího centra ELHA 4967 (obr. 4.4), pomocí číselníkového úchylkoměru se vycentruje, v případě nutnosti se pomocí 3D analogové sondy určí poloha pro vrtání první díry. Aby se při vrtání nedostal do kontaktu vrták se stolem, jsou na vhodných místech obrobky podepřeny (obr. 4.7). Díry se vyvrtají do hloubky 120 mm (polovina tloušťky obrobku), jedna díra se vyvrtá skrz pro pozdější ustavení obrobku a poté se obrobek vyjme ze stroje. Následuje upnutí dalšího obrobku a vrtání do poloviny požadované hloubky díry. Tímto způsobem se obrobí všechny kusy z vyráběné série (cca 20 ks). Aby byly díry průchozí, musí se vyvrtat z druhé strany. Obrobky se otočí a upnou do vrtacího centra. Pomocí 3D analogové sondy se určí poloha díry, která byla vyvrtána skrz a následuje svrtání ostatních děr. Materiál obrobků je zušlechťená nízkolegovaná ocel 42CrMo4 (dle ČSN 15 142) s tvrdostí 270 HB.

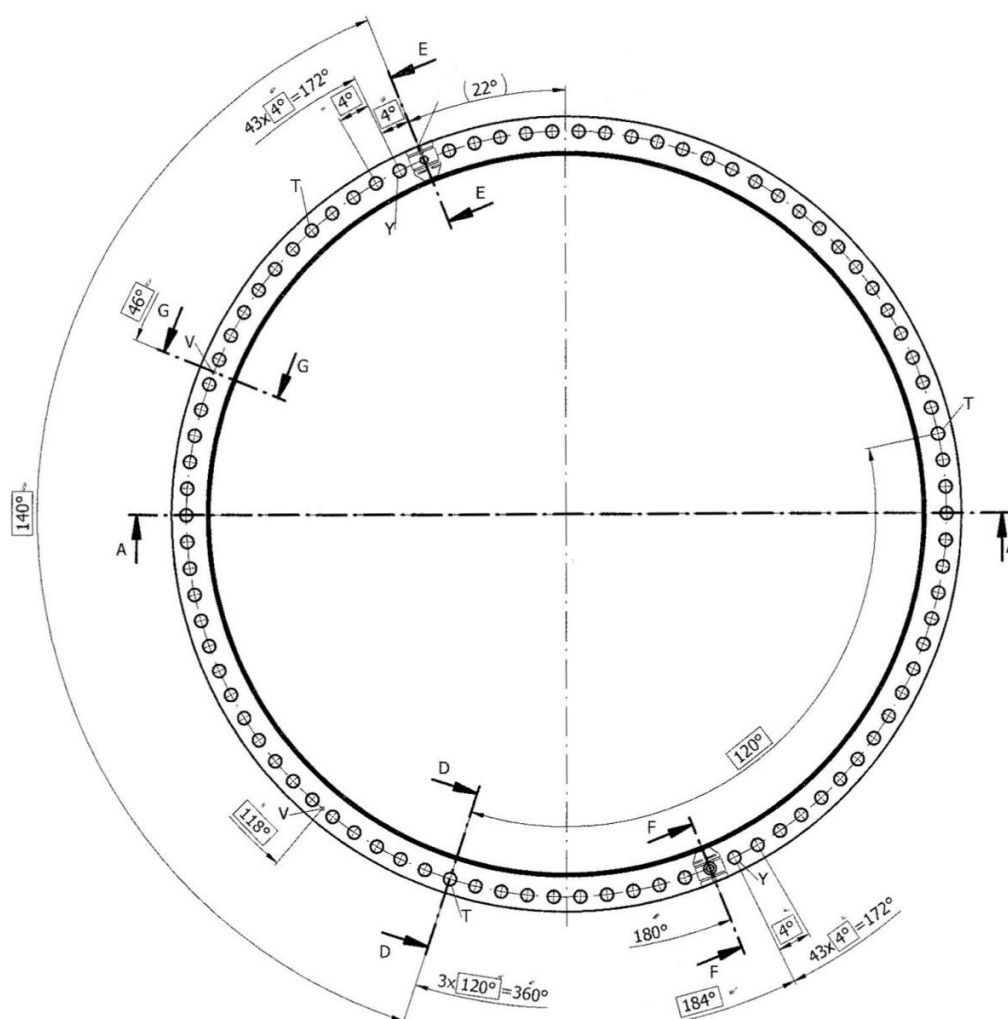


Obr. 4.1 Ložiskový kroužek po vyvrtání.

A-A (1 : 1)



Obr. 4.2 Detail vrtané díry.



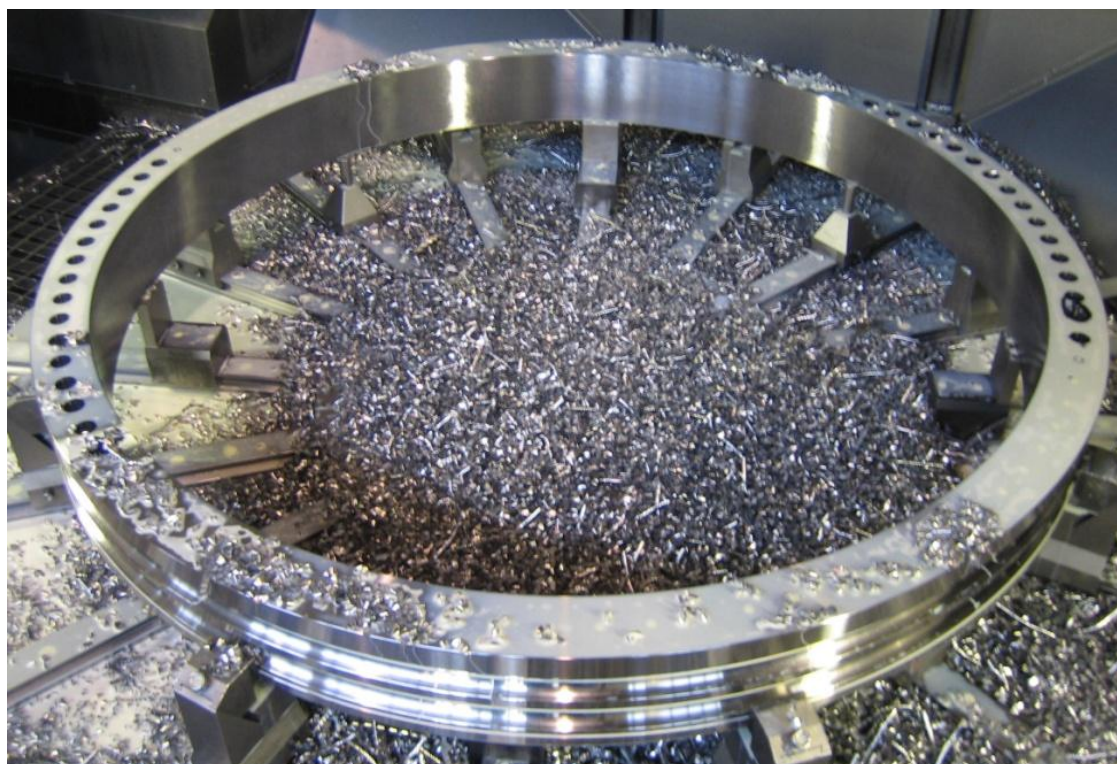
Obr. 4.3 Detail vrtaného kroužku.

Tab. 2 Technická data CNC vrtacího centra ELHA 4967.

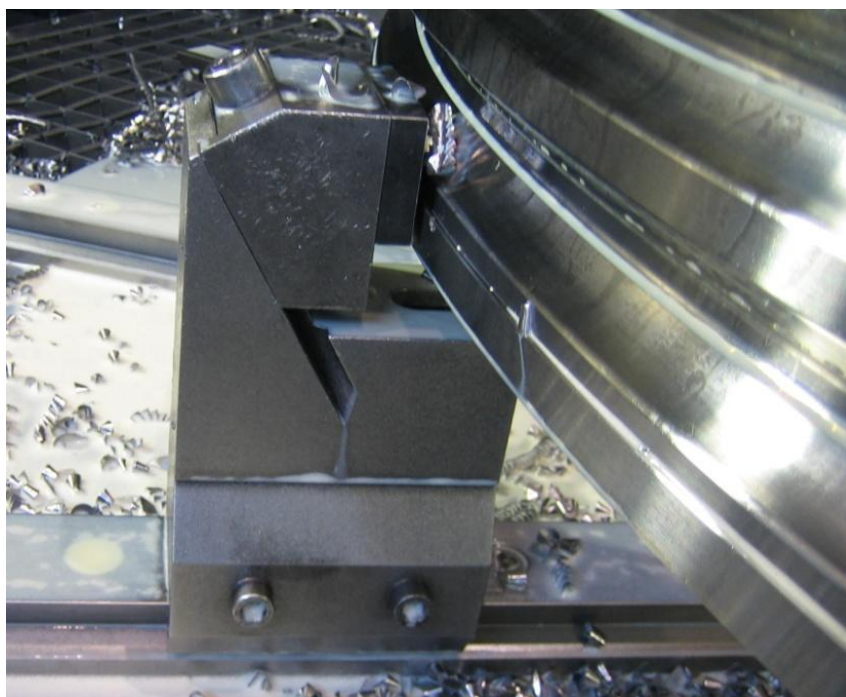
počet vřeten	1
výkon vřetena S1/S6 60%	29,5/36,5 kW
max. krouticí moment	400 Nm
min. Ø obrobku	1000 mm
max. Ø obrobku	3500 mm
max. výška obrobku	350 mm
pracovní posuv	0 - 1200 mm
rychloposuv	20 m.min ⁻¹
rozsah otáček vřetene	5 - 5000 min ⁻¹
upnutí nástroje	HSK A 63
max. tlak proces. kap. na vřetenu	20 bar
počet nástrojů v aut. zásobníku	20 ks



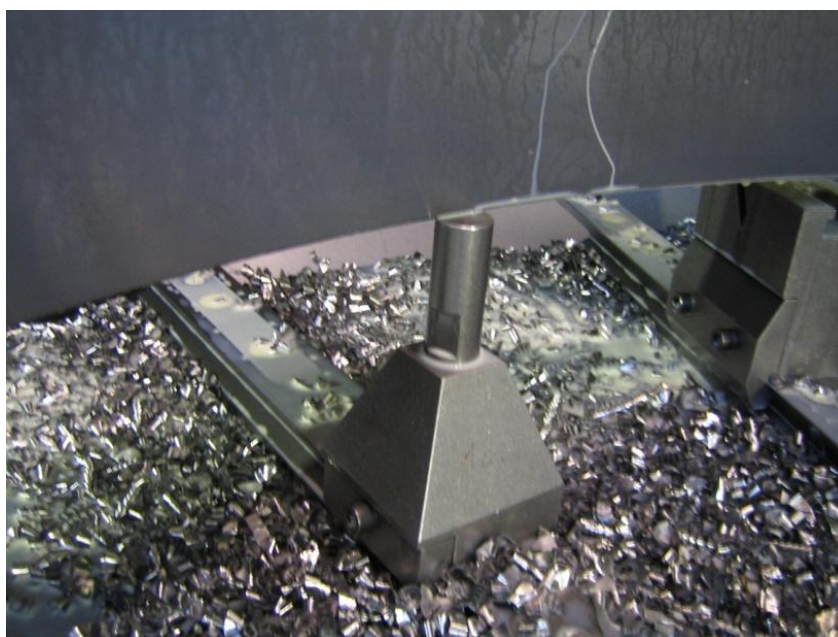
Obr. 4.4 Vrtací centrum ELHA 4967.



