



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODERNÍ METODY VÝROBY DĚR V KOVOVÝCH MATERIÁLECH

ON THE MODERN TECHNOLOGIES OF HOLE PRODUCTION IN METAL MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Daniel Kříž

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Daniel Kříž

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

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

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

Moderní metody výroby děr v kovových materiálech

v anglickém jazyce:

On the modern technologies of hole production in metal materials

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza moderních metod výroby děr v kovových materiálech, přehled nástrojových systémů, řezných nástrojů, strojů a dosahovaných technologických a kvalitativních parametrů.

Cíle bakalářské práce:

Úvod.

Analýza moderních metod výroby děr v kovových materiálech. Přehled moderních nástrojových systémů, řezných nástrojů. Přehled moderních strojů.

Dosažitelné technologické a kvalitativní parametry. Závěr.

Seznam odborné literatury:

SLANÝ, J.; POLZER, A.; PÍŠKA, M. On the effective reaming of austenitic steels with cermet reamers and flood cooling. Proceedings of the SPS 11, pp.228-234, (2011), The Swedish Production Academy. SPS 11 The 4th International Swedish Production Symposium, Lund, 03.05.2011-05.05.2011

PÍŠKA, M.; SLANÝ, M. On the Reaming of Austenitic Steels with Coated Cermets.

Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22th International DAAAM Symposium in Viena, 23.11.2011-26.11.2011, pp.0117-0118, ISBN 978-3-901509-83-4

DECHIFFRE, L.; TOSELLO, G.; PÍŠKA, M.; MULLER, P. Investigation on capability of the reaming process using minimal quantity lubrication. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Elsevier, Vol.2, (2009), No.1, pp.47-54, ISSN 1755-5817,

PILNÝ, L.; DECHIFFRE, L.; PÍŠKA, M.; VILLUMSEN, M.: Hole quality and burr reduction in drilling aluminium sheets. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Elsevier, Vol.2012, (2012), No.5, pp.102-107, ISSN 1755-5817.

ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3 - 1. díl - Metody, stroje a nástroje pro obrábění. 1. vyd. Praha. Scientia, spol. s r.o., 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.

MÁDL, J., AJ. Technologie obrábění - 1., 2., 3. díl. Praha. Vydavatelství ČVUT 2000. 3. sv. 246 s. ISBN 80-01-02091-6.

ŘASA, J., POKORNÝ, P., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3 - 2. díl – Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. 1. vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2001. 221 s. ISBN 80-7183-227-8.

SCHNEIDER, G. Cutting Tools Applications. George Schneider, Jr. Farmington Hills. Michigan. USA. ISBN 0-615-12191-8. 243 pp.

WALKER, J.R. Machining Fundamentals. The Goodheart-Wilcox Company, Inc., Tinleaz Park, Illinois, 7th ed., 2004, pp. 640, ISBN 1-59070-249-2.

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. (Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857s., ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.

HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály. MM Průmyslové spektrum. Speciální vydání včetně CD. 110 s. Praha, 2004, ISSN 1212-2572

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 30.10.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Dopovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení a popsání moderních metod výroby děr. První část práce se zabývá rozdělením metod, popisem výroby, dosažitelnými technologickými parametry a dokončovacími metodami výroby. Druhá část se věnuje popisu nástrojů pro výrobu děr jednotlivými metodami. Ve třetí části jsou popsány stroje, na nichž se díry dají vyrábět. V poslední části této práce jsou popsány nekonvenční metody výroby děr.

Klíčová slova

vrták, vrtání, břit, vrtačka, tříska, chladicí kapalina

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the evaluation and description of modern methods of holes production. The first part deals with the classification of methods, description of production, achievable technological parameters and production finishing methods. The second is dedicated to description of tools for holes production by different methods. Third part evaluates machines for holes production. In the last part of this thesis the unconventional methods of holes production are described.

Key words

drill, drilling, cutting edge, drilling machine, sprinter, coolant

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KŘÍŽ, Daniel. *Moderní metody výroby děr v kovových materiálech*. Brno 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 38 s. Vedoucí práce. prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Moderní metody výroby dř v kovových materiálech** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 22.5.2013

Datum

Daniel Kříž

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Miroslavovi Píškovi, CSc.. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT

PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD	8
1. Výroba děr	9
1.1 Vrtání	10
1.1.1 Řezné podmínky	11
1.1.2 Průřez třísky	13
1.2 Dokončovací metody výroby děr	15
1.2.1 Vyhrubování	15
1.2.2 Vystružování	17
1.2.3 Zahlubování	20
1.2.4 Válečkování	20
1.2.5 Honování	21
1.2.6 Broušení	23
1.3 Protahování a protlačování	25
1.4 Předlité a předkované díry	26
1.5 Stříhání	27
2. NÁSTROJE	28
2.1 Vrtací nástroje	28
2.2 Broušení vrtáku	30
2.3 Střížné nástroje	30
3. STROJE	31
3.1 Vrtací stroje	31
3.2 Ostatní stroje pro výrobu děr	32
4. NEKONVENČNÍ METODY VÝROBY DĚR	34
4.1 Paprskem plazmy	34
4.2 Paprsek elektronů	34
4.3 Laserový paprsek	35
4.4 Vodní paprsek	35
ZÁVĚR	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	37
Seznam použitých symbolů a zkratk	38

ÚVOD

Vrtání je jednou z nejstarších metod obrábění, díry se zhotovovaly do kamenů, dřeva a kostí. Je to nejpoužívanější operace ve strojírenství. Charakteristickým rysem vrtání je rotační pohyb nástroje nebo obrobku kolem své osy. Nástroj pro vrtání se nazývá vrták, na svém konci má břit. Po obvodu vrtáku jsou vytvořeny šroubovice pro odvod třísky. Nejčastěji je řezná i nosná část vytvořena z rychlořezné oceli, ale dnes jsou tyto vrtáky vytlačovány slinutými karbidy (SK). Destičky z SK jsou přišroubovány nebo připájeny na hrot nástroje a tvoří řeznou část. V minulosti nebyly nároky na přesnost obráběné díry tak vysoké jako dnes. S přesností výroby se také zdokonalují metody výroby děr, díky nimž můžeme danou díru s přesností setin milimetrů vyrobit.

Díry do materiálu se nejčastěji vrtaly na vrtačkách se svislým vřetenem, avšak pro dnešní požadované přesnosti většinou není tento způsob dostačující. Díry se také mohou vrtat na soustruzích či obráběcích centrech. Při vrtání vzniká teplo díky tření vrtáku a obráběného materiálu, které ovlivňuje okolní materiál, a proto je při vrtání rovněž používána chladicí kapalina, jež je dodávána do místa řezu pro lepší obrobiteľnost. Vrtání není jedinou metodou výroby děr, díra se dá také vytvořit stříháním, protahováním a dalšími metodami.

Pro dosažení lepšího povrchu a přesnosti díry se používají dokončovací metody výroby děr. Nejčastěji se díry po vyvrtání vyhrubují a poté vystruží. Ani zmiňované dokončovací operace nemusí dosahovat požadované přesnosti, a proto dále brousíme nebo honujeme. Další dokončovací operaci je kuličkování, jenž dokáže zvýšit mechanické vlastnosti díry.

Dalšími operacemi pro zhotovení díry jsou nekonvenční metody, které jsou v dnešní době čím dál více používány pro svou přesnost a rychlost výroby díry. Výhodou těchto metod je, že nám nezáleží na obrobiteľnosti obráběného materiálu. Můžeme vrtat hluboké díry malých průměrů řádu několika setin.

