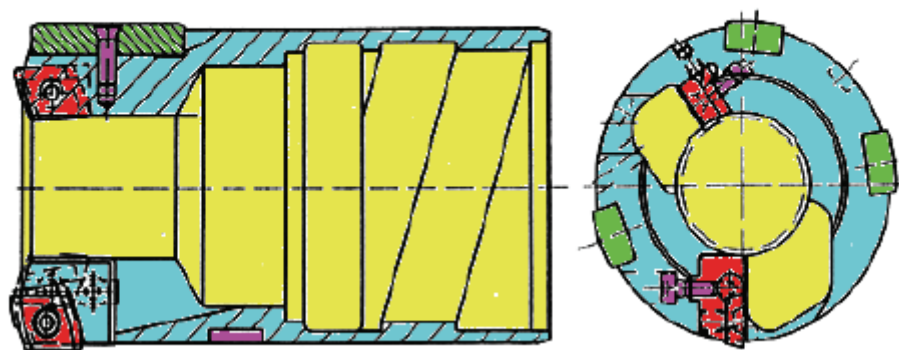
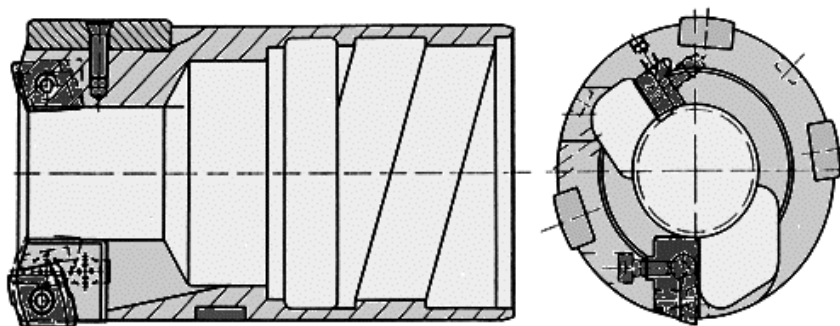


**TECHNOLÓGIA OBRÁBANIA HLBOKÝCH OTVOROV**



**TECHNOLÓGIA OBRÁBANIA HLBOKÝCH OTVOROV**



### Vědecká ediční rada - ExtraSYSTEM Praha

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.	Praha, CZ
prof. PhDr. Martin Bílek, Ph.D.	Hradec Králové, CZ
prof. Ing. Rozmarína Dubovská, DrSc.	Hradec Králové, CZ
prof. Ing. Tomáš Kozík, DrSc.	Nitra, SK
prof. PhDr. Libor Pavera, CSc.	Praha, CZ
doc. PhDr. Marta Germušková, CSc.	Prešov, SK
doc. Ing. Pavel Krpálek, CSc.	Praha, CZ
doc. Ing. Jaroslav Lokvenc, CSc.	Hradec Králové, CZ
doc. Ing. Štěpán Müller, CSc.	Praha, CZ
doc. Ing. Čestmír Serafín, CSc.	Olomouc, CZ
Ing. Kateřina Berková, Ph.D.	Praha, CZ

### Technológia obrábania hlbokých otvorov

Učební text recenzovali:	Jazyková úprava monografie:
doc. Ing. Nina Vetríková, PhD.	SK: neprošlo jazykovou úpravou
Ing. Henrieta Chochlíková, Ph.D.	EN: Ing. Jaroslav Jambor, Ph.D.
Ing. Ivan Baška, Ph.D.	Technická úprava: doc. dr. René Drtina, Ph.D.

### BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MAJERÍK, J. - DUBOVSKÁ, R. - ŠANDORA, J. *Technológia obrábania hlbokých otvorov*. Praha. Extrasystem. 2024. ISBN 978-80-87570-63-0. Dostupné z <http://www.extrasystem.com/9788087570630.pdf>

Učební text pro studenty vysokých škol

© 2024 **ExtraSYSTEM Praha**

© 2024 **Ing. Jozef Majerík, PhD.**

Katedra strojárstva, Fakulta špeciálnej techniky TnUAD

**prof. Ing. Rozmarína Dubovská, DrSc.**

Katedra technických předmětů PdF UHK

**Ing. Jozef Šandora, PhD.**

Katedra strojárstva, Fakulta špeciálnej techniky TnUAD

Učební text byl vydán s finanční podporou Trenčianskej univerzity Alexandra Dubčeka v Trenčíne.

**ISBN 978-80-87570-63-0**

# **OBSAH**

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV</b>	<b>6</b>	
<b>ZOZNAM TABULIEK</b>	<b>8</b>	
<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK</b>	<b>9</b>	
<b>PREDHOVOR</b>	<b>15</b>	
<b>ÚVOD</b>	<b>16</b>	
<b>1</b>	<b>TECHNOLÓGIA VRTANIA HLBOKÝCH OTVOROV</b>	<b>18</b>
1.1	Systémy vrtania hlbokých otvorov	18
1.1.1	Vrtanie jednoklinovými (hlavňovými) vrtákmi (JKV) zo spekaných karbidov	18
1.1.2	Vrtanie BTA (Bohring and Trepaning Association)	18
1.1.3	Ejektorový systém vrtania hlbokých otvorov	18
1.2	Metódy vrtania hlbokých otvorov	20
1.2.1	Vrtanie do plného materiálu	20
1.2.2	Vrtanie doplna na jadro - trepanovanie	20
1.2.3	Vyvtávanie či zväčšovanie otvoru tlakom alebo ťahom	20
1.3	Spôsoby vrtania hlbokých otvorov	21
1.3.1	Vrtanie s rotujúcim nástrojom	21
1.3.2	Vrtanie s rotujúcim obrobkom a nerotujúcim nástrojom	21
1.3.3	Vrtanie s protibežne rotujúcim nástrojom i obrobkom súčasne	21
1.4	Obrábacie stroje na vrtanie hlbokých otvorov	21
1.5	Prídavné zariadenia a príslušenstvo k obrábacím strojom na hlboké vrtanie	22
1.5.1	Navrtávacie puzdro a postup navrtávania	22
1.5.2	Zariadenie pre prívod tlakového oleja BOZA	23
1.5.3	Nádrže na reznú kvapalinu	23
1.5.4	Zariadenie pre čistenie reznej kvapaliny	23
1.5.5	Chladiace a mazacie prostriedky pre hlboké vrtanie	23
<b>2</b>	<b>VRTANIE HLBOKÝCH OTVOROV JEDNOKLINOVÝMI VRTÁKMI JKV</b>	<b>24</b>
2.1	Konštrukcia jednoklinových vrtákov JKV	24
2.1.1	Geometria karbidových jednoklinových vrtákov JKV-SK	28
2.2	Výpočet rezných parametrov	32
2.3	Vrtanie hlbokých otvorov s JKV nástrojmi v praxi	33
2.4	Nové konštrukcie JKV vrtákov a ich aplikácie	39
<b>3</b>	<b>VRTANIE HLBOKÝCH OTVOROV BTA SYSTÉMOM</b>	<b>42</b>
3.1	Geometria BTA vrtacích nástrojov s VRP-SK	44
3.2	Vyvtávacie (zväčšovacie) BTA hlavy	46

3.3	Upínacie závitky na BTA vrtacích hlavách a vrtacích tyčiach	47
3.4	Nové konštrukcie BTA vrtacích hláv	49
3.5	Obrábacie stroje na BTA vrtanie hlbokých otvorov	50
3.6	Tlmiče vibrácií vrtacej tyče pri BTA hlbokom vrtaní	56
3.7	Rekonštrukcia pôvodných hlbokovrtacích strojov	58
3.8	Voľba množstva, tlaku a typu rezného oleja pri BTA vrtaní	62
3.9	Voľba rezných podmienok pri BTA hlbokom vrtaní	63
3.10	Hospodárnosť BTA hlbokého vrtania	64
3.11	BTA hlboké vrtanie Beisnerovým rúrkovým vrtákom	65
3.12	BTA hlboké vrtanie na stroji NAGEL a LOCH-TBSR	67
3.13	BTA hlboké vrtanie doplna nástrojmi BOTEK	67
3.14	BTA vrtanie doplna a na jadro súčiastok väčších priemerov	73
3.15	Viacvretenové hlboké vrtanie na BTA horizontkách	76
3.16	Výroba hydraulických valcov	78
3.17	Technológia vyvrtávania odstredivo liatych rúr	79
3.18	Tvorba triesky a jej význam pri vrtaní hlbokých otvorov	81

#### **4 SYSTÉM EJEKTROVÉHO VRTANIA HLBOKÝCH OTVOROV 83**

4.1	Rezné sily pri ejektorovom vrtaní hlbokých otvorov	90
4.2	Vrtanie hlbokých otvorov ejektorovým systémom v praxi	93
4.3	Ejektorový systém vrtania hlbokých otvorov na horizontálnych vyvrtávacích strojoch	97

#### **5 VYVRTÁVANIE HLBOKÝCH OTVOROV 100**

5.1	Vyvrtávanie tvarového otvoru komory	102
5.2	Vyvrtávanie kužeľových otvorov väčších dĺžok	104

#### **6 VYSTRUŽOVANIE HLBOKÝCH OTVOROV 106**

6.1	Vystružovanie hlbokých otvorov malých priemerov	110
6.2	Rezné podmienky pri vystružovaní	111

#### **7 TECHNOLÓGIA HONOVANIA HLBOKÝCH OTVOROV 113**

7.1	Brúsne materiály na výrobu honovacích kameňov	117
7.2	Honovacie hlavy	118
7.3	Pracovné podmienky honovania	118
7.4	Zvláštnosti honovania hlbokých otvorov	121
7.5	Honovanie materiálov pevnosti $R_m = 1\ 350$ až $1\ 600$ MPa	122
7.6	Honovanie dlhých hydraulických valcov	125

7.7	Vibračné honovanie	127
7.8	Honovanie otvorov s diamantovými lištami	128
7.9	Elektrolytické honovanie	130

<b>8</b>	<b>TECHNOLÓGIA PREŤAHOVANIA SKRUTKOVÝCH ALEBO ROVNÝCH DRÁŽOK HLBOKÝCH OTVOROV</b>	<b>132</b>
----------	---	------------

8.1	Konštrukcia nástroja pre ťahanie drážok výsuvnými nožmi	132
8.2	Preťahovanie skrutkových drážok v hlbokých otvoroch s použitím korunkových krúžkov	136

<b>ZÁVER</b>	<b>142</b>
--------------	------------

<b>ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV</b>	<b>144</b>
--	------------

<b>RÉSUMÉ</b>	<b>147</b>
---------------	------------

<b>REGISTER</b>	<b>149</b>
-----------------	------------

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr.1	Systém vrtania hlbokých otvorov jednoklinovým vrtákom JKV15	19
Obr.2	BTA systém vrtania hlbokých otvorov	19
Obr.4	Jednoklinový vrták JKV malého priemeru	25
Obr.5	Špeciálna brúska typu TBSM 2-32	28
Obr.7	Spôsoby preostrovania geometrie JKV	30
Obr.8	Princíp hlbokovŕtacieho stroja	31
Obr.9	Schéma hlbokého vrtania s JKV nástrojom	32
Obr.10	Zariadenie na impulzné mazanie hlbokých otvorov	34
Obr.11	Upravený sústruh SV18RA na vrtanie hlbokých otvorov	36
Obr.12	Príklad vrtania doplna otvoru $\varnothing 3,2 \times 85$ mm	38
Obr.13	Príklad vrtania doplna chladiacich kanálov $\varnothing 10,5 \times 175$ mm	39
Obr.15	Karbidové vrtáky JKV	40
Obr.16	JKV vrták BOTEK väčšieho priemeru s VRP-SK	41
Obr.17	CNC obrábacie centrum BWT 250	41
Obr.18	Vyvrtávacie hlavy HELLER	43
Obr.19	BTA vrtacia hlava na jadro HELLER s VRP-SK	45
Obr.20	BTA vrtacia tvarová hlava s VRP-SK a vodičkami	45
Obr.21	Tlačná BTA vyvrtávacia hlava	47
Obr.22	BTA vrtacia hlava BOTEK Typ 22	48
Obr.23	BTA vrtacia hlava D = 65 mm BOTEK Typ 42 s VRP-SK	48
Obr.24	BTA vrtacie hlavy typu T-MAX	49
Obr.25	Konštrukcie vrtacích hláv Heller, Widia Krupp, Sandvik Coromant a Iscar	46
Obr.26	BTA hlbokovŕtací stroj so suportom	48
Obr.27	Vodorovný hlbokovŕtací stroj TB 4000-12/24-45 NC	50
Obr.28	Hlbokovŕtací stroj GILDEMEISTER B3P2/4000	50
Obr.29	Hlbokovŕtací stroj GILDEMEISTER s rotujúcim obrobkom	54
Obr.30	Detail podpernej lunety na hlbokovŕtacom stroji	54
Obr.31	Odporúčaný spôsob ustavenia kaleného puzdra	55
Obr.32	Rotačný tlmič vibrácií konštrukcie Sandvik Coromant	57
Obr.33	Pritláčanie tlakovej hlavy o obrobok hydraulickým valcom	58
Obr.34	Nádoba na triesky ťahaná pomocou vrtacieho suportu	60
Obr.35	Tlaková hlava stroja Škoda VHR 500 s vrtacou hlavou T-Max-U	61
Obr.36	Upravený hlbokovŕtací stroj VHR 500 $\times$ 8 000 mm	61
Obr.37	Čelný pohľad na nosič tlakovej hlavy	65
Obr.38	Dvojretenový hlbokovŕtací stroj NAGEL B2R 60	67
Obr.39	Vrtacia hlava doplna typu BOTEK s vonkajšou platničkou P25 B	69
Obr.40	Hlbokovŕtací stroj systémom BTA typu SIG B31/4	70

Obr.41	Hlbokovrtací stroj systémom BTA typu SIG B31/8 CNC	71
Obr.42	Súčiastka Náprava po vrtaní priemeru 65 × 2 288 mm	72
Obr.43	Vrtacia hlava na jadro od Sandviku Coromant	73
Obr.44	Čelný pohľad na vrtaciu hlavu na jadro a tlakovú hlavu v upínači	74
Obr.45	Súčiastka s jadrom vrtaná na hlbokovrtacom stroji Schiess	74
Obr.46	Výmenník tela určený pre parogenerátory	76
Obr.47	Kombinovaná vystružovacia a valčekovacia hlava RDS Retrac	78
Obr.48	Kombinovaná vystružovacia a valčekovacia hlava	78
Obr.49	Špeciálna ťažná vyvrtávacia hlava	79
Obr.50	Vznikajúce tvary triesok na BTA vrtacej hlave doplna	81
Obr.51	Vplyv reznej rýchlosti a posuvu pri BTA vrtacích hlavách	81
Obr.52	Rotačná hlava pre ejektorový systém vrtania hlbokých otvorov	83
Obr.53	Experimentálna skúška ejektorového systému	83
Obr.54	Systém ejektorového vrtania hlbokých otvorov	84
Obr.55	Systém ejektorového vrtania hlbokých otvorov	84
Obr.56	Schéma rotačnej ejektorovej hlavy	85
Obr.57	Systém ejektorového vrtania hlbokých otvorov	86
Obr.58	Schéma prítoku a odtoku oleja v ejektorovej vrtacej hlave	86
Obr.59	Polohovanie vrtacieho puzdra voči čelu obrobku	87
Obr.60	Kombinácie rôznych druhov spekaných karbidov	88
Obr.61	Grafické znázornenie vzťahu medzi rozmerom ejektorovej vrtacej hlavy a vrtacím puzdrom	89
Obr.62	Znázornenie rozloženia rezných síl pre systém ejektorového vrtania vrtacou hlavou s VRP-SK	90
Obr.63	Grafické znázornenie určenia veľkosti osovej sily	91
Obr.64	Grafické znázornenie určenia veľkosti čistého výkonu	91
Obr.65	Sústruh s upevnenou statickou ejektorovou vrtacou hlavou	93
Obr.66	Znázornenie spôsobu upnutia obrábanej súčiastky	94
Obr.67	Spôsob upnutia obrábanej súčiastky	95
Obr.68	Pohľad na statickú ejektorovú hlavu	96
Obr.69	Pohľad na rotačnú ejektorovú hlavu Sandvik Coromant	97
Obr.70	Plaváková hlava upnutá v obrábacom stroji RT 401-2.7	101
Obr.71	Upnutá súčiastka Rúra na obrábacom stroji Safop Leonard BG 120 CNC	103
Obr.72	Univerzálne štvorčel'ust'ové skľučovadlo s upnutou súčiastkou	103
Obr.73	Ťažná vyvrtávacia hlava s radiálne staviteľným nožom	104
Obr.74	Schematické znázornenie vyvrtávania tvarových otvorov BTA	105
Obr.75	Znázornenie vyvrtávania kužel'ových otvorov	105
Obr.76	Vystružovacia hlava s tzv. plávajúcím blokom	106

Obr.77	Hlava ako súčasť stroja SIGB30/3 pri vystružovaní	107
Obr.78	Kombinovaná vystružovacia a statická valčekovacia hlava	109
Obr.79	Znázornenie vplyvu tzv. prebehu brúsnych kameňov	117
Obr.80	Zložky vektorov tzv. honovacej rýchlosti	119
Obr.81	Schéma pohybu honovacieho kameňa na jeden dvojjzdvih hlavy	120
Obr.82	Pohľad na honovací stroj GEHRING HH 7500-250	123
Obr.83	Pohľad na honovací stroj GEHRING HH 7500-250	124
Obr.84	Honovacia hlava GEHRING na honovanie hlbokých otvorov	124
Obr.85	Honovanie vonkajších povrchov piestnic hydraulických valcov	127
Obr.86	Pohľad na prídavné zariadenie určené k tzv. vibračnému honovaniu na sústruhu	128
Obr.87	Schéma procesu elektrolytického honovania otvorov	130
Obr.88	Hlavica pre elektrolytické honovanie	131
Obr.89	Preťahovacia hlava Ø155 mm so 16 výsuvnými nožmi z rýchloreznej ocele	133
Obr.90	Pohľad na preťahovací stroj ŠKODA-TZR 16 × 7000 mm	134
Obr.91	Obrábací stroj SIG-Z 100/3,5 na preťahovanie skrutkových drážok	138
Obr.92	Jeden kus z celkovej sady 40 kusov ťažných krúžkov	139
Obr.93	Ťažná hlava spolu s preťahovacím krúžkom a zadným vedením s tlmením	140

## ZOZNAM TABULIEK

Tab.1	Príklady vrtania rúrkovými BTA vrtákmi	68
Tab.2	Príklady BTA vrtania austenitických Cr-Ni ocelí	69
Tab.3	Príklady A a B parametrov technológie vystružovania	108
Tab.4	Vystružovanie súčiastok na stroji NAGEL BR 120 a SIG B31/8 NC	108
Tab.5	Namerané hodnoty opotrebenia nožov s PVD povlakom typu TiCN	136
Tab.6	Namerané hodnoty opotrebenia nožov pri preťahovaní drážok	136

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

a	hrúbka rezu, prídavok na honovanie ( $a = 2 \cdot a_p$ ) [mm]
A	ťažnosť materiálu obrobku [%], amplitúda kmitov pri vibračnom honovaní [mm]
$a_l$	vzdialenosť hrany vodítka od rohu JKV [mm]
$a_p$	hlbka rezu (pri vŕtaní doplna $a_p = D/2$ ) [mm]
$a_s$	vzdialenosť hrotu JKV od valcovej fazetky [mm]
b	šírka rezu [mm]
$b_{f\epsilon}$	šírka zrazenia rohu JKV [mm]
$C_{BTA}$	torzná tuhosť rúrky vrtáka BTA [ $Nm \cdot rad^{-1}$ ]
$C_{JKV}$	torzná tuhosť tvarovej rúrky JKV [ $Nm \cdot rad^{-1}$ ]
$C_T, C_V$	konštanty pre výpočet trvanlivosti podľa Taylora
D	priemer obrobku [mm]
$D_i$	priemer jednotlivého krúžka pri preťahovaní [mm]
$D_o, D_c$	priemer otvoru, vŕtaný priemer [mm]
$D_p$	priemer polotovaru [mm]
$d_t$	vnútorný priemer vŕtacej tyče, otvoru rúrky [mm]
$D_t$	vonkajší priemer vŕtacej tyče [mm]
e	krivosť povrchu obrobku či diery (odchýlka osi) [mm]
E	modul pružnosti materiálu [MPa]
E10 %	vŕtacia emulzia 10% [%]
$f, f_n$	posuv v mm za otáčku obrobku či nástroja [mm]
$F_c$	tangenciálna - hlavná zložka reznej sily [N]
$F_f$	axiálna zložka reznej sily [N]
$F_o$	výsledná osová sila [N]
$F_{ot}$	osová sila pri preťahovaní drážok [N]
$F_p$	pasívna - radiálna zložka reznej sily [N]
$f_v$	frekvencia vibračných kmitov [ $min^{-1}$ ]
h	hádzavosť povrchu obrobku ( $h = 2 \cdot e$ ) [mm]
i	počet preostrení nástroja (JKV-SK), počet ťahov pri preťahovaní drážok
I	moment zotrvačnosti prierezu tyče [ $cm^4$ ], elektrický prúd [A]
k	koeficient bezpečnosti
$k_c$	špecifický (merný) rezný odpor (jednotková sila) [ $N \cdot mm^{-2}$ ]
$K_{chs}$	koeficient chemického zloženia prvku v oceli
$k_{mh}$	koeficient pevnosti ocele pri výpočte obrábateľnosti
$k_v$	koeficient obrábateľnosti pri určení reznej rýchlosti
L	dĺžka [mm]
$L_p$	dĺžka preťahovaného otvoru [mm]
$L_v$	dĺžka vŕtaného otvoru [mm]
$L_{vy}$	dĺžka vyloženia použitej vŕtacej tyče [mm]

$L_z$	dĺžka zdvihu honovacej hlavy [mm]
$M_k$	krútiaci moment, súčet rezného $M_r$ a trecieho $M_t$ momentu [N·m]
$M_r, M_c$	krútiaci moment rezania na nástroji [N·m]
$M_t, M_\mu$	trecí moment na vodítkach hlbokovrtacieho nástroja [N·m]
$n$	frekvencia otáčania stroja, vrtáka, vrtacej hlavy, JKV [ $\text{min}^{-1}$ ]
$N_1, N_2$	normálová sila na vodítkach SK (tlak) [N]
$n_o$	frekvencia otáčania obrobku, vretena [ $\text{min}^{-1}$ ]
$n_n$	frekvencia otáčania nástroja [ $\text{min}^{-1}$ ]
$O_k$	odchýlka kužeľovitosti otvoru [mm]
$O_p$	odchýlka priamosti otvoru [mm]
$O_v$	odchýlka valcovitosti otvoru pred honovaním [mm]
$p$	tlak chladiaceho prostriedku [MPa]
$P, P_c$	príkon stroja, rezný príkon [kW]
$p_{dov}$	dovolený tlak [MPa]
$p_{max}$	maximálny tlak [MPa]
$P_{už}$	užitočný výkon stroja [kW]
$P_\mu$	trecí výkon pri vrtaní [kW]
$Q$	prietokové množstvo reznej kvapaliny [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
$Q_{JKV}$	prietokové množstvo oleja pre JKV-SK [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
$Q_{max}$	maximálne prietokové množstvo reznej kvapaliny [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
$R_a$	stredná aritmetická odchýlka drsnosti povrchu [ $\mu\text{m}$ ]
$R_e$	medza klzu [MPa]
$R_m$	medza pevnosti v ťahu materiálu obrobku [MPa]
$R_{p0,2}$	medza plasticity pri skúške ťahom [MPa]
$R_u$	medza úmernosti ocelí pri skúške ťahom [MPa]
$Rz$	maximálna drsnosť povrchu [ $Rz = 5 \cdot Ra$ ] [ $\mu\text{m}$ ]
$r_\varepsilon$	polomer hrotu VRP-SK [mm]
$s$	hrúbka steny rúrky [mm]
$S$	prierez rezu ( $S = a_p \cdot f$ ) [ $\text{mm}^2$ ]
$S_d$	prierez drážky v rúrke JKV [ $\text{mm}^2$ ]
$S_p$	prierez prítoku kvapaliny [ $\text{mm}^2$ ]
$S_o$	prierez odtoku kvapaliny - chladiaceho prostriedku [ $\text{mm}^2$ ]
$T$	trvanlivosť nástroja [min]
$t_{As}$	čistý strojný čas rezania [min]
$t_{hs}$	hlavný strojový čas [min]
$T_i$	trvanlivosť v počte ťahov pri preťahovaní drážok [ks]
$t_k$	kusový čas [ $\text{min} \cdot \text{ks}^{-1}$ ]
$t_p$	prípravný čas stroja pre dávku [min]
$T_s$	stredná (priemerná) trvanlivosť [min, m, ks]

$t_v$	vedľajší čas pri rezaní [min]
$U$	úber materiálu pri honovaní [mm <sup>3</sup> ], elektrické napätie [V]
$U_m$	merný úber materiálu [mm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> ]
$v$	výsledná rezná rýchlosť pri honovaní [m·min <sup>-1</sup> ]
$V$	objem nádrže reznej kvapaliny [litrov]
$v_a$	axiálna rezná rýchlosť pri honovaní [m·min <sup>-1</sup> ]
$VB$	opotrebenie nástroja na chrbte [mm, $\mu$ m]
$VB_k$	kritérium opotrebenia nástroja na chrbte [mm, $\mu$ m]
$VB_{P40}$	opotrebenie VRP-SK P40 [mm, $\mu$ m]
$v_c$	rezná rýchlosť [m·min <sup>-1</sup> ]
$v_f$	rýchlosť posuvu [mm·min <sup>-1</sup> ]
$v_{fmax}$	maximálna rýchlosť posuvu [mm·min <sup>-1</sup> ]
$v_o$	obvodová rezná rýchlosť pri honovaní [m·min <sup>-1</sup> ]
$v_p$	rezná rýchlosť pri pretáhaní skrutkových drážok [m·min <sup>-1</sup> ]
$v_z$	rýchlosť zpätného pohybu pri pretáhaní drážok [m·min <sup>-1</sup> ]
$Z$	počet dvojjzdvihov pri vibračnom honovaní [min <sup>-1</sup> ]
$Z_{\checkmark}$	kontrakcia, pomerné zúženie pri skúške ťahom [%]
$\checkmark$	životnosť nástroja [min, ks]
$\checkmark_{kam}$	životnosť honovacích kameňov [min, ks]
$\alpha$	uhol skríženia stôp pri honovaní [°]
$\alpha_1$	uhol chrbta JKV-SK [°]
$\alpha_f$	uhol fazetky chrbta JKV-SK [°]
$\alpha_o$	ortogónálny uhol chrbta na nástroji (na VRP-SK) [°]
$\alpha_\epsilon$	uhol podbrúsenia chrbta hrotu JKV [°]
$\beta_n$	uhol rezného klina (břitu) nástroja [°]
$\gamma_o$	ortogónálny uhol čela na nástroji (na VRP-SK) [°]
$\epsilon$	spresnenie výrobku (súčiastky) $\epsilon = \Delta p : \Delta s$
$\epsilon_r$	uhol hrotu VRP-SK [°]
$\varphi_1$	uhol polohy vodička 1 (spodné) od valcovej fazetky, v smere pohybu hodinových ručičiek [°]
$\varphi_2$	uhol polohy vodička 2 od valcovej fazetky na obvode JKV či BTA i ejektor, v smere pohybu hodinových ručičiek [°]
$\lambda_s$	uhol sklonu reznej hrany nástroja (VRP-SK) [°]
$\chi$	uhol nastavenia hlavnej reznej hrany nástroja [°]
$\chi_r$	uhol nastavenia vedľajšej reznej hrany nástroja [°]
$\chi_\epsilon$	uhol nastavenia hrotu JKV [°]
$\mu$	mikron resp. koeficient trenia [10 <sup>-3</sup> mm]
$\tau$	teplota rezného oleja (prostriedku) v nádrži stroja [°C]
$\tau_1, \tau_2$	uhly chrbta nezáberových častí JKV [°]
$\omega$	uhol stúpania skrutkových drážok [°]

AHSP	axiálne hydrostatické prevodovky (SAUER)
BN	polykryštalický kubický nitrid boru (PKNB) podľa ISO
BOZA	bohroelzuführungsaparát - tlaková hlava pre prívod oleja u BTA
BTA	systém Bohring and Treppaning Asociation - Single tube system (Systém BTA - jednorúrkový systém)
BVP	bojové vozidlo pechoty
CA	rezná keramika oxidická ( $Al_2O_3$ ), podľa ISO
CC	rezná keramika povlakovaná PVD, podľa ISO
CM	rezná keramika zmiešaná ( $Al_2O_3 + TiC$ ), podľa ISO
CN	rezná keramika nitridová ( $Si_3N_4$ ) podľa ISO
CNC	Computer Numeric Control - počítačovo-numerická kontrola
CNC-OC	obrábacie centrum s centrálnou numerickou kontrolou
CNC-OS	obrábací stroj s centrálnou numerickou kontrolou cez PC
CVD	Chemical Vapour Depozition - chemické povlakovanie
ETP	elektrotruskové pretavovanie (výkovkov) z ocelí z EOP
HB	tvrdosť podľa Brinella
HC	spekaný karbid povlakovaný, podľa ISO 513
HRC	tvrdosť podľa Rockwella
HSS	High Speed Steel - rýchlorezná oceľ podľa ISO
HT	nepovlakovaný spekaný karbid $TiC/TiN$ , podľa ISO 513 (cermet)
HTČ	hlbinné tyčové čerpadlo
HV	tvrdosť podľa Vickersa
HW	spekaný karbid $WC+Co$ , podľa ISO 513
IFW	Institut für Werkzeuge (Inštitút pre nástroje) Stuttgart
IRA	označenie kriviek izotermického rozpadu austenitu pri TS
IT	tolerančné pole rozmeru (napr. IT9 - IT10)
JKV	jednoklinový vrták s hlavicou z SK (predtým delový)
MMS	minimal Menge Schmierung - mazanie s minimálnym množstvom
MTCVD	strednoteplotné chemické povlakovanie
NO	nástrojová oceľ triedy 19
OC	obrábacie centrum
OS	obrábací stroj
OTK	oddelenie technickej kontroly - útvar v podniku

PM-ASP30	Powder Metal - práškový kov pri výrobe HSS = RO
PVC	polyvinylchlorid - plastická hmota
PVD	Physikal Vapour Depozition - fyzikálne povlakovanie
RO	rýchlorezná oceľ
RK	rezná keramika
RÚRA	synonymum pre súčiastku hlaveň
SIG	schweizerische Industrie Gesellschaft - Švajčiarska priemyselná spoločnosť
SK	spekaný karbid = HM = Hartmetall (tvrdokov)
STN	Slovenská technická norma
STS	Single Tube System - jednorúrkový systém BTA podľa COROMANT
TBT	Tiefbohrtechnik Gmbh - Technika hlbokého vrtania s.r.o.
TiN	povlak nitrid titanu
TiCN	povlak karbonitrid titanu
TiAlN	povlak hliníknitrid titanu
TO	trieda obrábatelnosti danej ocele
TMS	termomechanické tepelné spracovanie
VRP-SK	vymeniteľná rezná platnička zo spekaného karbidu = VBD-SK (česky)



## **PREDHOVOR**

Technológia obrábania hlbokých otvorov je špecifický problém, ktorý si vyžaduje tak špeciálne obrábacie stroje, rezné nástroje, technológie obrábania, ako i špeciálne materiály, z ktorých sú uvádzané súčiastky konštruované. Pri výpočte a návrhu hlavni vzduchoviek, malorážok, pištolí, samopalov, pušiek či kanónov, mínometov a húfnic, sú stále zvyšované požiadavky na pevnosť v ťahu použitých materiálov, s cieľom zvyšovať ich životnosť, oteruvzdornosť, presnosť výroby, dostrel a kadenciu zbraní. Zvýšená pevnosť a požadovaná medza úmernosti použitých materiálov kladie zvýšené nároky na potrebné hlbokovrtacie nástroje, na použité vrtacie tyče ale i na tuhosť obrábacích strojov najmä pre vrtanie hlbokých otvorov, pre honovanie či pre pretáhanie skrutkových drážok. Potešiteľná je skutočnosť, že tieto špeciálne technológie obrábania používané pri výrobe zbraní sa postupne začali používať i pri výrobe mnohých súčiastok z civilného sektoru, ako sú hydraulické či pneumatické valce, valce hlbinných tyčových čerpadiel, v automobilovom priemysle, vo výrobe zariadení pre energetiku a hydrauliku, pri výrobe valcov extruderov, kľukových hriadelov a mnohých ďalších súčiastok. Preto sú tu zhrnuté všetky dostupné údaje o systémoch, metódach a spôsoboch vrtania, vyvrtávania, vystružovania hlbokých otvorov, dokončovacích metód ako napríklad honovania ale i údaje o výrobe rovných i skrutkových drážok v otvoroch, o používaných nástrojoch a ich konštrukcii a geometrii, s aplikáciou použitých rezných podmienok pri konkrétnych prípadoch výroby a dosiahnutých výsledkov presnosti vývrtov, odchýlky osi od teoretickej osi, a o dosiahnutej drsnosti povrchu otvorov. Autori sa snažili venovať pozornosť technológii obrábania využívaných vo výrobe špeciálnej techniky. Učebný text je svojim obsahom zameraný na rozšírenie teoretických a praktických poznatkov a ich prepojením na výučbu predmetu technológia obrábania a rozšírenie vedomostí a praktických zručností z uvedenej problematiky.

autori

## ÚVOD

Technológia obrábania hlbokých otvorov je pracovný postup trieskového obrábania rezaním, pre priemery od 1 mm často až do 2 000 mm a s dĺžkou vrtania  $L$  presahujúcou 10 násobok priemeru  $D_0$ . Hodnota štíhlostného pomeru vrtanej dĺžky k priemeru otvoru býva často  $L : D_0 = 50-150$ .