Obr. 4.5 Upnutí obrobku ve vrtacím centru.



Obr. 4.6 Detail upnutí obrobku.



Obr. 4.7 Detail podepření obrobku.

4.1 Použité nástroje

Pro vrtání ložiskového kroužku se používá vrták CoroDrill 880 (obr. 4.8) s VBD od firmy Sandvik - Cormant (s délkou řezné části 4xD). Vrták umožňuje vrtání otvorů bez nutnosti předchozího vrtání středících nebo vodících otvorů. Umožňuje vnitřní přívod procesní kapaliny do místa řezu, což příznivě ovlivňuje odvádění třísky, chlazení a mazání v tomto místě. To je důležité především při vrtání hlubokých děr ve svislém směru. Dobrý odvod třísek má pozitivní vliv na kvalitu vyvrtané plochy i životnost nástroje. Protože středové

(obr. 4.9) a obvodové (obr. 4.10) VBD pracují za jiných řezných podmínek, liší se také složením SK a povlaku. Po opotřebení břitu se VBD otočí na nástroji upnutém ve vřetenu. Opotřebení břitů VBD monitoruje na CNC vrtacích centrech zařízení značky Artis. To měří proud odebíraný elektromotorem vřetena a porovnává ho s proudem, který odebíral elektromotor při vrtání díry s neopotřebenými břity na VBD. Pro vrtání jedné díry skrz, která je nutná pro ustavení do správné polohy po otočení obrobku, se používá vrták KSEM (obr. 4.11) od firmy Kennametal (délka řezné části $7 \times D$) s vnitřním přívodem procesní kapaliny. Vrták je opatřen vyměnitelnou špičkou, tu tvoří břitová destička. Pro vrtací operace se používá procesní kapalina Quakercool 7100 [11,12].

Vrták CoroDrill 880 Ø 33 mm

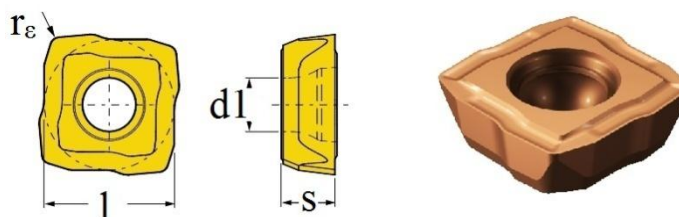


Obr. 4.8 Vrták CoroDrill 880 firmy Sandvik - Coromant.

Tab. 3 Parametry vrtáku CoroDrill 880 [11].

Ø vrtáku	33 mm
maximální hloubka díry	132 mm (4xD)
řezné podmínky	$v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,14 \text{ mm}$
upínací stopka	Weldon Ø 40 mm

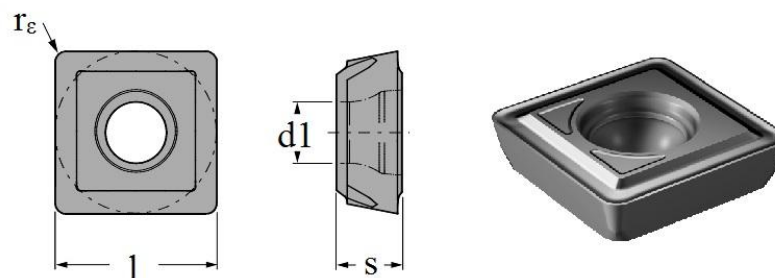
středová VBD:



Obr. 4.9 Středová VBD pro vrták CoroDrill 880 [11].

Tab. 4 Parametry středové VBD pro vrták CoroDrill 880 [11].

ozn. VBD	880-0604 06H-C-GR 1044
teor. Ø vepsané kružnice l	10,2 mm
tloušťka s	3,5 mm
Ø d1	4 mm
rádius špičky r_e	0,6 mm

obvodová VBD:

Obr. 4.10 Obvodová VBD pro vrták CoroDrill 880 [11].

Tab. 5 Parametry obvodové VBD pro vrták CoroDrill 880 [11].

ozn. VBD	880-0604 W06H-P-GM 4024
teor. \varnothing vepsané kružnice l	10,65 mm
tloušťka s	3,5 mm
\varnothing d1	4 mm
rádus špičky r_e	0,6 mm

Vrták Kennametal KSEM \varnothing 33 mm

Obr. 4.11 Vrták Kennametal KSEM [12].

Tab. 6 Parametry vrtáku Kennametal KSEM [12].

\varnothing vrtáku	33 mm
maximální hloubka díry	238 mm (7xD)
řezné podmínky	$v_c = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,4 \text{ mm}$
upínací stopka	Whistle Notch \varnothing 50 mm

Vrtání z jedné strany vrtákem CoroDrill 880:

řezné podmínky: $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $f = 0,14 \text{ mm}$,

otáčky vrtáku dle (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 33} = 1929 \text{ min}^{-1},$$

posuvová rychlost dle (1.2):

$$v_f = f \cdot n = 0,14 \cdot 1929 = 270 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1},$$

průřez třísky dle (1.5):

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{33 \cdot 0,14}{4} = 1,16 \text{ mm}^2,$$

strojní čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{122}{1929 \cdot 0,14} = 0,45 \text{ min},$$

strojní čas na vyvrtání 88 děr:

$$t_{AS88} = 88 \cdot t_{AS1} = 88 \cdot 0,45 = 39,6 \text{ min},$$

čas polohování stolu mezi dvěma dírami:

$$t_{pol} = 5 \text{ s} = 0,083 \text{ min},$$

celkový čas polohování stolu:

$$t_{pol88} = 87 \cdot 0,083 = 7,22 \text{ min},$$

čas otočení VBD na nástroji ve vřetenu:

$$t_{ot} = 1,5 \text{ min},$$

upnutí obrobku do vrtacího centra:

$$t_{up} = 15 \text{ min},$$

čas automatické výměny nástroje

$$t_{Ax} = 0,25 \text{ min}.$$

Vrtání díry skrz vrtákem Kennametal KSEM:

řezné podmínky: $v_c = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,

$$f = 0,4 \text{ mm},$$

otáčky vrtáku dle (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 33} = 579 \text{ min}^{-1},$$

posuvová rychlost dle (1.2):

$$v_f = f \cdot n = 0,4 \cdot 579 = 231,6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1},$$

průřez třísky dle (1.5):

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{33 \cdot 0,4}{4} = 3,3 \text{ mm}^2,$$

strojní čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1K} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{120}{579 \cdot 0,4} = 0,52 \text{ min},$$

čas vrtání z jedné strany:

$$\begin{aligned} t_{1/2} &= t_{AS88} + t_{po88} + t_{up} + t_{ot} + t_{AS1K} + t_{Ax} = \\ &= 39,6 + 7,22 + 15 + 1,5 + 0,52 + 0,25 = 64,09 \text{ min}. \end{aligned}$$

Vrtání z druhé strany vrtákem CoroDrill 880:

strojní čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{122}{1929 \cdot 0,14} = 0,45 \text{ min},$$

strojní čas na vyvrtání 87 děr (vrtají se 2 díry najednou):

$$t_{AS87} = 87 \cdot 0,45 = 39,15 \text{ min},$$

čas polohování stolu mezi dvěma dírami:

$$t_{pol} = 5 \text{ s} = 0,083 \text{ min} ,$$

celkový čas polohování stolu:

$$t_{po87} = 86 \cdot 0,083 = 7,14 \text{ min} ,$$

čas otočení VBD na nástroji ve vřetenu:

$$t_{ot} = 1,5 \text{ min} ,$$

upnutí obrobku do vrtacího centra:

$$t_{up} = 15 \text{ min} ,$$

čas vrtání z druhé strany:

$$t_{2/2} = t_{AS87} + t_{po87} + t_{ot} + t_{up} = 39,15 + 7,14 + 1,5 + 15 = 62,79 \text{ min} ,$$

celkový čas vrtání:

$$t_{celk} = t_{1/2} + t_{2/2} = 64,09 + 62,79 = 126,88 \text{ min} .$$

5 NÁVRH VARIANT RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ

Racionalizací výroby se rozumí zdokonalování výrobního systému. Je to snaha o zvyšování produktivity práce za účelem zlepšení ekonomických výsledků i konkurenceschopnosti. Základem je uskutečňování výrobního procesu na vyšší úrovni techniky, technologie, organizace práce, výroby i řízení [13].

Ve stávající technologii se díry do ložiskových kroužků vrtají z jedné strany a po vyjmutí z vrtacího centra a opětovném upnutí se vrtají z druhé strany, tak aby byly díry průchozí. Upínání, středění a manipulace s obrobkem prodlužuje potřebný čas pro obrobení jednoho kusu. Racionalizací se snažíme snížit náklady na obrobení jednoho kusu především snížením výrobního času.

5.1 Varianty racionalizace

A) Vrtání děr skrz na jednovřetenovém vrtacím centru

Díry se budou vrtat skrz na jedno upnutí, tím odpadne vyjímání otáčení a opětovné upínání obrobku do vrtacího centra. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady na vrtáky.