1. VÝROBA DĚR

	Druh výroby	Nástroj	Stroj
Třískové obrábění	Vrtání	Vrták	Vrtačky
	Frézování	Fréza	Frézky
	Soustružení	Soustružnický nůž	Soustruh
	Protahování, protlačování	Protahovací trn	Protahovací stroj
Netřískové obrábění	Stříhání	Střižník, Střižnice	Střižný stroj
	Předlitím	Forma (jádro)	Licí stroj
	Předkováním	Zápustka (trn)	Buchar
Nekonvenční metody	Laser	Laserový paprsek	Laserová hlavice
	Plazma	Plazmový paprsek	Plazmový pálicí stroj
	Paprsek elektronů	Elektronový paprsek	Elektronové dělo
	Vodní paprsek	Vodní paprsek	Vodní řezací stroj
Dokončovací metody Třískové	Vyhrubování	Výhrubník	Soustruh
	Vystružování	Výstružník	Soustruh
	Broušení	Brusný kotouč	Bruska
	Honování	Honovací hlava	Honovací stroj
Dokončovací metody Netřískové	Kuličkování	Kuličkovací hlava	Vrtačka, soustruh

1.1 Vrtání

Nástroj pro vrtání se nazývá vrták. Podstata metody výroby děr spočívá v hlavním řezném pohybu, který je otáčivý. Nástroj se otáčí kolem své osy a jeho vedlejší řezný pohyb je posuv ve směru osy nástroje. Mezi vrtání se také obvykle zařazují tzv. osové operace (mezi které patří vystružování, vyhrubování apod.). Vrtání má také své technologické potíže, způsobené proměnnou řeznou rychlostí na jednotlivých částech vrtáků. Na obvodu vrtáků je obvodová řezná rychlost nejvyšší, což je přínosem. Naopak na příčném ostří vrtáku, které tvoří špička samotného řezného nástroje, je obvodová řezná rychlost téměř nulová. V důsledku téměř nulové řezné rychlosti není materiál odebírán, ale je pouze plasticky deformován [1].

Hlavní a vedlejší pohyby se mohou lišit podle stroje, na němž díry zhotovujeme. Při výrobě děr na vrtačkách koná hlavní řezný pohyb vždy vrták, který je upevněn ve sklíčidle vrtačky. Vedlejší řezný pohyb může konat nástroj, ale i obrobek připevněný na konzole vrtačky. Při vyhotovení děr na soustruhu koná hlavní řezný pohyb vždy obrobek a vedlejší řezný pohyb vykoná nástroj.

Vrtání se řadí do kategorie třískového obrábění. Materiál, který odebere hlavní ostří nástroje (vrtáku), je odváděn z místa řezu pomocí dvou šroubovitých drážek. Tento přebytečný materiál se nazývá tříska. Odvod třísky z místa řezu je většinou prováděn pomocí přívodu vysokého tlaku chladicí kapaliny, jež je přiváděna kanálky v tělese vrtáku. Chladicí kapalina nejen odvádí třísku, ale také chladí místo řezu a umožňuje vrtat hluboké díry [3].

1.1.1 Řezné podmínky

Řezná rychlost

Řezná rychlost při vrtání je považována za obvodovou rychlost vrtáku (nástroje). Řezné podmínky při této metodě výroby děr mají velkou škálu z důvodu libovolného průměru nástroje v řádech jednotek až stovek milimetrů. V porovnání s jinými třískovými obráběními, jako jsou např. soustružení, frézování či broušení, je řezná rychlost nižší z důvodů nesnadného odvodu tepla z místa řezu. Břit nástroje je značně zahříván a opotřebován, tudíž musíme chladit chladicí kapalinou. Tato kapalina obvykle obsahuje také speciální řezné oleje. Při nízké řezné rychlosti vrtáku hrozí zalomení vrtáku. Jestliže bude řezná rychlost vyšší než požadovaná, budou se rychle otupovat břity nástroje. Řezná rychlost má mnoho ovlivňujících faktorů, např.[1]:

- tuhost vrtacího stroje,
- drsnost a kvalita obráběné díry,
- vlastnosti vrtaného materiálu apod.

Výpočet řezné rychlosti [1]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

kde: D - průměr nástroje [mm],
n - otáčky [min^{-1}],
 v_c - řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$].

Posuvová rychlost

Jedná se o posuv nástroje vůči obrobku, případně posuv obrobku vůči nástroji, vyjádřený délkou dráhy za časovou jednotku. Tento údaj je znám také jako strojní posuv nebo posuv stolu [3].

$$v_f = f \cdot n \quad (2)$$

kde: v_f - posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$],
f - posuv nástroje na ot. [mm],
n - otáčky nástroje [1/min].

Celková rychlost řezného pohybu

Výsledkem této rychlostí je vektorový součin posuvové a řezné rychlosti [3].

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = \frac{n \cdot \sqrt{(\pi D)^2 + f^2}}{1000} \quad (3)$$

Vrtáky, výhrubníky a výstružníky jsou většinou nástroje s více břity, proto lze také definovat [3]:

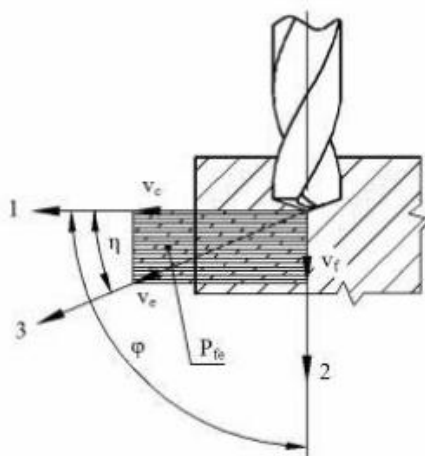
Posuv na zub

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (4)$$

kde: f_z - posuv na zub [mm],
 f - posuv nástroje na ot. [mm],
 z - počet břitů nástroje.

Při vrtání je důležité pracovat s optimálními řeznými podmínkami také proto, aby tříska, která odchází z místa řezu, měla potřebný tvar a velikost. Řezná rychlost se snižuje směrem k ose nástroje a na hrotu nástroje se vytváří tzv. nárustek, který vzniká „navařením“ obráběného materiálu [3].

Při vrtání vykonává řezný nástroj hlavní rotační pohyb a současně i vedlejší pohyb (posuv).



Obr. 1. Kinematika vrtacího procesu [15].

v_c - řezná rychlost

v_f - posuvová rychlost

v_e - celková rychlost řezného pohybu

η - úhel řezného pohybu

ϕ - úhel posuvového pohybu

1 – směr hlavního pohybu

2 – směr posuvového pohybu

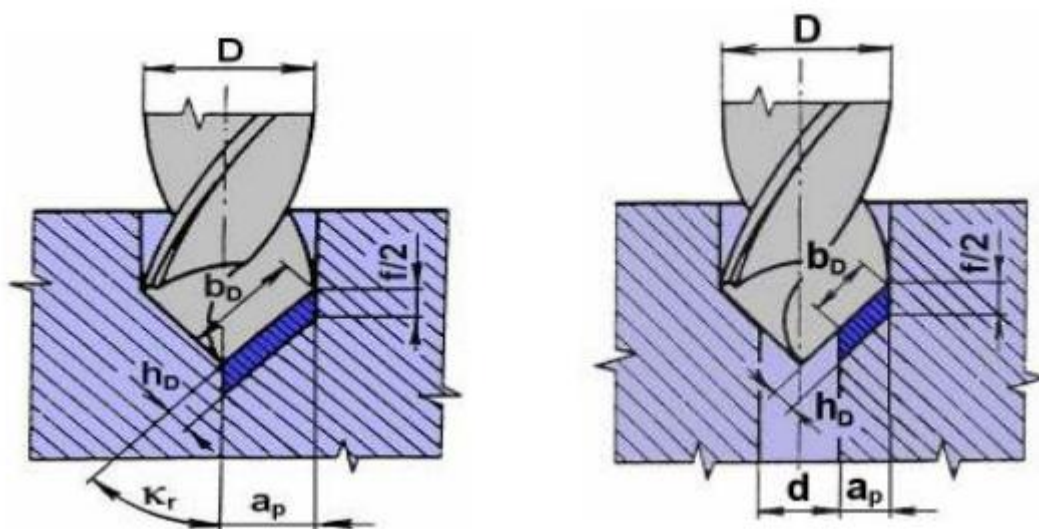
3 – směr řezného pohybu

1.1.2 Průřez třísky

Základní případy odebírané třísky při vrtání můžeme vidět na obrázku č.2. Jedním břitem odebíraný jmenovitý průřez třísky lze vyjádřit ze vztahu [3].

$$A_d = b_d \cdot h_d = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad (5)$$

kde: A_d - průřez třísky [mm^2],
 b_d - jmenovitá šířka třísky [mm],
 h_d - jmenovitá tloušťka třísky [mm],
 f - posuv na otáčku [mm],
 a_p - šířka záběru ostří [mm].



Obr. 2. Průřez třísky při vrtání dvoubřítým šroubovitým vrtákem [3].