Technológia vrtania hlbokých otvorov má nasledovné typické znaky:

- nahradzuje prerušované vrtanie skrutkovým vrtákom (tzv. pútnický postup vrtania), nepretržitým vrtaním bez potreby vyťahovania vrtacieho nástroja z otvoru,
- používa špeciálne nástroje (vrtáky či vrtacie hlavy) buď monolitné, celé z rýchlomeznej ocele HSS alebo zo spekaného karbidu s prispájkovanou alebo dnes už výlučne s vymeniteľnou reznou platničkou upínanou mechanicky v telese hlavy. Rezných platničiek u väčších priemerov môže byť i viac kusov, niekedy sú upnuté v pomocných vkladných držiakoch v telese hlavy,
- nástroje pre hlboké vrtanie majú jednoklinový alebo viacklinový hrot, ktorý je v strede nástroja a presahuje za os nástroja,
- vedenie nástroja na začiatku vrtania je vo vodiacom kalenom puzdre alebo v predvrtanom a predpracovanom vodiacom otvore v obrobku  $D_0$  H8-H7, keďže kružnica je určená tromi bodmi, je trojbodové vedenie nástroja v otvore zaistené minimálne 2-3 vodičkami vodiacich oporných líšt a fazetky na boku reznej platničky,
- vyplavovanie triesky z otvoru a nástroja pomocou tlakového chladiaceho a mazacieho prostriedku - najčastejšie špeciálnej reznej kvapaliny pre vrtanie hlbokých otvorov,
- použitie prídavných zariadení pre prívod (odvod) tlakového prostriedku a utesnenie obrobku na strane jednej a nástroja v ňom na strane druhej,
- použitie prídavnej nádrže na tlakovú reznú kvapalinu, so zabudovanými čerpadlami, filtráciou od jemných triesok a nečistôt, s chladením obsahu nádrže apod., ako nevyhnutná súčasť stroja pre hlboké vrtanie,
- potreba regulácie tvaru triesky plynulou zmenou veľkosti posuvu či otáčok stroja, t.j. reznej rýchlosti vrtania,
- kontrolné prístroje pre zabezpečenie ochrany nástroja proti poškodeniu, kontroly osovej sily, krútiaceho momentu, výkonu stroja, tlaku chladiaceho a mazacieho prostriedku, až adaptívneho systému riadenia stroja (AC).

Oproti vrtaniu so skrutkovými vrtákmi má technológia vrtania hlbokých otvorov nasledovné prednosti:

- vyššia produktivita vrtania,
- presnejšia tolerancia priemeru IT8-IT10, oproti IT12-IT14, dosahovaná drsnosť povrchu otvoru  $Ra = 6,3-1,6 \mu\text{m}$  oproti  $Ra = 25 \mu\text{m}$ ,
- lepšia priamosť otvoru,
- lepšia kruhovitosť a ovalita otvoru.

Technológiou vrtania hlbokých otvorov sa dajú obrábať všetky kovové materiály akými sú napríklad neželezné a farebné kovy, ocele, liatiny, syntetické materiály, rovnako ako plasty, exotické a ťažkoobrábatelné ocele pevnosti  $R_m = 1\ 350-1\ 860 \text{ MPa}$ , žiaruvzdorné a koróziivzdorné ocele, Ti a jeho zliatiny, Ni-Mo zliatiny apod., tak v hromadnej výrobe malých súčiastok, ako i pri výrobe veľkých strojárskych výrobkov v kusovej či sériovej výrobe.

# 1 TECHNOLÓGIA VRTANIA HLBOKÝCH OTVOROV

Z technologického hľadiska sa vrtanie hlbokých otvorov delí na nasledovné systémy vrtania [1] ako sú systém vrtania jednoklinovými (hlavňovými) vrtákmi, BTA systém vrtania a ejektorový systém vrtania. Z hľadiska použitých metód je vrtanie hlbokých otvorov rozdelené na vrtanie do plného materiálu, vrtanie doplna na jadro a vyvrtávanie (resp. zväčšovanie) otvorov. Technológia vrtania hlbokých otvorov rozoznáva tiež tri spôsoby, ktorými sú vrtanie s rotujúcim nástrojom, vrtanie s rotujúcim obrobkom a nerotujúcim nástrojom a vrtanie s protibežne rotujúcim nástrojom i obrobkom súčasne.

## 1.1 Systémy vrtania hlbokých otvorov

### 1.1.1 *Vrtanie jednoklinovými (hlavňovými) vrtákmi (JKV) zo spekaných karbidov*

Vnútorý prívod tlakového oleja cez tvarovanú rúrku a otvor v tvrdokovovom nádstavci k reznej hrane a vonkajší odvod triesok spolu s olejom vonkajšou pozdĺžnou drážkou tvaru  $V_d = 120^\circ$  na tvrdokovovej hlavici (nádstavci) i na rúrke vrtáka, do zachytávača oleja a triesok a z neho do nádrže na triesky so sitami je uvedený na obr.1. Používa sa na vrtanie malých priemerov  $D_o = 1,0$  až 35 mm na strojoch pre vrtanie hlbokých otvorov, ale dnes už i na obrábacích centrách OC CNC resp. na prispôbomých horizontkách či sústruhoch.

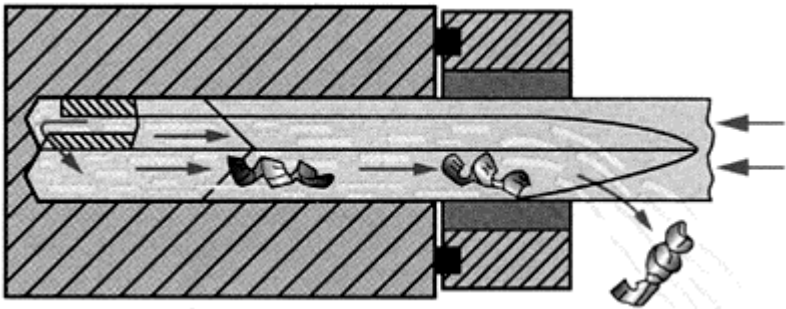
### 1.1.2 *Vrtanie BTA (Bohring and Trepaning Association)*

Vonkajší prívod tlakovej reznej kvapaliny je uskutočnený pomocou prídavného zariadenia tlakovej hlavy BOZA medzikružím medzi stenou vrtaného otvoru a vonkajším priemerom vrtacej tyče t.j. kruhovej rúrky, a vnútorný odvod triesok spolu s reznou kvapalinou vnútom rúrky, obr.2. Používa sa na špeciálnych hlbokovrtacích strojoch alebo tiež na prispôbomých univerzálnych sústruhoch, resp. jednoúčelových strojoch pre hlboké vrtanie.

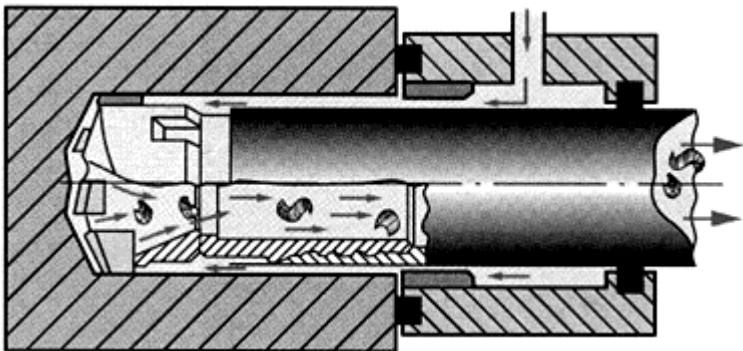
### 1.1.3 *Ejektorový systém vrtania hlbokých otvorov*

Dvojrúrkový systém s vnútorným prívodom chladiaceho a mazacieho prostriedku (často i vrtacej emulzie), medzikružím medzi rúrkami k hlave a vnútorný odvod triesok spolu s kvapalinou cez vnútornú rúrku do nádoby na triesky. Na vnútornej rúrke sú štrbinové zárezy t.j. ejektor, vytvárajúci podtlak v priestore vrtacej hlavy, čo zlepšuje odvod triesok a vylučuje potrebu utesnenie čela obrobku (obr.3). Používa prídavné zariadenie - rotačnú či statickú tlakovú hlavu pre prívod kvapaliny do medzikružia dvoch rúrok, i pre odvod triesok u strojov ktoré nemajú duté vreteno. Na sústruhoch sa

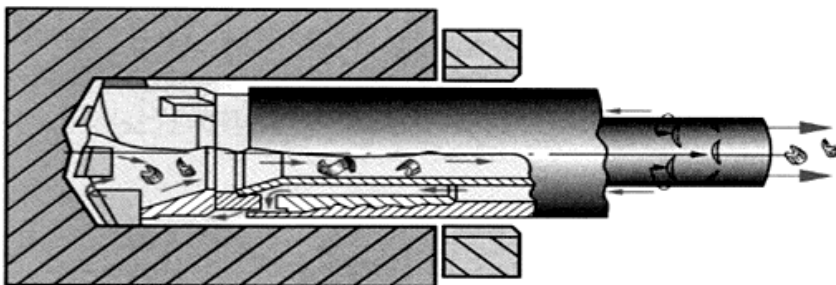
použije statická tlaková hlava vo vretene a odvod triesky cez otvor vretene do nádoby na triesky. S ejektorovými vrtacími hlavami pre  $D_o = 18$  až 120 mm doplna sa môže pracovať tak na strojoch pre BTA vrtanie hlbokých otvorov, ako i na univerzálnych sústruhoch či horizontálnych vyvrtávačkách, vertikálnych vrtáčkach, ale i na CNC OS, pridaním pomocného zariadenia a nádrže s čerpadlami. Použitie i pre vyvrtávanie t.j. zväčšovanie doplna vyvrtaných otvorov. Všetky 3 systémy však majú jedno spoločné, kalené vodiace a navrtávacie puzdro, pre stredenie a vedenie nástroja na začiatku vrtania. Vrtacie puzdro môže byť rotačné alebo statické. U JKV je uložené v konštrukcii zachytávača triesok, u BTA v konštrukcii tlakovej hlavy BOZA, ale u ejektorového vrtania v stabilnej podpernej lunete, pri čele súčiastky ktorá sa vrta.



**Obr.1 Systém vrtania hlbokých otvorov jednoklinovým vrtákom JKV**  
podľa [2, 10, 11]



**Obr.2 BTA systém vrtania hlbokých otvorov**  
podľa [2, 10, 11]



Obr.3 Ejektorový systém vrtania hlbokých otvorov podľa [2, 10, 11]

## 1.2 Metódy vrtania hlbokých otvorov

### 1.2.1 Vrtanie do plného materiálu

Používa sa pre slepé i priechodzie otvory, najmä pri menších až stredných priemeroch 1,0-62 mm. Vrtanie do plného materiálu je znázornené na všetkých 3 obrázkoch uvedených systémov vrtania.

### 1.2.2 Vrtanie doplna na jadro - trepanovanie

Vrta sa iba kruhové medzikružie, nie celý priemer ako pri vrtákoch doplna, takže v strede vznikne jadro ako súčasť vrtanej súčiastky, alebo vzniknuté jadro sa použije, napr. na ťahovú skúšku pevnosti  $R_m$ . Používa sa u priemerov väčších ako 47-450 mm (a to rôznej konštrukcie) u BTA systému vrtania. U systéme JKV pre  $D = 15$  až 30 mm, u slepých otvorov. Pri vrtaní je potrebný menší výkon stroja a možnosť použitia univerzálnych sústruhov. U ejektorového vrtania sa vrtanie na jadro nepoužíva.

### 1.2.3 Vyvrtávanie či zväčšovanie otvoru tlakom alebo ťahom

Používa sa pre rozšírenie (zväčšenie) existujúcich otvorov v rúrkach či valcových výkovkoch i odliatkoch, odstredivo liatych rúrach, alebo po tepelnom spracovaní súčiastok zhotovených vrtaním doplna či na jadro. Používa sa u všetkých 3 systémov vrtania hlbokých otvorov. Tvarové vyvrtávanie odstupňovaných otvorov, sa môže používať tak pri vrtaní doplna s JKV-SK ako i pri zväčšovaní už vrtaných otvorov, s odvodom triesky už cez predvrtaný otvor. Rúrka takéhoto JKV môže byť kruhová. Lúpacie vystružovanie samotné, alebo v nožnej kombinácii s valčekovaním, bude popísané v ďalšej časti o BTA vrtaní, pri výrobe hydraulických valcov. Vyvrtávanie môže byť robené tlačným spôsobom ako vrtanie doplna, pričom vrtacia tyč, namáhaná na vzper, spôsobuje väčšie odchýlky osi od teoretickej osi i horšiu

priamosť otvorov. Preto sa u dlhších súčiastok (hydraulických valcov) používa s výhodou ťažný spôsob vyvrtávania.

### **1.3 Spôsoby vrtania hlbokých otvorov**

#### **1.3.1 Vrtanie s rotujúcim nástrojom**

Vrtaná súčiastka je v pokoji, t.j. nerotuje, nástroj rotuje a koná i pracovný posuv. Použitie u obrobkov ktoré nemôžu rotovať na stroji, či už pre svoj tvar (nerotačné súčiastky), alebo u veľmi ťažkých obrobkov, či pri potrebe vrtania mimo osových otvorov u rotačných súčiastok.

#### **1.3.2 Vrtanie s rotujúcim obrobkom a nerotujúcim nástrojom**

Používa sa u súčiastok s osovým otvorom, rotačných (hydraulické valce, vretená obrábacích strojov, pinoly koníkov sústruhov, apod. Posuv do otvoru koná nástroj spolu so suportom, na ktorom je upnutý v upínači. Spôsob možno použiť tak pre tlačný spôsob vrtania doplna, pri vyvrtávaní, ale i pri vyvrtávaní ťahom s dlhou tyčou u BTA systému (hydraulické valce). Ťažný spôsob vyvrtávania zabezpečuje menšie vyosenie otvoru než u vrtania s rotujúcim nástrojom.

#### **1.3.3 Vrtanie s protibežne rotujúcim nástrojom i obrobkom súčasne**

Používa sa pre najvyššie rozsahy rezných rýchlostí, u veľkorozmerných obrobkov s malými otvormi, u nevyvážených súčiastok, ktoré nedovoľujú použiť príliš vysoké frekvencie otáčania. Je najpresnejší z pohľadu vyosenia. Všetky 3 spôsoby vrtania sa dajú použiť u všetkých 3 systémov vrtania hlbokých otvorov, aj u všetkých 3 metódach vrtania.

### **1.4 Obrábacie stroje na vrtanie hlbokých otvorov**

Moderné hlboko vrtacie stroje od popredných firiem ako napríklad SIG (Švajčiarsko), TBT, NAGEL, GILDEMEISTER+KNOLL, LOCH (Nemecko) a.i., ponúkajú takmer všetko, čo progresívne a spoľahlivé vrtanie hlbokých otvorov v dnešnej dobe vyžaduje. Najmä obrábacie stroje pre opakovanú a sériovú výrobu resp. hromadnú výrobu majú:

- dostatočne veľký potrebný výkon na vretene,
- požadovanú presnosť výroby,
- spoľahlivosť upínania a vystredenia obrobku,
- senzory a adaptívny systém riadenia pre ochranu nástroja a reguláciu parametrov počas pochodu vrtania,
- kontrolné zariadenia pre sledovanie krútiaceho momentu, posuvovej sily a tlaku,

- množstva reznej kvapaliny, digitálny ukazovateľ otáčok stroja a dĺžky vrtania.

Pre vrtanie hlbokých otvorov v sériových výrobách sa dnes používajú väčšinou už výkonné špeciálne CNC obrábacie stroje s kompletným príslušenstvom. Rozdeľujeme ich na univerzálne a jednoúčelové.

Univerzálne obrábacie stroje pre vrtanie hlbokých otvorov majú nasledovné znaky:

- veľkú hmotnosť, tuhosť a rozmerovú presnosť,
- veľký rozsah zmeny vrtaných priemerov a dĺžok,
- ručné alebo len z časti automatizované riadenie priebehu vrtania,
- veľký výkon pohonu vretena, závislý od rozsahu vrtaných priemerov v obrobkoch,
- plynulú zmenu veľkosti posuvu resp. posuvovej rýchlosti i otáčok,
- zariadenie (prídavné nádrže) pre chladiaci a mazací prostriedok,
- bezpečnostné a ochranné zariadenia,
- relatívne krátke časy na prípravu stroja k práci (väčšie ako u sústruhov),
- možnosť rotácie obrobku a protibežne nástroja.

Na rozdiel od špeciálnych hlboko vrtacích strojov, kde nástroj je na začiatku vrtania vedený v presnom a stabilnom kalenom puzdre a musí byť pri práci na horizontálnej vyvrtávačke alebo na CNC-OC otvor najskôr predvrtaný iným rezným nástrojom s vnútorným chladením, najčastejšie dvojklínovým vrtákom SK, a to do hĺbky  $L = 1,5 \cdot D$ , presnosti  $\text{ØD H8}$ . Toto predvrtanie slúži ako vedenie hlboko vrtacieho nástroja na začiatku vrtania, keďže na CNC-OS sa nedá použiť navrtávacie puzdro.

## **1.5 Prídavné zariadenia a príslušenstvo k obrábacím strojom na hlboké vrtanie**

### **1.5.1 Navrtávacie puzdro a postup navrtávania**

Pomocou navrtávacieho puzdra sa má zvládnuť kritická časť hlboko vrtacieho procesu ako napríklad navrtávanie, t.j. zavedenie vrtacieho nástroja do otvoru, ktorý si nástroj sám zhotoví. Vrtacie puzdro má ustaviť nástroj do správnej polohy (v osi súčiastky, s odchýlkou max. 0,02 mm) a pri nezmenenej polohe prenášať rezné a normálové zložky reznej sily, trecie sily z vodítok SK nástroja na stenu otvoru. Vrtacie puzdro má mať otvor pre vedenie vrtáka o 0,01-0,03 mm väčší než je priemer vrtáka ( $D = D_{H5}$ ).

### **1.5.2 Zariadenie pre prívod tlakového oleja BOZA**

U BTA nástrojov je na lôžku stroja umiestnený vodiaci suport a na ňom odliatkový alebo zvarencový stojan s vyvrtanou dierou, delený, v ktorom sa

upína zariadenie pre prívod tlakového oleja - tlaková hlava, na jednej strane s utesnením výrobku a s navrtávacím puzdrom, na druhej strane je tlmič vibrácií a utesnenie vrtacej tyče. Tlaková hlava umožňuje dopraviť reznú kvapalinu od vysokotlakových čerpadiel z nádrže čistej reznej kvapaliny k nástroju a do vrtaného otvoru. Odvod oleja spolu s trieskami je cez vnútorný otvor vrtacej tyče na dopravník triesok alebo do vozíka na triesky so sitami.

### **1.5.3 Nádrže na reznú kvapalinu**

Veľkosť nádrže na reznú kvapalinu by mala byť tak volená, že rezná kvapalina bude opakovane prečerpávaná k reznému nástroju najviac 6× až 8× za hodinu. Aby sa rezná kvapalina mala čas po opustení miesta vrtania ukládať, majú sa používať nevysoké, úzke a dlhé nádrže. Systém má pozostávať z nádrže na nečistú reznú kvapalinu, so sitami a vozíkom pre zachytenie triesok, s filtrom, a z nádrže na čistú reznú kvapalinu s čerpadlami. Medzisteny (prepážky) v nádrži na nečistú reznú kvapalinu majú byť pre ľahšie čistenie vyberateľné. Obecne má platiť, že objem nádrže  $V = (10-12) \cdot Q_{\max}$  [l], kde  $Q_{\max}$  je maximálne dodávané množstvo reznej kvapaliny čerpadlami k nástroju [ $l \cdot \text{min}^{-1}$ ]. Pri uvedenom pomere môže byť upustené od zabudovania chladiča, alebo stačí vzduchový chladič.

### **1.5.4 Zariadenie pre čistenie reznej kvapaliny**

Okrem správnej veľkosti nádrže reznej kvapaliny má veľký význam aj čistenie reznej kvapaliny od triesok a nečistôt. Nádrž má byť ľahko prístupná, čím môže byť v určitom čase očistená od kalu a jemných triesok, ktoré nezachytia sitá alebo magnetický valec. Častice nečistôt, jemné triesky o veľkosti 60-10  $\mu\text{m}$ , ovplyvňujú nástroj, obrobok i životnosť čerpadiel aj reznej kvapaliny. Vysoký stupeň čistoty reznej kvapaliny má preto priamy vplyv na hospodárnosť vrtania. Preto sú do obehových systémov a nádrží zabudované zodpovedajúce filtračné systémy (kovové sitá, magnetický valec, ponorné permanentné magnety, bubnový POLO-S filter s netkanou textíliou, a iné.

### **1.5.5 Chladiace a mazacie prostriedky pre hlboké vrtanie**

Rezné kvapaliny pre vrtanie hlbokých otvorov sú vodou nemiesiteľné minerálne oleje, legované aditívami proti korózii obrobkov a stroja, proti leptaniu náterov stroja a protizáderovými prísadami proti vysokým tlakom. Rezná kvapalina musí spĺňať pri vrtaní hlbokých otvorov nasledovné požiadavky:

- znižovať opotrebenie reznej a vodiacej časti SK nástroja (mazací účinok),

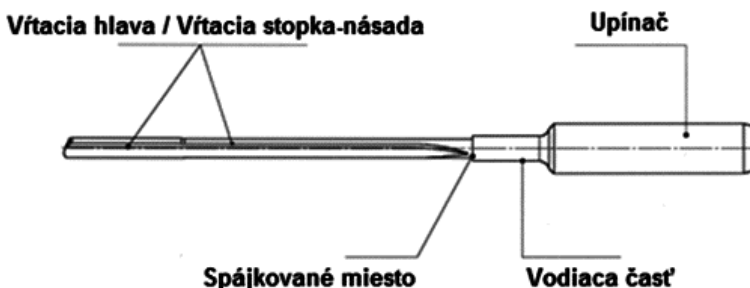
- odvádzať vznikajúce teplo z miesta rezania a trenia na vodičkach SK nástroja, zvyšovať trvanlivosť nástroja (chladiaci účinok),
- odvádzať plynule triesku z hlbokého otvoru (vyplavovací účinok),
- tlmiť svojou prítomnosťou a tlakom vznikajúce chvenie nástroja (tlmiaci účinok),
- používajú sa špeciálne rezné kvapaliny o viskozite  $\nu = 10-20 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  pri  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  a pracovná teplota pri vrtaní nemá prekročiť  $50-55 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Pri vrtaní s JKV-SK majú hlbokovŕtacie stroje miesto tlakovej hlavy tzv. zachytávač triesok, v ktorom je umiestený buď pevný alebo rotujúci nosič vŕtacieho puzdra, žľab pre odvod triesok ako súčasť zachytávača triesok, s priezorom pre sledovanie tvaru triesok. Na výstupe zo zachytávača triesok je utesňovacia skrinka, pre utesnenie odchodu oleja a triesok okolo rúrky, vedenie a tlmič vibrácií podľa [2, 16, 17, 19, 32].

## 2 VŔTANIE HLBOKÝCH OTVOROV JEDNOKLINOVÝMI VRTÁKMI JKV

Jednoklinový vrták JKV (obr.4) s vnútorným prívodom tlakovej kvapaliny, najčastejšie špeciálnej reznej kvapaliny, sa skladá z nasledovných častí:

- Rezná časť - tzv. vrtacia hlava, vyrobená najčastejšie z monolitu SK-K10/K20 pre rozsah použiteľných priemerov 0,98-20 mm. Pre priemery 20,5-35 mm je platnička SK a dve vodička prispájkované na teleso hlavy z konštrukčnej ocele. U najmenších priemerov 0,98-2,95 mm je hlava spolu s násadou vyrobená celá zo SK (spekaného karbidu t.j. tvrdokovová).
- Násada t.j. tvarovaná rúrka, s drážkou tvaru  $V_d = 120^\circ$ .
- Unášač t.j. upínač pre upnutie vrtáka vo vretene stroja, z konštrukčnej ocele.



Obr.4 Jednoklinový vrták JKV malého priemeru s vrtacou hlavou a stopkou prispájkovanou do vodiacej časti upínača podľa [1, 2, 11, 14]

### 2.1 Konštrukcia jednoklinových vrtákov JKV

Monolit vyrobený zo spekaného karbidu je možné objednať od rôznych výrobcov, ako napríklad z DORMERPRAMET ako polotovaru z SK (spekaného karbidu) typu K10-K40 podľa JK 205 321 372/XX príslušných rozmerov, s prídavkom pre brúsenie. Nemá však predpracovaný profil reznej geometrie ani upínací hrot s uhlom  $90^\circ$  resp.  $60^\circ$ , pre upnutie na tvarovanú rúrku. Zo zahraničných výrobcov dodávajú monolity SK s predlisovaným profilom a uhlom  $90^\circ$  firmy WIDIA KRUPP (Nemecko), TIZIT Plansee (Rakúsko), Sandvik COROMANT (Švédsko), HELLER Bremen (Nemecko).

Kompletné vrtáky i výrobcovia strojov: SIG (Švajčiarsko), TBT (Nemecko), NAGEL (Nemecko), GÜHRING (Nemecko), ISCAR (Izrael), KANZAKI (Japonsko), ELDORADO (USA), TAEGUTEC (J. Kórea) a.i. Podľa požiadavky sú dodané vrtáky požadovanej dĺžky. Mnohé firmy napr. BOTEK, vyrábajú celý sortiment nástrojov pre vrtanie hlbokých otvorov. Z jednoklinových vrtákov sú to nasledovné typy: Typ 113 s priemerom  $D = 0,9-12$  mm a typ 113-01 s  $D = 0,7-12$  mm celé z tvrdokovu (spekaného karbidu) SK vrátane vodiacej rúrky. Typ 110  $D = 1,8-7,0$  mm s ladvinkovým otvorom v tvrdokovovej hlavici prispájkovanej na ocelovú rúrku, alebo s dvoma otvormi v hlavici SK pre  $D = 7,0-51$  mm. Typ 111 s ocelovou hlavicom a na ňu prispájkovanou platničkou SK a dvoma vodičkami SK  $D = 5,5-40$  mm. Stupňové JKV 112, 115-01 až 115-04, na jadro typ 114 pre  $D = 11-50$  mm, a jednoklinové vrtáky s VRP-SK (výmenné rezné platničky zo spekaného karbidu) i s výmennými vodičkami, typ 01 pre  $D = 15-44$  mm, a typ 02 pre  $D = 37-75$  mm [2]. Okrem toho firma BOTEK ponúka i dvojklinové vrtáky s hlavicom SK a s dvojito tvarovanou rúrkou, typ 120 pre  $D = 6-26,5$  mm, typ 122 a typ 123 pre stupňové vrtanie 4fazetkový, typ 125 pre prevrtávanie  $D = 4-40$  mm i s vodiacim čapom. Prevrtávacie nástroje môžu mať vonkajší alebo vnútorný odvod triesok cez doplna vrtaný už otvor. Vrtaná dĺžka predstavuje najčastejšie  $L = (35-40) \cdot D_0$ , u celokarbidových menej. Dvojklinové vrtáky celokarbidové do  $L_{\max} = 250$  mm, s tvrdokovovou hlavicom do  $L = 35 \cdot D_0$ . Používajú sa na CNC obrábacích strojoch pri vrtaní pilotného otvoru, ale i pre produktívnejšie vrtanie do  $L = 35 \cdot D_0$ .

Násada t.j. stopka, tvarovaná rúrka, je podľa technológie výroby z materiálu ČSN 14331.8 (L-ROLL), alebo STN 15 231, brúsená na povrchu na bezhrotovej brúske. Po vytvarovaní drážky  $V_d = 120^\circ$  valcovaním v prípravku alebo pretáňovaním kladkou, sa tvarovaná rúrka tepelne spracuje v ochrannej atmosfére na  $R_m = 1\ 150-1\ 350$  MPa a rovná sa. Pozdĺžna drážka prechádza do valcovej časti, ktorou sa upína do upínača JKV.

Pri konštrukčnom návrhu jednoklinového vrtáka JKV určitého priemeru  $D$  sa použiteľná rúrka vyberá podľa svojho vnútorného priemeru  $d_t$  tak, aby zodpovedala rovnici

$$d_t = (0,67 \text{ až } 0,76)D \text{ [mm]} \quad (1)$$

Tento vnútorný priemer sa už podľa možnosti neopracováva. Vonkajší priemer rúrky jednoklinového vrtáka JKV sa volí nasledovne

$$D_t = (0,96 \text{ až } 0,99)D \text{ [mm]} \quad (2)$$

a opracováva sa brúsením na bezhrotovej brúske, pred tvarovaním drážky v tvare  $V_0$ . Hrúbka steny rúrky JKV určitého priemeru je potom

$$s = (0,1 \text{ až } 0,15)D \text{ [mm]} \quad (3)$$

K príslušnému priemeru  $D$  vrtáka priradené podľa normy dané rozmery polotovarov rúrok. Prierez pre odvod kvapaliny s trieskami - prierez  $V$  drážky  $S_0$  je v pomere k prierezu otvoru v SK pre prívod kvapaliny  $S_p$ , podľa rovnice

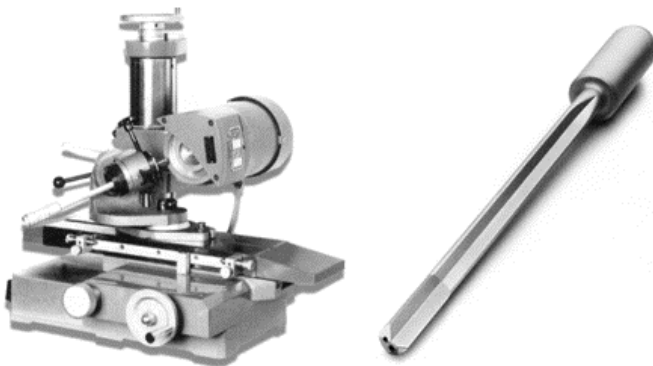
$$S_0 \geq 4,3S_p \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4)$$

z čoho určíme  $S_p$ .

Upínač jednoklinového vrtáka JKV je vyrábaný z tyčového materiálu z bežnej uhlíkovej ocele STN 12050, alebo STN 12060. Upínač JKV je na povrchu pred spájkovaním s rúrkou vrtáka opracovaný s prídavkom pre brúsenie. Spájkovanie s rúrkou sa robí v zvislej polohe stredofrekvenčným ohrevom striebornou spájkou CASTOLINE s  $D = 1,0-1,5$  mm, zakruženou na rúrku. Kruhovým brúsením sa priemer upínača opracuje na rozmer  $D_u = h6-g6$ . Brúsenie monolitu vrtáka s prispájkovanou rúrkou a upínačom sa robí na rozmer  $\varnothing D_{h5-h6}$ , s  $Ra = 0,1-0,2$   $\mu\text{m}$ , diamantovým kotúčom s chladením, pričom sa dodrží zadná kuželovitosť (smerom k upínaču) 1:200 až 1:600, t.j. 0,005-0,02 mm. Pre stroje, ktoré nemajú vrtané vreteno skrz, ponúkajú firmy prístroj pre prívod chladiacej a mazacej kvapaliny z boku. V priemyselnej praxi sa používa najmä na horizontálnych vyvrtávačkách a vrtáčkach. Poloha a tvar vodítok JKV je pri hlbokom vrtaní vedený už vo vrtanom otvore dvoma alebo viacerými vodítkami. Tieto sú rozložené po obvode tak, aby zachytávali a eliminovali vznikajúce rezné sily na reznej hrane nástroja, ktorá rezná hrana, pri čelnom pohľade presahuje stred vrtáka o 0,3-1,0 mm. Tangenciálna  $F_c$  a radiálna zložka reznej sily  $F_p$  sú prenášané vodítkami na povrch otvoru a vyhladzujú ho. Plošný tlak (od normálových síl  $M_1, M_2$ ) nemá prevýšiť  $p_{\text{dov}} = 30-40$  MPa, inak dochádza k záderom na povrchu vodítok, k zvýšeniu trecej zložky sily, a tým k prekročeniu torznej tuhosti vrtáka. Vodítka JKV sú vybrúsené do monolitu SK, u väčších priemerov sú prispájkované na teleso hlavice. Poloha vodítok na obvode JKV, merané od bočnej valcovej fazetky, je v uhloch  $\varphi_1 = 85-90^\circ$  a  $\varphi_2 = 180-185^\circ$ . Dĺžka vodítok je u monolitného JKV po celej dĺžke monolitu SK, u spájkovaných vrtákov sa volí  $L = (0,8-1,25) \cdot D_0$ .