B) Svrtávání děr na dvouvřetenovém vrtacím centru

Díry se budou vrtat ze dvou stran, obrobek se tedy bude po vyvrtání z jedné strany vyjímat z vrtacího centra, otáčet a znovu upínat. Díky vrtání na dvouvřetenovém vrtacím centru ale dojde ke snížení výrobního času.

C) Vrtání děr skrz na dvouvřetenovém vrtacím centru

Díry se budou vrtat skrz na jedno upnutí, tím odpadne vyjímání otáčení a opětovné upínání obrobku do vrtacího centra. Díky vrtání na dvouvřetenovém vrtacím centru ale dojde ke snížení výrobního času.

5.2 Vrtání děr skrz na jednovřetenovém vrtacím centru

Použité nástroje pro vrtání děr skrz celou tloušťku obrobku se vyznačují velkou délkou. Jejich délka je přibližně osminásobek jejich průměru. Byl použit modulární vrtací systém KSEM Plus (obr. 5.3) od firmy Kennametal. Vrták se skládá z těla vrtáku a výměnné vrtací hlavy (obr. 5.1), ve které je upnuta středící vrtací korunka (obr. 5.4) a vnější břitové destičky (obr. 5.5). Výrobce doporučuje pro vrtání vrtáky s poměrem L/D větším než 8 předvrtání díry. Předvrtaná díra by měla mít stejný průměr jako je průměr středící vrtací korunky a hloubku 1 mm plného průměru. Pro předvrtání byl použit monolitní vrták ze slinutého karbidu (obr. 5.2) firmy Gühring [12].



Obr. 5.1 Výměnná vrtací hlava vrtáku Kennametal KSEM Plus [28].

Vrták Gühring:

Obr. 5.2 Vrták Gühring [32].

Tab. 7 Parametry vrtáku Gühring [32].

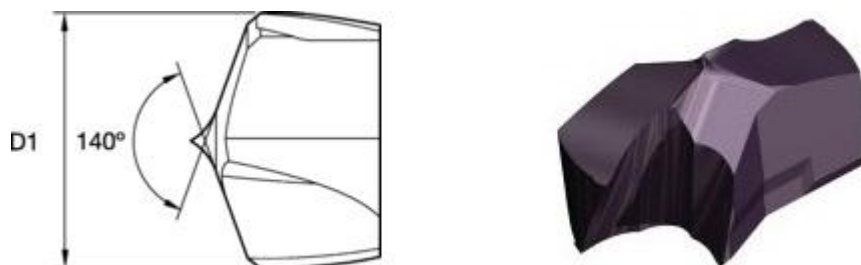
Ø vrtáku	16 mm
maximální hloubka díry	66 mm (5xD)
řezné podmínky	$v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,315 \text{ mm}$
upínací stopka	válcová Ø 16 mm

Vrták Kennametal KSEM Plus:

Obr. 5.3 Vrták KSEM Plus firmy Kennametal [29].

Tab. 8 Parametry vrtáku Kennametal KSEM Plus [12].

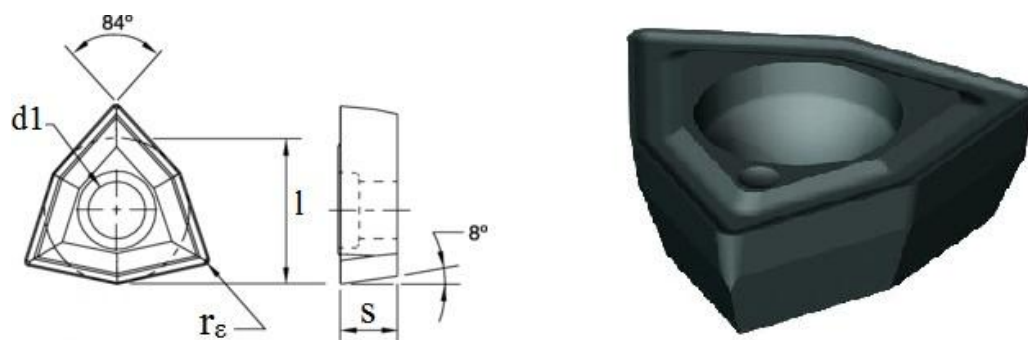
Ø vrtáku	33 mm
maximální hloubka díry	280 mm (8xD)
řezné podmínky	$v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,3 \text{ mm}$
upínací stopka	Weldon Ø 32 mm

středová VBD:

Obr. 5.4 Středová VBD pro vrták Kennametal KSEM Plus [30].

Tab. 9 Parametry středové VBD pro vrták Kennametal KSEM Plus [12].

ozn. VBD	KSEMP 1600 HPGM KC7315
Ø D1	16 mm

obvodová VBD:

Obr. 5.5 Obvodová VBD pro vrták Kennametal KSEM Plus [31].

Tab. 10 Parametry obvodové VBD pro vrták Kennametal KSEM Plus [12].

ozn. VBD	DFT 05T308D32HP KC7315
teor. Ø vepsané kružnice l	8 mm
tloušťka s	3,75 mm
Ø d1	4,4 mm
rádus špičky r _ε	0,8 mm

Vrtání středících děr vrtákem Gühring Ø16:

řezné podmínky: $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $f = 0,315 \text{ mm}$,

otáčky vrtáku dle (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 16} = 1989 \text{ min}^{-1},$$

posuvová rychlost dle (1.2):

$$v_f = f \cdot n = 0,315 \cdot 1989 = 626 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1},$$

průřez třísky dle (1.5):

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{16 \cdot 0,315}{4} = 1,26 \text{ mm}^2,$$

strojní čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{5}{1989 \cdot 0,315} = 0,008 \text{ min ,}$$

strojní čas na vyvrtání 88 děr:

$$t_{AS88} = 88 \cdot t_{AS1} = 88 \cdot 0,008 = 0,7 \text{ min ,}$$

čas polohování stolu mezi dvěma dírami:

$$t_{pol} = 5 \text{ s} = 0,083 \text{ min ,}$$

celkový čas polohování stolu:

$$t_{pol88} = 87 \cdot 0,083 = 7,22 \text{ min ,}$$

čas předvrtání:

$$t_{př} = t_{AS88} + t_{pol88} = 0,7 + 7,22 = 7,92 \text{ min .}$$

Vrtání děr skrz vrtákem Kennametal KSEM Plus:

řezné podmínky: $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,

$f = 0,3 \text{ mm}$,

otáčky vrtáku dle (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 33} = 965 \text{ min}^{-1} ,$$

posuvová rychlost dle (1.2):

$$v_f = f \cdot n = 0,3 \cdot 965 = 290 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} ,$$

průřez třísky dle (1.5):

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{33 \cdot 0,3}{4} = 2,48 \text{ mm}^2 ,$$

strojný čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{240}{965 \cdot 0,3} = 0,83 \text{ min ,}$$

strojný čas na vyvrtání 88 děr:

$$t_{AS88} = 88 \cdot t_{AS1} = 88 \cdot 0,83 = 73,04 \text{ min ,}$$

čas polohování stolu mezi dvěma dírami:

$$t_{pol} = 5 \text{ s} = 0,083 \text{ min ,}$$

celkový čas polohování stolu:

$$t_{pol88} = 87 \cdot 0,083 = 7,22 \text{ min ,}$$

čas otočení VBD na nástroji ve vřetenu:

$$t_{ot} = 3 \text{ min ,}$$

upnutí obrobku do vrtacího centra:

$$t_{up} = 15 \text{ min ,}$$

čas automatické výměny nástroje

$$t_{Ax} = 0,25 \text{ min ,}$$

čas hlavního vrtání:

$$t_{hl} = t_{AS88} + t_{pol88} + t_{ot} + t_{Ax} = 73,04 + 7,22 + 3 + 0,25 = 83,51 \text{ min ,}$$

celkový čas vrtání:

$$t_{celk} = t_{př} + t_{hl} + t_{up} = 7,92 + 83,51 + 15 = 106,43 \text{ min .}$$

5.3 Svrtávání děr na dvouřetenovém vrtacím centru

Společnost Brüch AM disponuje dvouřetenovými CNC vrtacími centry ELHA 5170 (obr. 5.6). Dvouřetenová vrtací centra umožňují vrtání dvou děr zároveň, to představuje z hlediska zkrácení času výroby velkou výhodou. Vrtání na dvouřetenových vrtacích centrech probíhá stejně jako na jednovřetenových. Obrobek je upnut a vycentrován na rotačním stole. Následuje vrtání děr vrtáky CoroDrill 880 od firmy Sandvik - Coromant do hloubky 120 mm (polovina tloušťky obrobku), jedna díra je vrtákem Kennametal KSEM vyvrtána skrz. Vyvrtání jedné díry skrz je nutné pro ustavení obrobku do správné polohy po jeho otočení. Analogovou 3D měřicí sondou se zjistí poloha díry která je vyvrtána skrz celou tloušťku obrobku, změřená hodnota se zapíše do řídicího programu a proběhne vrtání děr z druhé strany.

Tab. 11 Technická data CNC vrtacího centra ELHA 5170.

počet vřeten	2
výkon vřeten S1/S6 - 60%	29,5/36,5 kW
max. krouticí moment	700 Nm
min. Ø obrobku	1000 mm
max. Ø obrobku	2800 mm
max. výška obrobku	400 mm
pracovní posuv	0 - 1200 mm
rychloposuv	40 m.min ⁻¹
rozsah otáček vřeteně	5 - 4000 min ⁻¹
upnutí nástroje	HSK A 100
max. tlak proces. kap. na vřetenu	50 bar
počet nástrojů v aut. zásobníku	2 x 20 ks



Obr. 5.6 Vrtací centrum ELHA 5170.

Použité nástroje:

Byly použity stejné nástroje i řezné podmínky jako při stávající technologii (kap. 4.1).