Jestliže vrtáme do plného materiálu, má šířka záběru ostří vztah (6) a do předvrtané díry vztah (7).

$$A_p = D/2 \quad (6)$$

$$A_p = (D-d)/2 \quad (7)$$

Konečný vztah pro průřez třísky A_d pro nepředvrtanou díru a jednobřítý nástroj[3]:

$$A_d = \frac{D \cdot f}{4} \quad (8)$$

Jestliže vrtáme do předvrtané díry, výsledný vztah bude vypadat takto:

$$A_d = \frac{(D-d) \cdot f}{4} \quad (9)$$

Pro dvoubřitý nástroj a vrtání do plného materiálu má vztah tvar:

$$A_d = \frac{D \cdot f}{2} \quad (10)$$

Obdobně pro vrtání do předvrtané díry s dvoubřitým nástrojem má vztah tvar:

$$A_d = \frac{(D - d) \cdot f}{2} \quad (11)$$

Na obrázku č.2. lze jmenovité hodnoty parametrů průřezu stanovit z těchto vztahů [6]:

Jmenovitá tloušťka třísky při vrtání do plného materiálu [3].:

$$h_d = \frac{f}{2} \cdot \sin(\kappa_r) \quad (12)$$

Jmenovitá šířka třísky při vrtání do předvrtané díry:

$$b_d = \frac{D - d}{2 \cdot \sin(\kappa_r)} \quad (13)$$

Jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu

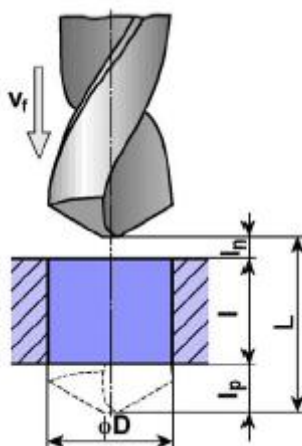
$$b_d = \frac{D}{2 \cdot \sin(\kappa_r)} \quad (14)$$

Jednotkový strojní čas

Jednotkový strojní čas určíme pomocí obrázku č.3, který popisuje dráhu vrtáku při vrtání [3]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l_p + l}{n \cdot f} \quad (15)$$

kde: l_n - délka náběhu [mm],
 l - délka vrtané díry [mm],
 l_p - přeběh vrtáku [mm],
 v_f - posuvová rychlost [mm.min⁻¹],
 n - otáčky vrtáku [min⁻¹],
 f - posuvová rychlost [mm].



Obr. 3. Dráha vrtáku [3]

1.2 Dokončovací metody výroby děr

Díra po vrtání obvykle nesplňuje požadavky na přesnost a drsnost povrchu. Proto je potřeba následně použít tzv. dokončovací metody výroby děr, jako jsou např.:

- vyhrubování,
- vystružování,
- zahlubování,
- válečkování,
- honování,
- broušení.

1.2.1 Vyhrubování

Jestliže má vyvrtaná díra průměr větší než 10 mm a požadovaná kvalita povrchu je vyšší, než je kvalita po vrtání, musíme díru vyhrubovat. Po vyvrtání otvoru má díra nedostačující geometrické parametry. Nejčastější geometrické vady jsou [3]:

- špatná kruhovitost a válcovitost,
- velké tolerance jmenovitého průměru,
- vychýlení osy z požadovaného směru,
- nedostačující drsnost povrchu.

Vyhrubování se provádí pomocí výhrubníků, které jsou ve většině případů upnuty ve sklíčidle soustruhu nebo vrtačky. Můžeme také použít ruční výhrubníky.

Výhrubníky

Výhrubníky bývají většinou tří nebo čtyřbřité nástroje. Břity na nástroji jsou ve šroubovici obdobně, jako je tomu u vrtáku, ale s vyšším stoupáním. Mohou být se stopkou nebo nástrčné podle velikosti průměru. Výhrubník se používá jak ke zlepšení geometrických vlastností díry, tak i k vytvoření rovnoměrného přídatku na vystružování. Na válcové části výhrubníku jsou zuby opatřeny fazetkou. Tyto zuby neřežou, ale slouží k vedení nástroje v díře. Řezná část je kuželová, u rychlořezných ocelí je úhel $K_r = (30-60)^\circ$. U slinutých karbidů je úhel $K_r = (20-30)^\circ$ [1].

Vyhrubováním zvyšujeme kvalitu vyvrtané díry. Kvalita povrchu po vyhrubování $R_a = (1,6-3,2)$. Geometrická přesnost $IT = (9-12)$. Jmenovité hodnoty průměrů vrtáku, výhrubníku a výstružníku můžeme vidět v tabulce č.1.

Tab. 1. Jmenovité průměry nástrojů pro výrobu přesných děr [3].

Jmenovitý průměr [mm]			
Díra	Vrták	Výhrubník	Výstružník
4	3,8	-	4
6	5,8	-	6
8	7,8	-	8
10	9,8	-	10
12	11,25	11,80	12
14	13,25	13,80	14
16	15,25	15,80	16
18	17,00	17,80	18
20	19,00	19,75	20
22	20,50	21,75	22
24	22,25	23,75	24
26	24,25	25,75	26
28	26,25	27,75	28
30	28,25	29,75	30



Obr. 4. Výhrubník s kuželovou stopkou [7].

1.2.2 Vystružování

Vystružování se používá po vyhrubování vyvrtané díry. Díry, které jsou do průměru 10 mm, se rovnou vystružují a nemusí se hrubovat. Při použití této dokončovací metody je velmi důležité stanovit přídavek na vystružování. Tento přídavek nesmí být malý, protože by výstružník neodebíral materiál, ale vtlačoval by ho do okolního materiálu. Díra by neměla požadované geometrické vlastnosti a vznikala by mnohohran. Pro praxi se běžně používá tento výpočtový vztah pro přídavek [3]:

$$p=0.1+0.005.D \quad (16)$$

kde: p - přídavek na vystružení [mm],

D - jmenovitý průměr vystružované díry [mm].

Výstružníky

Používají se ke zhotovení přesného tvaru díry. Geometrická přesnost a drsnost povrchu při použití ručního výstružníku jsou IT 6-8, R_a (0,4-1,6). Při použití strojního výstružníku mají tyto hodnoty: IT 7-9, R_a = (0,4-1,6). Dělí se [1]:

Podle způsobu použití - strojní,

-ruční.

Podle tvaru na -válcové,

-kuželové.

Podle způsobu výroby -pevné,

-rozpínací,

-stavitelné,

- s břitovými destičkami,

- vystružovací hlavice.

Strojní výstružníky

Výstružníky mají obvykle přímé zuby s nerovnoměrnou roztečí, aby se předešlo hranatosti díry. Zuby mohou být ve šroubovici. Z důvodu snadnějšího přeměření přesného rozměru výstružníku jsou vždy protilehlé zuby pootočené o 180°. V zadní polovině vodící části je výstružník mírně kuželový z důvodu snížení krouticího momentu. Tyto výstružníky se vyrábějí z rychlořezných ocelí [1].

Ruční výstružníky

Používají se pomocí vratidla. Ruční výstružník má na svém konci čtyřhran, který se upne do vratidla, pomocí něhož dokážeme vyvolat dostatečný točivý moment pro vystružení díry. Pro lepší zavádění výstružníku do díry je 1/3 činné délky lehce kuželovitá [1].



Obr. 6 Ruční výstružník [8], Vratidlo [9].

Kuželové výstružníky

Ostří kuželových výstružníků je na kuželové ploše. Tyto výstružníky se používají zejména k výrobě Morse kuželů, které slouží např. k upevnění frézy s Morse kuzelem do vřeteníku frézky. Výstružníky se také používají k výrobě metrických kuželů a pro výrobu děr na kuželové kolíky. Mohou být ruční i strojní. Při ruční výrobě jsou použity sadové nástroje, kde poslední jen obrábí díru na čisto a první dva jsou hrubovací [1].



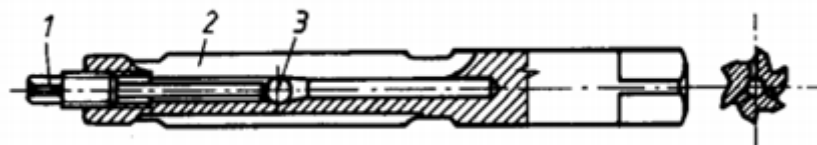
Obr. 7 Kuželový výstružník [10].

Rozpínací a stavitelné výstružníky

Těleso řezné části u rozpínacích výstružníků je v mezerách podélně rozříznuté a je duté. Do dutiny výstružníku je vtlačována kulička, která nástroj rozpíná a tím umožňuje zvětšovat jeho pracovní průměr. Stavitelné výstružníky pracují na principu dvou matic, jež při dotahování a povolování zmenšují nebo zvětšují průměr výstružníku. Matice posouvají zuby nástroje, které jsou vsazeny v drážkách. Tyto výstružníky se používají zejména v opravách [1].