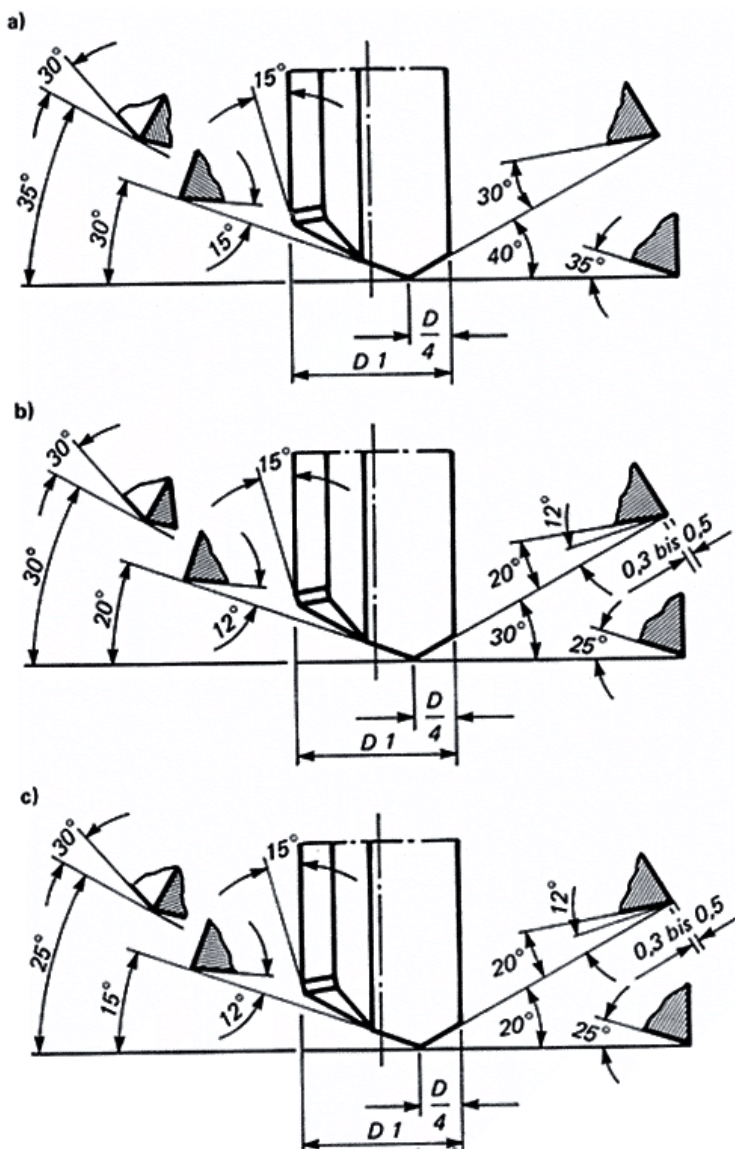
### 2.1.1 Geometria karbidových jednoklinových vrtákov JKV-SK

JKV sú obvykle nástroje s jedným rezným klinom (obr.5 vpravo) i keď sa vyskytujú už i dvoj a viac klinové, pre vyvrtávanie a tvarové vrtanie. Rezný klin (břit) ako aj jeho rezná hrana (ostří), má lomený tvar s vrcholom vzdialeným od obvodu o  $(0,25-0,33) \cdot D$  = približne  $\frac{1}{4}D$ . Čelo je rovné, s uhlom čela  $\gamma = 0^\circ$ , no niekedy pre materiály so zlým tvarovaním triesky sa vytvára na čele stupienok t.j. utvárač. Pritom sa musí dať pozor, aby hĺbka stupienka  $h = 0,3-0,5$  mm nebola väčšia ako šírka bočnej valcovej fazetky. Vtedy sa obvyčajne volí valcová fazetka šírky  $f_v = 0,8-1,0$  mm. Valcová fazetka vytvára na kružnici priemeru tretí bod, čím je určená kružnica, a súčasne umožňuje merať správny priemer pri kruhovom ostrení (na guľato) volia sa podľa obrábaného materiálu a priemeru vrtáka v rozsahu:  $\chi_1 = 20-40^\circ$  a  $\chi_2 = 10-30^\circ$ , aby výslednica radiálnych síl  $F_p$  pôsobila vždy na protiľahlé vodítko. Uhly chrčta sú v rozsahu  $\alpha_o = 12-20^\circ$ , maximálne  $25^\circ$  pod hrotom vrtáka (obr.6). Ostrenie JKV-SK sa robí diamantovými kotúčmi s kovovou väzbou, na špeciálnych brúskach s otočnou hlavicom v troch smeroch (obr.5) za použitia chladenia a dosahovaná drsnosť povrchov je potom  $Ra = 0,05-0,2 \mu\text{m}$ .

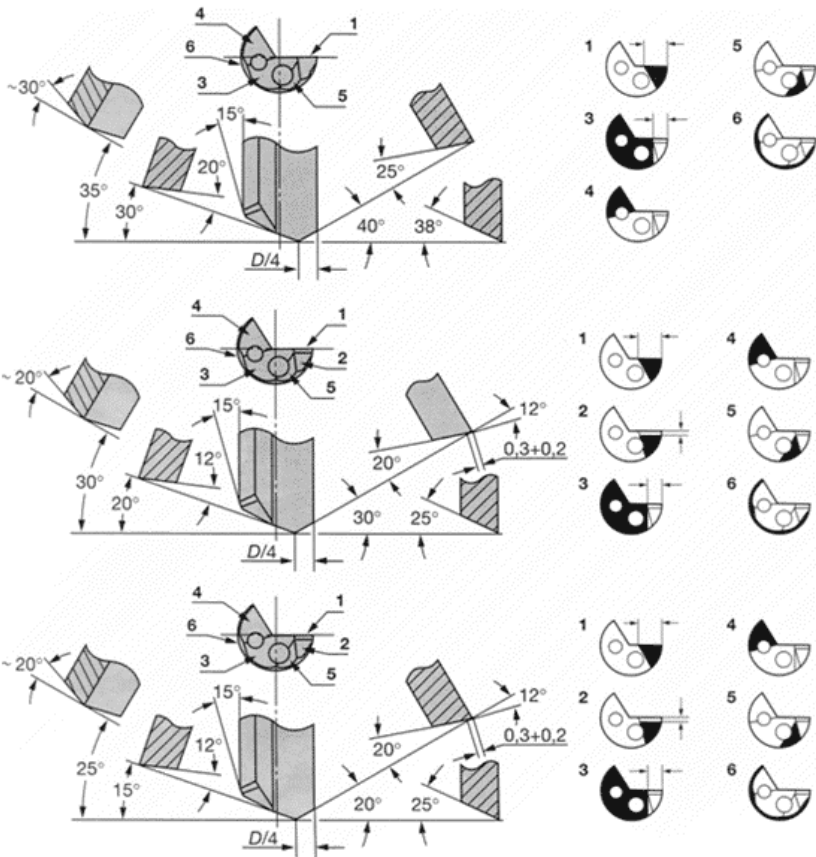


**Obr.5 Špeciálna brúska typu TBSM 2-32 (vľavo) na preostrovanie jednoklinových vrtákov JKV (vpravo)**

podľa [2]

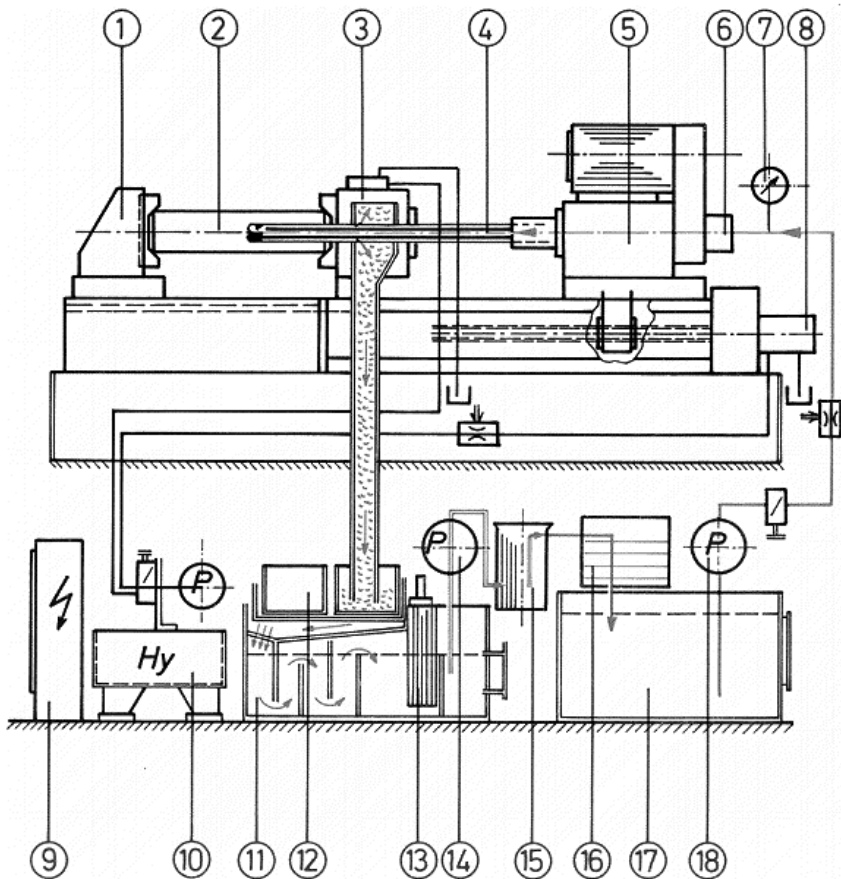


**Obr.6 Geometria reznej časti jednoklinového vrtáka JKV typu BOTEK**  
 a) pre  $D = 1-4$  mm, b) pre  $D = 4,01-20$  mm, c) pre  $D = 20,1-30$  mm; podľa [2, 10, 12]



**Obr.7 Spôsoby preostrovania geometrie JKV  
z hľadiska poradia brúsenia jednotlivých plôch JKV  
podľa [2, 12]**

Na obr.7 sú znázornené spôsoby preostrovania jednokoljinných vrtákov JKV. Vrchná časť platí pre štandardný spôsob brúsenia JKV do priemeru 5 mm. Stredná časť platí pre štandardné brúsenie JKV v rozsahu priemerov od 5 do 20 mm. Spodná časť platí pre brúsenie JKV s priermi nad 20 mm. Na obr.8 je znázornený princíp obrábacieho stroja určeného k hlbokému vrtaniu otvorov s jednoklinovým vrtákom JKV. Pre dosiahnutie dobrých výsledkov hlbokého vrtania musí byť zabezpečená požadovaná tuhosť technologickej sústavy SNOP (stroj - nástroj - obrobok - prípravok).



**Obr.8 Princíp hlbokvrtacieho stroja určeného k vrtaniu hlbokých otvorov s JKV nástrojom**

1. upnutie obrobku, 2. obrobok, 3. nosič vrtacieho puzdra, 4. JKV nástroj,
5. vreteník stroja (vrtacej jednotky), 6. prívod tlakového oleja, 7. tlakomer,
8. hydraulický posuv, 9. elektrická skriňa, 10. hydraulický agregát,
11. predčistenie oleja, 12. kôš na triesky, 13. magnetické filtre,
14. čerpadlo nečistého oleja, 15. štrbinový filter, 16. chladenie oleja,
17. nádrž čistého oleja, 18. vysokotlakové čerpadlo; podľa [2, 12]

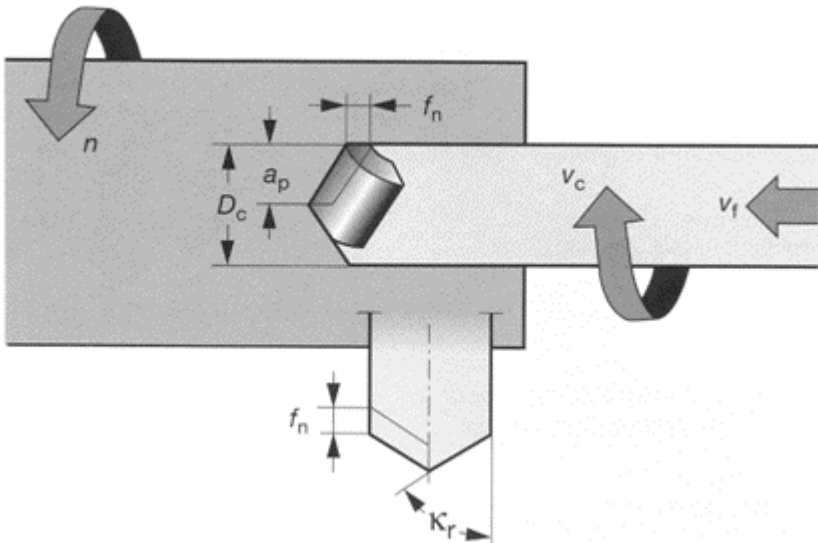
## 2.2 Výpočet rezných parametrov

Pod reznými podmienkami rozumieme reznú rýchlosť  $v_c$ , otáčky vretena  $n$  alebo nástroja  $n_n$ , posuv  $f$ , rýchlosť posuvu  $v_f$ , úber materiálu  $U$ , množstvo a tlak reznej kvapaliny  $Q$  a  $p$ . Pretože vrtanie má veľa spoločného so sústružením vyjadrujeme ich nasledovne:

- rezná rýchlosť  $v_c$  [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ];
- otáčky (frekvencia otáčania)  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ];
- posuvová rýchlosť  $v_f$  [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ];
- rýchlosť úberu materiálu  $Q_u$  [ $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ].

Rezné podmienky pre hlboké vrtanie systémom s jednoklinovým vrtákom JKV (obr.9) závisia od viacerých faktorov:

- obrábaný materiál súčiastky a jeho pevnosť (tvrdosť u liatin),
- rezný materiál JKV (K10, K10+PVD TiN, K20, M15),
- štíhlostný pomer vrtanej dĺžky k priemeru otvoru ( $L : D$ ),
- druh použitého rezného prostriedku (rezný olej, emulzia, vzduch),
- tlak a množstvo reznej kvapaliny.



**Obr.9 Schéma hlbokého vrtania s JKV nástrojom  
s vyznačenými reznými parametrami**

$v_c$  (rezná rýchlosť),  $a_p$  (hlbka rezu),  $f_n$  (posuv nástroja),  $v_f$  (posuvová rýchlosť),  
 $n$  (frekvencia otáčania),  $D_c = D$  (priemer vrtáka alebo otvoru),  
 $\kappa_r$  (uhol nastavenia hlavnej reznej hrany); podľa [2, 11]

V závislosti od obrábaného materiálu, sú použiteľné rezné rýchlosti v rozsahu  $v_c = 50-110 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  pre ocele,  $v_c = 60-90 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  pre liatiny,  $v_c = 70-160 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  pre farebné kovy (mosadz, bronz) a iba u hliníkových zliatin vytvrdených je  $v_c = 100-300 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Posuvová rýchlosť  $v_f$  [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ] v závislosti od priemeru vrtáka JKV je volená pre rôzne obrábané materiály rozdielne. V závislosti na zväčšujúcom sa štíhlostnom pomere  $L : D$  od 10-100 sa posuv znižuje, pri rovnakom materiáli súčiastky. Súčasne sa znižuje i rezná rýchlosť. Trvanlivosť jednoklinového vrtáka JKV z SK typu K10 sa uvádza v rozsahu  $T = 90-180 \text{ min}$ , alebo vyjadrená v metroch vrtanej dĺžky je  $T = 8-20 \text{ m}$ , pri kritériu opotrebenia na chrúbte  $VB_k = 0,2-0,5 \text{ mm}$ , viac pre zväčšujúci sa priemer JKV. Množstvo privádzanej reznej kvapaliny pre jednoklinový vrták JKV zo spekaného karbidu sa volí v rozsahu  $Q = (2-3)\cdot D_0$  [ $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ]. Toto množstvo sa mení v závislosti na vrtanej dĺžke u rovnakého priemeru JKV nasledovne: pre  $L : D \leq 30$  je  $Q = 2\cdot D_0$  [ $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ], ale pri  $L : D = 100$  je  $Q = 3\cdot D_0$  [ $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ]. U vrtáka JKV-SK pre zväčšovanie otvorov postačuje  $Q = 2\cdot D_0$  [ $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ]. Tlak rezného oleja je potom v závislosti na priemere JKV v rozsahu  $p = 5-10 \text{ MPa}$ . Horná hodnota tlaku platí pre menšie priemery JKV. Množstvo oleja  $Q_{JKV}$  sa môže určiť aj výpočtom pre JKV-SK z rovnice

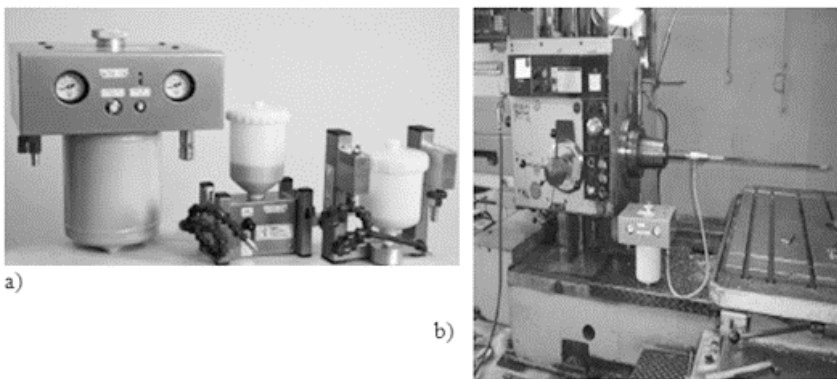
$$Q_{JKV} = 0,33D^{1,64} \quad [\text{l}\cdot\text{min}^{-1}] \quad (5)$$

kde  $D$  je priemer JKV nástroja, resp. vrtaný priemer.

### 2.3 Vrtanie hlbokých otvorov s JKV nástrojmi v praxi

Príkladom 1 je vrtanie hlbokých otvorov  $D_0 = 4-10 \text{ mm}$  s vrtákom JKV na horizontálnej vyvrtávačke typu H80. Pre vrtanie malých priemerov a dĺžok  $L_{\max} = 600 \text{ mm}$  bola upravená horizontálna vyvrtávačka typu H80 pre hlboké vrtanie s JKV-SK. Bol použitý prídavný normalizovaný vreteník o výkone hnacieho elektromotora  $P_1 = 2,2 \text{ kW}$ , posuvový elektromotor o výkone  $P_2 = 0,75 \text{ kW}$ , pre posuvové rýchlosti  $v_f = 25-100 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , pri plynulom nastavovaní otáčok do  $n = 9\,000 \text{ min}^{-1}$ . Rýchloposuv  $v_{f\max} = 4,0 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Ovládanie zariadenia upnutého na stojane stroja je tlačidlami na ovládacom paneli. U typu H80 sa využíva iba priečny a pozdĺžny, prípadne kruhový posuv stola. Chladiace zariadenie pozostáva z nádrže vedľa obrábacieho stroja o objeme  $700 \text{ l}$  s dvojstupňovým zubovým čerpadlom typu U-10 s elektromotorom  $P_{\text{úž}} = 5,5 \text{ kW}$  a dosahovaným maximálnym tlakom  $p_{\max} = 16 \text{ MPa}$ , pri použití rezného oleja ECOCUT 615. JKV je vedený v podpernej lunete s tlmením vibrácií i v navádzacom puzdre zachytávača triesok s utesením rúrky JKV-SK.

Príkladom 2 je vrtanie hlbokých otvorov s JKV vrtacím nástrojom na horizontálnej vyvrtávačke typu WHN-9B. V spolupráci so spoločnosťou SEMACO Slovakia bolo realizované prídavné zariadenie INDUTECH MS:MS2-12-SD5-24V od firmy MENZEL. Jednoklinové vrtáky SK s karbidom typu K20 boli použité pre rôzne dĺžky od spoločnosti BRT-Präzisionswerkzeuge (Nemecko). Rozmery JKV boli:  $D_1 = \text{Ø}14 \times 600 \text{ mm}$ ,  $D_2 = \text{Ø}14 \times 1\,000 \text{ mm}$  a  $D_3 = \text{Ø}14 \times 1\,500 \text{ mm}$ . Pri vrtaní bolo použité impulzné chladenie stlačeným vzduchom a olejom typu INDULON HL95 (MMS), ako je vidieť na obr.10.



**Obr.10 Zariadenie na impulzné mazanie hlbokých otvorov pri hlbokom vrtaní s JKV na horizontálnej vyvrtávačky typu WHN-9B podľa [1]**

Otvor v stene hrubostenného hydraulického valca ( $D_0 = 14 \times 1\,380 \text{ mm}$ ), sa predvrtá do hĺbky  $L_0 = 15 \text{ mm}$  skrutkovým vrtákom a vystruží sa na  $\text{Ø}D \text{ H8}$ , s použitím chladenia s vrtacou emulziou zo stroja. Vytvorí sa tak navádzací (pilotný) otvor pre JKV. Postup vrtania s JKV-SK je potom nasledovný: JKV vrták je upínaný do vretena stroja, cez prívod chladenia. Pripojí sa hadica na zmiešavací prístroj. Ten spolu s malým množstvom impulzne vstrekaného oleja prechádza cez vrták, čiastočne ho maže, vzduch chladí a vyfukuje triesky z otvoru.

Ako prvý sa použije vrták JKV-SK o  $\text{Ø}D = 14 \times 600 \text{ mm}$ . Vysúvaním pinoly vretena stroja, bez otáčania sa vrtákom opatrne vojde do pripraveného otvoru dĺžky  $L = 15 \text{ mm}$ . Zapne sa mazanie, otáčky a posuv. Maximálna dĺžka vysunutia pinoly je  $600 \text{ mm}$ . V tejto dĺžke budeme vrtáť prvú časť celkovej dĺžky, pri nasledovných rezných parametroch:

Materiál súčiastky VALEC je STN 11523.0.

Rezné podmienky:

$$n = 830 \text{ min}^{-1}$$

$$v_c = 36,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_f = 12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,014 \text{ mm}$$

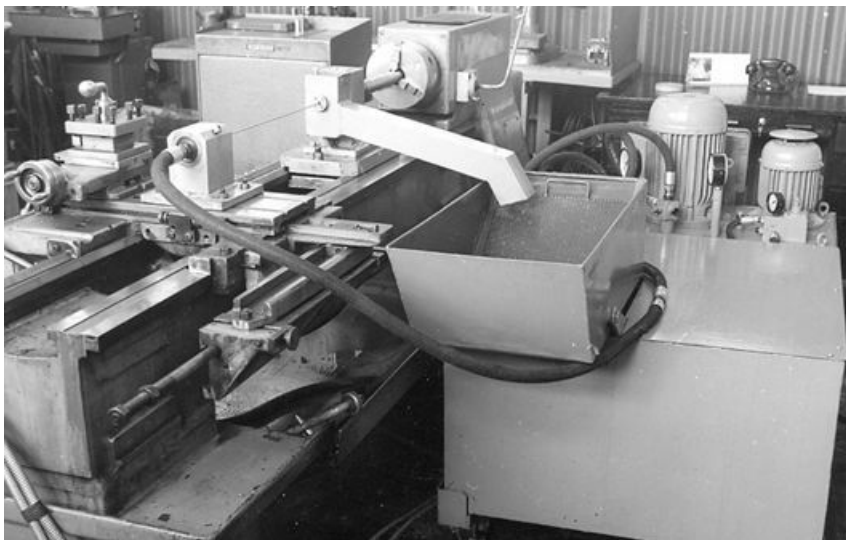
$$\text{stlačený vzduch } p = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\text{spotreba oleja } 50 \text{ ml} \cdot \text{hod}^{-1}$$

Po prevrtaní  $L_1 = 500 \text{ mm}$  sa pomocou zasúvania pinoly vrták vytiahne z otvoru. Zastavíme mazanie, otáčky a vrták sa ručne odopne zo stopky a z otvoru. Zoberieme druhý vrták dĺžky  $L_2 = 100 \text{ mm}$ . Ručne ho vsunieme do už vrtaného otvoru až po čelo, a upneme vrták do prípojky skrutkou. Zapne sa mazanie, otáčky a posuv a vrta sa do dĺžky  $L = 1\,000 \text{ mm}$ , pri rovnakých parametroch. Po dosiahnutí dĺžky  $L_2 = 1\,000 \text{ mm}$  stroj obsluha zastaví (v poradí posuv, otáčky, chladenie) a výsuvnou pinolou vretena sa vráti do východzej polohy vo vretene stroja. Druhý vrták sa odopne, a rovnako ako v predchádzajúcom prípade upne obsluha tretí vrták o dĺžke  $L_3 = 1\,500 \text{ mm}$ , vsunie do už vrtaného otvoru dĺžky  $1\,000 \text{ mm}$  a upne skrutkou v upínači. Ten má proti otáčaniu pomocnú tyč, ktorá zabraňuje pootáčeniu a poškodeniu hadice. Vrtákom č. 3 sa vrta do dĺžky  $L_3 = 1\,380 \text{ mm}$ , pri rovnakých rezných parametroch a pri kontrole vysunutia na stupnici pinoly. Dosahovaná drsnosť povrchu je horšia ako pri vysokotlakovom mazaní olejom na hlbokovrtacích strojoch, ( $Ra = 3,2$  až  $6,3 \mu\text{m}$ ), ale podstatne lepšia ako pri vrtaní skrutkovým vrtákom ( $Ra = 12,5 \mu\text{m}$ ). Trvanlivosť JKV-SK s karbidom typu K20 je nižšia ako pri vrtaní na hlbokovrtacích strojoch s výdatným mazaním a pohybuje sa v rozsahu  $T = 5-8 \text{ m}$  vrtanej dĺžky. Nižšia je i produktivita výroby, pretože použitá rezná rýchlosť je o 50-60 % nižšia, ako na špeciálnych hlbokovrtacích strojoch. Vyššia je flexibilita výroby tohto spôsobu a využitie univerzálneho stroja, bez potreby nákupu drahého hlbokovrtacieho stroja, alebo kooperácie na takomto stroji. Túto technológiu možno použiť i na veľkorozmerné súčiastky. Triesky sú relatívne suché a biele, nevyžadujú odstredivky na triesky. JKV-SK sa opakovane preostrujú diamantovými kotúčmi s kovovým spojivom.

Príkladom 3 je vrtanie hlbokých otvorov s vrtákom JKV na upravených univerzálnych sústruhoch a na špeciálnych strojoch v sériovej výrobe. Súčiastka s názvom Teleso piesta z materiálu STN 15142.3 má vo svojom strede jadro  $D_1 = 7,1 \times 55,8 \text{ mm}$  a otvor  $D_0 = 16,38 \times 55,8 \text{ mm}$ . Pre výrobu otvoru bol navrhnutý a realizovaný špeciálny JKV na jadro. Ako obrábací stroj pre tlakové vrtanie, so zachytávačom triesok a s vedením vrtáka puzdrom na začiatku vrtania, ako prídavné zariadenie spolu s upínačom vrtáka a

s nádržou za strojom, bol v procese výroby využitý upravený sústruh typu SV18RA × 750 mm (obr.11).



**Obr.11 Upravený sústruh SV18RA na vrtanie hlbokých otvorov doplna s JKV vrtákom zo spekaného karbidu podľa [2]**

Rezné podmienky vrtania súčiastky TELESO PIESTA na jadro s JKV-SK:

$$n = 1\ 120-1\ 400\ \text{min}^{-1}$$

$$v_c = 58-72\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$v_f = 34,7-43,4\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$f = 0,027-0,035\ \text{mm}$$

$$t_s = 1,2-1,5\ \text{min}$$

$$t_k = 4\ \text{min}$$

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

$$Q = 25\ \text{l}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$\rho = 5,2-5,5\ \text{MPa}$$

$$\text{dosiahnutá } Ra = 3,2\ \mu\text{m}$$

$$\text{rezná kvapalina: rezný olej P2DS}$$

Súčiastka sa upínala v univerzálnom skl'učovadle a z druhej strany je stredená a čelne utesená v rotačnej časti zachytávača triesok. JKV na jadro je upínaný za kužel' v upínači vrtáka, poistený skrutkou. V zachytávači triesok je vrták vedený a utesený PVC puzdrom. Nádrž vedľa stroja má objem  $V = 560$  litrov oleja, zachytávanie triesok sitami a štrbinovým filtrom. Zubové čerpadlo JHZJ-25.

Vrtanie otvoru  $D_0 = 3,15^{+0,02} \times 73$  mm u súčiastky PIEST, pre AHSP 23 sa robilo s JKV-SK, v sériovej výrobe na hlbokovrtacom stroji typu TBT 10-3-250 pri nasledovných rezných podmienkach:

Materiál súčiastky je STN 15142.3

$n_v = 7\ 850\ \text{min}^{-1}$	$n_0 = 244\ \text{min}^{-1}$
$v_c = 80\ \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_f = 40\ \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$f = 0,005\ \text{mm}$	$VB = 0,15-0,2\ \text{mm}$
takt stroja 1,92 min	$t_s = 1,82\ \text{min}/3\ \text{ks}$
$T = 60\ \text{min}$	$Z = 1\ 000\ \text{ks}$
rezná kvapalina CMT-UNIPLUS 3-50	
$Q = 3 \times 12\ \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$	$p = 12\ \text{MPa}$

Obrábací stroj TBT T10-3-250 je trojvretenový s rotujúcim nástrojom i obrobkom. Má zásobník obrobkov, automatické podávanie, upínanie i vykladanie. Vzhľadom na rozmer nástroja je použitá na stroji 3násobná ochrana proti poškodeniu JKV: kontrola osovej sily  $F_0$  s nastavenou hraničnou hodnotou pre vypnutie stroja, kontrola výkonu na vretene, kontrola tlaku oleja. Oproti kontrahovanému stroju s rozvodom oleja k vrtákom od jedného čerpadla, musela byť urobená úprava s použitím 3 samostatných čerpadiel s  $Q_1 = 12\ \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Pre každý JKV-SK samostatné čerpadlo.

Príkladom 4 je vrtanie hlbokých otvorov s vrtákom JKV zo spekaného karbidu na CNC horizontálnom obrábacom stroji. Hlboké otvory  $\varnothing D_0 = 1,6-35$  mm je možné vrtáť s vrtákmi JKV-SK, alebo špeciálnymi skrutkovými vrtákmi s vnútorným chladením u nerotujúcich súčiastok i na flexibilných obrábacích centrách CNC. Ak má CNC obrábací stroj dostatočný výkon na vretene stroja a dostatočne výkonný chladiaci systém s možnosťou predvolby primeraného množstva kvapaliny v závislosti na priemere vrtáka, môže vrtáť otvory dĺžky  $L = (5-35) \cdot D_0$ . Na rozdiel od hlbokovrtacích strojov, kde je nástroj na začiatku vrtania vedený v navrtávacom puzdre, ktoré je kalené, musí byť u CNC-OC otvor najskôr predvrtaný iným nástrojom z SK s vnútorným chladením. Na CNC obrábacích centrách už nie je možné použiť zachytávač triesok s navrtávacím puzdrom s utesnením resp. s tlmením vibrácií, najmä ak by sa menil priemer nástroja. Preto sa otvory predvrtávajú najčastejšie dvojklinovým SK vrtákom s rovnými drážkami a s vnútorným chladením, alebo vystružujú. Ako chladiaca kvapalina sa môže použiť i vrtacia emulzia s koncentráciou E 10-15 %. Má lepšiu chladiacu schopnosť ako rezný olej, je lacnejšia a súčiastky po obrábaní nie je potrebné odmasťovať.

Ako hlbokovrtacie nástroje na CNC obrábacie stroje sa môžu použiť:

- monolitné JKV-SK  $\varnothing D = 1,6-3,0$  mm,  $L = 40 \cdot D$  včítane rúrkovej časti z SK,
- JKV s hlavou SK  $\varnothing D = 3,5$  až 30 mm,  $L = 35 \cdot D$  [mm],
- dvojklínové monolitné SK vrtáky  $\varnothing D = 6-25$  mm, pre  $L = 250$  mm,
- dvojklínové vrtáky s hlavicou SK s priemerom  $\varnothing D = 20-40$  mm, pre  $L = 35 \cdot D$  [mm].

Vrtanie doplna kanálového otvoru  $\varnothing 3,2 \times 85$  mm (obr.12a) do tzv. telesa skrinky, zo zliatiny Al-Si, s celokarbidovým JKV vrtákom priemeru  $\varnothing 3,2$  h5 (obr.12b), pri dĺžke otvoru  $L = 85$  mm na CNC obrábacom centre.

Parametre vrtania:

$$v_c = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

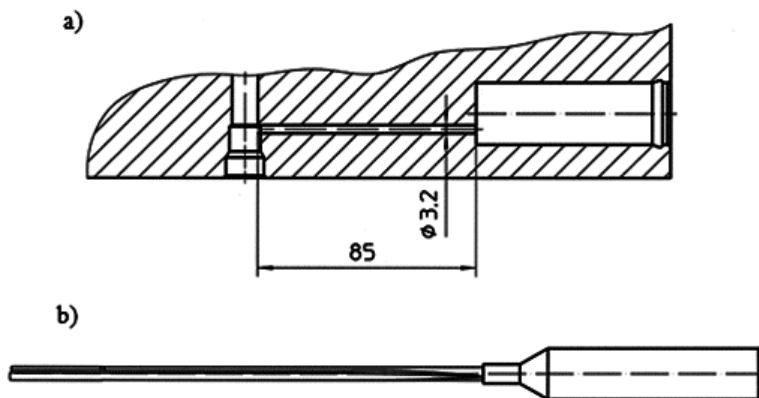
$$n = 6\,000 \text{ min}^{-1}$$

$$f = 0,2 \text{ mm}$$

$$v_f = 1\,200 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1};$$

chladenie s rezným olejom

$$\rho = 7 \text{ MPa.}$$



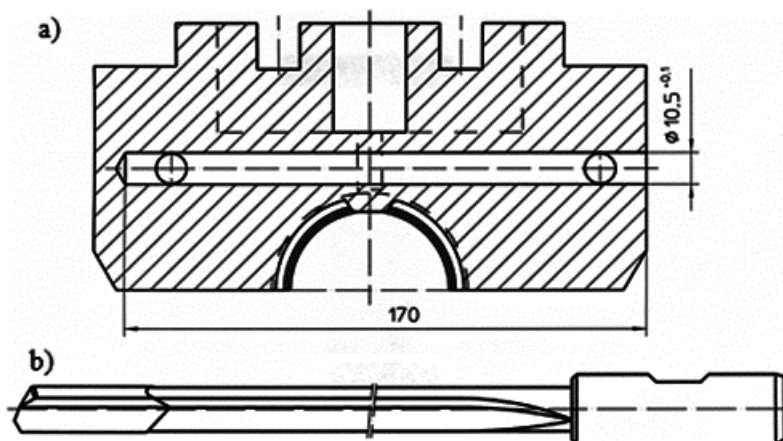
**Obr.12 Príklad vrtania doplna otvoru  $\varnothing 3,2 \times 85$  mm do tzv. telesa skrinky**

a) teleso skrinky; b) celokarbidový JKV vrták  
podľa [1, 2]

Príkladom 5 je vrtanie doplna chladiacich kanálov  $\varnothing D_0 = 10,5^{+0,1} \times 175$  mm v zušľachtenej oceli (obr.13a). Materiál 42CrMo4 (STN 15142.9), s tvrdosťou HRC = 45-50. Použitý nástroj JKV-SK,  $\varnothing D = 10,5$  h6 mm typu BOTEK - T110 s povlakom TiN (obr.13b). Ako chladenie bola použitá emulzia 14 %,  $Q = 30 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ , tlak  $\rho = 5,0$  MPa.