Vrtání z jedné strany vrtákem CoroDrill 880:

řezné podmínky: $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,

$$f = 0,14 \text{ mm},$$

otáčky vrtáku dle (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 33} = 1929 \text{ min}^{-1},$$

posuvová rychlost dle (1.2):

$$v_f = f \cdot n = 0,14 \cdot 1929 = 270 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1},$$

průřez třísky dle (1.5):

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{33 \cdot 0,14}{4} = 1,16 \text{ mm}^2,$$

strojní čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{122}{1929 \cdot 0,14} = 0,45 \text{ min},$$

strojní čas na vyvrtání 88 děr (vrtají se 2 díry najednou):

$$t_{AS88} = 44 \cdot t_{AS1} = 44 \cdot 0,45 = 19,8 \text{ min},$$

čas polohování stolu mezi dvěma dírami:

$$t_{pol} = 5 \text{ s} = 0,083 \text{ min},$$

celkový čas polohování stolu:

$$t_{pol88} = 43 \cdot 0,083 = 3,57 \text{ min},$$

čas otočení VBD na nástroji ve vřetenu:

$$t_{ot} = 1 \text{ min} ,$$

upnutí obrobku do vrtacího centra:

$$t_{up} = 15 \text{ min} ,$$

čas automatické výměny nástroje:

$$t_{Ax} = 0,25 \text{ min} .$$

Vrtání díry skrz vrtákem Kennametal KSEM:

řezné podmínky: $v_c = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,

$$f = 0,4 \text{ mm} ,$$

otáčky vrtáku dle (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 33} = 579 \text{ min}^{-1} ,$$

posuvová rychlost dle (1.2):

$$v_f = f \cdot n = 0,4 \cdot 579 = 231,6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} ,$$

průřez třísky dle (1.5):

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{33 \cdot 0,4}{4} = 3,3 \text{ mm}^2 ,$$

strojní čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1K} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{120}{579 \cdot 0,4} = 0,52 \text{ min} ,$$

čas vrtání z jedné strany:

$$\begin{aligned} t_{1/2} &= t_{AS88} + t_{po88} + t_{up} + t_{ot} + t_{AS1K} + t_{Ax} = \\ &= 19,8 + 3,57 + 15 + 1 + 0,52 + 0,25 = 40,14 \text{ min} . \end{aligned}$$

Vrtání z druhé strany vrtákem CoroDrill 880:

strojní čas na vyvrtání 1 díry:

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{122}{1929 \cdot 0,14} = 0,45 \text{ min ,}$$

strojní čas na vyvrtání 87 děr (vrtají se 2 díry najednou):

$$t_{AS87} = 44 \cdot 0,45 = 19,8 \text{ min ,}$$

čas polohování stolu mezi dvěma dírami:

$$t_{pol1} = 5 \text{ s} = 0,083 \text{ min ,}$$

celkový čas polohování stolu:

$$t_{po87} = 43 \cdot 0,083 = 3,57 \text{ min ,}$$

čas otočení VBD na nástroji ve vřetenu:

$$t_{ot} = 1 \text{ min ,}$$

upnutí obrobku do vrtacího centra:

$$t_{up} = 15 \text{ min ,}$$

čas vrtání z druhé strany:

$$t_{2/2} = t_{AS87} + t_{po87} + t_{ot} + t_{up} = 19,8 + 3,57 + 1 + 15 = 39,37 \text{ min ,}$$

celkový čas vrtání:

$$t_{celk} = t_{1/2} + t_{2/2} = 40,14 + 39,37 = 79,51 \text{ min .}$$

5.4 Vrtání děr skrz na dvouřetenovém vrtacím centru

Pro vrtání bylo použito CNC vrtací centrum ELHA 5170. Nástroje a řezné podmínky byly stejné jako při vrtání skrz na jednořetenovém CNC vrtacím centru ELHA 4967 (kap. 5.2).

Vrtání středících děr vrtákem Gühring Ø16:

řezné podmínky: $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $f = 0,315 \text{ mm}$,

otáčky vrtáku dle (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 16} = 1989 \text{ min}^{-1},$$

posuvová rychlost dle (1.2):

$$v_f = f \cdot n = 0,315 \cdot 1989 = 626 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1},$$

průřez třísky dle (1.5):

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{16 \cdot 0,315}{4} = 1,26 \text{ mm}^2,$$

strojní čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{5}{1989 \cdot 0,315} = 0,008 \text{ min},$$

strojní čas na vyvrtání 88 děr (vrtají se 2 díry najednou):

$$t_{AS88} = 44 \cdot t_{AS1} = 44 \cdot 0,008 = 0,35 \text{ min},$$

čas polohování stolu mezi dvěma dírami:

$$t_{pol} = 5 \text{ s} = 0,083 \text{ min},$$

celkový čas polohování stolu:

$$t_{po88} = 43 \cdot 0,083 = 3,57 \text{ min} ,$$

čas předvrtání:

$$t_{př} = t_{AS88} + t_{po88} = 0,35 + 3,57 = 3,92 \text{ min} .$$

Vrtání děr skrz vrtákem Kennametal KSEM Plus:

řezné podmínky: $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $f = 0,3 \text{ mm}$,

otáčky vrtáku dle (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 33} = 965 \text{ min}^{-1} ,$$

posuvová rychlost dle (1.2):

$$v_f = f \cdot n = 0,3 \cdot 965 = 290 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} ,$$

průřez třísky dle (1.5):

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{33 \cdot 0,3}{4} = 2,48 \text{ mm}^2 ,$$

strojní čas na vyvrtání 1 díry dle (1.25):

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{240}{965 \cdot 0,3} = 0,83 \text{ min} ,$$

strojní čas na vyvrtání 88 děr (vrtají se 2 díry najednou):

$$t_{AS88} = 44 \cdot t_{AS1} = 44 \cdot 0,83 = 36,52 \text{ min} ,$$

čas polohování mezi dvěma dírami:

$$t_{pol} = 5 \text{ s} = 0,083 \text{ min} ,$$

celkový čas polohování stolu:

$$t_{pol88} = 44 \cdot 0,083 = 3,57 \text{ min} ,$$

čas otočení VBD na nástroji ve vřetenu:

$$t_{ot} = 3 \text{ min} ,$$

upnutí obrobku do vrtacího centra:

$$t_{up} = 15 \text{ min} ,$$

čas automatické výměny nástroje

$$t_{Ax} = 0,25 \text{ min} ,$$

čas hlavního vrtání:

$$t_{hl} = t_{AS88} + t_{pol88} + t_{ot} + t_{Ax} = 36,52 + 3,57 + 3 + 0,25 = 43,34 \text{ min} ,$$

celkový čas vrtání:

$$t_{celk} = t_{př} + t_{hl} + t_{up} = 3,92 + 43,34 + 15 = 62,26 \text{ min} .$$

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro výběr nejvhodnější varianty vrtání děr v ložiskových kroužcích je nutné provést ekonomické zhodnocení nejen navrhovaných variant racionalizace, ale i stávající technologie vrtání.

6.1 Stávající technologie

Tab. 12 Náklady na vrtání děr vrtákem CoroDrill 880 fy. Sandvik - Coromant.

pořizovací cena těla	8 166 Kč
trvanlivost 1 břitu středové VBD	10 min
cena středové VBD (4 břity)	183 Kč
spotřeba středové VBD na 1 kus	2 ks
náklady na středové VBD na 1 kus	366 Kč
trvanlivost 1 břitu obvodové VBD	10 min
cena obvodové VBD (4 břity)	183 Kč
spotřeba obvodové VBD na 1 kus	2 ks
náklady na středové VBD na 1 kus	366 Kč
celkové náklady na VBD na 1 kus	732 Kč

Tab. 13 Náklady na vrtání 1 díry skrz vrtákem KSEM fy. Kennametal.

pořizovací cena těla	11 287 Kč
trvanlivost vrtací korunky	26 min
cena vrtací korunky	2 430 Kč
celkové náklady na vrt. korunku na 1 kus	49 Kč

Tab. 14 Náklady na strojní čas.

vrtání z jedné strany	39,6 min
vrtání díry skrz	0,52 min
vrtání z druhé strany	39,15 min
hodinová sazba stroje	1 850 Kč.h ⁻¹
celkový strojní čas	79,27 min
celkové náklady na strojní čas	2 444 Kč

Tab. 15 Náklady na vedlejší čas.

polohování stolu z jedné strany	7,22 min
polohování stolu z druhé strany	7,14 min
upínání, centrování a polohování obrobku z jedné strany	15 min
upínání, centrování a polohování obrobku z druhé strany	15 min
otáčení VBD na nástroji ve vřetenu	3 min
automatická výměna nástroje	0,25 min
hodinová sazba vedlejší práce	1 850 Kč.h ⁻¹
celkový vedlejší čas	47,61 min
celkové náklady na vedlejší čas	1 468 Kč

Tab. 16 Shrnutí stávající technologie.

celkový čas vrtacích operací	126,88 min
celkové náklady na vrtací operace	4 693 Kč

6.2 Vrtání děr skrz na jednovřetenovém vrtacím centru

Tab. 17 Náklady na předvrtání děr vrtákem Gühring Ø 16 mm.

pořizovací cena	2 739 Kč
trvanlivost vrtáku	15 min
přebroušení včetně povlakování	200 Kč
celkové náklady na 1 kus	10 Kč

Tab. 18 Náklady na vrtání děr vrtákem KSEM Plus fy. Kennametal.

pořizovací cena těla	21 059 Kč
pořizovací cena vrtací hlavy	9 945 Kč
trvanlivost středové vrtací korunky	75 min
cena středové vrtací korunky	1 415 Kč
spotřeba středové vrtací korunky na 1 kus	1 ks
náklady na středovou vrt. korunku na 1 kus	1 415 Kč
trvanlivost 1 břitu obvodové VBD	12,5 min

cena obvodové VBD (3 břity)	216 Kč
spotřeba obvodových VBD na 1 kus	4 ks
náklady na obvodové VBD na 1 kus	864 Kč
celkové náklady na středovou vrtací korunku a obvodové VBD na 1 kus	2 279 Kč

Tab. 19 Náklady na strojní čas.

předvrtání děr	0,7 min
vrtání děr skrz	73,04 min
hodinová sazba stroje	1 850 Kč.h ⁻¹
celkový strojní čas	73,74 min
celkové náklady na strojní čas	2 274 Kč

Tab. 20 Náklady na vedlejší čas.

polohování stolu při předvrtání	7,22 min
polohování stolu při vrtání děr skrz	7,22 min
upínání, centrování a polohování obrobku	15 min
otáčení VBD na nástroji ve vřetenu	3 min
automatická výměna nástroje	0,25 min
hodinová sazba vedlejší práce	1 850 Kč.h ⁻¹
celkový vedlejší čas	32,69 min
celkové náklady na vedlejší čas	1 008 Kč