Obr. 8 Stavitelný výstružník [11].



Obr. 9 Rozpínací výstružník [1].

- 1- Šroub,
- 2- řezná část,
- 3- rozpínací kulička.

Vystružovací hlavice

Vystružovací hlavice je tepelně upnuta do tělesa nástroje. Druh upínání pomocí tepla nám zajišťuje přesnou polohu vystružovací hlavy, aniž bychom museli hlavici seřizovat. Termo upínání také zajišťuje, že hlavice nebude házet. Hlavice používá břity vyrobené ze slinutých karbidů. Díky tomuto materiálu můžeme díru velmi rychle a efektivně vystružit. Do místa řezu je přiváděna kapalina, a to buď středem nástroje, nebo přímo k jednotlivým břitům [5].



Obr. 10 Vystružovací hlavice[5].

1.2.3 Záhlufování

Je to způsob obrábění, kde obrábíme díru v její horní nebo spodní části. Používá se pro vyrobení sousého válce nebo kužele v obrobené díře. Slouží pro záhluvení hlavy šroubů.

Záhluvníky můžeme rozdělit na:

- válcové,
- stopkové,
- nástrčné,
- kuželové,
- ploché.

Záhluvníky válcové a ploché mohou být také vedeny vodícím čepem v předvrtané díře, který zajišťuje větší sousost. Při použití kuželových záhluvníků se použití vodícího čepu nevyžaduje, protože kuželové záhluvníky mají tzv. samostředící efekt. Zuby záhluvníků mohou být přímé nebo ve šroubovici [3].



Obr. 11 Záhluvník kuželový s kuželovou stopkou [12].

1.2.4 Válečkování

Válečkování je dokončovací metoda pro obrábění jak vnitřních otvorů, tak vnějších ploch. Obvykle je válečkování používáno pro rotační plochy. Je to metoda tváření za studena. Využívá čárového styku, který vytváří plastické deformace. Tyto deformace zhlazují nerovnosti a také zpevňují vrstvy [4].

Výhodou je:

- zvýšení tvrdosti, pevnosti a mezí únavy,
- měnění zbytkové nepříznivé tlakové napětí z obrábění na příznivější tlakové napětí, které má velký vliv na funkční vlastnosti součásti.

Válečkování může být dynamické nebo statické. Válečkování se provádí pomocí tvářecích rotujících prvků jako jsou např. válečky, kuličky, popř. soudečky. Statické válečkování se provádí pomocí konstantní přitlačné síly, kde v místě styku musí být dodrženy podmínky pro valivé tření. Dynamické válečkování se pak provádí pomocí dynamických rázů, kde je obráběná díra vystavena impulsům tvářecích prvků. Dynamické válečkování je podobné jako rotační kování [4].



Obr. 12 Válečkovací hlava [13].

Hlavní pohyb je rotační a vedlejší pohyb je posuvný. Posuv válečkovacího nástroje nemá být stejný jako posuv při předchozí operaci. Jako pracovní prostředí je vhodný např. vřetenový olej. Místo vřetenového oleje lze použít také i olejové emulze. Rozměr dané díry se může změnit až o 0,03 mm. Drsnosti a rozměrové přesnosti jsou vysoké. Drsnost povrchu se pohybuje od $Ra = (0,05-0,4) \mu m$. Rozměrové přesnosti mají hodnotu od IT6 až IT8 [4].

1.2.5 Honování

Tato metoda obrábění spočívá v odebrání materiálu z obráběné díry pomocí brousících zrn, které jsou pevně vázány pojivem. Tato spojená zrna jsou uchycena v honovacích lištách nebo honovacích kamenech. Hlavními parametry obrábění jsou obvodová rychlost a axiální rychlost. Axiální posuv je přímočarý vratný. Dalšími parametry honování je přítláčný tlak honovacích kamenů p_k . Honování se dá použít při obrábění průchozích i neprůchozích děr. Velikost honované součástky může dosahovat velkých rozměrů. Průměr honované součásti může být až 0,75 m a délka až 24 m [1].

Honování můžeme rozdělit:

Podle tvaru obráběné plochy:

-vnitřní, vnější, rovinné

Podle pracovního režimu honování:

-klasické, elektrolytické, vibrační, jednostupňové, dvojstupňové.

Princip honování:

Honovací hlava koná rotační pohyb kolem své osy a také přímočarý vratný pohyb. Na obráběnou plochu jsou přitlačeny honovací kameny, které jsou upnuty v honovací hlavě. V některých případech může konat rotační pohyb také honovaná součást. Při obrábění musí být do místa styku přivedeno vysoké množství chladicí kapaliny[1].

Honovat můžeme téměř jakýkoliv materiál součásti např. kalenou ocel, mosaz, litinu, bronz, slinuté karbidy. Dají se také honovat díry, které jsou opatřeny povlakem (Chrom, Grafit apod.). Honování se používá při obrábění děr, které slouží jako hydraulické a pneumatické válce, vnitřní plochy statoru, kluzná ložiska a válce spalovacích motorů. Honování se používá pro dokončování přesných jakostních děr [1].

Honovací nástroje:

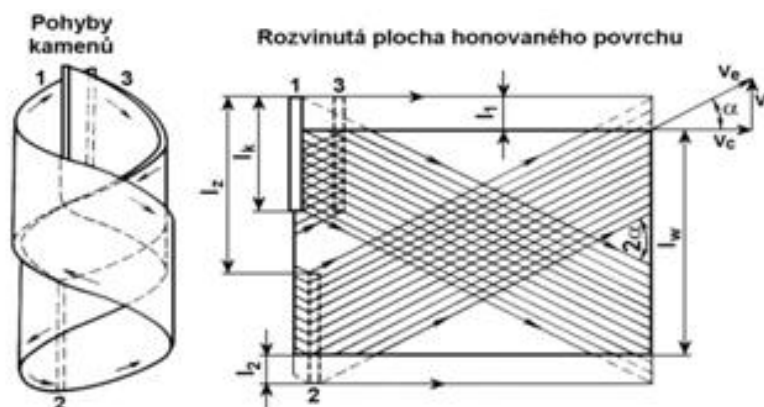
Honovací hlava má sadu radiálně stavitelných honovacích kamenů. Kameny jsou rozmístěny pravidelně po obvodu hlavy. Kameny mohou být v různém počtu:

Do 50 mm: 2 - 3 kameny,

100-300 mm: 6 - 10 kamenů,

nad 300 mm: 12 kamenů.

Šířka kamenů dosahuje až 0,35 násobek obvodu honovací hlavy. Mechanismus přitlačování kamenů na obráběnou plochu umožňuje malý radiální posuv. Jedním z nejdůležitějších faktorů je tlak p_k , kterým řídíme přitlačování kamenů. Přitlačování kamenů docílíme hydraulickým nebo pneumatickým zařízením. Honovací kameny jsou většinou vyrobeny z Al_2O_3 nebo také z SiC. Pro spojení brusiva se používá keramické nebo pryskyřicové pojivo. Některé kameny mohou být také ze syntetického diamantu, který je spojen obvykle kovovým pojivem[4].



Obr. 13. charakteristický vzhled honované plochy [14].

1-počáteční poloha honovacího kamene, 2- poloha honovacího kamene v dolní úvrati, 3- poloha honovacího kamene po jednom dvojzdvihu,

v_c - řezná rychlost,

v_f - posuvová rychlost

v_e - rychlost řezného pohybu,

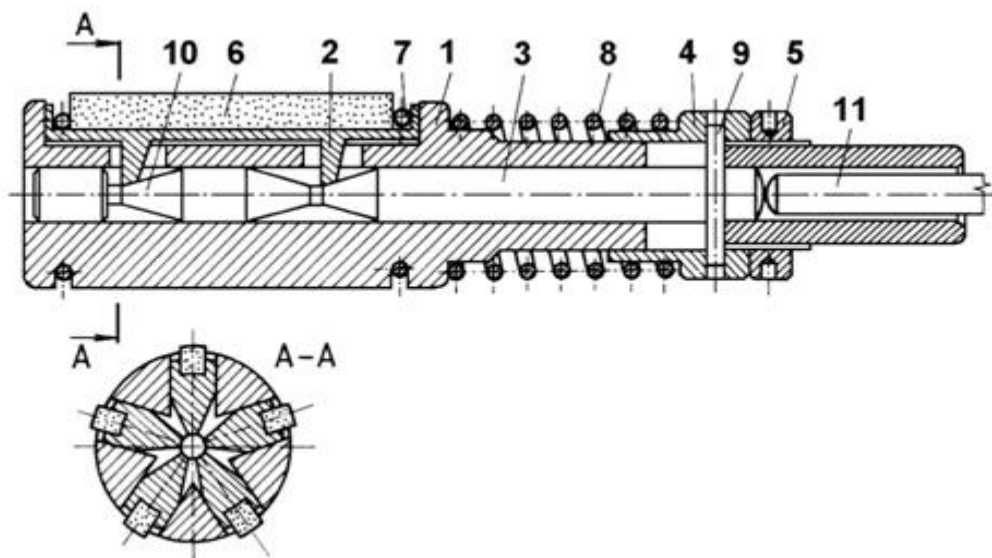
2α - úhel křížení stop,

l_w - délka honovací díry,

l_k - délka honovacích kamenů,

$l_{1,2}$ – horní a dolní přeběh,

l_z - zdvih honovací hlavy.