Rezné podmienky pri JKV vrtaní boli nasledovné:

otáčky  $n = 760 \text{ min}^{-1}$ ; rezná rýchlosť  $v_c = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ; rýchlosť posuvu  $v_f = 19 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ; posuv  $f = 0,025$  mm; čas obrábania  $t_{As} = 8,95$  min.



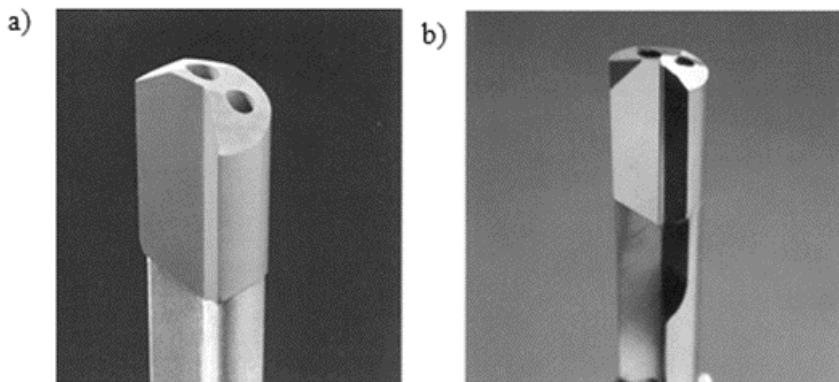
**Obr.13 Príklad vrtania doplna chladiacich kanálov  $\varnothing 10,5 \times 175$  mm do formy vyrobenej zo zušľachtenej ocele**

a) vrtaný otvor v súčiastke Forma, b) použitý JKV vrták s VRP-SK typu BOTEK podľa [1, 2]

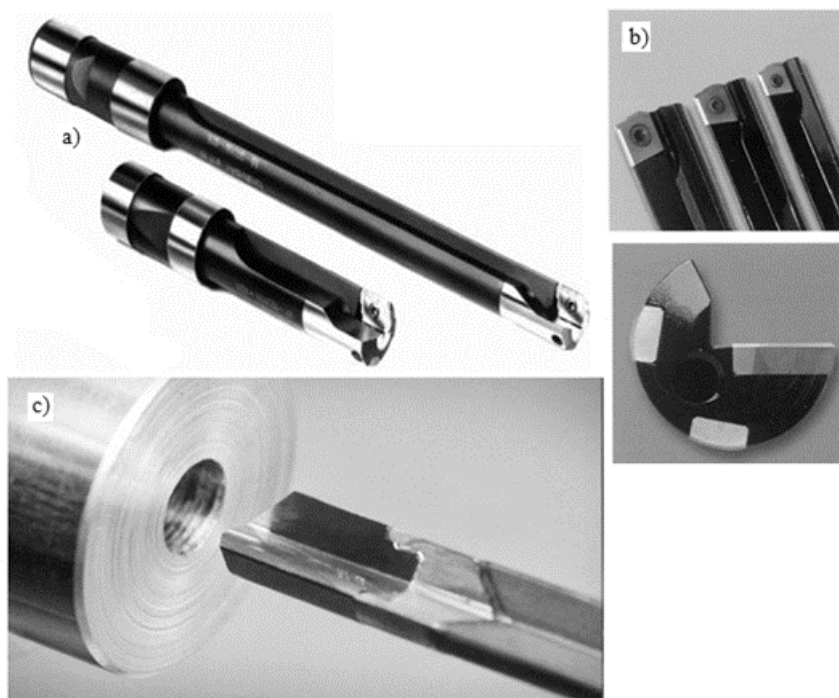
## 2.4 Nové konštrukcie JKV vrtákov a ich aplikácie

Medzi novinky pri konštrukcii a výrobe jednojlinových vrtákov JKV zo spekaného karbidu SK možno považovať aplikáciu fyzikálnej metódy PVD povlakovania (TiN) hlavíc SK, pri JKV pre vyvrtávanie (zväčšovanie dier) použitie hrotu z PKNB (polykryštalický kubický nitrid bóru) pre zušľachtené a tvrdé povrchy otvorov (GÜHRING) (obr.14) a v neposlednom rade, aplikácia vymeniteľných, tiež povlakovaných hlavíc SK u JKV vrtákov (od spoločnosti ISCAR, alebo TAEGUTEC).

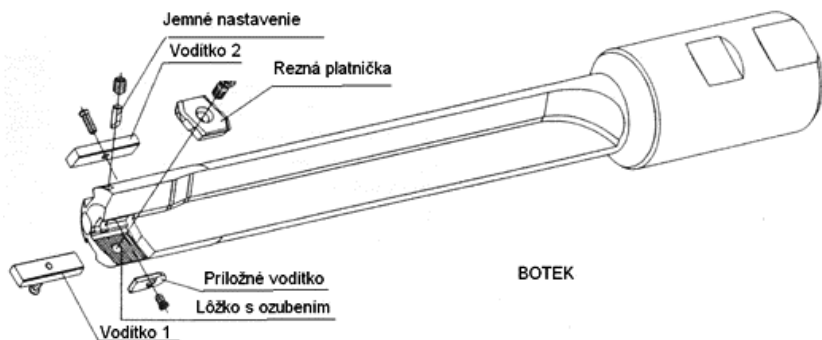
Novinkou je výmenná hlava z SK a PVD povlakovaná, upínaná v tvarovanom otvore telesa od spoločnosti ISCAR. alebo TAEGUTEC, ktorá sa u užívateľa nepreostrojuje, iba vymieňa. Firma BOTEK a GÜHRING, ponúkajú už JKV vrtáky s povlakovanou reznou platničkou VRP-SK (obr.15a, 15b). ISCAR a TAEGUTEC ponúka i výmenné jednorázové hlavice zo spekaného karbidu SK (obr.15c). Rezná platnička je so šikmými drážkami na spodnej časti upínacej plochy, pre možnosť nastavenie na rozmer podľa vodítok (obr.16).



**Obr.14** Nové konštrukcie hlavíc karbidového JKV vrtáka s TiN povlakom  
 a) predvrtávací JKV s PKNB hrotom, b) podľa [2]

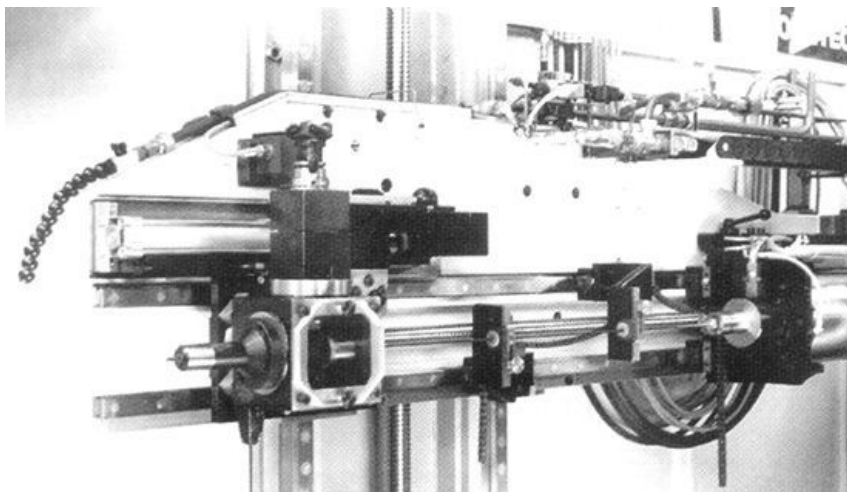


**Obr.15** Karbidové vrtáky JKV  
 a) BOTEK s VRP-SK, b) GÜHRING, c) výmenná hlavica TAEGUTEC; podľa [2]



**Obr.16 JKV vrták BOTEK väčšieho priemeru s VRP-SK**  
podľa [2]

V priemyselnej praxi je potrebné vyrábať aj súčiastky s viacerými otvormi rozdielnych priemerov. Problém ich opracovania bol vyriešený výrobcami strojov použitím karbidových JKV vrtákov, s nasadením CNC obrábacích strojov. Príkladom riešenia môže byť univerzálne nasaditeľná hlbokovŕtacia bunka s automatizovanou výmenou rezných nástrojov, vŕtacích puzdiel i obrobkov (obr.17).



**Obr.17 CNC obrábacie centrum BWT 250 (TBT Tiefborhtechnik)**  
**na vŕtanie hlbokých otvorov s radiacím systémom Sinumerik 840 D**  
podľa [2]

### 3 VRTANIE HLBOKÝCH OTVOROV BTA SYSTÉMOM

Názov BTA (Bohring and Trepaning Association) vznikol v Nemecku zoskupením výrobcu nástrojov pre hlboké vrtanie, ako sú napríklad GEBRÜDER HELLER Bremen-Mahndorf a výrobcov obrábacích strojov VDF, WOHLBERG, HAUBOLD, FRITZ WERNER, SCHIESS FRORIEP. BTA systém hlbokého vrtania využíva vonkajší prívod chladiaceho a mazacieho prostriedku, t.j. rezného oleja pre hlboké vrtanie, priestorom medzi stenou vrtaného otvoru a vonkajším priemerom kruhovej vrtacej tyče k vrtacej hlave a odvod triesky spolu s rezným olejom vnútom jednej zušľachtenej vrtacej tyče. Preto tento systém po novom nazýva švédsko spoločnosť Sandvik COROMANT ako tzv. jednorúrkový systém. Vďaka Dr. Ing. Beisnerovi sa používa i i pre malé priemery v rozsahu  $\varnothing 6,5-18$  mm ako rúrkový vrták, a pre  $\varnothing 20-120$  mm, ako vrtacia hlava BTA naskrutkovaná plochým závitom na vrtaciu tyč, ktorá je na povrchu brúsená [4, 15, 21].

BTA Beisnerov vrták pre malé priemery  $\varnothing 6-18$  mm má vyfrézovanú drážku čelne do zušľachtenej rúrky určeného priemeru. Pripravená tvarovaná karbidová rezná platnička slúži na jednej strane priemeru ako vodiaca valcová fazetka, oproti nej ležiaca plocha je širšia a tvorí jedno z vodítok vrtáka. Druhé vodítko (spodné) je prispájkované v drážke v stene rúrky, pod uhlom  $85-90^\circ$  od valcovej fazetky. Po kruhovom brúsení s  $Ra = 0,1-0,4$   $\mu$ m na rozmer  $\varnothing D h6$  ( $h5$ ) sa s použitím diamantových kotúčov s kovovou väzbou a chladenia, vybrúsi uvedená geometria, včítane potrebného deliča a tvarovača triesky. Delenie a tvarovanie triesky pri BTA systéme vrtania má veľký význam, pretože ovplyvňuje jej správny a plynulý odvod vnútom rúrky vrtáka. Odvodu triesky napomáha i väčšie množstvo oleja ako je tomu u karbidových JKV vrtákov.

Vonkajší priemer rúrkového BTA vrtáka sa volí z rovnice

$$D_t = \frac{D_o}{1,1 \text{ až } 1,2} \text{ [mm]} \quad (6)$$

kde  $D_o$  je priemer otvoru alebo rozmer vrtáka  $D$  v mm.

Vnútorň priemer rúrky (7) sa volí v rozsahu

$$d_t = \frac{D_o}{1,6 \text{ až } 1,7} \text{ [mm]} \quad (7)$$

Potom stena rúrky je  $s = (0,15 \text{ až } 0,3)D$  [mm] (8)

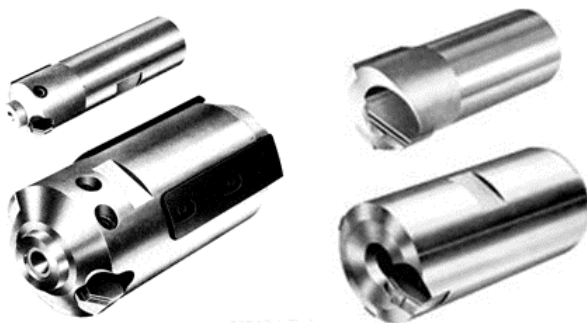
Najmenší vrtaný priemer (9) potom bude

$$D_{o\min} = (1,04 \text{ až } 1,1)D_t \text{ [mm]} \quad (9)$$

Najväčší vrtaný priemer (10) pre danú tyč je

$$D_{o\max} = (1,16 \text{ až } 1,6)D_t \text{ [mm]} \quad (10)$$

Beisnerov rúrkový vrták do priemeru  $D_o \leq 14$  mm má vyfrézovanú drážku pre SK platničku priamo do čela rúrky z materiálu 14331 (typ L-ROLL) alebo z ocele 15231, zušľachtenú na pevnosť  $R_m = 1\,150$  až  $1\,350$  MPa, po rovnaní na povrchu brúsenú na rozmer  $\varnothing D_t$  h8 (f7), s  $Ra = 0,8$   $\mu\text{m}$ . V prípade zabezpečenia polotovaru platničky, môže mať táto tvar „T“. Pre priemery  $D_o \geq 14$ -18 mm je hlava tvorená telesom z konštrukčnej ocele (STN 11600.1), do nej je vsadená rezná platnička a 2 vodička SK, druh K10 /K20. Hlava je potom prispájkovaná do vnútra vrtacej tyče. Od priemeru 18mm, je použiteľná už hlava doplna, naskrutkovávaná na tyč, svojim vnútorným plochým závitom veľkého stúpania, alebo štvorchodým vonkajším závitom, do redukcie vrtacej tyče. Pri konštrukcii vrtacej hlavy BTA zabezpečujú delenie triesky viaceré platničky SK, tiež prispájkované do lôžok v telese hlavy, ktoré je vyrobené presným liatím, metódou vytaviteľného vosku. Dve vodička SK sú kratšie ako u klasických hláv BTA. Jednorázová nepreostrovaná hlava  $\varnothing 30$  mm od spoločnosti HELLER (obr.18) je prácnosťou pri ich ostrení náročnejšia. Ich použitie je iba do dĺžok  $L = 40 \cdot D$ , pretože nastáva väčšie vyosenie otvoru. Prípustné opotrebenie  $VB_L$  je väčšie, pretože sa nepreostroujú.



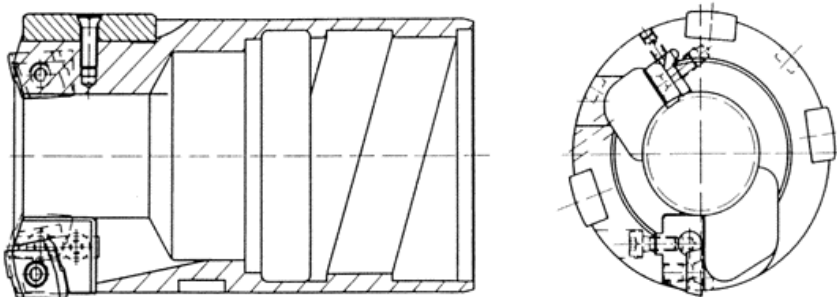
**Obr.18 Vyrvtávacie hlavy HELLER s VRP-SK (vľavo)  
a BTA vrtacie hlavy doplna HELLER s VRP SK (vpravo)  
podľa [2]**

### 3.1 Geometria BTA vrtacích nástrojov s VRP-SK

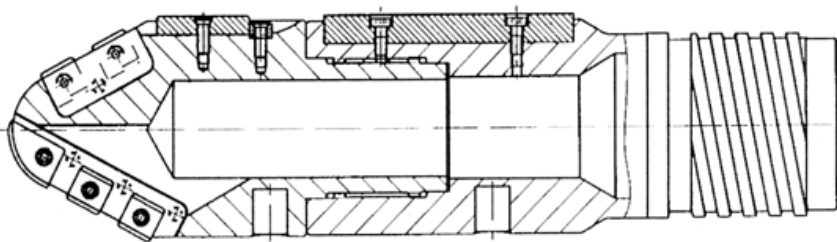
Preostrovateľné vrtacie hlavy BTA pôvodnej konštrukcie HELLER mali prispájkovanú karbidovú platničku SK príslušnej veľkosti a hrúbky do telesa hlavy s vyfrézovaným lôžkom, rovnako ako obe vodítka SK na obvode telesa hlavy. Vodiace platničky sú oproti reznej platničke uložené v uhloch  $\varphi_1 = 85-90^\circ$  a  $\varphi_2 = 180-185^\circ$ . Pritom spodná platnička SK, ktorá zachytáva výslednicu tangenciálnej a normálovej sily je širšia (dlhšia), pretože je viac namáhaná. Vodítko v polohe  $180^\circ$  zachytáva nerovnováhu radiálnych síl a zabezpečuje stálosť rozmeru. V praxi sa obe vodítka volia rovnaké. Merný tlak na vodítka SK by nemal presiahnuť  $p \leq 3-4$  MPa. Geometria reznej časti vrtacích hláv do plna bola riešená u spájkovaných nástrojov s prihliadnutím na rovnováhu rezných síl. Hrot vrtacej jednoklinovej hlavy BTA mal delenú reznú hranu a bol vysunutý oproti osi nástroja k obvodu o hodnotu  $a = 0,1 \cdot D$  [mm]. Pretože šírka rezu  $a_p = D/2$  [mm] je príliš veľká aby trieska vošla do vtokového otvoru vrtacej tyče (rúrky) a hlavy, pre jej lepšiu odvod sa rezná hranu rozdeľovala na 2-3 časti t.j. deliče triesky. Pre správne tvarovanie triesky bol na čele platničky SK vybrusovaný žliabok s uhlom čela  $\gamma = 0^\circ$ . Na obvode reznej platničky, bola pri brúsení na guľato, (kruhovom brúsení), vytvorená valcová fazetka, ako tretí bod (plocha) tvoriaca kružnicu. Vodítka SK majú upravené nábehové hrany pre lepšie podmienky mazania plochy. Zadná kuželovitosť pri brúsení je 1 : 200. Valcová fazetka je v závislosti na rozmere hlavy široká  $f = 0,5$  až  $1,2$  mm a je vždy podrobená vyššiemu opotrebeniu ako oporné lišty (vodítka). Vďaka nej však nástroj mohol správne prechádzať otvorom, ktorý sám vytvoril, pokiaľ bol v smere osi dostatočne dozadu podbrúsený. Túto podmienku v mnohých prípadoch nespĺňali nové koštrukcie hláv s VRP-SK, a boli nahradené novými platničkami (Sandvik COROMANT, u hláv 424.9 za nové 424.10).

V oblasti nulovej reznej rýchlosti - blízko vertikálnej osi nástroja, sa vyostruje úprava čela s negatívnym uhlom čela  $\gamma = -30^\circ$ , čím sa spevní rezná hranu a zabezpečí sa dobré tvarovanie a odvod triesky, podobne ako pri zarovnávaní čela na sústruhu. U vrtacích hláv BTA doplna na jadro sa odberá iba materiál na určitom medzikruží šírky  $s = 20-34$  mm, čím vzniká jadro, ktorého priemer v závislosti na otvore má hodnotu  $d_j = (0,2-0,6) \cdot D$  [mm], pričom väčšie hodnoty platia pre väčšie priemery a kratšie dĺžky súčiastok. Aj u vrtacích hláv pôvodnej konštrukcie HELLER (obr.18 a 19), bola výmenná rezná platnička prispájkovaná, ale nie na teleso hlavy ale do vymeniteľného nožového držiaka upínaného v telese hlavy pomocou skrutky, s možnosťou nastavenia priemeru posúvaním v pozdĺžnej drážke hlavy,

zo zadu čelne opieraný skrutkou. Geometria sa vyostrovala rovnako ako doplna, s rozdelením šírky rezu na 3 stupienky, na čele ktorých je vybrúsený tvarovač triesky rôznej šírky a hĺbky, v závislosti na použítom posuve, reznej rýchlosti a materiáli obrobku. Rezné platničky sa volili podľa obrábaného materiálu, najčastejšie zo skupiny ISO typu K10/K20, M10/M20, P20/P40, karbidové vodítka SK-P20 (K10), dnes i z  $\text{Si}_3\text{N}_4$  reznej keramiky. Rezná hrana výmenných rezných platničiek z SK s uhlom čela  $\gamma = 0^\circ$  je voči osi nástroja v úrovni  $D/2^{-0,01}$  až  $D/2^{-0,03}$  [mm], od obvodu spodného vodítka. Pre vrtanie sivej liatiny, bronzu a materiálov ktoré dávajú drobnú triesku sa tvarovač nevyostroval a rovné čelo bolo v úrovni osi nástroja. Aj ostré hrany vodítok (obr.20) a reznej hrany nad valcovou fazetkou sú zrazené, nábehové hrany pri požiadavke kvalitného povrchu i zaoblené. Rezné hrany resp. uhly chrbta a čela na karbidových rezných platničkách, sú starostlivo ostrené s  $Ra = 0,2-0,1 \mu\text{m}$ , najlepšie diamantovými kotúčmi s kovovou väzbou, pri chladení (DIOL).



**Obr.19 BTA vrtacia hlava na jadro HELLER s VRP-SK**  
podľa [2]



**Obr.20 BTA vrtacia tvarová hlava s VRP-SK a vodítkami**  
podľa [2]

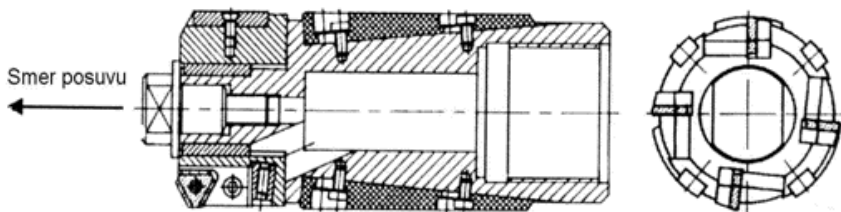
### 3.2 Vyvrtávacie (zvächšovacie) BTA hlavy

Slúžia na zvächšovanie už doplna alebo na jadro vrtaného hlbokého otvoru, odliateho odstredivým liatím, alebo valcovaného otvoru u hydraulických valcov, za účelom spresnenia rozmeru v tolerancii IT9-IT8, a pre zlepšenie drsnosti povrchu na  $Ra = 3,2-1,0 \mu\text{m}$ . Vyvrtávacie hlavy pôvodnej konštrukcie HELLER majú nôž valcového prierezu, ktorý je upnutý v telese hlavy vo vystruženom otvore daného priemeru, a upínaný skrutkami na rozmer. Vyvrtávacia hlava v axonometrii má, rovnako ako hlavy BTA doplna, dve vodítka zo spekaného karbidu upevnené spájkovaním v prizmatických oceľových vedeniach a upevnené úpinkou a skrutkami. Vyvrtávacie hlavy menšieho priemeru ( $\text{Ø}20-43,9 \text{ mm}$ ), majú vodítka zo spekaného karbidu spájkované v telese hlavy. Hlavy väčších priemerov, majú 1 až 3 vodítka z texgumoidu, za vodítkami zo spekaného karbidu, pre tlmenie chvenia a vibrácií. Nôž je v telese hlavy pod uhlom  $65^\circ$  vzhľadom k povrchu otvoru, uhol nastavenia reznej hrany  $\chi_r = 30^\circ$ , uhol čela  $\gamma = 0^\circ$ , uhol chrbta  $\alpha = 8-12^\circ$ . Na rozmer je nôž staviteľný skrutkou zozadu. Nad vyčnievajúcou časťou noža z telesa hlavy je vtokový otvor, lievikovite rozšírený, pre odvod triesok a oleja vnútom tyče. Hlava sa upína na tyč pomocou vnútorného jednochodého plochého závitú, ako je u systému BTA zvykom. Nôž je preostrovateľný na rozmer i po opotrebení a staviteľný na rozmer zo zady noža skrutkou (tzv. axonometrický pohľad). Na hlavnej reznej hrane má nôž tvarovač triesky, na vedľajšej reznej hrane zase valcovú fazetku pre vedenie nástroja v otvore. Tlmiace lišty z PVC či texgumoidu sú staviteľné na rozmer v kuželovej drážke telesa hlavy pod  $2-5^\circ$ . V svojich 2 drážkach pozdĺž osi majú kalené oceľové podložky tvaru drážky a upínacie skrutky s hlavou. Lišty sa vysunú oproti vodítkam zo spekaného karbidu o hodnotu  $0,05-0,1 \text{ mm}$ , pre lepšie tlmenie chvenia. Ustavenie je realizované v hrotoch prístroja, pomocou číselníkových odchýlkomerov (indikátorové hodinky). Pretože prierez odoberanej triesky pri vyvrtávaní je podstatne menší ako pri vrtaní doplna, bude podľa toho volený i rozmer vrtacej tyče, ktorá bude menšieho priemeru. K určeniu vonkajšieho priemeru tyče pre BTA vyvrtávanie možno použiť rovnicu

$$D_t = \frac{D_o}{1,25 \text{ až } 1,35} \text{ [mm]} \quad (11)$$

Všeobecne sa použije tyč doplna z legovanej ocele o 1 rad menší rozmer, napr. tyč  $\text{Ø}62 \text{ mm}$  pre vyvrtávanie, oproti  $\text{Ø}68 \text{ mm}$  pri vrtaní doplna. Pre zvýšenie produktivity vyvrtávania, pri zachovaní presnosti a priamosti

vývrtu, sa už využívajú i vyvrtávacie hlavy tlačné či ťažné s viacerými reznými nožmi a platničkami zo spekaného karbidu, často už i s najmä PVD povlakmi, ako to vidieť na obr.21.



**Obr.21 Tlačná BTA vyvrtávacia hlava**

so štyrmi nožmi s VRP-SK staviteľnými na rozmer radiálne i axiálne pre dosiahnutie zvýšeného posuvu pri konštantnej reznej rýchlosti s tromi tlmiacimi lištami podľa [2, 10]

### 3.3 Upínacie závity na BTA vrtacích hlavách a vrtacích tyčiach

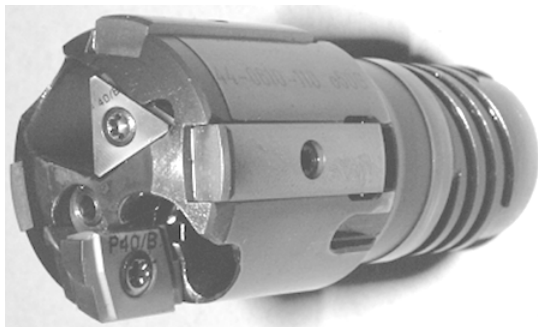
Pre upínanie vrtacích hlavičiek doplna, na jadro či vyvrtávanie BTA alebo i ejektor, sa používajú buď vnútorné jednochodé ploché závity pôvodnej konštrukcie BTA-HELLER [20, 29, 30] alebo podľa konštrukcie Sandvik COROMANT sa používa vonkajší 4chodý plochý závit s väčším stúpaním podľa [13, 22, 24] a dve presné vodiace priemery hlavy v upínacej tyči. Vrtacie tyče rúrkového tvaru pre BTA systém vrtania, majú potom vnútorný jednochodý plochý závit správneho rozmeru pre daný priemer hlavy, s dvoma vedeniami za presný priemer na začiatku a na konci závitú. U systéme STS (Single Tube System = jednorúrkový systém) podľa Sandvik COROMANT, má potom vrtacia tyč rúrkového tvaru s brúseným vonkajším priemerom zase 4chodý plochý závit rovnakého rozmeru a stúpania, ako má vrtacia hlava, pre ktorú je tyč určená. Dnes sú rozmery závitov zjednotené, a ako bude uvedené ďalej, zjednotené sú i rozmery vrtacích tyčí [15] (obr.22 a 23). Používané vrtacie hlavy v 40.-65. rokoch XX. storočia mali metrický závit, čo spôsobovalo pri poškodení spájkovanej reznej platničky či vodítko SK poškodenie závitú a často i poškodenie vrtacej tyče [1, 2, 4, 11, 12].

Pri vrtaní hlbokých otvorov s hlavami typu BOTEK, s výmennými vodítkami z SK upínanými skrutkou, je potrebné dbať na to, aby pri dovŕtaní otvoru sa hlava nedostala úplne von z otvoru. Treba nastaviť doraz alebo progra-

movat' tak dĺžku vrtania, aby vodička boli vo vyvrtanom otvore svojou polovicou až  $\frac{3}{4}$  dĺžky. V opačnom prípade dôjde pri spätnom rýchloposuve k poškodeniu (ustrihnutiu) skrutiek vodičok a k možnému poškodeniu a k strate vodičok, ich nárazom na čelo obrobku, alebo na ostrú hranu kaleného vodiaceho puzdra v tlakovej hlave, v dôsledku odchýlky osi od teoretickej osi (vyoseniu otvoru). V moderných konštrukciách vrtacích hlavičiek typu BOTEK, sa už používajú i povlakované vodička zo spekaného karbidu SK, ba tieto vodička sú už nasadzované i z reznej keramiky  $\text{Si}_3\text{N}_4$  [25, až 28].



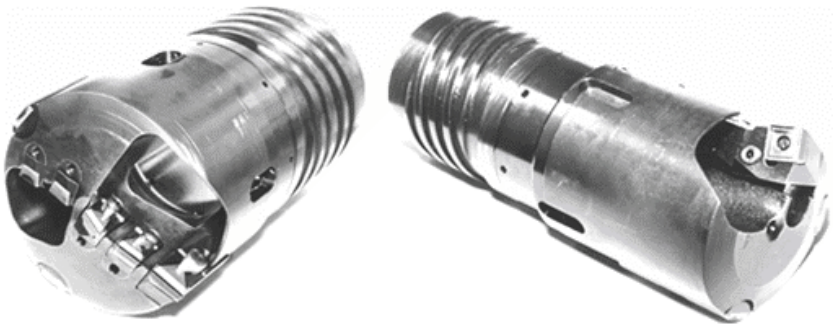
**Obr.22 BTA vrtacia hlava BOTEK Typ 22**  
s vnútorným plochým závitom a výmennými VRP-SK  
podľa [2]



**Obr.23 BTA vrtacia hlava D = 65 mm BOTEK Typ 42**  
s VRP-SK a vonkajším švorchodovým závitom a tromi vodičkami na obvode  
používa sa pri vrtaní doplna; podľa [2]

### 3.4 Nové konštrukcie BTA vŕtacích hláv

Rovnako ako pri sústružení, frézovaní i pri vŕtaní majú moderné rezné nástroje miesto pôvodných spájkovaných rezných platničiek SK vymeniteľné rezné platničky SK, ktoré sa neprebrusujú (obr.25). Brúsenie hlbokovŕtacích nástrojov bolo totiž najnáročnejšou a veľmi prácnou operáciou pri výrobe alebo opakovanom preostrovaní. Dnešné moderné hlbokovŕtacie nástroje pre BTA systém hlbokého vŕtania, majú už prevažne konštrukciu s použitím VRP-SK. Takými sú napr. vŕtacie hlavy Sandvik COROMANT typ Coro Drill 800.20 pre vŕtanie doplna, T-MAX - 424.10 pre rozsah priemerov  $\varnothing 63,5-130$  mm s vonkajším 4chodým závitom veľkého stúpania, doplna, na jadro T-MAX 420.7, až T-MAX 424.31 pre zväčšovanie (obr.24). Vŕtacie hlavy typu BOTEK majú použitú jednu alebo viac VRP-SK s vybrúseným deličom triesok, a vnútornú reznú platničku upínanú tangenciálne taktiež s vybrúseným tvarovačom triesky. Trojuholníková platnička má celkom 6 rezných hrán. Vonkajšia platnička je nastaviteľná na rozmer voči trom SK vodičkám, ktoré sú taktiež vymeniteľné, upínané v brúsenej drážke pomocou skrutky. Obe rezné platničky môžu byť i PVD povlakované TiN (P25B, P40B). Vodička zo spekaného karbidu SK tiež už povlakované ale overované sú už i vodička keramické ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).



Obr.24 BTA vŕtacie hlavy typu T-MAX  
podľa [2, 10]



*Obr.25 Konštrukcie vŕtacích hláv typu Heller,  
Widia Krupp, Sandvik Coromant a Iscar  
podľa [2]*

### **3.5 Obrábacie stroje na BTA vŕtanie hlbokých otvorov**

Používajú sa stroje všetkých 3 spôsobov vŕtania, t.j.:

- vodorovné hlbokovŕtacie stroje s rotujúcim obrobkom,
- vodorovné stroje pre hlboké vŕtanie s rotujúcim nástrojom,
- vodorovné hlbokovŕtacie stroje s rotujúcim nástrojom a protibežne rotujúcim obrobkom,
- viacvretenové vodorovné stroje pre BTA i ejektorové vŕtanie,
- upravené univerzálne sústruhy s vodorovnou osou a s príslušenstvom.
- CNC obrábacie centrá (obr.26) s horizontálne s rotujúcim nástrojom a súradnicovo prestaviteľným upínacím stolom pre obrobok, v osi Y a Z.
- viacvretenové vŕtanie na horizontálnom vyvrtávacom stroji [31].