Tab. 21 Shrnutí varianty vrtání děr skrz na jednovřetenovém vrtacím centru.

celkový čas vrtacích operací	106,43 min
celkové náklady na vrtací operace	5 571 Kč

6.3 Svrtávání děr na dvouřetenovém vrtacím centru

Tab. 22 Náklady na vrtání děr vrtákem CoroDrill 880 fy. Sandik -Coromant.

pořizovací cena těla (2ks)	16 332 Kč
trvanlivost 1 bříty středové VBD	10 min
cena středové VBD (4 bříty)	183 Kč
spotřeba středové VBD na 1 kus	2 ks
náklady na středové VBD na 1 kus	366 Kč
trvanlivost 1 bříty obvodové VBD	10 min
cena obvodové VBD (4 bříty)	183 Kč
spotřeba obvodové VBD na 1 kus	2 ks
náklady na středové VBD na 1 kus	366 Kč
celkové náklady na VBD na 1 kus	732 Kč

Tab. 23 Náklady na vrtání 1 díry skrz vrtákem KSEM fy. Kennametal.

pořizovací cena těla (2ks)	11 287 Kč
trvanlivost vrtací korunky	26 min
cena vrtací korunky	2 430 Kč
celkové náklady na vrt. korunku na 1 kus	49 Kč

Tab. 24 Náklady na strojní čas.

vrtání z jedné strany	19,8 min
vrtání díry skrz	0,52 min
vrtání z druhé strany	19,8 min
hodinová sazba stroje	1 850 Kč.h ⁻¹
celkový strojní čas	40,12 min
celkové náklady na strojní čas	1 237 Kč

Tab. 25 Náklady na vedlejší čas.

polohování stolu z jedné strany	3,57 min
polohování stolu z druhé strany	3,57 min
upínání, centrování a polohování obrobku z jedné strany	15 min
upínání, centrování a polohování obrobku z druhé strany	15 min
otáčení VBD na nástroji ve vřetenu	2 min

automatická výměna nástroje	0,25 min
hodinová sazba vedlejší práce	1 850 Kč.h ⁻¹
celkový vedlejší čas	39,39 min
celkové náklady na vedlejší čas	1 214 Kč

Tab. 26 Shrnutí varianty svrtávání děr na dvouřetenovém vrtacím centru.

celkový čas vrtacích operací	79,51 min
celkové náklady na vrtací operace	3 233 Kč

6.4 Vrtání děr skrz na dvouřetenovém vrtacím centru

Tab. 27 Náklady na předvrtání děr vrtákem Gühring Ø 16 mm.

pořizovací cena (2ks)	5 478 Kč
trvanlivost vrtáku	15 min
přebroušení včetně povlakování	200 Kč
celkové náklady na 1 kus	10 Kč

Tab. 28 Náklady na vrtání děr vrtákem KSEM Plus fy. Kennametal.

pořizovací cena těla (2ks)	42 118 Kč
pořizovací cena vrtací hlavy (2ks)	19 890 Kč
trvanlivost středové vrtací korunky	75 min
cena středové vrtací korunky	1 415 Kč
spotřeba středové vrtací korunky na 1 kus	1 ks
náklady na středovou vrt. korunku na 1 kus	1 415 Kč
trvanlivost 1 břitu obvodové VBD	12,5 min
cena obvodové VBD (3 břity)	216 Kč
spotřeba obvodových VBD na 1 kus	4 ks
náklady na obvodové VBD na 1 kus	864 Kč
celkové náklady na středovou vrtací korunku a obvodové VBD na 1 kus	2 279 Kč

Tab. 29 Náklady na strojní čas.

předvrtání děr	0,35 min
vrtání děr skrz	36,52 min
hodinová sazba stroje	1 850 Kč.h ⁻¹
celkový strojní čas	36,87 min
celkové náklady na strojní čas	1 136 Kč

Tab. 30 Náklady na vedlejší čas.

polohování stolu při předvrtání	3,57 min
polohování stolu při vrtání děr skrz	3,57 min
upínání, centrování a polohování obrobku	15 min
otáčení VBD na nástroji ve vřetenu	3 min
automatická výměna nástroje	0,25 min
hodinová sazba vedlejší práce	1 850 Kč.h ⁻¹
celkový vedlejší čas	25,39 min
celkové náklady na vedlejší čas	783 Kč

Tab. 31 Shrnutí varianty vrtání děr skrz na dvouvřetenovém vrtacím centru.

celkový čas vrtacích operací	62,26 min
celkové náklady na vrtací operace	4 208 Kč

6.5 Shrnutí

Tab. 32 Shrnutí nákladů na stávající technologii a racionalizační varianty.

použitá technologie	pořizovací náklady na nástroje	celkový čas vrtacích operací	náklady na vrtací operace
stávající technologie svrtávání na jednovřetenovém stroji	19 453 Kč	126,88 min	4 693 Kč
vrtání skrz na jednovřetenovém stroji	33 743 Kč	106,43 min	5 571 Kč
svrtávání na dvouvřetenovém stroji	27 619 Kč	79,51 min	3 232 Kč
vrtání skrz na dvouvřetenovém stroji	67 486 Kč	62,26 min	4 208 Kč

7 DISKUZE

Nejen ze shrnutí ekonomického zhodnocení vyplývá, že použití jednovřetenových vrtacích center není vhodné z hlediska výrobního času ani z hlediska ceny vrtání jednoho kusu. Z porovnání stávající technologie i navrhovaných racionalizačních opatření vyplývá, že ložiskový kroužek bude vyvrtán za nejnižší cenu při svrtávání ze dvou stran na dvouvřetenovém vrtacím centru. Nejkratšího výrobního času se však dosáhne při vrtání skrz celou tloušťku obrobku na dvouvřetenovém vrtacím centru. Kratšího výrobního času se dosáhne především tím, že se nebude po vrtání z jedné strany obrobek vyjímat, otáčet a opět upínat do vrtacího centra. Tento způsob výroby umožňuje použití vrtáků s velkým poměrem délky vůči průměru. Cenu za vyvrtání jednoho kusu však navyšují náklady na vyměnitelné břitové destičky a především na středící vrtací korunku, která díky své geometrii zajišťuje správné vedení vrtáku použitého při tomto způsobu vrtání. Další nevýhodou jsou také vyšší pořizovací náklady na nástroje, které jsou nutné pro použití této technologie.

Díky nejnižším nákladům na vrtání je optimální variantou technologie svrtávání na dvouvřetenovém vrtacím centru. V případě požadavku na nejnižší čas vrtání lze i přes vyšší náklady na vrtání použít technologii vrtání děr skrz celou tloušťku obrobku na dvouvřetenových centrech. Zda bude tato technologie použita, závisí na aktuální situaci ve výrobě, na plánech výroby pro jednotlivé stroje, na požadavcích zákazníka a na dodacích lhůtách.

7.1 Další možnosti racionalizace

Další možností racionalizace technologie vrtání děr by bylo použití vrtacích center se dvěma stoly. Vrtání na těchto strojích probíhá tak, že se obrábí obrobek upnutý na jednom stole a na druhý stůl se upíná ještě nevyvrtaný obrobek. Tím dojde k významnému zkrácení vedlejších časů.

Dále je vhodné sledovat novinky v sortimentu dodavatelů řezných nástrojů a provádět testy nových materiálů VBD, jejich povlaků a geometrií, případně celých nástrojů.

ZÁVĚR

Stávající technologie vrtání děr na součástkách ložiskových kroužků probíhá na jednovřetenovém vrtacím centru a díry se nejdříve vrtají do poloviny tloušťky obrobku, poté se obrobky ze stroje vyjmají, otáčejí, znovu upínají do vrtacího centra a díry se dovrtnají z druhé strany. Návrhy racionalizačních variant byly zaměřeny na zkrácení celkového času vrtacích operací odstraněním vyjímání, otáčení a opětovného upínání obrobku do vrtacího centra a na použití dvouvřetenových vrtacích center. Byly provedeny výpočty nutné pro jejich porovnání a vyhodnocení. Při výpočtech racionalizačních variant se vycházelo z prakticky naměřených hodnot. Z navržených racionalizačních variant byla jako optimální zvolena varianta svrtávání děr na dvouvřetenových CNC vrtacích centrech. Náklady na vrtací operace jsou u této varianty nejnižší i přesto, že celkový čas vrtacích operací nejnižší není. Nejnižšího celkového času vrtacích operací je dosaženo u varianty vrtání děr skrz na dvouvřetenovém CNC vrtacím centru. Vyšší náklady na vrtací operace této varianty způsobuje především vysoká cena středící vrtací korunky, kterou musí být osazen vrták použitý pro vrtání děr skrz. Zvolenou racionalizační variantou, svrtávání děr na dvouvřetenových CNC vrtacích centrech, lze dosáhnout následujících výsledků:

- snížení celkového času vrtání o 37 % na 79,51 min.,
- snížení nákladů na vrtání o 31 % na 3 232 Kč za 1 kus.