Obr. 14 Schéma honovací hlavy [14].

- 1- těleso hlavy, 2- držák honovacích kamenů, 3- rozpínací tyčka, 4- opěrný kroužek, 5- matice, 6- honovací kameny, 7- pružina, 8- pružina, 9- kolík, 10- kužel rozpínací tyčky, 11- přísluvová tyč stroje.

Honování odstraňuje - kuželovitost, nepřímost a soudkovitost díry,

-vlnitost obráběného povrchu, zachovává kolmost díry¹.

Jakost obrobené plochy může dosahovat $Ra = 0,025 \mu m$. Běžně dosahuje $Ra = 0,4 \mu m$.

Honováním nelze měnit polohu osy díry. Můžeme obrábět i tenkostěnné obrobky, tolerance děr se pohybuje od IT4 až IT2 [1].

1.2.6 Broušení

Broušení je dokončovací metoda pro obrábění vnějších i vnitřních ploch. Nástrojem pro broušení je brusný kotouč, jenž nemá přesně definovaný břit. Materiál z obráběné díry odebírají zrna brusiva náhodně umístěná na kameni a spojená pojivem. Při broušení je v záběru najednou vysoké množství zrn, které odebírají velmi malé třísky. Při broušení je také přiváděna chladicí kapalina, jež odpлавuje třísky a zrna kotouče. Také odvádí teplo, vzniklé vysokými rychlostmi, a snižuje tření v místě řezu. Broušení se používá zejména pro dosažení vysoké přesnosti. Nástroje pro broušení mohou mít mnoho tvarů, např.: brousící kameny, pásy, segmenty nebo kotouče [1].

Důležitým faktorem při broušení je volba správného typu brousícího kotouče. Charakteristické vlastnosti kotouče jsou:

- zrnitost,
- tvrdost,
- struktura,
- druh brousícího materiálu,
- maximální pracovní rychlost kotouče.

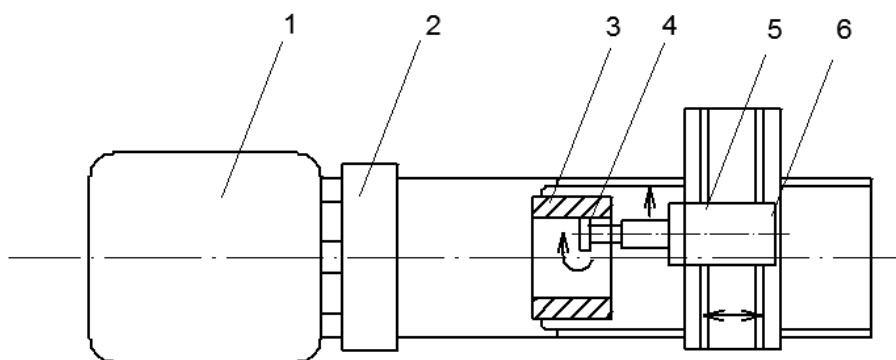
Brousící nástroje mohou být vyrobeny z nejrůznějších druhů materiálu. Nejčastěji se však používá umělý korund, který se vyrábí z bauxitu v obloukové peci. Později se drtí a třídí. Používá se pro broušení tvrdých bronzů a litinové oceli.

Pro broušení tvrdých materiálů např. slinutých karbidů, keramiky nebo titanových slitin se používá kubický nitrid bóru a syntetický diamant.

Materiál je spojen pojivem, jímž může být pryskyřice nebo keramické pojivo. Při spojení brousících zrn vznikají póry, které se při broušení zanášejí třískami. Při zanesení však ztrácí nástroj své řezné vlastnosti. Proto se používají tzv. ořovnávače, jež mají břit z velmi tvrdého materiálu (většinou diamant), který odstraní zanesené póry a otupená zrna [1].

Vnitřní broušení:

Průměr brousícího kotouče není větší než 0,9 násobek průměru broušené díry. Obrobek se posouvá podélně ve směru osy nástroje. Nástroj koná rotační pohyb. Velké průměry děr se brousí tzv. planetovým způsobem, kde se součást nepohybuje a brousící kotouč se otáčí kolem své osy a kolem osy díry. Kotouč také koná podélný posuv [1].



Obr. 16 Bruska na díry[1]

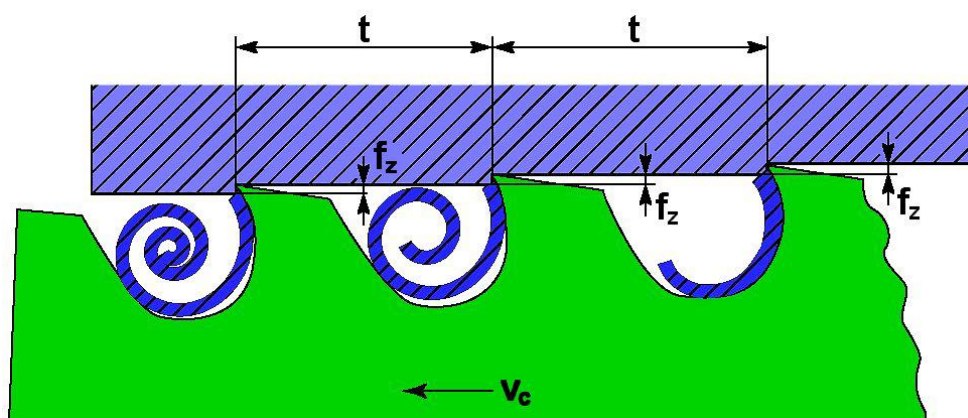
- 1- pracovní vřeteník, 2- sklíčidlo, 3- obrobek, 4- brousící kotouč, 5- support,
6- brousící vřeteník

Řezné rychlosti brousících kotoučů jsou velmi vysoké. Při použití keramických pojiv se řezné rychlosti pohybují od 30 do 35 m.s⁻¹. U moderních kotoučů jsou řezné rychlosti až 120 m.s⁻¹.

Drsnost vnitřních válcových broušených ploch při použití hrubovacího broušení nebo broušení načisto: $R_a = (1,6-0,4)$. Při použití jemného broušení může dosahovat až $R_a = 0,05$. Přesnost rozměrů IT 3-9 [1].

1.3 Protahování a protlačování

Tato metoda obrábění je velmi produktivní. Používá se pouze při sériové a hromadné výrobě. Při kusové výrobě se tato metoda nevyplatí, protože nástroje pro obrábění jsou složité a mají vysoké požadavky na kvalitu materiálu, jsou drahé na výrobu. Protlačovací nástroj je namáhán na vzpěr, proto musí být kratší než protahovací nástroj. Obrobek s předvrtanou dírou nekoná žádný pohyb a je pouze upnut. Při protlačování je nástroj tlačén do předvrtané díry a při protahování je tažen. Můžeme protlačovat nebo protahovat vnitřní i vnější plochy různých tvarů. Tato metoda má vysokou přesnost rozměrů a jakost obrobené plochy [1].



Obr. 17 Princip protahování a protlačování [3].