Ako obrábacie stroje pre hlboké vŕtanie systémom BTA prichádzajú do úvahy výkonné stroje univerzálne alebo špeciálne univerzálne stroje majú nasledovné znaky:

- veľkú hmotnosť, tuhosť a rozmerovú presnosť,

- veľký rozsah zmeny vrtaných priemerov a dĺžok,
- ručné riadenie z časti už s automatizovaným priebehom vrtania, až jed-noosovým CNC riadiacim systémom (SINUMERIK PRIMO-S),
- veľký výkon pohonu vretena, úmerný rozsahu vrtaných priemerov,
- plynulú zmenu veľkosti posuvu resp. posuvovej rýchlosti, zariadenie pre chladiaci a mazací prostriedok (najčastejšie rezný olej) t.j. nádrž dosta-točného objemu so separáciou triesok od oleja, s filtráciou, a s ochlad-zovaním (stlačený vzduch), resp. dopravník triesky a odstredivku triesok,
- rotujúci obrobok, alebo protibežne rotujúci obrobok i nástroj,
- bezpečnostné a ochranné zariadenia pre sledovanie osovej sily alebo krútiaceho momentu, výkonu, s vypnutím posuvu po dosiahnutí nastave-nej hodnoty, digitálny ukazovateľ vrtanej dĺžky, prístroj na meranie teploty oleja,
- relatívne krátke časy na prípravu stroja k práci (dlhšie ako u sústruhov).

Medzi prídavné zariadenia a aparatúry k BTA hlbokovrtacím strojom patria tzv. BOZA zariadenia na prívod tlakového oleja a navrtávacie puzdro.

Pre BTA vrtanie je na lôžku stroja umiestený vodiaci suport a na ňom odliatkový alebo zvarencový stojan s vyvrtaným strediacim otvorom, v kto-rom sa upína zariadenie pre prívod tlakového oleja tj. tlaková hlava BOZA. Zariadenie umožňuje dopraviť rezný olej od vysokotlakových čerpadiel z ná-drže čistého oleja k nástroju i do vrtaného otvoru.

Vysokotlakové čerpadlá dopravujú olej do tlakovej hlavy BOZA. Tá má pre úspešný priebeh vrtania podstatný význam. Je upevnená na nosiči tlakovej hlavy na podpore stroja a ten je na lôžku (vedení) stroja. Stredí a utesňuje čelne obrobok a je nosičom vrtacieho puzdra, ktorého význam pre začiatok procesu vrtania je podstatný.

Tlaková hlava má 3 úlohy:

- Rezné sily z vrtania sú pri navrtávaní vedené všeobecne cez navrtávacie puzdro a z neho na suport a na lôžko stroja.
- Chladiaca a mazacia látka je väčšinou olej, je vedený tlakovou hlavou do prstencového prierezu medzi stenou vrtania a vrtacou tyčou (rúrkou) k operným tvrdokovovým lištám a k reznej hrane nástroja.
- Utesnenie tlakovej hlavy s obrobkom sa robí buď stredením za stredia-ce kužele čo umožňuje súčiastku ľahko vystrediť, alebo čelným tesne-ním.



**Obr.26 BTA hlbokovŕtací stroj so suportom**  
vpravo podperná luneta s tmičom vibrácií

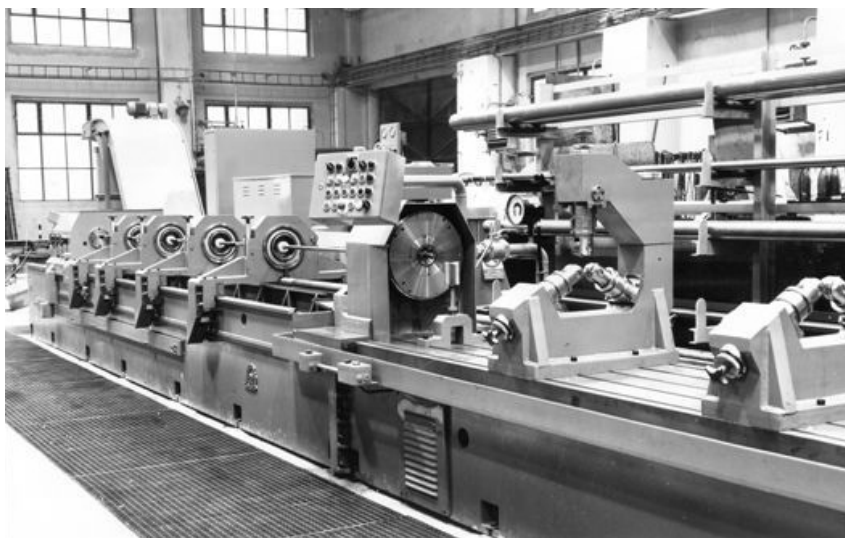
Vysokotlakové čerpadlá dopravujú olej do tlakovej hlavy BOZA. Tá má pre úspešný priebeh vŕtania podstatný význam. Je upevnená na nosiči tlakovej hlavy na suporte stroja a ten je na lôžku (vedení) stroja. Stredí a utesňuje čelne obrobok a je nosičom vŕtacieho puzdra, ktorého význam pre začiatok procesu vŕtania je podstatný.

Tlaková hlava má 3 úlohy:

- Rezné sily z vŕtania sú pri navŕtávaní vedené všeobecne cez navŕtacie puzdro a z neho na suport a na lôžko stroja.
- Chladiaca a mazacia látka je väčšinou olej, je vedený tlakovou hlavou do prstencového prierezu medzi stenou vŕtania a vŕtacou tyčou (rúrkou) k operným tvrdokovovým lištám a k reznej hrane nástroja.
- Utesnenie tlakovej hlavy s obrobkom sa robí buď stredením za strediace kužele čo umožňuje súčiastku ľahko vystrediť, alebo čelným tesnením.

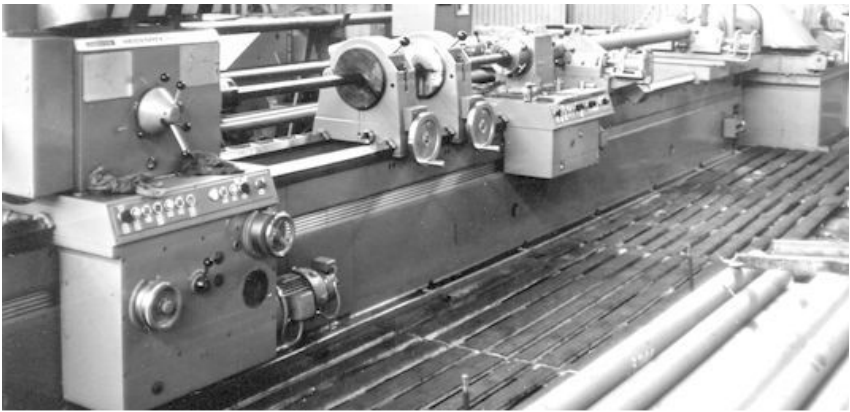
Pomocou kaleného navŕtacieho puzdra sa dá zvládnuť kritická časť navŕtacieho procesu, teda navŕtanie, t.j. zavedenie vŕtacieho nástroja do otvoru, ktorý otvor nástroj sám zhotoví. Vŕtacie puzdro musí ustaviť nástroj do správnej polohy (v osi súčiastky) a pri nezmenenej polohe prenášať rezné a normálové zložky rezných síl, trecie sily z SK vodítok nástroja,

ktoré sily vznikajú na začiatku vrtania tak, aby sa neprenášali vibrácie, ktoré ovplyvňujú toleranciu a akosť povrchu vrtaného otvoru. Kalené oceľové puzdro či puzdro zo spekaného karbidu je umiestnené v konštrukcii tlakovej hlavy BOZA. Navrtávacie puzdro má mať priemer otvoru pre vedenie vrtacej hlavy o 0,01-0,03 mm väčší, než je priemer meraný na valcovej fazetke a vodítkach. Najväčšia hodnota krútiaceho momentu predstavuje okamih vchádzania vodítok do predvrtaného otvoru, ktorý otvor je menší ako rozmer vrtacej hlavy, o vôľu vo vrtacom puzdre. V priebehu vrtania sa hodnota  $M_k$  môže čiastočne meniť, pri záderoch vodítok o povrch otvoru, alebo zmenou vlastností materiálu súčiastky.

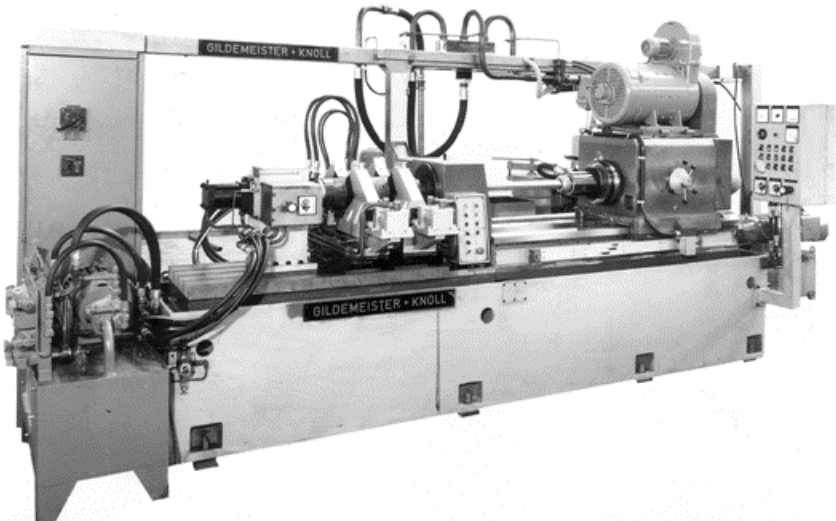


**Obr.27 Vodnorodný hlbokovŕtací stroj TB 4000-12/24-45 NC  
s viacerými podpornými lunetami s tlmičmi vibrácií**

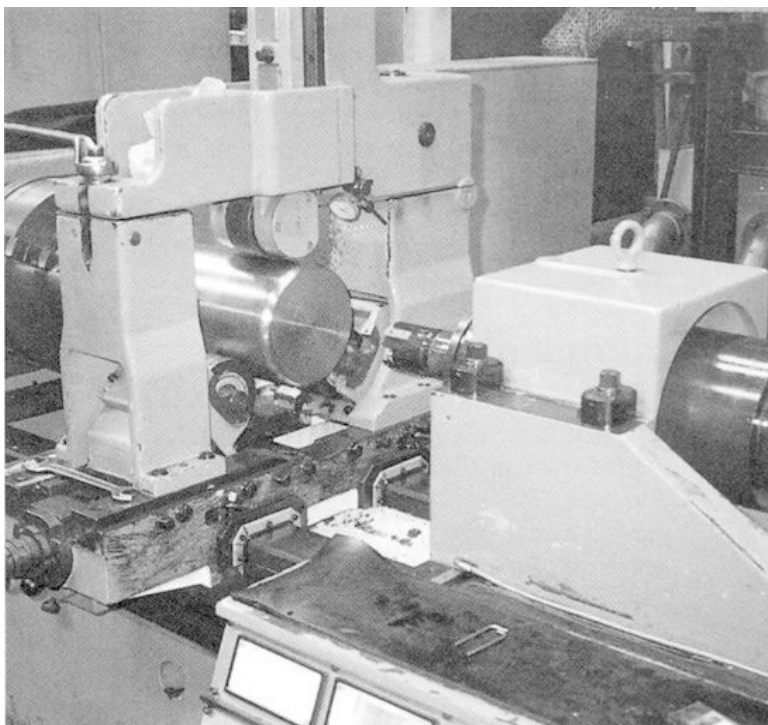
Nové moderné obrábacie stroje pre hlboké vrtanie a vyvrtávanie (zväčšovanie) otvorov sú už s NC riadením v jednej osi, ale s programovaním, s monitorovaním osovej sily  $F_o$ , príkonu stroja  $P_{úž}$ , s digitálnym ukazovateľom vrtanej dĺžky a s potrebným príslušenstvom (obr.27-30).



**Obr.28 Hlbokvrtací stroj GILDEMEISTER B3P2/4000**  
pracujúci s rotujúcim obrobkom a ťažnou hlavou



**Obr.29 Hlbokvrtací stroj GILDEMEISTER**  
s rotujúcim obrobkom s CNC riadiacim systémom Sinumerik (Siemens)

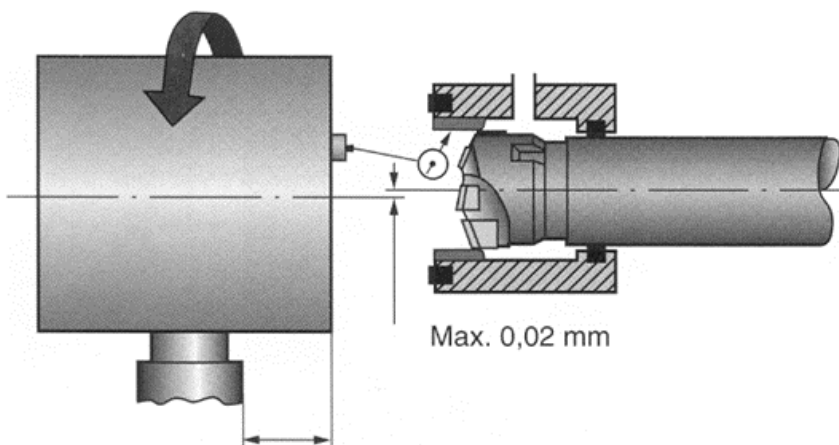


**Obr.30 Detail podpernej lunety na hlbokvrtacom stroji**

slúžiaci na vystredenie obrobku podľa presústruženého povrchu, alebo podľa pásov presústružených na sústruhu pred operáciou vrtania hlbokého otvoru doplna

Stroje majú automatický dopravník triesok po dĺžke často až 24 m, odstredivku triesok (CEPA VZ-6), automatický filter oleja POLO-S s netkanou látkou pre zachytenie nečistôt veľkosti 10-40  $\mu\text{m}$ , magnetické filtre ako u brúsok na guľato, staviteľné podperné lunety obrobku i tyče, s namontovanými puzdrami pre tlmenie vibrácií, centrálny ovládací panel s možnosťou naprogramovania parametrov.

Na začiatku vrtania je potrebné upnúť a vystrediť súčiastku v upínači a na podperných lunetách tak, aby jej hádzavosť nebola väčšia ako 0,02 mm. Rovnako tak, poloha tlakovej hlavy, ako nosiča vrtacieho puzdra musí byť v osi vretena stroja a vrtanej súčiastky. Kontrolu urobí obsluha stroja podľa obr.31.



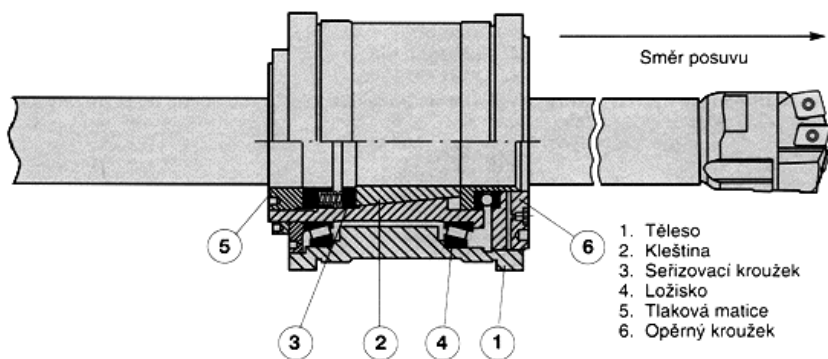
**Obr.31** Odporúčaná spôsob ustavenia kaleného puzdra v tlakovej hlave s presnosťou na 0,02 mm podľa [2, 11]

### 3.6 Tlmiče vibrácií vrtacej tyče pri BTA hlbokom vrtaní

Systémom BTA vrtania hlbokých otvorov môžu byť vrtané otvory doplna od  $\varnothing 6$  mm do  $\varnothing 62$  mm, na jadro od  $\varnothing 50$  mm do  $\varnothing 500$  mm, a vyvrtávaním od  $\varnothing 30$  mm do  $\varnothing 1\,000$  mm. Dosahovaná presnosť otvoru je IT9-IT10, pri vyvrtávaní a lúpacom vystružovaní je to až IT7. Dosahovaná je drsnosť povrchu otvoru  $Ra = 1,6-3,2$   $\mu\text{m}$  pri vrtaní doplna, pri vyvrtávaní  $Ra = 1,0-2,5$   $\mu\text{m}$ , čo ukážu príklady prác. Kruhovitosť otvoru sa pohybuje i u priemerov 60mm niekoľko stotín mm. Vyosenie otvoru závisí na viacerých činiteľoch (od presnosti stroja, od presnosti polohy navrtávacieho puzdra v tlakovej hlave, od použitého vrtacieho nástroja, od materiálu výkovku a jeho rôznorodosti v priereze, od používaných rezných parametrov, od chladenia t.j. od kvality rezného oleja, od chvenia vrtacej tyče pri vrtaní, ale i od obsluhy stroja).

Pri priemeroch vrtania  $\varnothing 29,7$  mm (obr.32), pri hĺbke vrtania 2 700 mm, vyosí nástroj BOTEK normálne  $\gamma = 0,1-0,3$  mm, ale nástroj 420.5 s krátkymi dvoma vodítkami SK vyosil až  $\gamma = 1$  mm. U priemerov  $\varnothing 70-100$  mm a pri hĺbkach vrtania 8 000 mm je pri dodržaní správnych podmienok vyosenie normálne  $\gamma = 0,5-1,0$  mm. Z praxe však sú i prípady nesprávneho vrtania doplna, keď vyosenie pri dĺžke 8 m dosiahlo až  $\gamma = 3$  mm, čo je už nežiaduce. V procese vrtania vrtacia hlava na dlhej vrtacej tyči rúrkového

prierezu vedie síce nástroj vo vrtanom otvore, ale s rastúcou dĺžkou vrtania je viac torzne namáhaná a kmitá, pričom uhol skrútenia tyče môže byť  $\varphi = 2-12^\circ$  [2]. Vzniká chvenie s vlnovitým priebehom, ktoré treba obmedziť, pretože spôsobuje jednak zníženie trvanlivosti nástroja zo SK, jednak zvukové efekty ohrozujú obsluhu stroja, ale chvenie môže spôsobiť až poškodenie povrchu otvoru v dôsledku zadierania vodítok SK (Dral Efekt). Zastarané stroje z prvej polovice 20. storočia používali podpory vrtacej tyče, v tvare celistvých puzdier, z rôznych materiálov. Tie sa časom opotrebovali a pri väčšej vôli začalo vznikať chvenie a puzdra museli byť vymenené. Obsluha niektorých strojov pri hlbokom vrtaní používala na odstránenie chvenia a zvukových efektov drevenú dosku so závažím, ktorá sa opierala o vonkajší povrch tyče. Vývojom nových materiálov (texgumoid, teflon a.i.) a novou konštrukciou puzdier pre vedenie vrtacej tyče v podporných lunetách, ale súčasným riešením konštrukcie vrtacích hláv, zvlášť pri vyvrtávaní s tlmicami (jedným až tromi vodítkami staviteľnými na rozmer po opotrebení v kuželovej drážke) sa vznikajúce chvenie znížilo. Na obr.32 je znázornený najnovší systém tmiča vibrácií tyče, prezentovaný švédskou firmou Sandvik COROMANT. Ručné prestavovanie tlmiačich puzdier, za chodu stroja, je však veľmi nebezpečné, a môže viesť často i k úrazu obsluhy stroja.



**Obr.32 Rotačný tmič vibrácií konštrukcie Sandvik Coromant podľa [2, 11]**

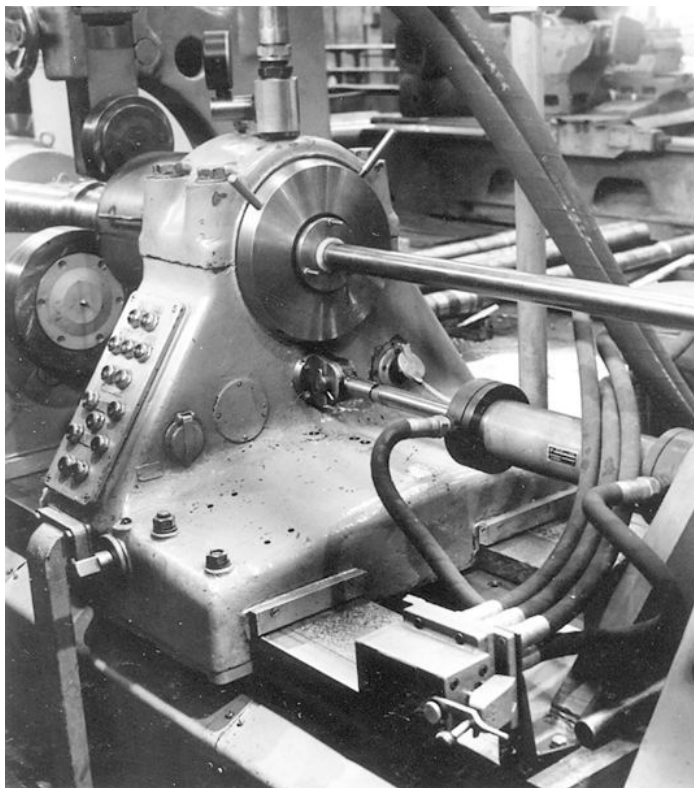
### 3.7 Rekonštrukcia pôvodných hlbokovŕtacích strojov

Pretože systém BTA pochádza pôvodne z výroby zbraní, je potešiteľné, že je dnes s 95 % používaný v civilnom sektore, napr. pri výrobe záťažiek, hlbinných tyčových čerpadiel a ventilov pre ropný priemysel, v oblasti plastických hmôt pre valce výtlačných lisov, v odvetví hydrauliky pre všetky hydraulické valce, pri výrobe náprav lokomotív, v potravinárskom i automobilovom aj leteckom priemysle, ale i pri výrobe tepelných výmenníkov pre čelá kotlov i pre jadrové elektrárne. Preto i stroje pre BTA vŕtanie hlbokých otvorov musia byť podobné.

Bol navrhnutý jednotný rad rozmerov vŕtacích tyčí [1, 2], ale nie z materiálov 11523, ale zo zušľachtených ocelí pevnosti až  $R_m = 1\ 200\text{--}1\ 350$  MPa. Potom sa mohli použiť nové konštrukcie rezných nástrojov doplna T-MAX, na jadro i pre vyvrtávanie s VRP-SK ako je uvedené v [2]. Rezná emulzia bola nahradená špeciálnym rezným olejom s aditívami typu EPA, v začiatkoch žiaľ i s obsahom Cl (EJEKTOL-HV, ABRASOL-V a pod.), ale dnes už bez prísady chlóru (MADIT-DUVROL 22-SLOVNAFT), nové oleje typu TRI-GA, FUCHS, SCHÖLL, a ďalších výrobcov [1, 2]. Uvedieme postupnosť úpravy stroja typu ŠKODA-VHR 500 × 4 000 mm, ale rovnaká bola i rekonštrukcia stroja VHR 500 × 8 000 i 10 000 mm, s výkonom až  $P_{uz} = 75$  kW [2].

Napríklad dlhé súčiastky sú podopierané dvoma lunetami, vŕtacia tyč s jednou lunetou s tmičom vibrácií, nie hydraulickým, ale s rozrezaným kuželovým puzdrom z oboch strán opretým o matice, aby nedošlo k zaklinovaniu na tyči. Ručný prítlak celého suportu tlakovej hlavy pomocou kľuky a pastorka, bol nahradený prítlakom pomocou tlakového valca zo samostatného hydraulického agregátu, čo splnilo požiadavku rýchleho a bezpečného upnutia kusa (obr.33). Vŕtacia tyč priemeru 47 × 5 500 mm, bola vyrobená z ocele 14 331.7 po zvislom zušľachtení v hlbinných peciach, po brúsení a výrobe závitov pre hlavičku doplna Ø55 mm. Vŕtacia tyč je upínaná v podobnom upínači. Upínač bol upravený v spolupráci so ZČU - Sjf Plzeň, pre meranie tlakovej sily  $F_0$  pomocou tzv. tenzometrického prístroja, s možnosťou nastavenia hodnoty sily  $F_0$ , pre vypnutie po opotrebení rezných platničiek z SK. Výtok triesok spolu s olejom bol zachytený do vozíka na triesky so sitami, ktorý vozík je ťahaný vŕtacím suportom (obr.34). Triesky sa pred odvozom do hutí na pretavenie, odstredovali v samostatne postavenej odstredivke triesok CEPA-VZ-6, čím sa usporilo značné množstvo rezného oleja, a znížil sa obsah síry, pri ich pretavovaní a výrobe ocele v elektrických obľukových peciach (EOP). Na takto upravenom stroji bola zvýšená produk-

tivita vrtania, oproti hlavičkám pôvodnej konštrukcie pri chladení s reznou emulziou, 3× až 7× [12, 13].



**Obr.33 Pritláčanie tlakovej hlavy o obrobník hydraulickým valcom ako náhrada ručného dotlačania pákou cez pastorok obsluhou stroja**

Na rekonštruovanom stroji bol vŕtaný priemer  $\varnothing 55 \times 3\,000$  mm, najskôr vŕtacom hlavičkou BTA s prispájkovanými platničkami SK, ale i s hlavami typu COROMANT 420.2 vlastnej konštrukcie, až hlavičkou BOTEK typ 22 s VRP-SK pri nasledovných parametroch:

$$n = 435 \text{ min}^{-1}$$

$$v_c = 70\text{--}75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,16\text{--}0,17 \text{ mm}$$

$$v_f = 70\text{--}74 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q = 300 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

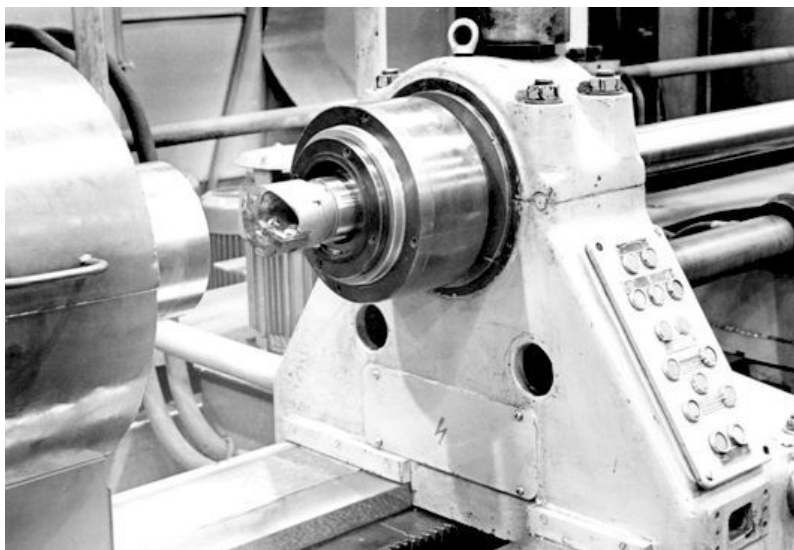
$$p = 4 \text{ MPa}$$

rezný olej EJEKTOL-HV

Opotrebenie vonkajšej reznej platničky bolo  $VB_{p40B} = 0,35-0,5$  mm, stredovej platničky nepovlakovanej  $VB_{p40} = 0,4$  až  $0,8$  mm, pri  $T = 5-6$  ks súčias-tok z materiálu STN 16640.3 o pevnosti  $R_m = 780-850$  MPa. U stroja VHR  $500 \times 8\,000$  mm, boli použité väčšie objemy nádrže, 6 čerpadiel s možnosťou dodávania až  $Q = 600 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ , t.j. pre vrtanie doplna s T-MAX hlavou  $\varnothing 105 \text{ mm} \times 7\,000$  mm, alebo zväčšovanie na  $\varnothing 130 \times 7\,000$  mm. Fotografia tlakovej hlavy stroja  $\varnothing 80-130$  mm s príslušenstvom je na obr.35.



**Obr.34** Nádobna na triesky ťahaná pomocou vrtacieho suportu stroja Škoda  $500 \times 4\,000$  mm s odokrytým vekom pre kontrolu správneho tvaru triesok



**Obr.35 Tlaková hlava stroja Škoda VHR 500 × 8 000 mm spolu s použitou vrtacou hlavou doplna typu T-Max-U s priemerom 105 mm**



**Obr.36 Upravený hĺbokvrtací stroj VHR 500 × 8 000 mm s inštalovaným prístrojom na meranie osovej sily**

V spolupráci s VŠT-FS v Plzni [2], boli rekonštruované hlbokovŕtacie stroje ŠKODA VHR 500 × 4 000 mm a VHR 500 × 8 000 mm, vybavené tenzometrickým snímačom osovej sily v upinači vŕtacej tyče, na princípe tenzometrického dynamometra, tzv. obmedzovačom posuvu, ktorý v prípade prekročenia nastavenej hodnoty  $F_{\text{omax}}$  vypol posuv stroja a tak chránil drahé hlbokovŕtacie hlavy pred haváriou. Obsluha stroja reagovala na zmenu svetelného signálu (zelená farba - červená farba) a zastavila otáčky stroja, vypla čerpadlá oleja, a skontrolovala vŕtáciu hlavičku. Pri poškodení niektorej reznej platničky u hláv T-MAX, túto vymenila, ustavila rozmer a pokračovala v navedení nástroja do otvoru a podľa meradla vŕtanej dĺžky spustila čerpadlá oleja, otáčky stroja až potom posuv, a pokračovala vo vŕtaní. Celkový pohľad na stroj VHR 500 × 8 000, spolu s prístrojom pre meranie osovej sily, ktorý slúži ako ochrana stroja vypnutím posuvu pri jeho preťažení je na obr.36.

### 3.8 Voľba množstva, tlaku a typu rezného oleja pri BTA vŕtaní

Pri vŕtaní hlbokých otvorov systémom BTA je chladiaca a mazacia kvapalina (prostriedok), popri obrábacom stroji a reznom nástroji s tyčou, tretím najdôležitejším prvkom. Medzi vodítkami SK, valcovou fazetkou a stenou otvoru vzniká trenie, čo spôsobuje, že vznikajúce teplo je väčšie ako je tomu u ostatných spôsoboch obrábania. Toto teplo predstavuje nasledovné hodnoty:

- pri vŕtaní doplna BTA Ø20 mm do 16 MJ·hod<sup>-1</sup>;
- pri vŕtaní doplna BTA Ø40 mm do 44 MJ·hod<sup>-1</sup>;
- pri vŕtaní na jadro BTA Ø80 mm do 76 MJ·hod<sup>-1</sup>.

Tieto hodnoty budú u nástrojov BTA s VRP-SK (napr. T-MAX), často i dvojnásobné, pretože sa pracuje s vyššími posuvmi i reznými rýchlosťami. Množstvo privádzaného oleja musí byť preto vyššie. Z praxe môžeme brať ako hodnoverné nasledovné množstvá oleja, určené empiricky:

- $Q = (4-5) \cdot D_0 \cdot \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$  pre vŕtanie doplna hlavami so spájkovanými SK, viac pri väčších dĺžkach a vyšších rezných rýchlostiach,
- $Q = (5-6) \cdot D_0 \cdot \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$  pre vŕtanie doplna a na jadro s hlavami s VRP-SK pri práci s vyššími posuvmi,
- $Q = (2-4) \cdot D_0 \cdot \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$  pre zväčšovanie otvorov BTA hlavami i pre ejektorové vŕtanie doplna.

$D_0$  dosadzujeme v mm.

Prietoková rýchlosť prúdenia oleja v obehu má byť  $v_p = (5-8) \cdot v_t$ , kde  $v_t$  je rýchlosť odvodu triesok z nástroja (približne rezná rýchlosť  $v_c$  [ $m \cdot min^{-1}$ ]). Rýchlosť prúdenia oleja v nástroji  $v_{pn} = 12-16 m \cdot s^{-1}$  a má byť cca  $10 \times$  vyššia ako rýchlosť odvodu triesok s olejom.

Okrem správnej voľby vhodného rezného oleja t.j. dnes už bez obsahu aditív chlóru, je potrebná ich starostlivá filtrácia, chladenie, odstredovanie triesok, ošetrovanie a regenerácia rezných olejov. U strojov bez odstredíviek triesok a filtrácie by mal byť rezný olej z nádrže vymieňaný po  $\frac{1}{2}$  až 1 roku. U sústav s filtráciou a s chladením po 1 až 2 rokoch. Aká je však skutočnosť v podnikoch ktoré využívajú technológiu vrtania hlbokých otvorov? Vypustené oleje z nádrží strojov sa dnes nelikvidujú spaľovaním. Treba ich podrobiť regenerácii (za predpokladu ak neobsahujú chlór), čím nadobudnú pôvodné vlastnosti. Odnosený olej trieskami a súčiastkami treba doplniť novým olejom, čím sa získajú v ňom nové aditíva proti korózii, EPA prísady na báze S a P, skrátka treba i tu šetriť. Z pôvodných rezných olejov používaných do roku 1989 na báze chlóru (EJEKTOL-HV, ABRASOL-V, SHELL Garia T a H a.i.) sú dnes pre vrtanie hlbokých otvorov odporúčané nasledovné nechlórované rezné oleje, napr.:

- SHELL Garia oil typu TC, TX, BX,
- SLOVNAFT: Madit DUVROL-22,
- ECOCUT 610 pre JKV-SK,
- ECOCUT 615 pre väčšie JKV-SK,

a pre ejektorové vrtanie typu:

- ECOCUT 646 pre BTA vrtanie,
- ECOCUT 715 pre všetky systémy hlbokého vrtania,
- TRIGA Praha: EJEKTOL - V PLUS,
- ABRASOL VS PLUS.