Závěrem lze konstatovat, že byl proveden výběr optimální racionalizační varianty a konečné rozhodnutí o realizaci navržené technologie bude záviset na vedení společnosti Brüch AM.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 2. část* [online]. 2004 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
2. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 193 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2336-6.
3. OSTŘENÍ VRTÁKŮ. *NÁSTROJE CZ* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.nastrojecz.cz/ostreni.php>
4. Vrtání na jádro (vykružování). *SANDVIK COROMANT* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cscz/knowledge/drilling/application_overview/dedicated_methods/trepanning/Pages/default.aspx
5. MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění: 1. díl*. Praha: ČVUT, 2000, 79 s. ISBN 80-010-2091-6.
6. KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
8. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
9. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 91-972-2994-6.
10. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. 2003 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
11. CoroDrill 880. *SANDVIK COROMANT* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/es-cz/products/corodrill_880/Pages/default.aspx
12. KENNAMETAL. *MASTER: KATALOG INOVACE* [online]. 2013 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.jan-havelka.cz/download/Master-katalog-2013-czech.pdf>
13. NOVÁK, Josef a Pavlína ŠLAMPOVÁ. *Racionalizace výroby* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>
14. Středící vrtáky a navrtáváky. *STIMZET* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/valc_stred_cz.html
15. NAREX CONSULT. *Katalog: Nástroje na obrábění otvorů* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.narexcon.cz/content/file/NC_obrabeni.pdf
16. CoroDrill 860. *SANDVIK COROMANT*. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.drillingknowledge.com/products/carbide-corodrill-860/>
17. T-A Holders. *ALLIED MACHINE & ENGINEERING CORP.* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.alliedmachine.com/productFamily.aspx?fid=23>

18. Interempresas. *Drilling and milling* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/52291-Nuevas-calidades-y-mayores-prestaciones-en-el-taladrado-y-fresado.html>
19. Seco CrownLoc. *Borgstroms* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.borgstroms.se/seco2_eng.htm
20. Indexable insert drill bit. *Direct industry* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/seco-tools/indexable-insert-drill-bits-5699-763799.html>
21. Korunkové vrtáky. *ALFAVARIA* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://shop.alfavaria.cz/produkty/vrtani/korunkove-vrtaky/korunkovy-vrtak-26mm-x-30mm-hss-tin-wodex-3417cz>
22. Vrtanie hlbokých otvorov. *Strojnícka fakulta STU* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.kvs.sjf.stuba.sk/E-learning%20Technol%C3%B3gia%202/V%C5%95tanie/V%C5%95tanie%20hlbok%C3%BDch%20otvorov/V%C5%95tanie%20hlbok%C3%BDch%20otvorov.htm>
23. Obrábění hlubokých děr. *SANDVIK COROMANT* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cscz/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/pages/default.aspx
24. System Ejector: Solid drilling tools. *Botek* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.botek.de/products/system-ejector/solid-drilling-tools>
25. System BTA: Solid drilling tools. *Botek* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.botek.de/products/system-ejector/solid-drilling-tools>
26. Special Tools. *Gertus* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.gertus.de/specials/Gertus2014.pdf>
27. Vrtáky s válcovou stopkou: stupňovité. *Stimzet* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/pn221252_cz.html
28. Top productivity. *Cutting tool engineering* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.ctemag.com/aa_pages/2009/0907_Holemaking.html
29. Modular Drills Combine Benefits Of Indexable Tools. *Modern Machine Shop* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.mmsonline.com/products/modular-drills-combine-benefits-of-indexable-tools>
30. KSEM PLUS Inserts: KSEMP-HPGM Center Inserts. *KENNAMETAL* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.kennametal.com/en/products/20478624/556249/3924457/44754998/44755012/65470903/45273.html>
31. KSEM PLUS Inserts: Drill Fix side inserts. *KENNAMETAL* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.kennametal.com/en/products/20478624/556249/3924457/44754998/44755012/65230646/45274.html>
32. GUHRING. *Full-Line Drill Catalog* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.guhring.com/Documents/Catalog/Drills/FullLineDrills2013.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
Al₂O₃	[-]	oxid hlinitý
BTA	[-]	Boring and Trepanning Association
CNC	[-]	Computer Numerical Control
Co	[-]	kobalt
Cr	[-]	chrom
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition
HB	[-]	tvrdost dle Brinella
HF	[-]	nepovlakované slinuté karbidy s obsahem primárního WC, zrnitost < 1 μm
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
HW	[-]	nepovlakované slinuté karbidy s obsahem primárního WC, zrnitost ≥ 1 μm
KNB	[-]	kubický nitrid boru
Mo	[-]	molybden
NbC	[-]	karbid niobu
PKD	[-]	polykrystalický diamant
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition
SK	[-]	slinutý karbid
STS	[-]	Single Tube System
TaC	[-]	karbid tantalu
Ti	[-]	titan
TiC	[-]	karbid titanu
TiCN	[-]	karbonitrid titanu
TiN	[-]	nitrid titanu
V	[-]	vanad
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
W	[-]	wolfram
WC	[-]	karbid wolframu

Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm ²]	jmenovitý průřez třísky
C_{Fc}	[-]	konstanta vyjadřující především vliv obráběného materiálu
C_{Ff}	[-]	konstanta vyjadřující především vliv obráběného materiálu
D	[mm]	průměr obráběné díry (vrtáku)
F_c	[N]	řezná síla
F_f	[N]	posuvová síla
F_p	[N]	pasivní síla
L	[mm]	délka dráhy vrtáku při vrtání průchozí díry
M_k	[Nmm]	krouticí moment
P_c	[kW]	řezný výkon
P_f	[kW]	posuvový výkon
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
b_D	[mm]	jmenovitá šířka třísky
d	[mm]	průměr předvrtané díry
f	[mm]	posuv nástroje na jednu otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
h_D	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
k_c	[N.mm ⁻²]	měrná řezná síla
l	[mm]	délka vrtané díry
l_n	[mm]	náběh vrtáku
l_p	[mm]	přeběh vrtáku
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje (obrobku)
$t_{1/2}$	[min]	čas vrtání z jedné strany obrobku
$t_{2/2}$	[min]	čas vrtání z druhé strany obrobku
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
t_{AS1}	[min]	strojní čas na vyvrtání jedné díry
t_{AS1K}	[min]	strojní čas na vyvrtání jedné díry vrtákem Kennametal KSEM
t_{AS87}	[min]	strojní čas na vyvrtání 87 děl
t_{AS88}	[min]	strojní čas na vyvrtání 88 děl

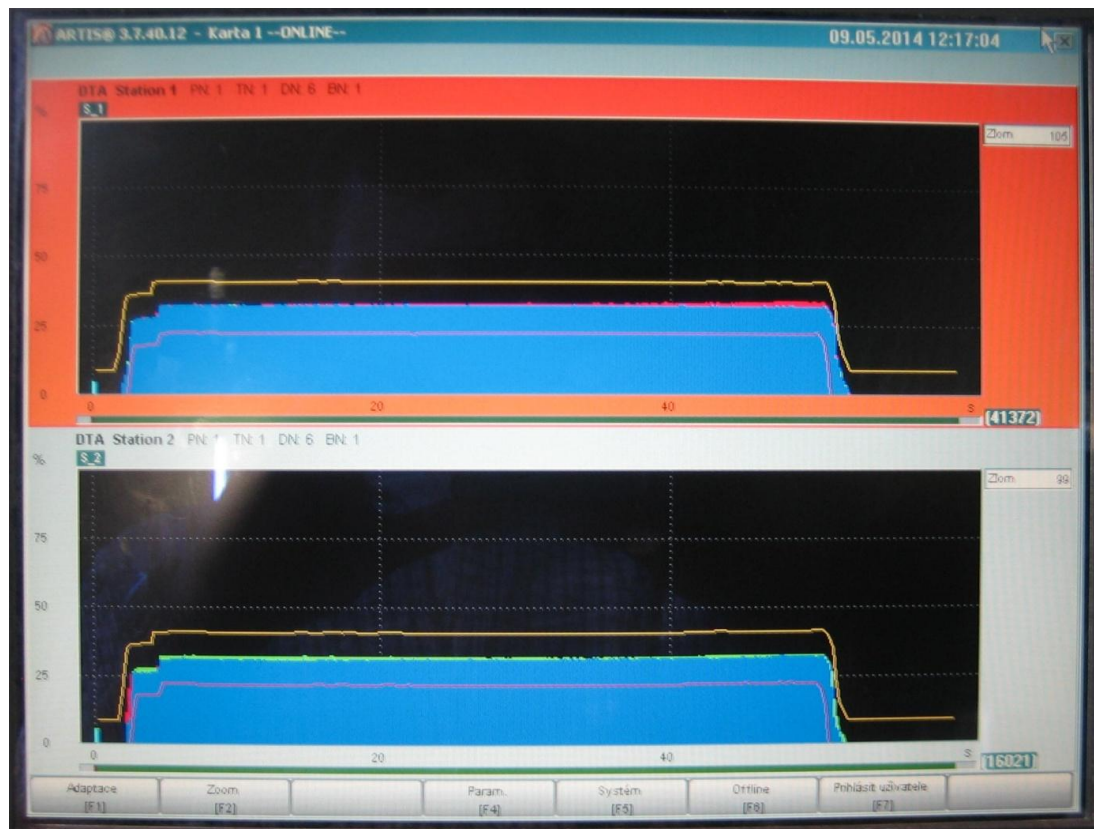
t_{hl}	[min]	čas hlavního vrtání
$t_{př}$	[min]	čas předvrtání
t_{ot}	[min]	čas otočení VBD na nástroji ve vřetenu
t_{pol1}	[min]	čas polohování stolu mezi dvěma dírami
t_{pol87}	[min]	čas polohování stolu při vrtání 87 děr (stůl se pootočí 86x)
t_{pol88}	[min]	čas polohování stolu při vrtání 88 děr (stůl se pootočí 87x)
t_{up}	[min]	čas upnutí obrobku
t_{Ax}	[min]	čas automatické výměny nástroje
t_{celk}	[min]	celkový čas vrtání 1 kusu
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_e	[mm.min ⁻¹]	rychlost řezného pohybu
v_f	[mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost
x_{Fc}	[-]	exponent vyjadřující vliv průměru vrtáku
x_{Ff}	[-]	exponent vyjadřující vliv průměru vrtáku
y_{Fc}	[-]	exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku
y_{Ff}	[-]	exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku
z	[-]	počet zubů (břitů) nástroje
α	[°]	úhel hřbetu
ε_r	[°]	úhel špičky
η	[°]	úhel řezného pohybu
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
φ	[°]	úhel posuvového pohybu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výstup měřicího zařízení Artis
Příloha 2 Materiálový list oceli 42CrMo4
Příloha 3 Katalogový list vrtáku CoroDrill 880 fy. Sandvik - Coromant
Příloha 4 Katalogový list vrtáku KSEM Plus fy. Kennametal