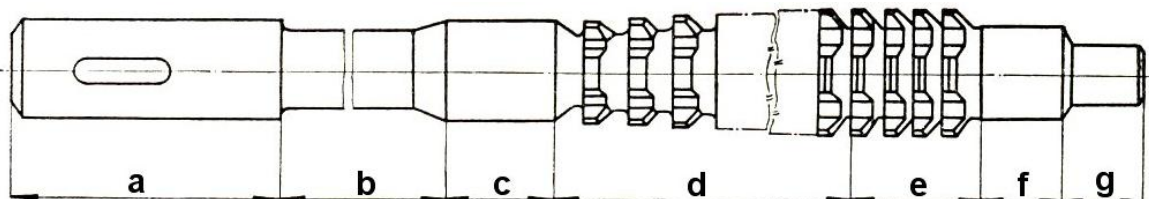
Při protahování vnitřních otvorů je díra předvrtaná. Výsledná protažená díra nemusí mít kruhový tvar. Výsledný tvar díry je totožný s tvarem protahovacího nástroje. Po protahování nebo protlačování se díra nijak dále neobrábí. Tato metoda je dostatečně přesná a drsnost protahovaného povrchu je dostačující. Při protahování díry s velkým přídavkem na odběr materiálu se používají tzv. sadové protahovákы, kde se potřebný počet zubů rozdělí na dva nebo tři protahovákы. Při velkém odběru materiálu najednou by musel být nástroj dlouhý.

Nástroj pro protlačování

Těmto nástrojům říkáme *protlačovací trny*. Tyto trny jsou kratší než protahovací, a to z důvodu namáhání na vzpěr. Jejich délky dosahují max. 500 mm. Výhodou u protlačovacích trnů je možnost jejich použití i u pomaloběžných lisů, na rozdíl od protahování, kde je zapotřebí protahovacího stroje. Protlačování je méně výhodné než protahování.

Protahovací trny

Nástroj se skládá z upínací, řezací, vodící a kalibrační části. Zubová mezera musí být dostatečně velká, aby se do ní vešla tříska a nástroj tak pracoval správně. Při malé zubové mezeře by se tříska otírala o protahovanou díru a vznikalo by tření, které zvyšuje řezný odpor a může dojít k poškození nástroje. Protahovací trny mohou být dlouhé až 2 m. Jsou namáhány tahovým napětím. Nástroj má krček, který má nejmenší průměr a při přetížení se nástroj v tomto místě utrhne, aby se neporušily zuby na řezné části [3].



Obr. 18 Schéma protahovacího trnu [3].

- a- Upínací část,
- b- krček,
- c- přední vedení,
- d- řezná část,
- e- kalibrovací část,
- f- zadní vedení,
- g- čep pro lunetu.

1.4 Předlité a předkované díry

Předlité díry

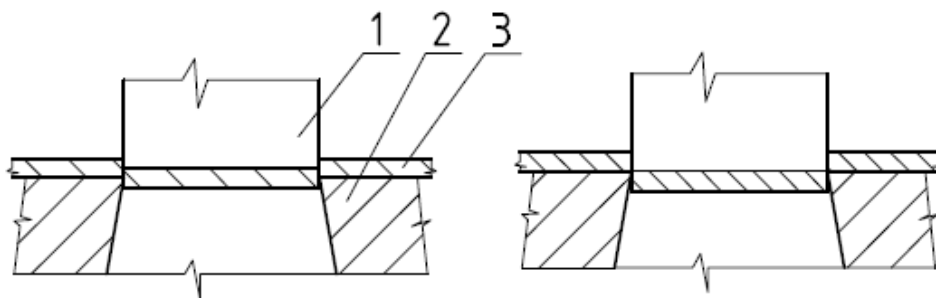
Tyto díry jsou nepřesné a musí se dále obrábět. Nejčastěji se vyvrtávají na požadovaný rozměr, kde se dále dokončují jinými metodami obrábění. Tyto předlité díry se mohou i protahovat nebo protlačovat. Předlité díry se vyrábí pomocí jádra, které je většinou dřevěné a je vloženo do formy před litím do míst, kde by se měla díra nacházet. Používají se hlavně pro úsporu odlévaného materiálu při větších průměrech děr.

Předkované díry

Obdobně jako předlité díry je tato metoda používána z důvodu úspory materiálu. Další výhodou metody je, že při kování součástky v zápustce, jež má požadovaný tvar s dírou, jsou vlákna materiálu více nahuštěna i v místě díry. Tato předkovaná díra, která se musí dále obrábět, má lepší mechanické vlastnosti. Díra však není průchozí. Mezi horní a spodní zápustkou se vytvoří tzv. blána, jež má tloušťku několika milimetrů. Tato blána vzniká, aby do sebe nenarážely protilehlé části zápustky a nedošlo tak k poškození.

1.5 Stříhání

Je to nejrozšířenější operace tváření. Stříhání používáme při výrobě děr do plechu. Je to efektivní výroba děr, ale pouze do materiálu malé tloušťky. Stříhání se provádí na střížných lisech. Nástroj pro stříhání se skládá ze dvou částí, a to ze střížníku a střížnice. Mezi tyto nástroje se vloží plech, do něhož chceme udělat díru. Můžeme vyrobít díru jakéhokoliv tvaru. Mezi střížníkem a střížnicí je střížná vůle, aby nedošlo k nárazu nástrojů. Střížná vůle je 3 – 10 % tloušťky plechu.



Obr. 19 Stříhání

- 1- Střížník,
- 2- střížnice,
- 3- stříhaný materiál.

2. NÁSTROJE

2.1 Vrtací nástroje

Nástroj pro vrtání se nazývá vrták. Vrtáky se dělí na [3]:

- středící,
- kopinaté,
- šroubovitě,
- ejektorové,
- vrtáky do plechu,
- dělové (hlavníové),
- odstupňované vrtáky,
- vrtáky s VBD,
- speciální sdružené.

Nejčastěji se používá šroubovitý vrták. Vrták je tvořen dvěma protilehlými šroubovicemi, které mají úhel stoupání okolo 25° . Jakmile jsou vytvořeny drážky, jádro vrtáku se zmenší až na 0,25 násobek průměru. Jádro musí přenést kroutící moment a také odolat vzpěru. Na špičce vrtáku je příčný břit, který neodebírá materiál, ale pouze se o něj otírá, proto chceme, aby bylo toto ostří co nejmenší nebo bylo úplně odstraněno [3].



Obr. 20 Šroubovitý vrták s kuželovou stopkou Morse.

- 1- příčné ostří,
- 2- hlavní ostří,
- 3- zub,
- 4- drážka,
- 5- stopka,
- 6- vyrážeč.

Středící vrták

Tyto vrtáky slouží k navrtání důlku do místa, kde má být vyvrtaná díra. Důlek slouží k vystředění vrtáku, aby neuhnul z daného místa.

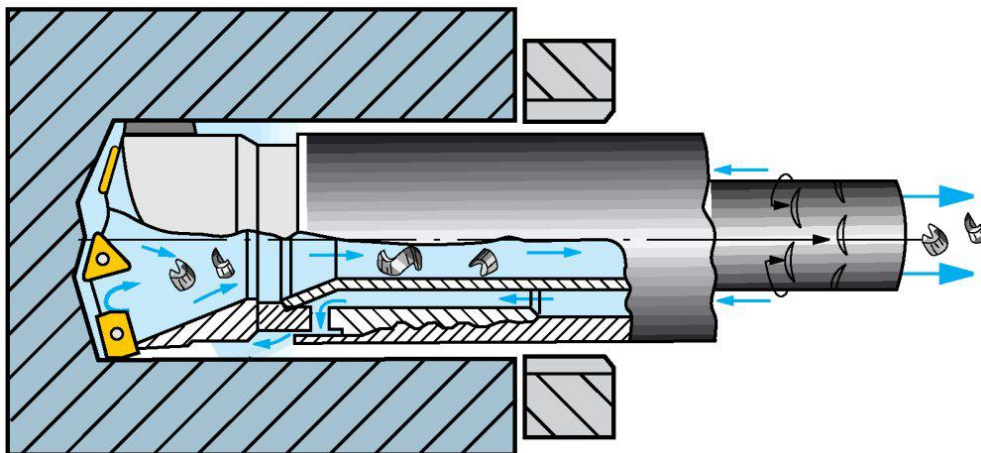
Kopinatý vrták

Slouží k vrtání děr velkých průměrů bez předvrtání, a to díky své vysoké tuhosti. Většina těchto vrtáků umožňuje přívod chladicí kapaliny tělem nástroje. Drsnost díry je horší než při vrtání šroubovým vrtákem. Vyměnitelné břitové destičky nástroje mají speciální tvar, kde na jejich hřbetech jsou vybroušené drážky pro menší tření v díře [3].

Ejektorový vrták

Skládá se z vrtací hlavice, která je našroubovaná do vnější vrtací trubky. Řezná kapalina je přivedena k břitům nástroje mezikružím, přičemž malé množství, odcházející štěrbinami v zadní části vnitřní trubky, způsobuje ejektorový efekt a nasává kapalinu směrem od břitu vrtáku a strhává vzniklé třísky³.