### 3.9 Voľba rezných podmienok pri BTA hlbokom vrtaní

Údaje o smerných hodnotách obrábania pri vrtaní hlbokých otvorov systémom BTA sú priemerné hodnoty získané z praxe výroby konkrétnych súčiastok. Závisia od toho či súčiastka je žíhaná na mätko alebo je tepelne spracovaná, od stavu obrábacieho stroja, od kvality naostrenia pôvodných hlavičiek HELLER alebo kvality SK u VRP-SK a nových konštrukcií nástrojov BTA, ale často i od úrovne a schopnosti obsluhy stroja. U konštrukčných ocelí, ocelí k zušľachtovaniu a u nízkolegovaných ocelí sa pracuje s reznými rýchlosťami v rozsahu  $v_c = 70-100 m \cdot min^{-1}$ . U austenitických Cr-Ni a nehrdzavejúcich ocelí sa volia rezné rýchlosti  $v_c = 60-90 m \cdot min^{-1}$ . Nitridačné

ocele sa vrtajú pri rýchlostiach  $v_c = 60-70 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Zliatiny hliníka (Al) a medi (Cu) sa vrtajú pri  $v_c = 120-180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ , u čistého hliníka i viac. Sivá, tvárna liatina a iné, sa podľa požadovanej kvality povrchu vrtajú pri  $v_c = 40-80 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  [2, 10, 11]. Posuvové rýchlosti sú rozdielne, pretože závisia od priemeru vrtáka. U Beisnerových rúrkových vrtákov  $\varnothing 6-15 \text{ mm}$ , budú uvedené v príkladoch prác. Pri priemeroch  $\varnothing 15-50 \text{ mm}$ , ktoré sa u BTA vrtania vyskytujú najčastejšie, sú používané posuvové rýchlosti nasledovné:

- konštrukčné ocele  $v_f = 100-300 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;
- austenitické Cr-Ni ocele  $v_f = 60-150 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;
- u zliatin Cu a Al  $v_f = 250-500 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;
- u sivej a tvárnej liatiny, podľa nároku  $v_f = 100-500 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Posuv treba regulovať podľa tvaru vznikajúcich triesok, a pri konštantnej rýchlosti plynule meniť. Hodnoty posuvov a rezných rýchlostí budú nižšie pri  $L : D \geq 60-100$ , naopak pri  $L : D \leq 30-10$  sa zvyšujú. Aj pri vrtaní na jadro sa hodnoty volia podobne.

Pri vyvrtávaní BTA systémom môžu byť u rovnakých materiálov rezná rýchlosť i posuvy vyššie, v závislosti od požadovanej kvality povrchu. Bežne, vďaka povlakovaným VRP-SK môžu byť rezná rýchlosť vyššie o 30-40 % a posuvy až dvojnásobné.

Pri vrtaní dlhých súčiastok so štíhlostným pomerom  $L : D = 80-150$  musia byť rezná rýchlosť a posuvy tak volené, aby dosiahnutá trvanlivosť hlbokovrtacieho nástroja bola väčšia ako čas  $T =$  dĺžke  $L_v$  vrtanej súčiastky, minimálne  $T = L_v/2$  bežných metrov vrtanej dĺžky.

### **3.10 Hospodárnosť BTA hlbokého vrtania**

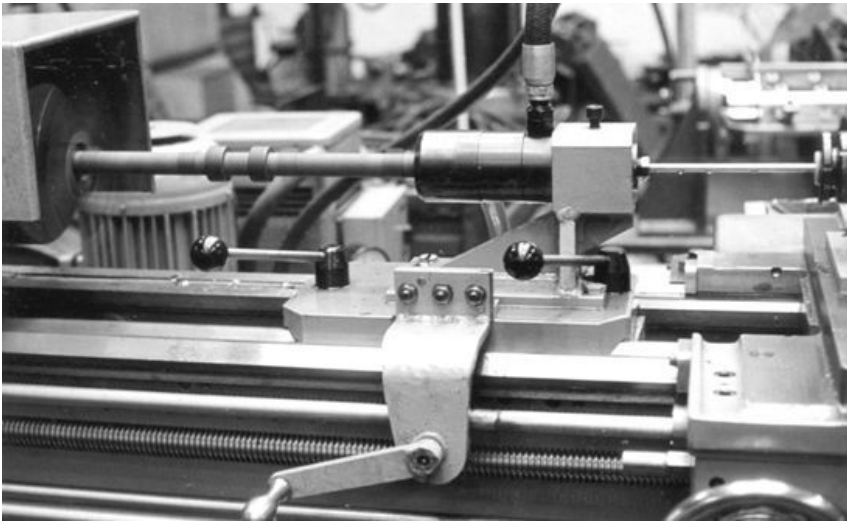
Aby sa pracovalo určitým postupom a systémom vrtania hospodárne, treba aby sa mesačne u JKV-SK vyvrtalo okolo 25 m vrtanej hĺbky. U ejektorového systému vrtania až 25 m za jednu pracovnú smenu.

Metóda alebo systém vrtania BTA je hospodárna, ak vyvíta mesačne na jednom stroji 100 m vrtanej dĺžky. Ak sa však má zariadenie na hlboké vrtanie BTA amortizovať v jednom až 2 rokoch, potom sa musí predpokladať mesačne 300-500 m vrtania. BTA zariadením alebo strojom ktorý pracuje na jednu pracovnú smenu, môže alebo malo by byť vyvítané mesačne približne 500 m otvorov. V porovnaní s konvenčnými nástrojmi je množstvo vyvítaných metrov za hodinu u BTA 4 až 8 násobne viac. Význam BTA vrtania hlbokých otvorov je nesporný, ak sa musia vrtat vysokolegované a vysokopevné materiály napr. vyvrtávaním po tepelnom spracovaní, alebo tzv.

exotické materiály, ktoré sa dajú vŕtať iba systémom hlbokého vŕtania. Všeobecne, čím drahší je výrobok, tým častejšie sa používa metóda hlbokého vŕtania. Navyše, hlbokým vŕtaním sa dajú dosiahnuť také presnosti a drsnosť povrchu, že ďalšie operácie nie sú potrebné. Ak vezmeme náklady na strojovú hodinu hlbokovŕtacieho stroja či zariadenia ako 100 %, potom podiel nákladov na nástroje predstavuje 12-6 %. Prax ukazuje, že pri zvýšení nákladov na nástroje z 10 % na 15 % je často hospodárnejšie použiť nástroje kvalitnejšie s dlhšou trvanlivosťou či životnosťou, takže sa bude vŕtať rýchlejšie, a kvalita otvoru sa zlepší.

### **3.11 BTA hlboké vŕtanie Beisnerovým rúrkovým vŕtákom**

Zvýšenie produktivity a kvality povrchu vŕtaného otvoru malých priemerov možno dosiahnuť prechodom z rýchlorezných skrutkových vŕtákov na rúrkové SK vŕtáky s vnútorným tlakovým vyplavovaním triesok. Ako nástroj sa použije rúrkový vŕták s reznou platničkou a s dvoma vodičkami, prispájkovanými na obvode a v čele rúrky. Vŕtanie rúrkovým vŕtákom sa zabezpečovalo vyvinutým zariadením Dx-Oca 02194, na sústruhu SV18 RA × 1 000-1 250 mm. Na obr. 37 vidieť z čelného pohľadu od obsluhy stroja nosič tlakovej hlavy na lôžkach stroja, ďalej tlakovú hlavu, obrobok (vačkový hriadel' T-613), klúkový mechanizmus pre pritláčanie tlakovej hlavy k súčiastke, a excentrické zaist'ovanie polohy držiaka tlakovej hlavy o spodnú časť lôžka, ako u koníka sústruhu je zvykom. Vpravo vidieť vŕták s upínačom na suporte stroja. Sústruh obsahuje tzv. prídavnú nádrž s obsahom  $V = 560$  l, vyklápací žľab s trieskami a so sitami, rúрку odvodu triesok do žľabu. Nádrž pozostáva z časti na nečistý olej, ktorý prechádza sitami, prepážkami, okolo permanentných magnetov do nádrže čistého oleja, v ktorej sú čerpadlá so štrbinovými filtrami, elektromotor s čerpadlami a prípadne vzduchový chladič. Triesky po sedimentácii oleja, na začiatku novej smeny, sa odstreďujú na odstredivke CHC-61-E, alebo CEPA VZ-5.



**Obr.37 Čelný pohľad na nosič tlakovej hlavy  
a samotnú tlakovú hlavu na sústruhu SV18RA**

Vrtanie dvoch paralelných otvorov  $\varnothing 12 \times 660$  a  $810$  mm, s roztečou medzi otvormi  $24$  mm, sa robilo s rotujúcim rúrkovým vrtákom BTA, na upravenom sústruhu  $SU63A \times 5\,000$  mm. Súčiastka z materiálu 12 050.6 o pevnosti  $R_m = 750-780$  MPa, bola z polotovaru  $\varnothing 100 \times 1\,510$  mm, osústružená po tepelnom spracovaní na upínacie priemery  $\varnothing 75$  f7 a  $\varnothing 90$  f7, a upínaná v prípravku na suporte stroja v prizmách, a konala pracovný posuv. Aby sa dosiahli potrebné hodnoty posuvov, bolo súčasťou adaptácie sústruhu i zabudovanie prídavného variátora z TOS Kuřim. Výstupný hriadeľ variátora je napojený na výstup posuvovej lýry stroja. Pri otáčkach vrtáka  $n = 1\,180 \text{ min}^{-1}$  bolo možné dosiahnuť plynulú zmenu posuvu v rozsahu  $v_f = 20-50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Dĺžka vrtania sa sledovala na meracom pravítku na lôžku stroja. Nádrž s olejom je postavená za strojom a má objem  $600$  litrov. Hydraulický agregát má čerpadlo s  $Q = 40$  (63)  $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$  a elektromotor o  $P_{\text{úž}} = 5,5$  (7,5) kW. Tlak oleja sa reguloval prepúšťacím ventilom. Vrták  $\varnothing 12 \times 1\,300$  mm má rúрку  $\varnothing 10$  f7/2mm z materiálu 14331.7 a je upínaný v upínacom puzdre vretena stroja maticou a klieštinou. Odvod triesok je vnútrom rúčky vrtáka a cez vreteno stroja do zachytávača triesok a z neho do nádrže oleja. Parametre vrtania vrtákom BTA typu Beisner, ktorý je podporovaný prestavitel'nou lunetou s tlmičom vibrácií:

$n = 1\ 180\ \text{min}^{-1}$   
 $f = 0,026\text{--}0,03\ \text{mm}$   
 $Q = 40\ \text{l}\cdot\text{min}^{-1}$   
rezný olej P2DS  
 $T = 90\text{--}125\ \text{min}$   
 $t_{s1} = 18\ \text{až}\ 20\ \text{min}$

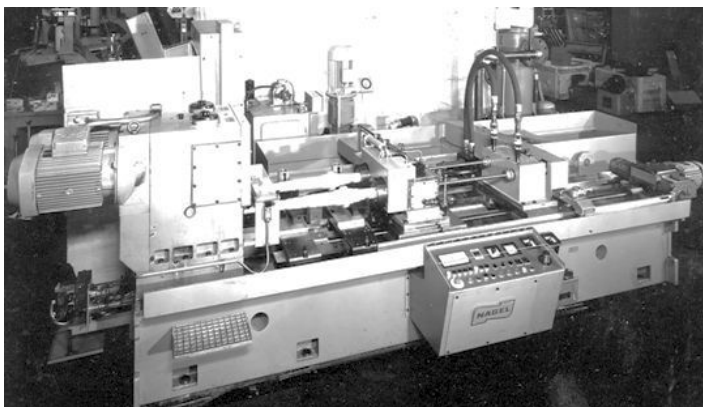
$v_c = 45\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$   
 $v_f = 30\text{--}35\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$   
 $p = 3,5\text{--}4\ \text{MPa}$   
 $VB = 0,35\text{--}0,4\ \text{mm}$   
 $t_{s2} = 23\text{--}25\ \text{min}$

Na takto upravenom sústruhu sa za smenu vyrobilo až 5 ks PIESTNIC. Úspora normočasu na 1 ks predstavovala oproti vrtaniu na horizontke skrutkovými vrtákmi 5,65 hod.

### 3.12 BTA hlboké vrtanie na stroji NAGEL a LOCH-TBSR

Pre výrobu rôznych súčiastok špeciálnej výroby boli použité špeciálne hlbokovrtacie stroje a nové rezné nástroje a vrtacie tyče, včítane príslušenstiev. Ako nástroje sa použili progresívne nástroje pre vrtanie doplna a vyvrtávanie, od Sandvik COROMANT, HELLER, BOTEK a dosiahnuté výsledky pri konkrétnych materiáloch súčiastok a ich dĺžok sú uvedené v tabuľke 1 a pre austenitické Cr-Ni ocele v tabuľke 2. Vzájomne sa porovnávali originál nástroj je Sandvik COROMANT, 420.5 a 420.6 so špeciálne vyrábanými pre túto výrobu. Na stroji NAGEL sa vrtali súčasne 2 rovnaké súčiastky. Podobný stroj pre dĺžku 1 000 mm, je na obr.38. Ako ukazujú príslušné tabuľky, v porovnaní s použitím originál nástrojov COROMANT so správne volenou geometriou a s použitými platničkami SK spájkovanými do lôžok telesa hláv odlievaných presným odlievaním, boli používané rezné rýchlosti u rovnakých materiálov a priemerov u hlavičiek vlastnej výroby s SK menšie, a dosahované trvanlivosti, pri všeobecne vyššom opotrebení, nižšie. Na stroji LOCH-TBSR300-20/45-2500 [2, 10, 11] o výkone  $P_{už} = 45\ \text{kW}$  a s dodávaním množstva oleja  $Q = 80\text{--}860\ \text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ , boli výsledky s reznými nástrojmi BTA-C-420.6, oproti rezným nástrojom BTA-420.5, ešte výraznejšie. Bolo to spôsobené rozdielnou kvalitou SK platničiek ale i technológiou výroby, najmä nesprávnym brúsením.

U väčších nástrojov T-MAX pre vrtanie doplna a vyvrtávanie, boli použité platničky TPUN 220412 GC 135, TPMX 220412 R22 GC 135 a TPUN 160312 GC 135, a dosiahnuté výsledky boli podstatne vyššie (trvanlivosť ako aj pro duktivita), než u konkurenčných zahraničných výrobcov spekaných karbidov. V tabuľke 2 sú uvedené dosiahnuté výsledky vrtania BTA doplna na stroji NAGEL B2R 60 × 3000 mm.



Obr.38 Dvojvretenový hlbokovŕtací stroj NAGEL B2R 60

Tab.1 Príklady vŕtania rúrkovými BTA vŕtákmi

Parametre vŕtania	Príklady vŕtania hlavami BTA- 420.6 COROMANT - $D \times L$ 26 × 1 820; 40 × 1 870; 40 × 785; 40 × 1 415; 40 × 2 000				
Materiál	11523.1	15230.3	14230.9	12061.1	17247.1
polotovár $D_p \times L$	45 × 1 820	85 × 1 870	výkovok	75 × 1 495	100 × 2 000
$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	1000	700	700	720	400
$v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	82	88	88	90	50
$f$ [mm]	0,15	0,17	0,15	0,12-0,13	0,22
$v_f$ [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	150	120	105	82-90	88
$Q$ [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	120	200	200	200	200
$p$ [MPa]	3,5	2,3	2,5	2,4	2,5
rezný olej	CMT UNIPLUS 5 - 30				
$VB$ [mm]	0,5	0,6	0,8	0,7	0,8
$T$ [ks]	10	10	9	11	3
$T$ [bm]	18,2	18,7	7	15,5	6
$t_{AB}$ [min]/2ks	12,1	15,6	7,8	15,7	22,7
$N_0$ [kW]	2,2	2,5	2,5	2,4	2,5
$N_v$ [kW]	6,7	11,8	8-10	9,6-11	9-10,3
Vyosenie $\gamma$ [mm]	0,2-0,6	0,3-0,8	-	0,5-0,6	0,7-0,8

Tab.2 Príklady BTA vrtania austenitických Cr-Ni ocelí

Parametre vrtania	Príklady vrtania BTA doplna austenitických Cr-Ni ocelí $D \times L$ 20,5 × 410; 28 × 2 500; 45 × 2 600; 55 × 1 200; 124 × 2 600				
	Materiál	17247.1	17247.1	17246.1	17247.1
Nástroj $n_n$	985	660	455	425	135
Obrobok $n_b$	50	50	50	50	50
$n = n_n + n_b$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	1035	710	505	475	185
$v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	66,6	62,5	71,4	82,1	72
$f$ [mm]	0,19	0,14	0,18	0,157	0,204
$v_f$ [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	200	99	91	66,7	37,8
$Q$ [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	120	460	580	680	820
$\rho$ [MPa]	3,5	2,8	1,5	1,2	5,0
rezný olej	SCHELL GARIA - T				
BTA nástroj	420.6	420.2	420.2	420.2	424.9
$F_0$ [Mp]	0,3	0,5	1,1	1,2	2,3
$VB$ [mm]/ks	0,1	0,25	0,3	0,2	0,3
$t_{s0}$ [min]	2,05	25,5	28,6	18	69

### 3.13 BTA hlboké vrtanie doplna nástrojmi BOTEK

Je všeobecným pravidlom vrtať hlboké otvory do zušľachtených materiálov vyššej pevnosti v stave žíhanom na mätko a potom vyvrtávať a dokončovať. Pri štíhlostnom pomere  $L : D = 50-100$  vznikajú ťažkosti s dodržaním veľkosti prijateľnej odchýlky osi diery od teoretickej osi. Pri výrobe strojnjej súčiastky s dierou na hotovo  $\varnothing 30 \text{ H8} \times 2 \text{ 720 mm}$  z materiálu STN 16445.8, pevnosti  $R_m = 1 \text{ 050-1 250 MPa}$  bolo odskúšané a realizované v praxi pri vrtaní na stroji SIG B31/4 NC (obr.40) použitie vrtacej hlavy doplna BOTEK typ 44, rozmer  $\varnothing 29,7 \text{ mm}$  (obr.39), s VRP-SK t.j. vonkajšia P25B, vnútorná P40. Vodítka sú taktiež vymeniteľné, a sú 3 typu SK-P20 v brúsených drážkach upevnené skrutkou. Ustavovanie na rozmer vonkajšej platničky sa robí pomocou staviteľného klína a skrutky, po uvoľnení upínacej skrutky v strede platničky. Tá má na spodnej strane drážkovanie pod uhlom, čo umožňuje ustavovanie voči vodítkam s presnosťou  $+0,02 \text{ mm}$ .

Parametre vrtania, pri ktorých sa dosahujú tak uspokojivé výsledky presnosti a vyosenia  $\gamma = 0,1-0,3$  mm/2 720 mm, sú nasledovné:

$$n = 400 \text{ min}^{-1}$$

$$v_c = 37,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,08-0,12 \text{ mm}$$

$$v_f = 35-47 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

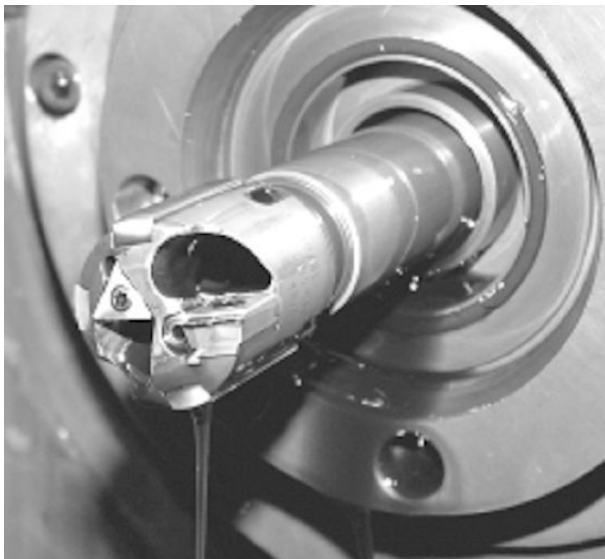
rezný olej CMT UNIPLUS 5-30, neskôr DASCOLENE

$$Q = 170 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$p = 5,0 \text{ MPa}$$

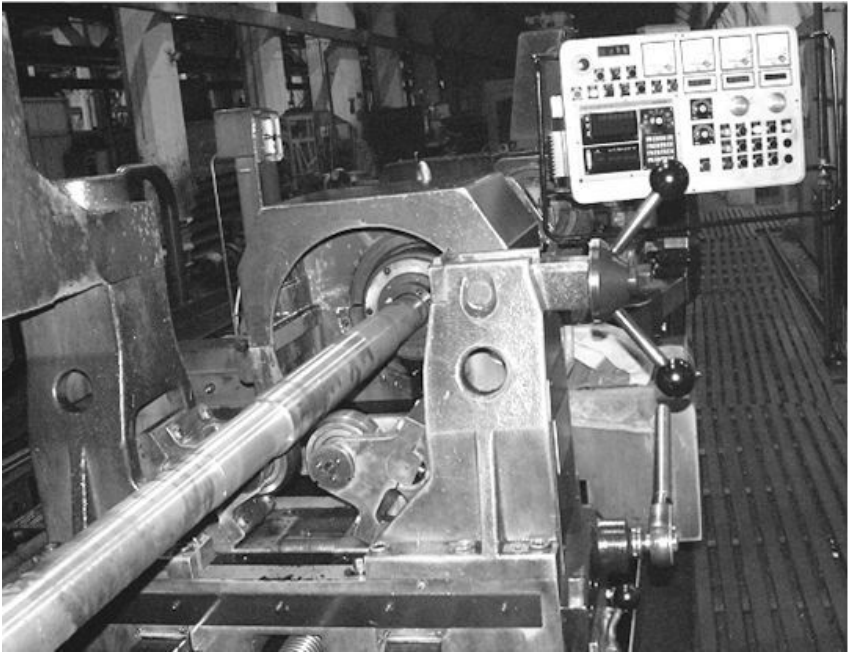
$$t_{As} = 70-57 \text{ min}$$

$$VB = 0,25-0,3 \text{ mm}$$



**Obr.39 Vrtacia hlava doplna typu BOTEK s vonkajšou platničkou P25 B a vnútornou tangenciálne upnutou reznou platničkou**

Vyosenie otvoru po vrtaní s novým nástrojom a novým navrtávacím puzdrom dosahuje veľkosti  $\gamma = 0,05-0,1$  mm/2 720 mm. Po opotrebení vrtacieho puzdra i hlavy, je maximálne možné vyosenie  $\gamma = 0,3$  mm. Potom sa puzdro i hlava mení (VRP-SK sa pootočí na novú reznú hranu). Dosiahnutá presnosť rozmeru, drsnosť povrchu  $Ra = 1,6-3,2 \mu\text{m}$  a malé vyosenie je zárukou, že dokončovacie opracovanie na rozmer  $\varnothing 30,12^{+0,02}$  mm sa robí zvislým honovaním pred chrómovaním povrchu drážok, i po chromovaní.



**Obr.40 Hlbokvrtací stroj systémom BTA typu SIG B31/4**  
pre vrtanie priemeru 29,7 × 2 720 mm BTA vrtákom BOTEK

Vrtanie súčiastok typu Náprava (obr.42) sa robí taktiež nástrojmi BOTEK, typ 44, na hlbokvrtacom stroji SIG-B31/8 CNC (obr.41). Použitá parametre vrtania a technológia dokončovania je podmienená požiadavkou presnosti a drsnosti povrchu. Pri použití nástrojov T-MAX sa otvory honovali, pri aplikácii hlavičiek BOTEK pri nižších posuvových rýchlostiach, môže honovanie byť i vynechané. Parametre vrtania NÁPRAVY z materiálu E-A4T = AISI5050, s medzou pevnosti  $R_m = 950-1\ 100$  MPa sú nasledovné:

Vrtaný priemer:  $\varnothing 65 \times 2\ 288$  m

Vrtacia hlava: BOTEK Typ 44, VRP-SK: P40B, obe povlakované TiN.

Podrobnosti i s meraným opotrebením VRP-SK.

Parametre vrtania NÁPRAVY a dosiahnuté výsledky:

$n = 258 \text{ min}^{-1}$   $v_c = 52,7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

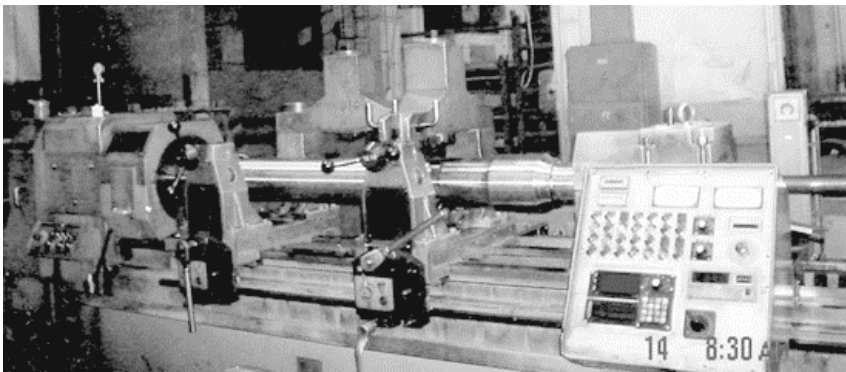
$f = 0,18 \text{ mm}$   $v_f = 47 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

$Q = 460 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$   $p = 3 \text{ MPa}$

rezný olej DASCOLENE 598 DB-R-STUART

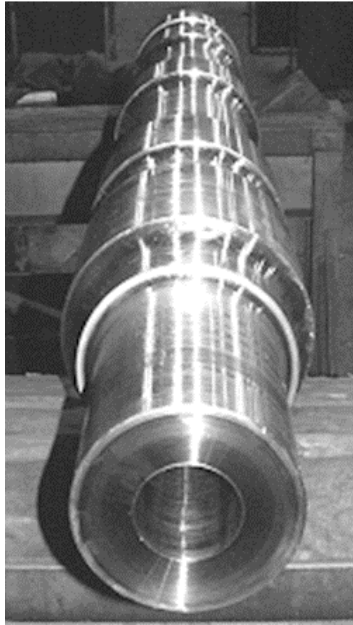
objem nádrže  $V = 6\ 000$  l

osová sila  $F_o = 13,5-14$  kN  
ochrana nástroja nastavená na hodnotu  $F_o = 15$  kN  
príkon vrtania  $P_v = 11,5-12,5$  kW, ochrana  $P_{max} = 14$  kW  
trvanlivosť VRP-SK 3 ks =  $3 \times 48,7$  min = 146 min, vonkajšia P40B  
opotrebenie na chrbtovej ploche  $VB = 0,2$  mm  
životnosť vonkajšej VRP-SK  $Z = 292$  min = 13,7 m  
trvanlivosť vnútornej VRP-SK P40B  $T = 6 \times 48,7$  min = 82,2 m  
opotrebenie  $VB = 0,3-0,5$  mm  
vyosenie otvoru  $\gamma = 0,1-0,3$  mm/2 288 mm  
dosiahnutá drsnosť povrchu  $Ra = 1,6-2,2$   $\mu$ m



**Obr.41 Hlbokovrtací stroj systémom BTA typu SIG B31/8 CNC**  
pre vrtanie súčiastky Náprava BTA vrtákom BOTEK typ 22

Pri vrtaní hlavami BOTEK nesmie hlava a vodítka vychádzať úplne z otvoru. Pri spätnom rýchloposuve dochádza totiž potom k nárazu vodítok o čelo obrobku a k ustrihnutiu skrutiek resp. k poškodeniu telesa BTA hlavy.



*Obr.42 Súčiastka Náprava po vŕtaní priemeru 65 × 2 288 mm  
vŕtacou hlavičkou BOTEK s VRP-SK*

### **3.14 BTA vŕtanie doplna a na jadro súčiastok väčších priemerov**

V procese výroby bol použitý stroj určený pre výrobu veľkorozmerných súčiastok jadrovej energetiky pre BTA vŕtanie hlbokých otvorov. Ako nástroje boli odskúšané nástroje od f. HELLER so spájkovanými nožmi a nástroje T-MAX. Prvým príkladom je vŕtanie doplna u súčiastky typu Tŕň z materiálu ČSN19613.6 s tvrdosťou HB =253-285 o rozmeroch Ø309 × 3 600 mm. Pre vŕtanie Ø100 × 3 000 mm sa použila vŕtacia hlava T-MAX 424.9 1000 BTA COROMANT s VRP-SK TPUN 220412 a TPUX 220412 GC 135 a S4.

Parametre vŕtania:

$$n = 200 \text{ min}^{-1}$$

$$v_c = 63 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,305 \text{ mm}$$

$$v_f = 61 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$t_{As} = 49 \text{ min}$$

$$T = 12 \text{ min}$$

$$Q = 430 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$p = 0,5 \text{ MPa}$$

V porovnaní s vŕtaním nástrojom od spoločnosti HELLER bol typ T-MAX 424.9, ktorý je produktívnejší 1,74×.

Dnes sa používa už rezný nástroj 424 .10 s povlakovanými VRP-SK a to typ TPGX (obr.44).

Druhým príkladom je hlboké vrtanie na jadro výkovku z materiálu OCH18N12T (ČSN 17247.1). Vrtací nástroj je opäť T-MAX 420.7 S so šírkou vrtania  $a_p = 87$  mm, rozdelenú na 9 rezných platničiek typu TPUN 160312 z GC 135 a S4 od Sandviku COROMANT. Vrtacia tyč má rozmery  $\text{Ø}346 \times 12\,000$  + adaptér 44. Parametre vrtania na jadro (obr.43 až 45) a dosiahnuté výsledky:

$$n = 36 \text{ min}^{-1}$$

$$v_c = 48,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 11,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 0,3154 \text{ mm}$$

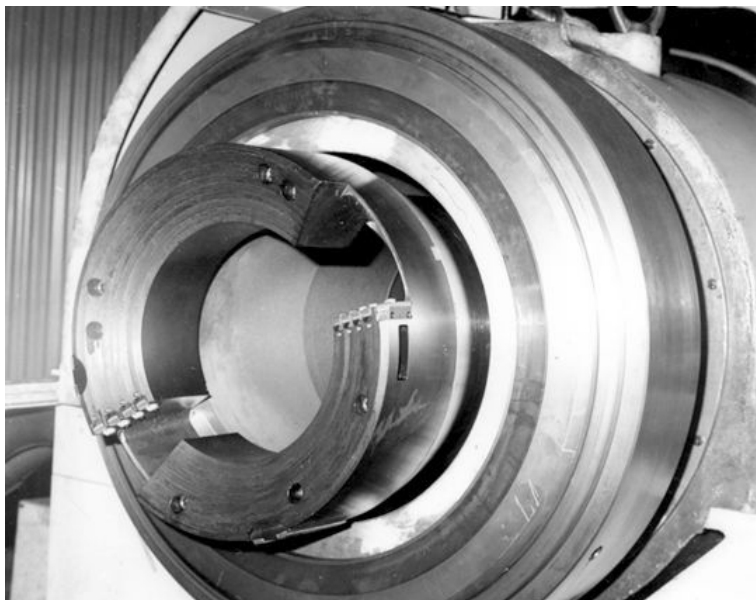
$$Q = 1\,530 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\rho = 0,15 \text{ MPa}$$

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

posuvová sila  $F_o = 2,5\text{-}3,3$  kN

príkion na prázdno  $N_p = 15$  kW,  $N = 95$  kW



**Obr.43 Vrtacia hlava na jadro od Sandviku Coromant určená na vrtanie priemeru 376 mm s jadrom 254,7 mm**



*Obr.44 Čelný pohľad na vŕtaciú hlavu na jadro a tlakovú hlavu v upínači*



*Obr.45 Súčiastka s jadrom vŕtaná na hlbokovŕtacom stroji Schiess s tzv. Froriep rezným nástrojom*

### 3.15 Viacvretenové hlboké vrtanie na BTA horizontkách

V priemyselnej praxi existujú špecifické požiadavky strojných súčiastok a zariadení ktoré majú v svojom výrobnom programe výrobu veľkorozmerných zariadení pre chemický, energetický a jadrový priemysel. Sú to najmä rôzne tvary trubkovníc, výmenníky tepla, parogenerátory, podchladzovače a podobne, ktoré majú rôzne súčiastky. Všetky tieto súčiastky sú veľkých rozmerov, Ø600-3 600 mm, váhy 20 t i viac, s veľkým počtom hlbokých otvorov od Ø12 mm až do Ø60 mm a hĺbky 160-650 mm i viac.