PŘÍLOHA 1

Výstup měřicího zařízení Artis



PŘÍLOHA 2

Materiálový list oceli 42CrMo4

WNr. (číslo materiálu) 1.7225		Cr-Mo ocel k zušlechťování				OCEL Kurzname (značka) 42 CrMo 4	
Chemické složení [hm. %]							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	
0,38–0,45	max 0,40	0,60–0,90	max 0,035	max 0,035	0,90–1,20	0,15–0,30	
Normy DIN							
DIN EN 10083/1-91 – oceli k zušlechťování							
DIN 1652/4-90 – oceli k zušlechťování							
DIN 1654/4-89 – oceli k zušlechťování pro tažení a lisování za studena							
DIN 17204-90 – bezešvé trubky z ocelí k zušlechťování							
DIN 17201-89 – výkovky z ocelí k zušlechťování							
Mechanické vlastnosti							
Rozměr t, d [mm]	≤ 16	17–40	41–100	101–160	–		
Stav	zušlechťený					žháný na měkko	
Mez kluzu R_e [MPa] min	900	750	650	550	–		
Mez pevnosti R_m [MPa]	1 100–1 300	1 000–1 200	900–1 100	800–950	–		
Tažnost A_5 [%] min	10	11	12	13	–		
Kontrakce Z [%] min	40	45	50		–		
Nárazová práce KV [J] min	30					–	
Tvrdość HB max	–					241	
Trubky							
Tloušťka stěny t [mm]	≤ 8	9–20	21–50	51–80	–		
Stav	zušlechťený					–	
Mez kluzu R_e [MPa] min	900	750	650	550	–		
Mez pevnosti R_m [MPa]	1 100–1 300	1 000–1 200	900–1 000	800–1000	–		
Tažnost A_5 [%]	podél min	10	11	12	13	–	
	napříč min	8	9	10	11	–	
Kontrakce Z [%] min	40	45	50		–		
Nárazová práce KV [J] min	35					–	
Tvrdość HB	–					–	
Fyzikální vlastnosti							
Hustota ρ [kg · m ⁻³]	7 850						
Technologické údaje							
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ							
normalizační žhání	840–880 °C	ochlazovat na vzduchu					
žhání na měkko	680–720 °C	ochlazovat v peci					
kalení	820–860 °C	ochlazovat ve vodě nebo v oleji					
popouštění	540–680 °C	–					
prokalitelnost Jominy	53–61 HRC	(1,5 mm od čela)					
prokalení \varnothing 28 mm	min 48 HRC	–					
min tvrdost pásku t ≤ 2 mm kaleného do oleje	– 560 HV						
TVAŘITELNOST							
teploty tváření	1 050–850 °C						
Použití							
Části s vysokou houževnatostí v automobilovém průmyslu a letectví, jako hřídele, klikové hřídele, pastorkové hřídele, ozubená kola, bandáže.							


PŘÍLOHA 3

Katalogový list vrtáku CoroDrill 880 fy. Sandvik - Coromant

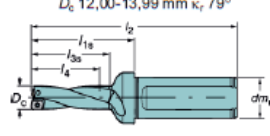
D
VRTÁNÍ CoroDrill® 880

CoroDrill® 880 4 x D_C
Průměr vrtáku 12,00-58,00 mm

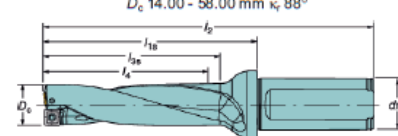
Válcová stopka
Ploška dle ISO 9766



D_c 12,00-13,99 mm κ_r 79°



D_c 14,00 - 58,00 mm κ_r 88°



Průměr vrtáku, mm 12,00 - 43,99 44,00 - 52,99 53,00 - 58,00

Tolerance otvoru, mm 0/+0,40 0/+0,43 0/+0,45

Tolerance, D_c mm +0,04/+0,24 +0,04/+0,29 +0,04/+0,32

Maximální hloubka díry, l₄ 4 x D_c

l₁₀ = programovací délka

Metrické provedení

Průměr vrtáku

Rozměry, mm

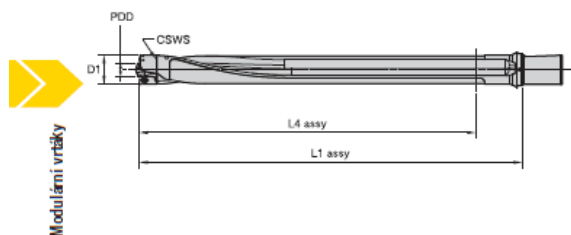
Radiální seřízení

D _c mm	Objednací kód	dm _m	l ₁₀	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	l ₆	l ₇	l ₈	l ₉	l ₁₀	l ₁₁	l ₁₂	l ₁₃	l ₁₄	l ₁₅	l ₁₆	l ₁₇	l ₁₈	l ₁₉	l ₂₀	l ₂₁	l ₂₂	l ₂₃	l ₂₄	l ₂₅	l ₂₆	l ₂₇	l ₂₈	l ₂₉	l ₃₀	l ₃₁	l ₃₂	l ₃₃	l ₃₄	l ₃₅	l ₃₆	l ₃₇	l ₃₈	l ₃₉	l ₄₀	l ₄₁	l ₄₂	l ₄₃	l ₄₄	l ₄₅	l ₄₆	l ₄₇	l ₄₈	l ₄₉	l ₅₀	l ₅₁	l ₅₂	l ₅₃	l ₅₄	l ₅₅	l ₅₆	l ₅₇	l ₅₈	l ₅₉	l ₆₀	l ₆₁	l ₆₂	l ₆₃	l ₆₄	l ₆₅	l ₆₆	l ₆₇	l ₆₈	l ₆₉	l ₇₀	l ₇₁	l ₇₂	l ₇₃	l ₇₄	l ₇₅	l ₇₆	l ₇₇	l ₇₈	l ₇₉	l ₈₀	l ₈₁	l ₈₂	l ₈₃	l ₈₄	l ₈₅	l ₈₆	l ₈₇	l ₈₈	l ₈₉	l ₉₀	l ₉₁	l ₉₂	l ₉₃	l ₉₄	l ₉₅	l ₉₆	l ₉₇	l ₉₈	l ₉₉	l ₁₀₀	D _c Max
01	12.0	880-D1200L20-04	20	63	113	51	48	0.2	0.25	12.5																																																																																													
	12.5	880-D1250L20-04	20	66	116	53	50	0.2	0.25	13.0																																																																																													
	12.7	880-D1270L20-04	20	66	116	53	51	0.2	0.25	13.2																																																																																													
	13.0	880-D1300L20-04	20	68	118	55	52	0.2	0.25	13.5																																																																																													
	13.5	880-D1350L20-04	20	70	120	57	54	0.2	0.25	14.0																																																																																													
02	14.0	880-D1400L20-04	20	72	122	59	56	0.2	0.50	15.0																																																																																													
	14.5	880-D1450L20-04	20	75	125	61	58	0.2	0.45	15.4																																																																																													
	15.0	880-D1500L20-04	20	77	127	63	60	0.2	0.40	15.8																																																																																													
	15.5	880-D1550L20-04	20	79	129	65	62	0.2	0.30	16.1																																																																																													
	16.0	880-D1600L20-04	20	82	132	67	64	0.2	0.30	16.6																																																																																													
03	16.5	880-D1650L20-04	20	84	134	69	66	0.2	0.60	17.7																																																																																													
	17.0	880-D1700L20-04	20	86	136	71	68	0.2	0.60	18.2																																																																																													
	17.5	880-D1750L25-04	25	89	145	73	70	0.3	0.50	18.5																																																																																													
	18.0	880-D1800L25-04	25	91	147	75	72	0.3	0.40	18.8																																																																																													
	18.5	880-D1850L25-04	25	93	149	77	74	0.3	0.40	19.3																																																																																													
	19.0	880-D1900L25-04	25	95	151	79	76	0.3	0.30	19.6																																																																																													
	19.5	880-D1950L25-04	25	99	155	82	78	0.3	0.30	20.1																																																																																													
04	20.0	880-D2000L25-04	25	101	157	84	80	0.3	0.90	21.8																																																																																													
	21.0	880-D2100L25-04	25	105	161	87	84	0.3	0.80	22.6																																																																																													
	22.0	880-D2200L25-04	25	109	165	91	88	0.3	0.60	23.2																																																																																													
	23.0	880-D2300L25-04	25	114	170	95	92	0.3	0.50	24.0																																																																																													
05	24.0	880-D2400L25-04	25	119	175	100	96	0.4	1.10	26.2																																																																																													
	25.0	880-D2500L25-04	25	124	180	104	100	0.4	1.00	27.0																																																																																													
	26.0	880-D2600L32-04	32	128	188	107	104	0.5	0.90	27.8																																																																																													
	27.0	880-D2700L32-04	32	132	192	111																																																																																																	