Vrtat se dají díry o průměru až 60 mm a délce až 100x průměru při horizontálním vrtání a 50 násobku při vertikálním vrtání [3].



Obr. 21 princip ejektorového vrtání [3].

Dělové a hlavňové vrtáky

Jsou určeny pro vrtání hlubokých děr, kde by bylo obtížné použít např. šroubovité vrták. Dělové vrtáky jsou určeny pro menší hloubky z důvodu odstranění třísky z vrtané díry. Tento vrták nemá šroubovici pro odvod třísky. Před vrtáním musí být předvrtaná díra, aby byl v díře vrták veden. Tělesem vrtáku je tyč nebo trubka. Řezná část nástroje je ze slinutých karbidů nebo rychlořezné oceli. Řezná část je připájená k tělesu. Chladicí nebo řezná kapalina je přiváděna dírami v tělese vrtáku. Kapalina vyplavuje třísky a chladí místo řezu [3].

Sdružené vrtáky

Používají se při výrobě osazených děr nebo při zahloubení. Použití těchto vrtáku šetří čas při hromadné a sériové výrobě.

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD)

Držák a stopka vrtáku jsou vyrobeny z konstrukční oceli se zvýšenou pevností. VBD se používají pro zvýšení řezných podmínek a zlepšení produktivity. Výkon při použití těchto vrtáků je 5 až 10krát vyšší než při použití běžných šroubovitých vrtáků z rychlořezné oceli. Destičky jsou přišroubovány k tělu nástroje. Destiček může být po obvodu nástroje několik, podle průměru vrtáku. Po obvodu vrtáku jsou opět vyfrézovány drážky pro odvod třísek [1].

2.2 Broušení vrtáku

Aby vrták dobře vrtal, musí být správně naostřen. Geometrie některých vrtáků není uzpůsobena pro přeastřování. Aby byl vrták správně naostřen, musí mít oba hlavní břity pod stejným úhlem k ose nástroje a musí být stejně dlouhé. Vrtáky se brousí na speciálních bruskách na vrtáky nebo na tzv. ostříčce.

2.3 Střížné nástroje**Střížník a střížnice**

Střížník je část stroje pro stříhání. Pro malé stříhané díry je střížník z jednoho materiálu. Pro rozměrnější díry se používá střížník dělený. Čelo nástroje je vyrobeno z lepší kvalitnější oceli a tělo nástroje z méně kvalitní oceli. Střížník je upevněn na lis střížného stroje.

Střížnice je další část stříhacího stroje. Obdobně jako střížník může být vyrobena z různého materiálu, kde kvalitnější materiál bude opět na čele nástroje. Střížník a střížnice jsou protikusy. Pod funkční částí je střížnice zkosená z důvodu snadnějšího propadnutí vystřihovaného materiálu.

3. STROJE

3.1 Vrtací stroje

Používají se obvykle k vrtání, vyhrubování, vystružování nebo také pro řezání závitů. Vrtací stroje mohou být používány jako jednoúčelové stroje. Vrtat lze rovněž na soustruzích či obráběcích centrech. Vrtačky mohou mít vodorovné nebo svislé vřetenem. Nejčastěji se však používají vrtačky se svislým vřetenem [3].

Rozdělení vrtaček:

- radiální,
- stolní,
- stojanové,
- souřadnicové,
- speciální,
- sloupové.

Radiální vrtačky

Tato vrtačka má vřeteník, který se může posouvat po otočném rameni. Rameno se může posouvat vertikálně na ose sloupu. Sloup s ramenem tvoří hlavní část vrtačky. Sloup je upevněn na základové desce. Obrobek se rovněž upíná na základovou desku, která v sobě může mít vyfrézované tzv. T-drážky, pomocí nichž je obrobek pevně upnut. Vrtačka má široký dosah i mimo základovou desku, který nám umožňuje vrtat díry i do větších obrobků, jež jsou uchyceny na zemi. Radiální vrtačky nám umožňují vrtat díru o průměru až 100 mm [1].



Obr. 22 radiální vrtačka [16].

Stolní vrtačky

Stolní vrtačky se používají pro výrobu menších děr do 16 mm. Jsou malé a dají se upevnit na pracovní stůl v dílně. Na krátkém sloupu je posuvný vřeteník a vřeteno, které se dá posouvat v horizontálním i vertikálním směru [1].

Stojanové vrtačky

Na stojanových vrtačkách můžeme vrtat díru do průměru 80 mm. Vřeteník je upevněn na stojanu, po němž se může svisle pohybovat. Pracovní stůl, který je opatřen T-drážkami, se také může pohybovat svisle po stojanu [1].

Souřadnicové vrtačky

Používají se pro výrobu přesných děr až IT4. Vrtačky mohou být ve dvou provedeních. První provedení má pevné lože, po němž se pracovní stůl pohybuje podélně, a v příčném směru se pohybuje příčník, na kterém se nastavují souřadnice. V druhém typu konstrukce se souřadnice nastavují v obou směrech podélným i příčným stolem. K odměření souřadnic se používá optický systém nebo řídicí CNC systém [3].

Speciální vrtačky

Jsou to přenosné vrtačky, které jsou přesouvány např. pomocí jeřábu. Mají otočnou hlavu a používají se například při výrobě lodí. Vrtačky mají magnetické upínky pro připevnění na rozměrné obrobky [1].

Sloupové vrtačky

Mají podobnou konstrukci jako stolní vrtačky, ale mají větší sloup. Na vrtačce můžeme vrtat díry o průměru až 40 mm. Sloupová vrtačka má výškově pohyblivý stůl, jenž se může také otáčet. Sloup vrtačky je upevněn na podstavci, na který můžeme upínat větší obrobky [1].

3.2 Ostatní stroje pro výrobu děr**Soustruhy (obráběcí centra)**

Díry lze také vyrábět na soustruzích nebo obráběcích centrech. Tyto centra jsou číslicově řízená. Takto vyvrtaná díra má obvykle větší přesnost než díra vyvrtaná na vrtačce. Na těchto strojích se obvykle provádějí dokončovací metody vyhrubování a vystružování. Obráběcí centra jsou automatizována a obsluha pouze upíná a vyměňuje obráběný materiál [1].

Protahovačky

Mohou být svislé nebo vodorovné, kde oba typy se používají pro vnitřní i vnější protahování. Vodorovné protahovačky jsou levnější, avšak kvalita protahované díry není tak vysoká z důvodu průhybu nástroje. Protahovačky mohou vynaložit protahovací sílu až 600 000 N. Pohon pro pohyb nástroje může být pomocí pastorku a ozubeného hřebene nebo pomocí hydraulického zařízení. Hydraulický pohon je pro protahování výhodnější z důvodu plynulého chodu [3].

Honovací stroje

Honovací stroje se rozdělují podle počtu vřeten nebo podle velikosti a počtu honovacích hlav. Nejčastěji se používají svislé jednovřetenové stroje. Poloha mezi honovací hlavou a obráběnou dírou musí být přesná. Při pevně upnuté hlavě ve vřetenu musí mít obrobek dva stupně volnosti (kolmo na osu vřetene a osu díry) [4].

Brusky na díry

Brusky jsou sklíčidlové, planetové nebo bezhroté. Nejčastěji se používá sklíčidlová bruska na díry. Obrobek je upnut do sklíčidla pracovního vřeteníku, který se pohybuje po příčných saních. Sání umožňují přesné nastavení obrobku vůči brousícímu kotouči. Brousící vřeteno, v němž je upevněn brousící kotouč vykonává axiální pohyb. Speciální konstrukce brusek s vysokou automatizací pracovního cyklu představují brusky na vnitřní oběžné dráhy kroužků valivých ložisek. U větších brusek je pracovní vřeteník umístěn na podélný stůl [4].

4. NEKONVENČNÍ METODY VÝROBY DĚR

Při použití nekonvenčních metod se nepoužívá nástroj, který má přesně definovanou geometrii (čelo, úhel hřbetu, ostří). Nevytváří klasická tříska jako u vrtání šroubovým vrtákem apod.. Tyto metody se používají při obrábění materiálu s vysokou pevností, tvrdostí a houževnatostí. Pracují na principu úběru materiálu pomocí tepelných či chemických účinků [4].

Základní charakteristiky nekonvenčních metod obrábění [4]:

- vyrobení jakéhokoliv tvaru díry,
- možnost plné automatizace výroby,
- rychlost výroby a výkonnost při obrábění těžko obrobitelných materiálů,
- omezení výroby zmetků díky vysoké přesnosti metod,
- změna mechanických vlastností v povrchové vrstvě.