Napr. tzv. trubkovnica s priemerom Ø2 300 mm pre vysokotlakový výmenník má 5 000 otvorov Ø16,3<sup>+0,2mm</sup> o hĺbke 360 mm, parogenerátor má 10 072 otvorov Ø16,3<sup>+0,12</sup> mm o hĺbke 136-160 mm. Iný typ trubkovnice pre stripper váži 17 789 kg pri Ø2 422 mm a hrúbke 508 mm, má 2 015 otvorov Ø31,4<sup>+0,2</sup> mm. V jadrovom priemysle napríklad zabezpečujú rovnaké komponenty pre sekundárny okruh reaktorového zariadenia. Vo všetkých prípadoch ide o výrobu hlbokých otvorov. Treba si položiť otázku, ako riešiť zvýšenie produktivity vrtania, ale najmä kvalitu výroby, čo bol závažný problém, ktorý sa riešil náhradou vrtania skrutkovým vrtákom, výhrubníkom a výstružníkom z rýchlereznej ocele na veľkých horizontkách typu: W 160 G-NCS ŠKODA - WI 130, WH13 a WHN13 TOS Varnsdorf, WD 160, WD 200 alebo na VD 130 od TOS Hulín, pomocou patentovaného prídavného zariadenia čsp. 143 590. Toto zariadenie bolo aplikované vo viacerých výrobách. Pretože sa jedná o materiály odolné voči korózii vodíka (podľa ČSN 15 421.1, ČSN 13 123.1), austenitické Cr-Ni ocele (ČSN 17 246.1, 17 247.1, 17 347.1, OCH18N9, OCH18N10T a pod.), u ktorých technológia hlbokého vrtania je veľký problém i vo svete, zvolila sa technológia BTA vrtania najskôr na jednovretenovom zariadení, neskôr ako AO 195 539 i na trojvretenovom zariadení. Pre bežne vrtané materiály s použitím prídavných zariadení na horizontke sa dosahuje rezných rýchlostí okolo  $v_c = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , posuv podľa priemeru  $f = 0,06-0,12 \text{ mm}$ , tolerancia priemeru IT9-IT10, drsnosť povrchu u materiálov triedy 15 je  $Ra = 0,8-1,6 \mu\text{m}$ , u ocelí triedy ČSN 11 a 13, je dosahovaná  $Ra = 1,6-3,2 \mu\text{m}$ . K zabezpečeniu výroby stovky tisíc otvorov u parogenerátorov (obr.46) jadrových elektrární sa v procese výroby používa tzv. trojvretenový typ, ktorý umožňuje súčasné vrtanie 3 otvorov od Ø15 mm do Ø35 mm systémom hlbokého vrtania BTA. Staviteľnosť vretien je v rozsahu 130 až 180 mm. Pojazd stroja v ose X = 4 000 mm, v ose Y = 2 500 mm a v ose Z = 1 000 mm (hĺbka vrtania). Riadiaci systém CNC stroja je FANUC 3000C. Pre vrtanie najviac sa vyskytujúceho otvoru Ø16,3<sup>+0,12</sup> mm, hĺbky 136 a 160 mm sa používa vrtacia

hlava, ktorej dosiahnutá trvanlivosť  $T = 8$  m vrtanej dĺžky na jedno naostrenie. Na uvedenom stroji MITSUBISHI sa zabezpečuje i vrtanie tzv. trubkovic a podobných súčiastok s navarenými výstelkami hrúbky 6-10 mm a to i u austenitických Cr-Ni ocelí pre unikátne výrobky ťažkej chémie a energetiky. Pre vrtanie  $\varnothing 16,5 \times 200$  mm do materiálu 19Mn5, pevnosti  $R_m = 520$  až 620 MPa, odporúča spoločnosť HELLER nasledovné rezné parametre, pre spekaný karbid typu P10:

$$n = 1\,520 \text{ min}^{-1}$$

$$f = 0,083 \text{ mm}$$

$$Q = 65 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Ra = 1,6\text{-}3,2 \text{ } \mu\text{m}$$

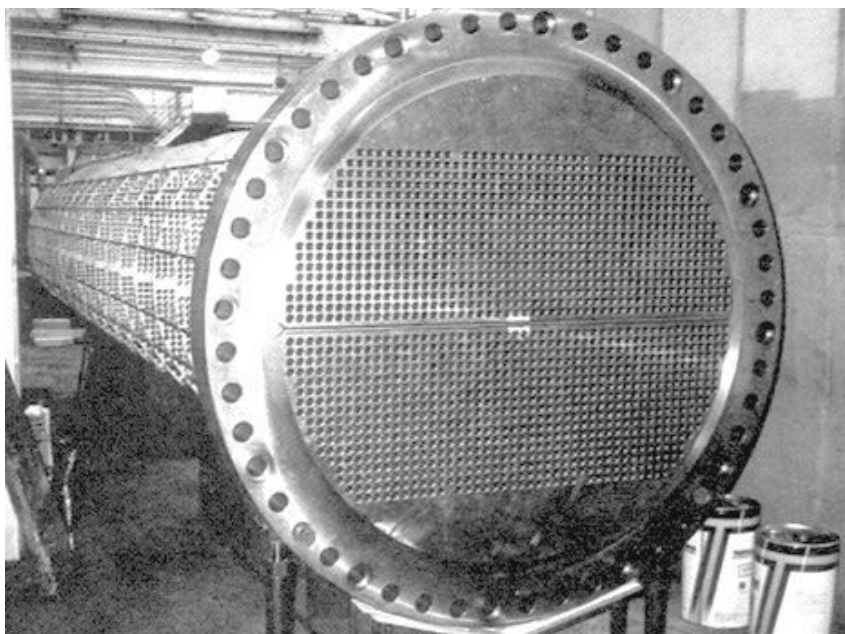
počet preostrení  $i = 6\text{-}8 \times$

$$v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_f = 125 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$p = 2,5\text{-}3,5 \text{ MPa}$$

$$\text{čas vrtania } t_s = 1,6 \text{ min}$$



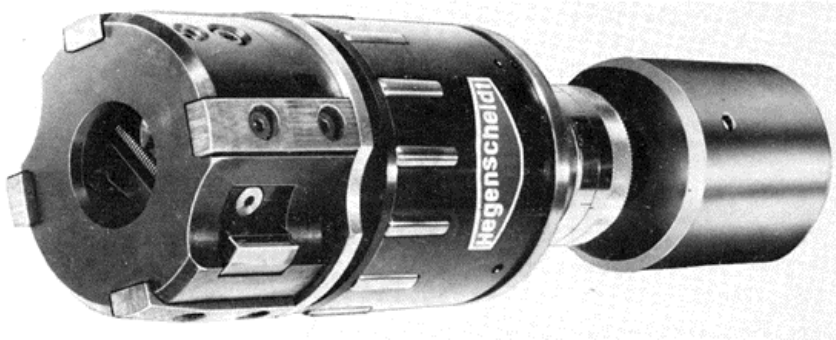
**Obr.46** Výmenník tela určený pre parogenerátory  
vrtaný BTA systémom hlbokého vrtania

### 3.16 Výroba hydraulických valcov

Pri výrobe hydraulických valcov je rozhodujúci použitý polotovár. Iná technológia sa použije pri rúrke valcovanej za tepla, podľa STN 425715 (DIN 2448), ako u presnej valcovanej rúrky STN 426711.31, iná pri tenkostennom alebo hrubostennom valci, v závislosti i na priemere a dĺžke valca.

V USA oproti Európe sa používajú a uprednostňujú zvárané rúrky. Pri použití za tepla valcovanej rúrky s veľkými prídavkami a nepresnosťami, sa všeobecne otvor vyvrtáva na viac záberov, potom sa vystružuje lúpacou geometriou vystružovacieho plávajúceho bloku v hlave s dvoma nožmi staviteľnými na rozmer v plávajúcej kazete. Nakoniec sa otvor dokončuje honovaním ( $\text{ØD H7}$ ). Takto sa opracovávajú valce s dĺžkou  $L = 5\text{--}11$  m na obrábacom stroji WOHLBERG, B800B  $\times$  11 000 mm. Vyvrtávacie hlavy sú typu HELLER pre ťažný spôsob opracovania otvoru s VRP-SK, s vodičkami a tlmiacimi lištami proti chveniu. Ustavovanie sa robí v hrotoch. Vystružovacie hlavy sú taktiež od firmy HELLER pre presnosť  $\text{ØD}_0 \text{ H9}$ . Ťažné vyvrtávacie hlavy s 1 nožom s VRP-SK sa používali i pri výrobe valcov hlbinných tyčových čerpadiel (HTČ) priemerov 29, 38, 57, 70 a  $95 \times 4\ 500$  mm, na strojoch SIG-B31/8, pri  $v_c = 58\text{--}75 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,09\text{--}0,15$  mm, s chladením olejom a dosahovalo sa vyosenie v rozsahu  $\gamma = 0\text{--}0,15$  mm. Konečné opracovanie bolo robené honovaním s IT H7. V procese výroby sa taktiež používa technológia opracovania otvorov valcov pre rôzne účely na obrábacích strojoch typu LOCH TB 2000-6/12-30, TBSR 300-45/20-2500 a 6500 resp. TB 4000-12/24-45 (ŠKODA Plzeň). Ako chladiaca kvapalina sa používa rezný olej EJEKTOL-V, dnes už bez chlóru (EJEKTOL-V PLUS). Dokončovacie opracovanie sa robí na jednu operáciu na rovnakom stroji, združeným nástrojom RDS Retrac HEGENSCHIEDT (obr.47), s ktorým sa vystružuje otvor s prídavkom 0,04 mm na valčekovanie a súčasne sa staticky valčekuje otvor v tolerancii  $\text{ØD H8}$ . Pri lúpacom vystružovaní vzhľadom na geometriu oboch proti sebe sa nachádzajúcich nožov (obr.48) špeciálnej geometrie (podrobne v časti o vystružovaní), vzhľadom na obrábané materiály valcov: 11453, 11523, sú používané rezné rýchlosti pri vystružovaní  $v_c = 100\text{--}120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ , posuvové rýchlosti  $v_f = 500\text{--}1000 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , čo predstavuje posuvy  $f = 0,8\text{--}1,5\text{--}3,0$  mm. Drsnosť povrchu pred valčekovaním môže byť  $Ra = 3,2\text{--}5,0 \mu\text{m}$ , a po valčekovaní je dosahovaná  $Ra = 0,2$  až  $0,8 \mu\text{m}$ . Pri veľkej dĺžke valcov, nad 5 000 mm, je účelné pracovať s otáčajúcim sa nástrojom a protibežne obrobkom, pri  $n = 50 \text{ min}^{-1}$  u obrobku. Pri použití rezného oleja EJEKTOL a diaľkovom zoradovaní vystružovacích

nožov je možné dosiahnuť  $Ra = 0,2-0,8 \mu\text{m}$  a trvanlivosť nožov SK - P20 v rozsahu  $T = 40-80 \text{ m}$  dĺžky valcov.



**Obr.47** Kombinovaná vystružovacia a valčekovacia hlava RDS Retrac s nastaviteľnými nožmi a skrutkou priamo cez vŕtaciu tyč

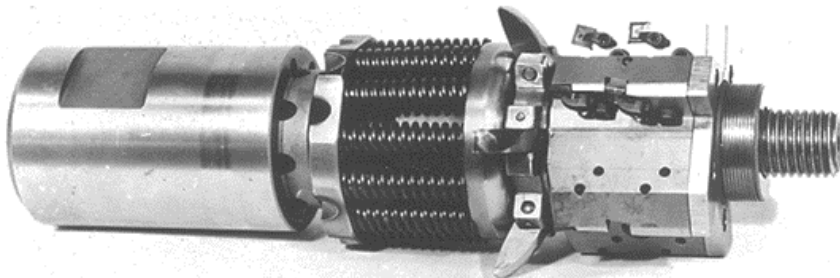


**Obr.48** Kombinovaná vystružovacia a valčekovacia hlava s priemerom 110 mm, určená k výrobe hydraulických valcov

### 3.17 Technológia vyvrtávania odstredivo liatych rúr

V chemickom priemysle sa používajú odstredivo liate rúry z materiálov na báze Cr-Ni ocelí napr. 40NiCr2520, 40NiCr2530, NiCr2535 s prísadami Nb, W, Mn a Co. Rúry sa odlievajú do kokíl a rovnajú a opracováva sa vnútorný

priemer tak, aby sa dodržala rovnaká hrúbka steny. Opracovanie otvorov rúrok sa robilo ťažnými hlavami špeciálnej konštrukcie HELLER, uvedenej na obr.49.



**Obr.49 Špeciálna ťažná vyvrtávacía hlava**  
pre obrábanie priemerov od 67,5 mm do 150 mm

Na trhu existujú hlavy HELLER od priemeru  $\varnothing 50$  do  $\varnothing 600$  mm, so spájkovanými nožmi zo spekaného karbidu, ktoré sa v hlavičke prebrusujú na rovnaký rozmer. Aj Sandvik COROMANT vyrába ťažné hlavy podobnej konštrukcie, typ 424.35, rovnakého rozsahu priemerov, s VRP-SK. Ťažné vyvrtávacie hlavy majú dve rady VRP-SK za sebou, v počte 5 ks (do  $\varnothing 130$  mm) až 7 ks u väčších hláv. Hrubovacie VRP-SK sú typ SPGR 090308-GC 135, hladiace sa preostrujú z opotrebených hrubovacích. Stroj je pre systém BTA vŕtania, má tlakovú hlavu do  $\varnothing 150$ mm, ťažný vreteník s plynulou zmenou otáčok tyče. Súčiastky sa upínajú v samostrediacich hydraulických zverákoch. Stroj má potrebné kontrolné prístroje a tlmiče vibrácií na rotujúcej tyči a podperných lunetách. Pri vyvrtávaní sa používajú tieto parametre pre SK:  $v_c = 30-40 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $f = 0,12-0,18 \text{ mm/nôž}$ ;  $a_p = 4-5 \text{ mm}$ . Trvanlivosť  $T = 2-3$  rúry, t.j. 6-9 bm. Zo skúšaných VRP-SK sa najlepšie osvedčil druh GC-135 Sandvik COROMANT. Pre materiál X15CrNiSi2520, pevnosti  $R_m = 600-700 \text{ MPa}$  a opracovaní otvoru priemer po odliati 60 mm, zväčšuje HELLER hlavou s 3 nožmi na  $\varnothing 72$  mm rúru dĺžky 3 000 mm pri  $v_c = 70 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $f = 0,69 \text{ mm} = 0,23 \text{ mm/nôž}$ ;  $v_f = 210 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $t_s = 14 \text{ min}$ ;  $Ra = 4 \mu\text{m}$ ;  $p = 0,5 \text{ MPa}$ ;  $Q = 220 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . Otvory sa ešte dokončujú lúpacím vystružovaním hlavou s dvoma nožmi SK-K20. Podmienky budú detailnejšie uvedené i s geometriou v časti o vystružovaní. Dnes už existujú združené kombinované hlavy na súčasné hrubovanie, vystružovanie a valčekovanie.

### 3.18 Tvorba triesky a jej význam pri vrtaní hlbokých otvorov

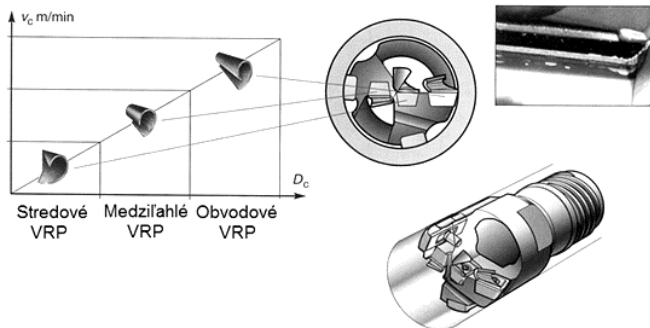
Existujú štyri faktory, ktoré rôznou mierou ovplyvňujú voľbu ekonomických rezných podmienok, tak pri BTA systéme ako i pri ejektorovom systéme vrtania. Sú to predovšetkým:

- vhodný tvar triesky a vlastné utváranie triesky,
- rezná sila pri vrtaní (dostupný výkon stroja),
- trvanlivosť rezných platničiek nástroja zo spekaného karbidu,
- kvalita povrchu a tolerancia otvoru podľa výkresu.

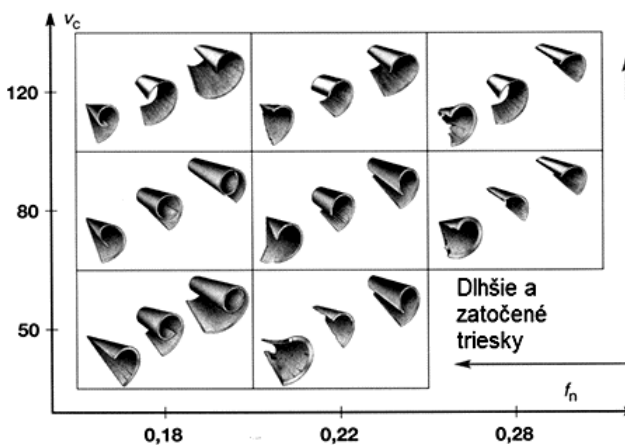
Vznikajúca trieska, tak pri BTA ako aj pri ejektorovom vrtaní, vrtacích hláv typu 424.6 a 420.6 s prispájkovanými reznými platničkami, ale rovnako aj pri vrtaní s hlavami s VRP-SK, má mať vhodný tvar triesky, ktorý zabezpečí jej bezproblémový odvod s olejom cez vtokový otvor v telese vrtacieho nástroja, ale aj otvorom vrtacej tyče alebo vnútornej rúrky ejektorového vrtania. Preto môžeme povedať, že tvorba triesky a jej tvar pri vrtaní hlbokých otvorov má prioritu. Druhou prioritou je dostupný výkon stroja. Tvorenie triesky závisí na obrábanom materiáli. Sivá liatina s tvorbou trhanej triesky nespôsobuje problémy s jej odvodom. Pri vrtaní ocelí sa získava dobrá tvorba triesky kombináciou geometrie utvárača triesky, reznej rýchlosti, posuvu a u určitých materiálov i voľba rezného oleja. Zlé tvarovanie triesky bolo zistené u ocelí STN 15230 u austenitických Cr-Ni ocelí triedy 17 a u špeciálnych zliatin. Trieska sa musí tvoriť a odlamovať v takom tvare a veľkosti, aby jej transport cez odtokové kanály a otvory bol bezproblémový. Takýmto tvarom je napr. trieska otvorenej číslice 6. Obr.50 ukazuje tri rôzne tvary triesok, ktoré sa vytvárajú na stredovej, medziľahlej a vonkajšej (obvodovej) reznej platničke, alebo VRP-SK. Nadmerne dlhé a veľké triesky sa môžu zachytiť v kanáloch pre odvod triesok. Triesky pri vrtaní nemajú však byť príliš tvárnené, pretože to spôsobuje zvýšenie teploty rezania, spotrebováva výkon stroja a vyvoláva väčšie skrútenie a vibrácie tyče. Vyššie teplo rezania zvyšuje opotrebenie rezných hrán nástroja a znižuje trvanlivosť. Dĺžka a šírka triesky majú byť približne rovnaké. Tvorenie triesky ovplyvňuje okrem materiálu obrobku a geometrie utvárača na čele platničiek, najmä rezná rýchlosť a posuv (obr.51). Kratšia trieska sa získa u rovnakého materiálu zvýšením posuvu, alebo znížením reznej rýchlosti  $v_c$ .

Z možných kombinácií sa získa najhospodárnejšia alternatíva. S rastúcim posuvom  $f_{resp}$ . posuvovej rýchlosti  $v_f$  sa ale u dlhých otvorov zvyšuje odchýlka osi otvoru od teoretickej osi, na čo treba dať pozor. Niektoré ťažko-obrábateľné materiály sa ťažko vrtajú a reznú rýchlosť treba znížiť až na

$v_c = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , aby sa dosiahlo správne delenie triesky na všetkých rez-ných klinoch.



**Obr.50 Vznikajúce tvary triesok na BTA vrtacej hlave doplna podľa [2, 11]**

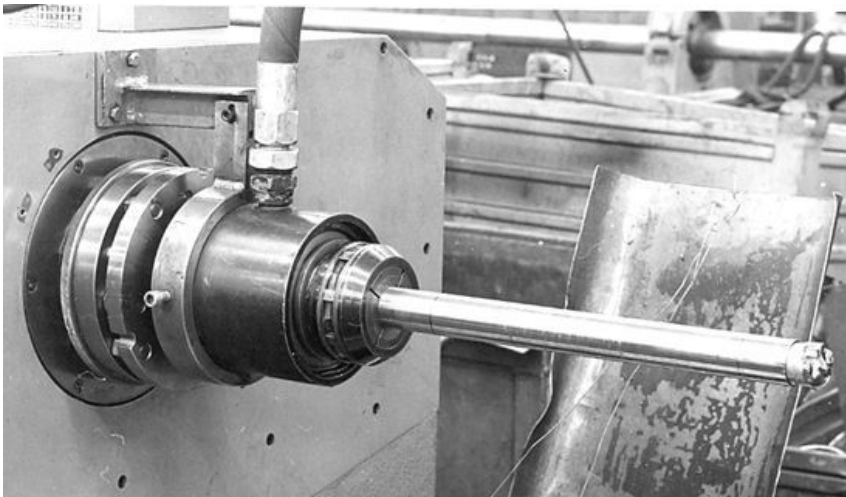


**Obr.51 Vplyv reznej rýchlosti a posuvu pri BTA vrtacích hlavách podľa [2, 11]**

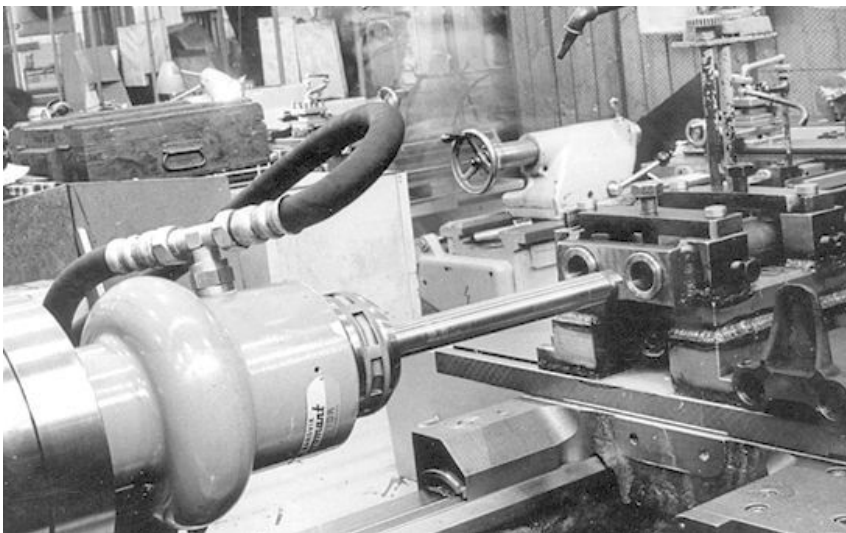
Ejektorový systém vrtania hlbokých otvorov v rozsahu priemerov  $D = 18,4$  až 180 mm je charakterizovaný tým, že prívod rezného oleja alebo emulzie je vnútorom medzi dvoma rúrkami - vrtacou a vnútornou - a vnútorný odvod kvapaliny spolu s trieskami, cez vnútornú rúrku. Nepotrebuje tesnenie medzi nástrojom a obrobkom alebo medzi obrobkom a vrtacou tyčou. Je to dvojrúrkový systém, prezentovaný firmou Sandvik COROMANT, a využíva účinok štrbinovej medzery (dýzy) na vnútornej rúrke k vytvoreniu podtlaku potrebného pre nasávanie reznej kvapaliny z miesta rezu spolu so vznikajúcimi trieskami. Umožňuje, rovnako ako predchádzajúce dva systémy (JKV a BTA), vrtanie hlbokých otvorov doplna, bez predvrtania, s použitím navrtávacieho puzdra. Navrtávacie puzdro je upevnené v podpernej lunete pred čelom obrobku, vo vzdialenosti 0,5-1,0 mm, u pevného obrobku môže byť opierané o čelo.

Je charakterizovaný možnosťou použitia na univerzálnych sústruhoch, revolveroch, dokonca už i na automatoch, na horizontálnych vyvrtávačkách i vrtáčkach, ak tieto majú potrebný výkon, radu veľkostí posuvov a prídavné zariadenie s nádržou procesnej kvapaliny väčšieho objemu, dobrú filtráciu a potrebné čerpadlá. Používa sa pre vrtanie do  $L = (35-50) \cdot D$  [mm]. Pre vrtanie sú potrebné vrtacie hlavy pre jednorázové použitie, s možným väčším prípustným opotrebením. Vrtacie hlavy sú upínané do vrtacej tyče 4chodým plochým vonkajším závitom a tá, spolu s vnútornou rúrkou určitého priemeru, je upínaná v rotačnej alebo statickej tlakovej hlave klieštiňou.

Pohľad na rotačnú tlakovú hlavu upnutú vo vretene univerzálneho sústruhu, s odvodom triesok cez vreteno do nádrže na triesky, je na obr.52. Proti pootáčaniu musí byť teleso hlavy zafixované, aby nedošlo k poškodeniu privádzacej tlakovej hadice. U nerotačných súčiastok treba použiť zložitejšiu tlakovú hlavu (obr.53-55) s odvodom triesok nie cez vreteno, ale cez odpadový kanál telesa hlavy do priestoru na triesky. Používa sa u horizontiek, vrtáčiek, frézovačiek, JUS, i na CNC obrábacích centrách, s upínaním pomocou kužľa (Morse či Metrický), vo vretene stroja. Privádzané množstvo procesnej kvapaliny sa rozdelí tak, že cez štrbinu vo vnútornej rúrke preteká cca  $Q_1 = \frac{1}{3}Q$  a zvyšné  $Q_2 = \frac{2}{3}Q$  prechádzajú medzi rúrkami a cez otvory v telese vrtacej hlavy, k rezným hranám a vodičkám zo spekaného karbidu, ktoré chladia a mažu proti zadretiu v otvore.

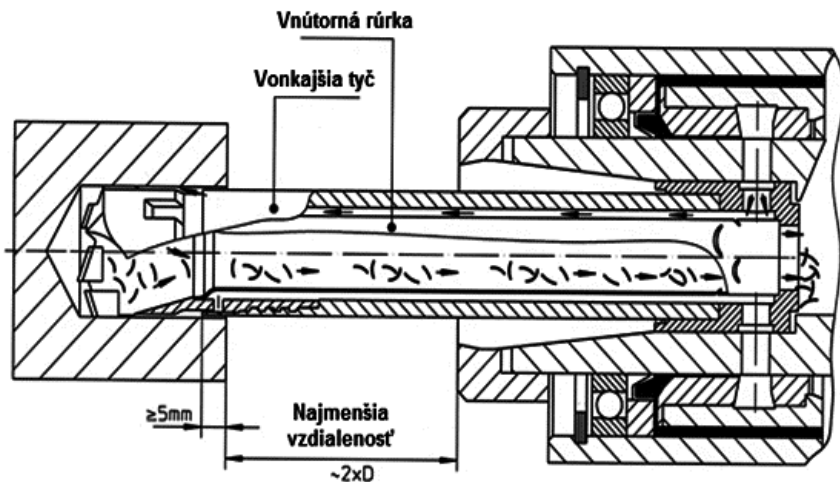


**Obr.52 Rotačná hlava pre ejektorový systém vŕtania hlbokých otvorov s dutým vretenom určeným pre odvod triesok**

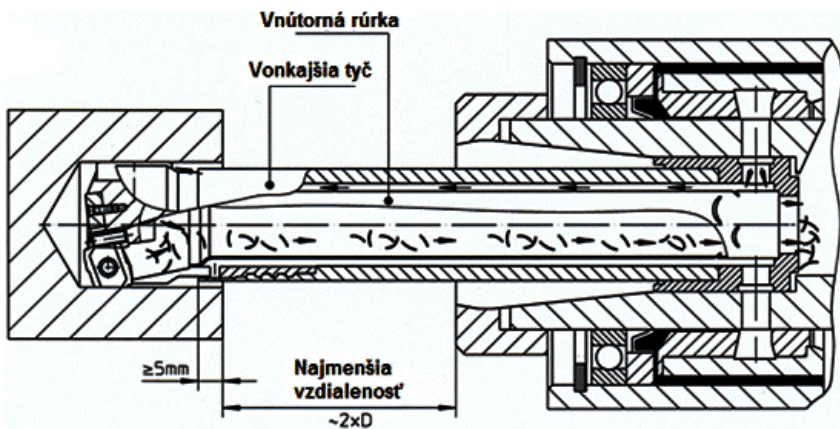


**Obr.53 Experimentálna skúška ejektorového systému vŕtania hlbokého otvoru na sústruhu SU 50 × 1 500**

Schéma ejektorovej vrtacej hlavy typu 424.6 od Sandviku COROMANT resp. typ 15 od BOTEK a spôsoby prívodu a odvodu kvapaliny cez dvojrúrkový systém, sú na obr.54 a 55.



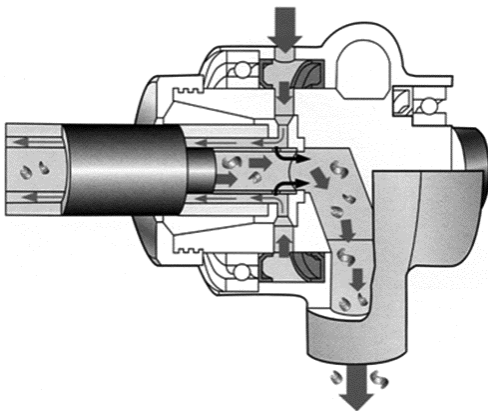
**Obr.54** Systém ejektorového vrtania hlbokých otvorov s vrtacou hlavou typu 424.6 od Sandviku Coromant podľa [2, 3]



**Obr.55** Systém ejektorového vrtania hlbokých otvorov s vrtacou hlavou BOTEK typ 40 s VRP-SK podľa [2, 3]

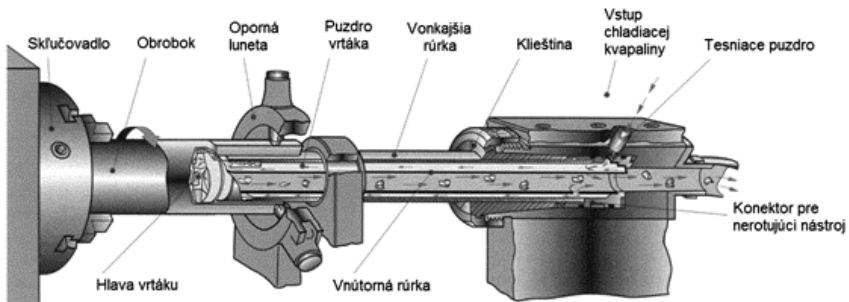
V štrbinách vnútornej rúrky sa vytvára spätným prúdením podtlak, ktorý nasáva zvyšnú kvapalinu aj s trieskami späť do vnútornej rúrky. Množstvo kvapaliny  $Q$  sa určuje empiricky zo vzťahu:  $Q = (2-3) \cdot D \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ , viac pre rezný olej ( $D$  je v mm). Z hľadiska dokonalej funkcie nástroja je potrebná správna voľba prierezov oboch rúrok.

Objem nádrže má byť  $V_{\text{min}} = (3-4) \cdot Q_{\text{max}}$ . Pri práci na dve smeny, je výhodná väčšia nádrž, alebo chladenie oleja vzduchovým chladičom. Pri sústruhoch a pri vŕtaní nerotačných súčiastok sú nádrže vedľa stroja, na strane výstupu z vretena. Vozík na triesky má sitá pre zachytávanie triesok, ďalšie sitá sú v nádrži pod vozíkom, a permanentné magnety pre zachytenie jemných triesok. Po odtečení oleja, sa na začiatku jednej smeny, triesky odklopným dnom vysypú do palety a ešte odstredia na odstredivke. Používaný je rezný olej typu EJEKTOL-V (PLUS). Pre väčšie priemery je T-MAX ejektorový systém pre  $\text{Ø}65-183,5$  mm s hlavami s VRP-SK (424.10). Používa sa aj pre zväčšovanie otvorov, nikdy nie pre vŕtanie na jadro.

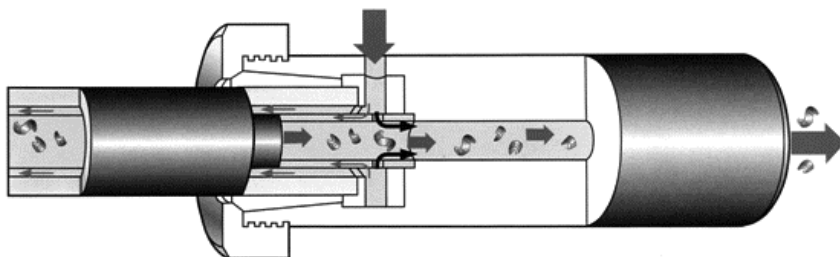


**Obr.56 Schéma rotačnej ejektorovej hlavy**  
s označením prívodu a odvodu oleja a triesok  
podľa [2, 11]

Ejektorové vŕtacie hlavy môžu byť rotačné (obr.56), alebo statické (obr.57) s rotujúcim obrobkom. Prívod a odvod oleja do statickej ejektorovej vŕtacej hlavy je na obr.58.

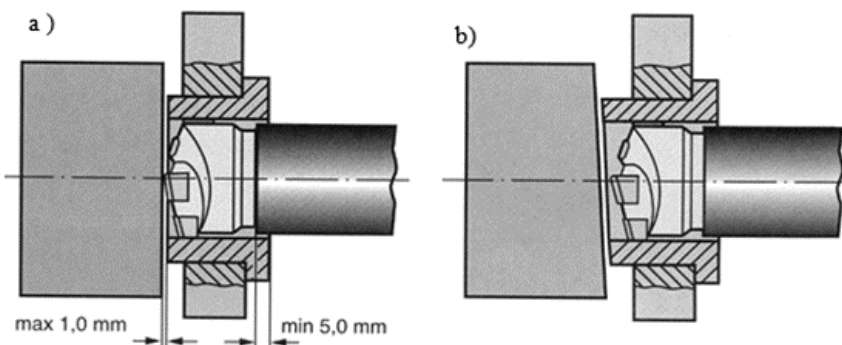


**Obr.57 Systém ejektorového vrtania hlbokých otvorov so statickou hlavou a rotujúcim obrobkom podľa [2, 11]**



**Obr.58 Schéma prítoku a odtoku oleja v statickej nerotujúcej ejektorovej vrtacej hlave podľa [2,11]**

Pre účinnú dodávku chladiacej kvapaliny má byť dĺžka puzdra o min. 5 mm väčšia, ako je dĺžka o ktorú hlava vyčnieva z čela vonkajšej rúrky. Pri použití rotujúcej vrtacej hlavy, musia sa vodítka zo spekaného karbidu opierať o puzdro vrtania. Inak môže obvodová platnička SK zarezat' do puzdra a zväčšiť ho, prípadne sa poškodiť. Súosovosť puzdra a osi vretena stroja má byť  $\leq 0,02$  mm. Vrtanie sa nemá začínať na šikmých alebo prerušovaných plochách. Pre vrtanie do šikmej plochy a pre vrtanie cez priečne otvory sa odporúča pridať ďalšie vodítko zo spekaného karbidu a vrtacie puzdro čelne šikmo upraviť ako je plocha (obr.59). Vrtacie puzdro je kalené a jeho priemer je väčší oproti hlavičke o  $+0,01$  až  $+0,03$  mm. Pri použití rotujúcej ejektorovej hlavy na zvislom stroji (frézovačka, vrtačka), treba hlavu upevniť zvislou skrutkou ako frézu, alebo na vrtačke použiť unášací kotúč a zarážku proti možnému otáčaniu sa telesa.