PŘÍLOHA 4

Katalogový list vrtáku KSEM Plus fy. Kennametal

Modulární vrtáky
Přehled nástrojů KSEM PLUS™



D1 mm	Výměnné hlavy KSEM PLUS		Velikost břitových destiček a vrtacích korunek dle velikosti vrtací hlavy		CSWS	Dostupné vrtací tělesa s velikostí spojení CSWS 3 x D, 5 x D, 8 x D, 10 x D (metrická a palcová vrtací tělesa)					
	Objednací číslo KSEM PLUS	ANSI katalogové číslo výměnných hlav KSEM PLUS	PDD (mm)	Vnější břitové destičky DFR/DFT		Objednací číslo základního tělesa KSEM PLUS	ANSI katalogové číslo základního tělesa KSEM PLUS	Poměr L/D	L4 sestavy (mm)	L1 sestavy (mm)	
28,00	1.102	4000408	KSEMP2800FDS28A1M	14,00	DFR040304D28	28	4000409	WD32FDS28128M	3 x D	93	150
28,58	1.125	4047811	KSEMP1125FDS28A1	15,00	DFR040304D28		4051136	WD32FDS28190M	5 x D	155	212
29,00	1.142	4047812	KSEMP2900FDS28A1M	15,00	DFR040304D28		4051137	WD32FDS28283M	8 x D	248	305
29,36	1.156	4047823	KSEMP1156FDS28A1	16,00	DFR040304D28		4000411	WD32FDS28345M	10 x D	310	367
30,00	1.181	4047824	KSEMP3000FDS28A1M	16,00	DFR040304D28		4051138	SSF150FDS280502	3 x D	93	150
30,18	1.188	4047825	KSEMP1188FDS28A1	17,00	DFR040304D28		4051139	SSF150FDS280746	5 x D	155	212
30,96	1.219	4047826	KSEMP1219FDS28A1	17,00	DFR040304D28		4051140	SSF150FDS281112	8 x D	248	305
31,00	1.221	4047827	KSEMP3100FDS28A1M	17,00	DFR040304D28		4051141	SSF150FDS281355	10 x D	310	367
31,75	1.250	3794916	KSEMP1250FDS32A1	15,00	DFT05T308D32	32	3950219	WD32FDS32146M	3 x D	105	166
32,00	1.260	3794291	KSEMP3200FDS32A1M	15,00	DFT05T308D32		3794426	WD32FDS32216M	5 x D	175	236
33,00	1.299	3742210	KSEMP3300FDS32A1M	16,00	DFT05T308D33		3742293	WD32FDS32321M	8 x D	260	341
33,20	1.307	3793949	KSEMP3320FDS32A1M	16,00	DFT05T308D33		3794429	WD32FDS32391M	10 x D	350	411
33,36	1.313	3794917	KSEMP1313FDS32A1	17,00	DFT05T308D33		3952192	SSF150FDS320573	3 x D	105	166
34,00	1.339	3794292	KSEMP3400FDS32A1M	17,00	DFT05T308D33		3794835	SSF150FDS320850	5 x D	175	236
34,93	1.375	3794918	KSEMP1375FDS32A1	18,00	DFT05T308D33		3794836	SSF150FDS321265	8 x D	280	341
35,00	1.378	3794393	KSEMP3500FDS32A1M	18,00	DFT05T308D33		3794837	SSF150FDS321539	10 x D	350	411
36,00	1.417	3794394	KSEMP3600FDS36A1M	13,00	DFT06T308D36	36	3950220	WD32FDS36166M	3 x D	117	186
36,53	1.438	3794919	KSEMP1438FDS36A1	14,00	DFT06T308D36		3794430	WD32FDS36244M	5 x D	195	264
37,00	1.457	3794395	KSEMP3700FDS36A1M	14,00	DFT06T308D36		3794431	WD32FDS36361M	8 x D	312	381
37,50	1.476	3794427	KSEMP3750FDS36A1M	15,00	DFT06T308D36		3794432	WD32FDS36439M	10 x D	390	459
38,00	1.496	3794396	KSEMP3800FDS36A1M	15,00	DFT06T308D36		3952343	SSF150FDS360652	3 x D	117	186
38,10	1.500	3794920	KSEMP1500FDS36A1	15,00	DFT06T308D36		3794838	SSF150FDS360960	5 x D	195	264
39,00	1.635	3794397	KSEMP3900FDS36A1M	16,00	DFT06T308D39		3794839	SSF150FDS361421	8 x D	312	381
39,20	1.543	3793950	KSEMP3920FDS36A1M	16,00	DFT06T308D39		3794840	SSF150FDS361725	10 x D	390	459
39,70	1.563	3794921	KSEMP1563FDS36A1	17,00	DFT06T308D39						
40,00	1.575	3794398	KSEMP4000FDS40A1M	17,00	DFT06T308D39	40	3972075	WD50FDS40183M	3 x D	132	208
41,00	1.614	3794399	KSEMP4100FDS40A1M	18,00	DFT06T308D39		3794443	WD50FDS40271M	5 x D	220	296
41,28	1.625	3794922	KSEMP1625FDS40A1	18,00	DFT06T308D39		3794444	WD50FDS40403M	8 x D	352	428
42,00	1.654	3794400	KSEMP4200FDS40A1M	19,00	DFT06T308D39		3794445	WD50FDS40491M	10 x D	440	516
43,00	1.693	3794401	KSEMP4300FDS40A1M	20,00	DFT06T308D39		3952344	SSF200FDS400721	3 x D	132	208
44,00	1.732	3794402	KSEMP4400FDS40A1M	21,00	DFT06T308D44		3794841	SSF200FDS401066	5 x D	220	296
44,45	1.750	3794933	KSEMP1750FDS40A1	22,00	DFT06T308D44		3794842	SSF200FDS401586	8 x D	352	428
							3794903	SSF200FDS401933	10 x D	440	516

Modulární vrtáky Hlavy KSEM PLUS™

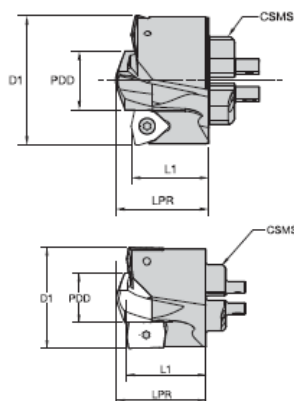


- Vrtací korunky KSEM použité pro KSEM PLUS by se neměly přebušovat, aby byla zajištěna 100% stabilita systému.
- Hlavy KSEM PLUS jsou dodávány včetně všech upínacích šroubů pro korunky a břitové destičky.
- Hlavy KSEM PLUS jsou dodávány se 2 klíči: 1 pro vrtací korunku KSEM a 1 pro břitové destičky DFT a pro montáž vrtacího tělesa k hlavě.

- Vrtací tělesa KSEM PLUS objednávejte podle velikosti spojky připojení (CSMS), která určuje, které hlavy lze upnout.
- PDD v popisu obrázku odpovídá průměru D1 vrtacích korunek HPGM a HPCM pro použití v KSEM PLUS.
- Břitové destičky a vrtací korunky (KSEM, DFT) objednávejte pro KSEM PLUS samostatně.



Modulární vrtáky



NOVINKA!

■ Hlavy KSEM PLUS 28–70 mm



Objednáací číslo	ISO katalogové číslo	ANSI katalogové číslo	D1		PDD		LPR		L1	velikost systému CSMS	šroub vrtací korunky KSEM	Klíč KSEM	šroub břitové destičky Drill Fix	Klíč Drill Fix	
			mm	palce	mm	palce	mm	palce							
4000408	KSEMP2000FDS28A1M	KSEMP2000FDS28A1M	28,00	1.102	14,00	.5512	24,9	.980	22,0	.866	FDS28	364.016	170.350	192.432	170.352
4047811	KSEMP2658FDS28A1M	KSEMP1125FDS28A1	28,58	1.125	15,00	.5906	25,0	.984	22,0	.866	FDS28	364.016	170.350	192.432	170.352
4047812	KSEMP2900FDS28A1M	KSEMP2900FDS28A1M	29,00	1.142	15,00	.5906	25,0	.984	22,0	.866	FDS28	364.016	170.350	192.432	170.352
4047823	KSEMP2937FDS28A1M	KSEMP1156FDS28A1	29,36	1.156	16,00	.6299	25,2	.992	22,0	.866	FDS28	364.010	170.345	192.432	170.352
4047824	KSEMP3000FDS28A1M	KSEMP3000FDS28A1M	30,00	1.181	16,00	.6299	25,2	.992	22,0	.866	FDS28	364.010	170.345	192.432	170.352
4047825	KSEMP3017FDS28A1M	KSEMP1188FDS28A1	30,18	1.188	17,00	.6693	25,4	1.000	22,0	.866	FDS28	364.010	170.345	192.432	170.352
4047826	KSEMP3090FDS28A1M	KSEMP1219FDS28A1	30,96	1.219	17,00	.6693	25,4	1.000	22,0	.866	FDS28	364.010	170.345	192.432	170.352
4047827	KSEMP3100FDS28A1M	KSEMP3100FDS28A1M	31,00	1.221	17,00	.6693	25,4	1.000	22,0	.866	FDS28	364.010	170.345	192.432	170.352
3794916	KSEMP3175FDS32A1M	KSEMP1250FDS32A1	31,75	1.250	15,00	.5906	23,0	.907	20,0	.787	FDS32	364.016	170.350	191.924	170.353
3794291	KSEMP3200FDS32A1M	KSEMP3200FDS32A1M	32,00	1.260	15,00	.5906	23,0	.907	20,0	.787	FDS32	364.016	170.350	191.924	170.353
3742210	KSEMP3300FDS32A1M	KSEMP3300FDS32A1M	33,00	1.299	16,00	.6299	23,2	.913	20,0	.787	FDS32	364.010	170.345	191.924	170.353
3793949	KSEMP3320FDS32A1M	KSEMP3320FDS32A1M	33,20	1.307	16,00	.6299	23,2	.913	20,0	.787	FDS32	364.010	170.345	191.924	170.353
3794917	KSEMP3334FDS32A1M	KSEMP1313FDS32A1	33,36	1.313	17,00	.6693	23,4	.920	20,0	.787	FDS32	364.010	170.345	191.924	170.353
3794292	KSEMP3400FDS32A1M	KSEMP3400FDS32A1M	34,00	1.339	17,00	.6693	23,4	.920	20,0	.787	FDS32	364.010	170.345	191.924	170.353
3794918	KSEMP3430FDS32A1M	KSEMP1375FDS32A1	34,30	1.375	18,00	.7087	23,6	.928	20,0	.787	FDS32	364.010	170.345	191.924	170.353
3794393	KSEMP3500FDS32A1M	KSEMP3500FDS32A1M	35,00	1.378	18,00	.7087	23,6	.928	20,0	.787	FDS32	364.010	170.345	191.924	170.353
3794394	KSEMP3600FDS36A1M	KSEMP3600FDS36A1M	36,00	1.417	13,00	.5118	22,7	.893	20,0	.787	FDS36	364.016	170.350	191.916	170.355
3794919	KSEMP3661FDS36A1M	KSEMP1438FDS36A1	36,63	1.438	14,00	.5512	22,9	.900	20,0	.787	FDS36	364.016	170.350	191.916	170.355
3794395	KSEMP3700FDS36A1M	KSEMP3700FDS36A1M	37,00	1.457	14,00	.5512	22,9	.900	20,0	.787	FDS36	364.016	170.350	191.916	170.355
3794427	KSEMP3750FDS36A1M	KSEMP3750FDS36A1M	37,50	1.476	15,00	.5906	23,0	.907	20,0	.787	FDS36	364.016	170.350	191.916	170.355
3794396	KSEMP3800FDS36A1M	KSEMP3800FDS36A1M	38,00	1.496	15,00	.5906	23,0	.907	20,0	.787	FDS36	364.016	170.350	191.916	170.355
3794920	KSEMP3810FDS36A1M	KSEMP1500FDS36A1	38,10	1.500	15,00	.5906	23,0	.907	20,0	.787	FDS36	364.016	170.350	191.916	170.355
3794397	KSEMP3900FDS36A1M	KSEMP3900FDS36A1M	39,00	1.535	16,00	.6299	23,2	.913	20,0	.787	FDS36	364.010	170.345	191.916	170.355
3793950	KSEMP3920FDS36A1M	KSEMP3920FDS36A1M	39,20	1.543	16,00	.6299	23,2	.913	20,0	.787	FDS36	364.010	170.345	191.916	170.355

(pokračování na další stránce)