4.1 Paprskem plazmy

Plazma je stav plynu, kdy je elektricky vodivý. Tento plyn obsahuje kladně nabitě ionty a neutrální atomy a má teplotu 10 000 až 30 000 °C. Vlastnosti plazmy se dají ovlivnit použitými plyny. Plyny použité pro vytvoření plazmy se dělí na fokusační, ochranné a plazmové (Argon, Helium, Dusík, Oxid uhličitý apod.). Při vytvoření díry pomocí plazmy je materiál postupně odtavován nebo odpařován pomocí vysoké rychlosti paprsku plazmy vystupující z hořáku nástroje. Plazma vzniká ohřevem plynu pomocí elektrického oblouku mezi dvěma elektrodami, kde nejčastěji používanými elektrodami jsou samotný materiál, do něhož chceme vytvořit díru a wolframová elektroda. Rychlost plazmového paprsku se liší podle obráběného materiálu a je v rozmezí od 0,6 – 7,6 m.s⁻¹. Materiál kolem místa řezu má tepelně ovlivněnou hloubku 1 mm. Můžeme obrábět materiál do tloušťky 100 mm. Povrch vytvořené díry se dále obrábí [4].

4.2 Paprsek elektronů

Podstata metody spočívá v dopadu paprsku elektronů na obráběný materiál, kde se mění jeho kinetická energie na tepelnou a materiál je vytavován nebo odpařován. Paprsek elektronů vniká do obráběného materiálu do určité hloubky, kde vzniká tepelná energie. Paprsek elektronů vzniká mezi žhavenou wolframovou katodou a anodou. Poté je usměrněn elektromagnetickým zaostřovacím systémem (elektromagnetické čočky) do místa, kde chceme danou díru vytvořit. Obrábění paprskem elektronů se používá pro výrobu hlubokých děr malých průměrů. Můžeme vrtat díry už od průměru 0,015 mm. Používá se pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů [6].

4.3 Laserový paprsek

Princip obrábění pomocí laseru je založen na přeměně světelné energie na tepelnou. Laser dopadá na obráběný materiál, při dotyku paprsku vzniká vysoké teplota, která ohřívá a odpařuje přebytečný materiál. Laserová hlavička obsahuje laserové médium, rezonátor, budící zařízení, zdroj a chladící zařízení [6].

Druhy laseru [6]:

- pevnolátkové - laserové médium je vybroušený krystal,
- plynové - médium je směs plynů (např. Oxid uhličitý, Dusík, Helium),
- polovodičové - médium je polovodič s vodivostí P a vodivostí N,
- kapalinové - médium je roztok organických barviv.

Vrtání pomocí laseru probíhá v pulzním režimu, kde jsou vysílány jednotlivé pulzy s vysokou intenzitou záření. Používá se pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů např. při tvorbě díry do diamantových průvlaků pro tažení drátů. Hloubka díry může dosahovat až 50 mm. Nejmenší průměr vrtané díry je 0,025 mm [6].

4.4 Vodní paprsek

Pracuje pomocí kinetické energie vodního paprsku s brusivem nebo bez, která se při dopadu mění na mechanickou energii. Rychlost paprsku může dosahovat až 900 m.s^{-1} a tlak paprsku při použití abraziva až 400 MPa. Díky přidanému abrazivu ve vodním paprsku dochází k vysokorychlostnímu erozivnímu procesu. Jako abrazivo se používá např. Křemičitý písek nebo Oxid hlinitý. Díra může dosahovat minimálního průměru až 0,75 mm [4].

Výhody obrábění pomocí vodního paprsku [4]:

- studený řez, který neovlivňuje vlastnosti obráběného materiálu,
- řízení pomocí CNC,
- vysoká účinnost až 80%,
- bezprašný a čistý provoz bez vzniku plynu a par,
- nevznikají zbytková napětí.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zhodnotit moderní metody výroby děr do kovových materiálů. První část práce se věnuje samotnému vrtání a to kinematice vrtání, zjišťování průřezu třísky, řezným a posuvovým rychlostem při obrábění. Dále jsou popsány dokončovací metody výroby děr. Nejlepší dokončovací metodou je kuličkování, protože samotné kuličkování zlepšuje drsnost povrchu, ale také zvyšuje jeho mechanické vlastnosti. Dále jsou popsány další operace výroby např. protahování, které se ukázalo jako také produktivní metoda výroby.

Další kapitola je věnována nástrojům pro výrobu děr. Jsou zde popsány nástroje pro dané metody, různé druhy vrtáků a jejich specifické použití. V dnešní době jsou nejčastěji používány vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Dále se tato práce zabývá obráběcími stroji pro výrobu a dokončování děr. Nejčastěji používanými stroji jsou vrtačky, jsou zde popsány některé druhy vrtaček, jejich stavba a použití v praxi. Část této kapitoly také popisuje ostatní stroje pro výrobu a úpravu děr.

Poslední kapitola se věnuje nekonvenčním metodám výroby děr. Tyto metody jsou pro budoucnost nejvíce perspektivní díky jejich produktivitě, přesnosti a možnosti výroby díry jakéhokoliv tvaru a průměru. Zmiňované metody jsou většinou používány v automatizované výrobě.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3 - 1. díl - Metody, stroje a nástroje pro obrábění. 1. vyd. Praha. Scientia, spol. s r.o., 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
2. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. (Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857s., ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.
3. HUMÁR, A. *Technologie I – Základní metody obrábění – 2. část*. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2004 [online]. Dostupné v síti VUT z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf>.
4. HUMÁR, A. *Technologie I – Základní metody obrábění – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2004 [online]. Dostupné v síti VUT z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-3cast.pdf>.
5. *MM Průmyslové spektrum: Dokončovací operace vystružování*. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2006. ISSN 1212-2572.
6. ŘASA, J., POKORNÝ, P., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3 - 2. díl – Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. 1. vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2001. 221 s. ISBN 80-7183-227-8.
7. NAKOL s.r.o. *Výhrubník s kuželovou stopkou*. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.nakol.cz/vyhrubnik-221411-hss-s-kuzelovou-stopkou>
8. MT-nástroje: Ruční výstružník. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.i-zavitniky.cz/i-zavitniky/eshop/39-1-Vyhrubniky-a-vystruzniky/738-4-rucni/5/12444-Vystruznik-CSN22-1420-rucni-D2-H7>
9. BRUFUS s.r.o. *Vratidlo*. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.brufus.cz/vratidlo-na-zavitniky-m3-m12-ean8816605-skup4467.php>
10. M&V, spol. s r.o. *Kuželový výstružník*. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/csn221460_cz.html
11. NAKOL s.r.o. *Stavitelný výstružník*. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.nakol.cz/vystruznik-stavitelny-bez-vodiciho-pouzdra-221424>
12. NAKOL s.r.o. *Záhlubník kuželový s kuželovou stopkou*. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.nakol.cz/zahlubnik-221626-hss-kuzelovy-90-s-kuzelovou-stopkou>
13. OCTOPUSTOOLS s.r.o. *Válečkovací hlava*. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.octopustools.com/me-valeckovani.php>
14. KOCMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3068-0.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
A_d	$[\text{mm}^2]$	Průřez třísky
a_p	$[\text{mm}]$	Šířka záběru ostří
b_d	$[\text{mm}]$	Jmenovitá šířka třísky
CNC	$[-]$	Číslicové řízení počítačem
D	$[\text{mm}]$	Průměr
f	$[\text{mm}]$	Posuv na otáčku
f_z	$[\text{mm}]$	Posuv na zub
h_d	$[\text{mm}]$	Jmenovitá tloušťka třísky
IT	$[\mu\text{m}]$	Geometrická přesnost
l_n	$[\text{mm}]$	Délka náběhu vrtáku
l_p	$[\text{mm}]$	Délka přeběhu vrtáku
L	$[\text{mm}]$	Celková délka dráhy vrtáku
n	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky nástroje
p	$[\text{mm}]$	Přídavek na vystružování
R_a	$[\mu\text{m}]$	Střední aritmetická drsnost
t_{as}	$[\text{min}]$	Strojní čas
SK	$[-]$	Slinuté karbidy
VBD	$[-]$	Vymění
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	Řezná rychlost
v_e	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	Celková rychlost řezného pohybu
v_f	$[\text{mm}]$	Vyměnitelné břitové destičky
z	$[-]$	Počet zubů
K_r	$[\circ]$	Úhel hlavního ostří
Φ	$[\circ]$	Úhel posuvového pohybu
η	$[\circ]$	Úhel řezného pohybu