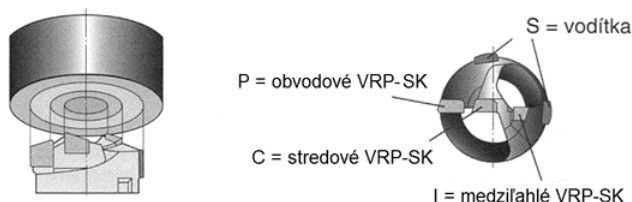


**Obr.59 Polohovanie vrtacieho puzdra voči čelu obrodku**

a) v podpere pri kolmom čele, b) pri šikmom čele súčiastky podľa [2]

Ejektorové vrtacie hlavy, typu 424.6 a 424.5, rovnako ako hlavy pre BTA vrtanie typu 420.6 a 420.5 od Sandviku COROMANT, majú teleso vyrobené presným liatím včítane drážok pre karbidové rezné platničky aj vodička. Navzájom sa líšia tým, že hlavy pre ejektorové vrtanie majú väčší 4chodý plochý vonkajší závit než BTA, ale sú charakteristické na obvode blízko k platničkám, šiestimi otvormi ( $\varnothing 2-3$  mm) pre dodávku chladiacej kvapaliny k rezným i vodiacim platničkám SK. Väčší priemer otvorov s rastúcim priemerom hlavy. Rozsah hláv pre vrtanie je  $\varnothing 18,4-65$  mm. V závislosti na obrábanom materiáli majú telesá prispájkované rôzne druhy spekaného karbidu (obr.60). Kombinácia 70 je prvou voľbou pre obrábanie vrtaním nelegovaných aj legovaných ocelí (ISO P), pri vyšších rezných rýchlostiach. Ak treba vyššiu húževnatosť spekaného karbidu, tak je potrebné vybrať kombináciu SK-63. Pre vrtanie nerezových materiálov je najlepšou kombináciou 20, a iba pri požiadavke vyššej húževnatosti SK, je potrebné zvoliť kombináciu SK-67. ISO K má najlepšiu kombináciu pre vrtanie liatin 72, ktorá kombinácia je vhodná i pre obrábanie hliníkových zliatin, medi a zliatin medi (ISO N), vhodná i pre ISO S (žiaruvzdorné superzliatiny aj titan). Geometria a rozmery tvarovača triesky, pre dlhé triesky 3 až 2. Pre vrtacie hlavy k vrtaniu doplna CoroDrill 800.24 (ejektor) a 800.20 (BTA) s VRP-SK, sú použité PVD povlakované VRP-SK, druhy príslušných rozmerov a tvaru, z nasledovných druhov SK COROMANT: ISO P: GC1025 (P15-P50), pre VRP-SK, P1 (P15-50), PM1 (P10-P35) pre vodička. Uvedená kombinácia je vhodná tak pre konštrukčné ocele, nerezové ocele ISO M, i duplexné koró-

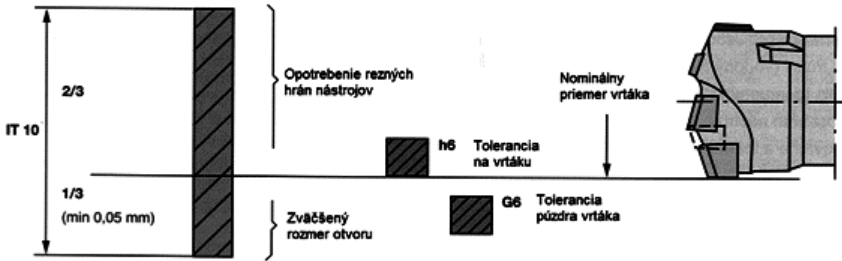
živodorné ocele, ale i pre ISO-S, super zliatiny a titan, rovnako pre ISO K i ISO N [110].



Rezná platnička VRP-SK	P		M		K		N		S	
	Lamač triesky									
	4	4	3/2	3	4		4		4	
	Kombinácia tried									
	70	63	20	67	72		72		72	
C = stredové VRP-SK	P40	P40	M35	M35	K20		N20		S15	
I = medziľahlé VRP-SK	P30	P30	M35	M35	K20		N20		S15	
P = obvodové VRP-SK	P10	P30	M25	M35	K20		N20		S15	
S = operné vodítka	P20	P20	M20	M20	K20		N20		S15	

**Obr.60 Kombinácie rôznych druhov spekaných karbidov, určených pre VRP-SK do ejektorových vrtacích hláv podľa [12, 3]**

Medzi priemerom ejektorovej vrtacej hlavy typu 424.6 resp. typu 420.6 a vrtacím puzdrom z kalenej ocele, alebo pri rotujúcej hlavičke v sériovej výrobe i zo SK, je vzťah na obr.61. Priemer vrtacej hlavy je brúsený na priemer  $\varnothing D_{h6}$  a puzdro v tolerancii  $\varnothing D_g G6$ . Pri týchto toleranciách možno dosiahnuť presnosť otvoru v tolerancii IT10. Tolerancia puzdra G6 pre  $\varnothing 30$  mm je +0,007 až +0,02 mm, pre  $\varnothing 60$  mm +0,01 až +0,03 mm. Dôležité je ustavenie puzdra voči osi vretena stroja s toleranciou max 0,02 mm. Nadmerná vôľa puzdra znižuje trvanlivosť SK vrtacej hlavy, ovplyvňuje priamosť otvoru a kvalitu povrchu. Puzdro zo spekaného karbidu (CG25-CG40), je drahšie, ale vydrží až 10krát viac ako ocelové. Puzdro by malo byť vymenené pri opotrebení o 0,015 až 0,02 mm, rovnako u ejektorového ako i BTA systému vrtania.



Obr.61 Grafické znázornenie vzťahu medzi rozmerom ejektorovej vrtacej hlavy a vrtacím puzdrom podľa [2, 3]

#### 4.1 Rezné sily pri ejektorovom vrtaní hlbokých otvorov

Veľkosť osovej sily, krútiaceho momentu a čistého výkonu vrtania doplna ejektorovým systémom u hláv od Sandviku COROMANT typu 424.6 rovnako ako pri BTA vrtaní hlavami typu 420.6, resp. pre hlavy CoroDrill typu 800.24 a typu 800.20 (obr.62), určíme podľa obr.63-64, alebo výpočtom z rovníc (12-16) [1, 6, 7].

Tangenciálnu (hlavnú zložku reznej sily)  $F_c$  určíme z rovnice

$$F_c = k_c f_n a_p \quad [\text{kN}] \quad (12)$$

Posuvová zložka reznej sily  $F_f$  sa vypočíta podľa [1] z rovnice

$$F_f = k_{cfz} f_n a_p \sin \chi_r \quad [\text{kN}] \quad (13)$$

a maximálne sa podiela na osovej sile  $F_o = F_f + F_{\mu r}$ , ktorú počítame z rovnice

$$F_o = 0,65 k_{cfz} f_n a_p \sin \chi_r \quad [\text{kN}] \quad (14)$$

$F_p$  je výsledná radiálna alebo pasívna zložka reznej sily, ktorá pôsobí na vodítko vrtacej hlavy a je ním eliminovaná.

Výpočtom rezných síl na hlbokovrtacích rezných nástrojoch sa vo svojich štúdiách zaoberali viacerí autori, zvlášť [1, 2, 5, 7]

Výpočet krútiaceho momentu  $M_k$  je nasledovný

$$M_k = M_c + M_\mu = \left( 1,17 - \frac{a_p}{D_c} \right) \frac{D_c f k_{cfz} a_p}{2000 \cdot 10^3} \quad [\text{Nm}] \quad (15)$$

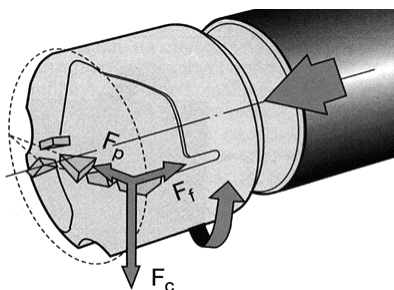
Potrebný výkon vrtania  $P_c$  sa vypočíta z rovnice

$$P_{už} = P_c + P_{\mu} = 1,34 \cdot \frac{D_c f_n k_{cfz} v_c}{240 \cdot 10^3} \quad [\text{kW}] \quad (16)$$

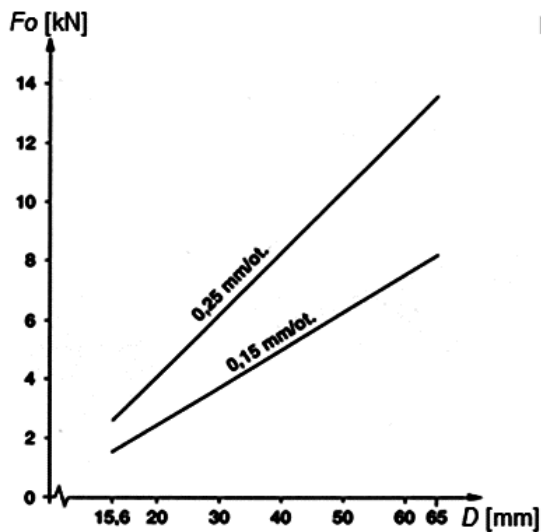
kde je:

$D_c$	priemer vrtáka	[mm]
$F_f$	osová sila vrtania	[N]
$a_p$	hĺbka rezu	[mm]
$F_{\mu}$	tracia sila na vodítkach	[N]
$v_c$	rezná rýchlosť	[m·min <sup>-1</sup> ]
$M_c$	krútiaci moment vrtania	[Nm]
$n$	frekvencia otáčania	[min <sup>-1</sup> ]
$M_{\mu}$	trcí krútiaci moment	[Nm]
$v_f$	rýchlosť posuvu	[mm·min <sup>-1</sup> ]
$P_c$	výkon vrtania	[kW]
$f_n$	posuv na otáčku	[mm]
$P_{\mu}$	výkon pripadajúci na trenie	[kW]
$k_{cfz}$	merná rezná sila	[N·mm <sup>-2</sup> ]
$\mu$	koeficient trenia na vodítkach [2, 5]	

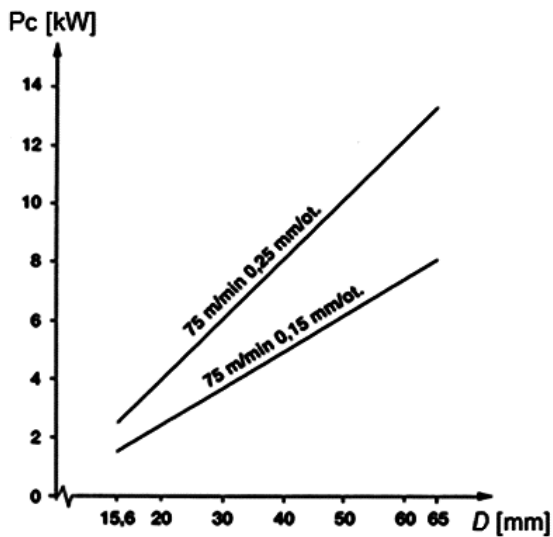
Uvedené rovnice platia pre výpočet tak hlavičiek so spájkovanými platničkami SK, ako i pre VRP-SK či pre vyvrtávanie, za predpokladu správne volených rezných rýchlostí pre jednotlivé nástroje, alebo posuvy, ale i hodnoty hĺbky rezu, a sú uvedené v [2, 4].



**Obr.62 Znáznornenie rozloženia rezných síl pre systém ejektorového vrtania vrtacou hlavou s VRP-SK podľa [2, 3]**



Obr.63 Grafické znázornenie určenia veľkosti osovej sily  $F_o$  pri vrtaní doplna ejektorovým systémom podľa [2, 3]



Obr.64 Grafické znázornenie určenia veľkosti čistého výkonu  $P_c$  pri vrtaní doplna ejektorovým systémom podľa [2, 3]

## 4.2 Vrtanie hlbokých otvorov ejektorovým systémom v praxi

Prvým príkladom je ejektorové vrtanie súčiastky Valec na sústruhu (obr. 65). Ako obrábací stroj bol použitý upravený sústruh typu EE-630-01  $\times$  1 500 s užitočným výkonom  $P_{\text{úž}} = 15$  kW. Materiál súčiastky Valec bola oceľ triedy 12050.1 s rozmermi  $\varnothing 70 \times 470$  mm, podľa normy STN 425510.1. Upnutie obrobku bolo realizované v univerzálnom trojčel'ust'ovom skl'učovadle obrábacieho stroja, čelné utesnenie dorazom proti úniku oleja, z druhej strany podopretie lunetou na pásiku. Ejektorová vrtacia hlava bola statická, upnutá v držiaku na suporte sústruhu, ktorá koná posuv spolu so suportom. Spôsob vrtania bol na báze rotujúceho obrobku. Vrtacie puzdro bolo upnuté v podpere pri čele obrobku. Podpera je upínaná o lôžko ako koník, zo spodnej časti.

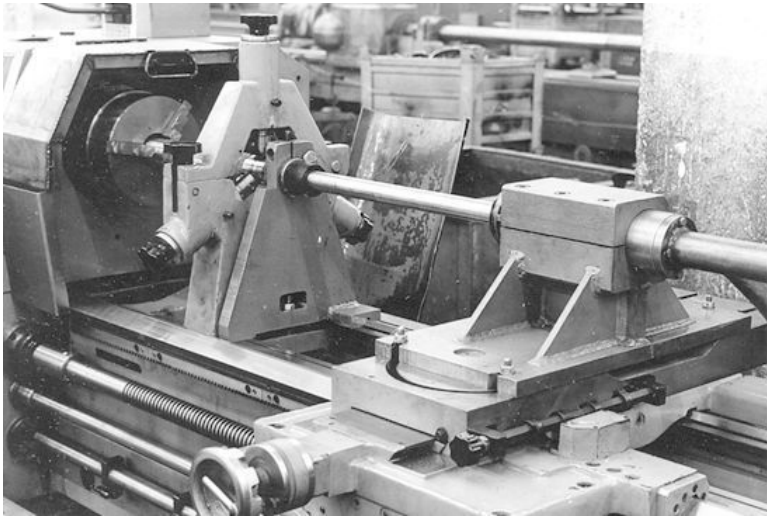
Parametre vrtania  $\varnothing 39,5 \times 470$  mm boli nasledovné:

$n = 560 \text{ min}^{-1}$	$v_c = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
$f = 0,14\text{-}0,16 \text{ mm}$	$v_f = 78\text{-}89 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$Q = 100 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$	$p = 2 \text{ MPa}$
$t_s = 7 \text{ min}$	$VB = 0,6 \text{ mm}$

rezný olej EJEKTOL-V (PLUS)

Vrtacia hlava bola typu 063.02-86, výmenná rezná platnička bola zo spekaného karbidu typu P30 a vodítka boli zo spekaného karbidu typu P20 (od DORMERPRAMET).

Druhým príkladom (obr.66) bola realizácia ejektorového systému vrtania nerotačnej súčiastky s názvom Kl'uka na sústruhu (obr.66). Súčiastka je zápusťkový výkovok z materiálu oceľ podľa normy STN 16 340.6, s medzou pevnosti  $R_m = 800\text{-}950$  MPa s prídavkami na čelách, po prerovnaní ktorých sa narysujú a navrtávajú excentrické strediacie jamky, pre presústruženie priemerov. Potom sa súčiastky vrtajú na upravenom sústruhu s rotujúcim nástrojom, pri upnutí súčiastky v prípravku na suporte stroja. Vrtajú sa priemery:  $\varnothing 45 \times 323$  mm,  $\varnothing 50 \times 245$  mm doplna, a zväčšovanie  $\varnothing 55 \times 223$  mm z  $\varnothing 45$  mm, s ejektorovou hlavou.



**Obr.65 Sústruh s upevnenou statickou ejektorovou vrúťacou hlavou a puzdrom na vedenie hlavy pri začiatku procesu vrúťania**

Parametre vrúťania  $\varnothing 45 \times 323$  mm sú nasledovné:

$$\begin{array}{ll}
 n = 450 \text{ min}^{-1} & v_c = 63,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\
 f = 0,16 \text{ mm} & v_f = 72 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\
 Q = 100 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & p = 1,8 \text{ MPa} \\
 t_s = 3,5 \text{ min} & T = 5,6 \text{ m}
 \end{array}$$

s použitím tvarovača triesky 0,5/1,7 mm

$\varnothing 50 \times 245$ mm:

$$\begin{array}{ll}
 n = 350 \text{ min}^{-1} & v_c = 55 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\
 f = 0,2 \text{ mm} & v_f = 71 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\
 t_s = 3,5 \text{ min} & T = 5 \text{ m}
 \end{array}$$

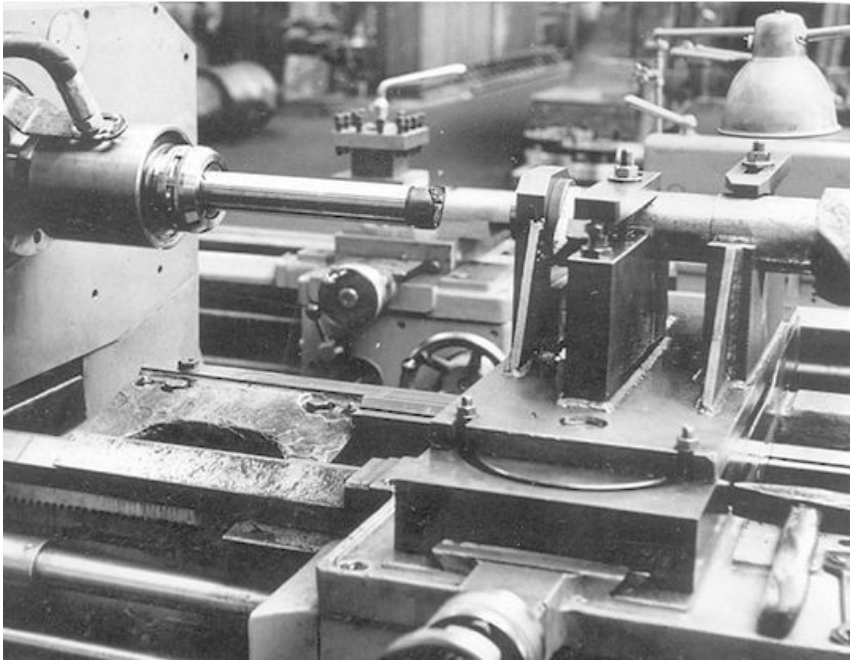
s použitím tvarovača triesky 0,5/1,8 mm

$$VB = 0,6 \text{ mm} \quad P_{\text{úž}} = 7 \text{ kW}$$

zväčšovanie  $\varnothing 55 \times 223$  mm:

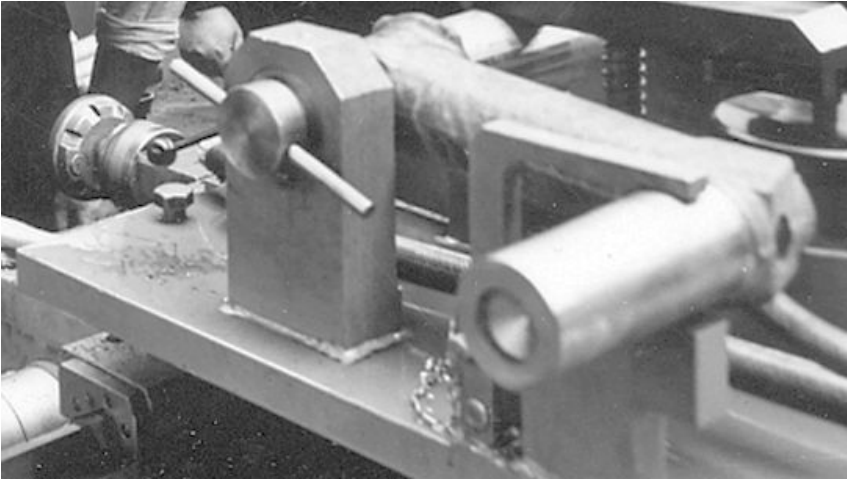
$$\begin{array}{ll}
 n = 350 \text{ min}^{-1} & v_c = 61 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\
 f = 0,20 \text{ mm} & v_f = 71 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\
 Q = 100 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & p = 1,5 \text{ MPa} \\
 t_s = 3,2 \text{ min} & VB = 0,5 \text{ mm}
 \end{array}$$

použitý rezný olej EJEKTOL-HV (PLUS)



**Obr.66 Znáozornenie spôsobu upnutia obrábanej súčiastky**  
Kľuka na sústruhu typu EE 630-01

Tretím príkladom ejektorového vrtania hlbokých otvorov je výroba súčiastky Vahadlo na upravenom sústruhu typu EE 630-01 × 1 500. Materiálom vyrábanej súčiastky bola zvolená súčiastky ocel' typu STN 14 341.3 v tvare zápusťového výkovku. Upínanie obrobku bolo realizované v prípravku na suporte stroja (obr.67). Rotačná tlaková hlava bola vlastnej konštrukcie. Použitú reznú nástroje boli ejektorové vrtacie hlavy doplna, typu 424.5 priemeru Ø30, 40 a 45 mm s VRP-SK a spekaný karbid bol typu P30, P40, M20 + 2 vodítka zo spekaného karbidu typu P20 (DORMERPRAMET).



**Obr.67 Spôsob upnutia obrábanej súčiastky  
Vahadlo v prípravku na suporte obrábacieho stroja**

Parametre vrtania  $\text{Ø}30 \times 287$  mm v časti obrobku šikmé rameno:

$$\begin{aligned} n &= 560 \text{ min}^{-1} & v_c &= 52,7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\ f &= 0,125 \text{ mm} & v_f &= 70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\ Q &= 80 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & \rho &= 2,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

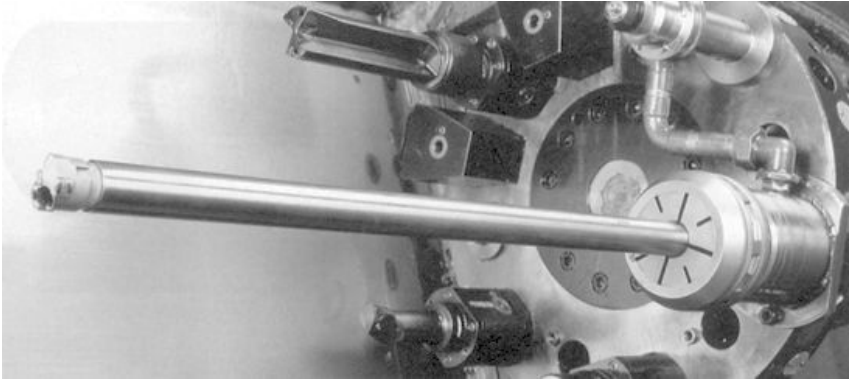
Parametre vrtania  $\text{Ø}40 \times 165$  mm v časti obrobku malé rameno:

$$\begin{aligned} n &= 560 \text{ min}^{-1} & v_c &= 63 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\ f &= 0,14 \text{ mm} & v_f &= 72 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\ Q &= 100 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & \rho &= 2 \text{ MPa} \\ VB &= 0,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Parametre vrtania  $\text{Ø}45 \times 490$  mm v časti obrobku veľké rameno:

$$\begin{aligned} n &= 450 \text{ min}^{-1} & v_c &= 63 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\ f &= 0,16 \text{ mm} & v_f &= 72 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\ Q &= 100 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & \rho &= 1,8 \text{ MPa} \\ VB &= 0,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Štvrtým príkladom je systém ejektorového vrtania súčiastky Platňa lisu na CNC obrábacom centre. Z uvedeného dôvodu je potrebné inštalovať špeciálnu prípojku rezného nástroja na prívod procesnej kvapaliny a statickú (obr.68), alebo rotačnú hlavu (obr.69).



**Obr.68 Pohľad na statickú ejektorovú hlavu**  
s tyčou pre vŕtanie navádzacieho otvoru

Ako príklad ejektorového systému vŕtania sú súčiastky Platne lisu celkovým počtom vŕtaných otvorov 377, o rozmeroch  $\text{Ø}52\text{H}8 \times 400$  mm s použitím ejektorovej vŕtacej hlavy typu 42. Materiál súčiastky je oceľ podľa normy STN 11 523.1.

Použité parametre vŕtania sú nasledovné:

$$n = 430 \text{ min}^{-1} \qquad v_c = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_f = 86 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \qquad f = 0,2 \text{ mm}$$

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

VRP-SK:

vonkajšia typu P25B s povlakom TiN

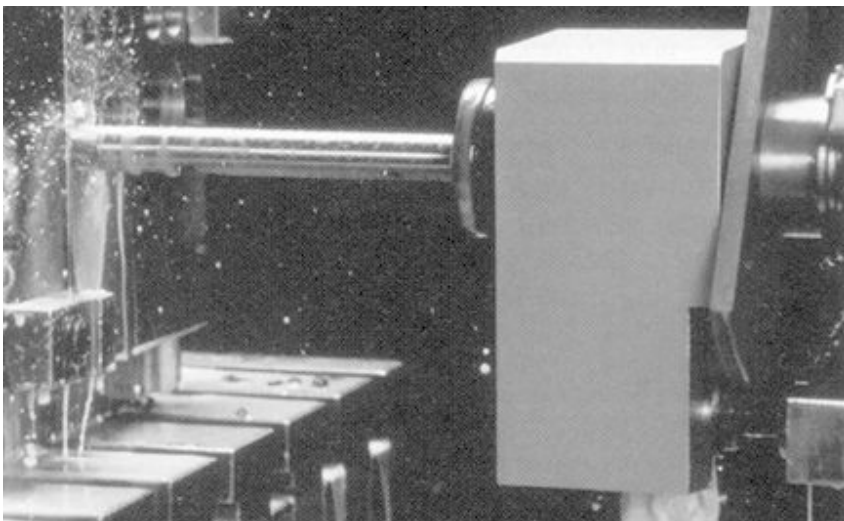
vnútorná typu P40 bez povlaku

rezný olej  $Q = 115 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$   $p = 1,4 \text{ MPa}$

### **4.3 Ejektorový systém vŕtania hlbokých otvorov na horizontálnych vyvŕtávacích strojoch**

Tento spôsob sa využíva na technológiu výroby veľkorozmerných komponentov pre jadrové elektrárne typu (VVER 440 a VVER 1000). Tieto komponenty boli charakteristické tým, že sú vyrobené z austenitických Cr-Ni ocelí so zhoršenou obrábateľnosťou, pri nároku na presnosť, čistotu a kontrolu mnohých otvorov. Jedná sa o hlboké otvory rozmerov  $\text{Ø}88 \times 900$  mm,  $\text{Ø}150 \times 900$  mm,  $\text{Ø}70 \times 710$  mm a  $\text{Ø}130 \times 710$  mm. Vŕtanie skrutkovými vŕtákmi z rýchloreznej ocele, vystružovanie, bolo veľmi náročné, neekonomické, i pre nízku trvanlivosť rezných nástrojov, pre sťažný odvod triesok a časté prerušovanie práce. Novou progresívnou technológiou sa ukázalo

riešenie úpravy horizontálnej vyvrtávačky typu ŠKODA W250 H/NR, ktorú úpravu realizoval výrobca hlbokovŕtacích strojov LOCH, a zavedenie ejektorového vrtania s nástrojmi pre vrtanie doplna a zväčšovanie. Bolo výhodou to, že ejektorové vrtanie nevyžaduje tesnenie proti unikaniu reznej kvapaliny, stačí otvor predvŕtať do hĺbky  $h = D$ . Dosahovaná kvalita IT 10 a dosahovaná drsnosť povrchu  $Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$ , spĺňa požiadavky výkresov. Horizontálna vyvrtávačka je vybavená číslicovou indikáciou polohy stojana v osi X, vreteníka v osi Y a vretena s pinolou v osi Z. Navyše pre ejektorové vrtanie bola vybavená potrebným zariadením pre olejové a trieskové hospodárstvo, ako je nádrž oleja s čerpadlami, filtrom a chladením oleja, dopravníkom triesok, odstredivkou CEPA VZ-6, nádržou na triesky, upínacím uholníkom ako i prívodným a vratným potrubím. Nádrž má obsah  $V = 3\,000 \text{ l}$ , maximálny tlak  $p = 2 \text{ MPa}$  zabezpečujú 2 čerpadlá s jednotkovým výkonom  $Q = 200 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ , automatický filter MANN+HUMMEL zachytí nečistoty väčšie ako  $50 \mu\text{m}$  pri prietochnom množstve  $500 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . Výkon vzduchového chladiča je  $9,5 \text{ MJ}\cdot\text{hod}^{-1}$ .



**Obr.69 Pohľad na rotačnú ejektorovú hlavu Sandvik Coromant s tyčou s odvodom reznej kvapaliny podľa [2, 11]**

Otvory priemerov  $\varnothing 88$  mm a  $\varnothing 150$  mm sú z materiálu 25CH3MFA (podľa normy GOST) sa hrubujú na  $\varnothing 75/84$  mm v dĺžke 50/25 mm, ako príprava pre navádzací otvor pre ejektorovú vrtiacu hlavu. Použitá VRP-SK je geometrie WCMX 060308-R53-GC 135. Celkom je v hlave upnutých 5 kusov VRP-SK. Vyvrtanie navádzacích otvorov  $\varnothing 88/78,5 \times 25/50$  mm zabezpečuje vyvrtavacia na rozmer staviteľná hlava s dvoma nožmi a s VRP-SK. Vrtanie  $\varnothing 78,5 \times 900$  mm je realizované ejektorovou vrtacou hlavou typu T-MAX 424.9 s VRP-SK geometrie TPUN 220412-S6 a s TPUN 160312-S6.

Rezné parametre ejektorového systému vrtania sú nasledovné:

$$\begin{array}{ll} n = 250 \text{ min}^{-1} & v_c = 61,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\ f = 0,2 \text{ mm} & v_f = 50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\ Q = 400 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & p = 1,2 \text{ MPa} \end{array}$$

rezný olej EJEKTOL-HV (PLUS)

Vyvrtávanie na hotovo  $\varnothing 88$  mm je realizovaná hlavou typu T-MAX 424.31 s ejektorovým systémom, pri týchto rezných parametroch:

$$\begin{array}{ll} n = 250 \text{ min}^{-1} & v_c = 69 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\ f = 0,3 \text{ mm} & v_f = 75 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\ Q = 400 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & p = 1,2 \text{ MPa} \end{array}$$

rezný olej EJEKTOL-HV (PLUS)

U otvorov  $\varnothing 150$  mm sa postupuje rovnako, najprv sa vrtá ejektorovým systémom priemer  $\varnothing 140$  mm, rezným nástrojom typu T-MAX 420.7, pri nasledovných rezných parametroch:

$$\begin{array}{ll} n = 150 \text{ min}^{-1} & v_c = 65,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\ f = 0,21 \text{ mm} & v_f = 32 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\ Q = 400 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & p = 0,4 \text{ MPa} \end{array}$$

Vyvrtávanie na hotovo  $\varnothing 150 \times 900$  mm sa robí ejektorovým systémom s hlavou typu T-MAX 424.31 s VRP-SK geometrie TPUN 160312-S6 pri tvarovači triesky typu DO 220, pri nasledovných rezných parametroch:

$$\begin{array}{ll} n = 150 \text{ min}^{-1} & v_c = 70,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\ f = 0,3 \text{ mm} & v_f = 45 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\ Q = 400 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} & p = 0,4 \text{ MPa} \end{array}$$

rezný olej EJEKTOL-HV (PLUS)

## 5 VYVRTÁVANIE HLBOKÝCH OTVOROV

Okrem valcových (cylindrických) otvorov po celej dĺžke súčiastky, existujú i druhy súčiastok s tvarovými tzv. odstupňovanými otvormi, kombinované napr. s kuželmi. Takýmito súčiastkami sú napr. nábojové komory hlavňových súčiastok rôznych priemerov a dĺžok, tvarové súčiastky s tvarovými otvormi pre odľahčenie váhy napr. u súčiastok podvozku lietadiel, alebo kuželové otvory po celej dĺžke, napríklad u vstrekovacích valcov extrúderov s dvoma symetrickými resp. prekrývajúcimi sa otvormi.

Opracovanie tvarovej komory bolo realizované na obrábacom stroji typu RT 401.27. Súčiastka s názvom Rúra sa pomocou žeriava a obsluhy stroja + pomocného robotníka vsunie cez dutý vreteník stroja ( $\varnothing 400$  mm) a upne sa do dvoch štvorčel'ust'ových skl'účovadiel na oboch stranách vreteníka, podoprie sa lunetou, vystredí podľa otvoru s presnosťou 0,02 mm. Na čele Rúry je ponechaný čelný technologický prídavok pre kontrolu presnosti kužel'ov, v súlade s výkresom. Nástroj je plaváková hlava je naskrutkovaná do vrtacej tyče vedenej v lunete, plochým závitom a stredením za dva vodiace priemery. Spolu s tyčou a pracovným suportom na ktorom je tyč upnutá, koná pracovný posuv. Prívod kvapaliny (oleja) je vnútrom tyče a plavákovvej hlavy. Rezný nástroj je plávajúci výstružník, ktorý sa vloží do presného obdĺžnikového otvoru plavákovvej hlavy a je s tyčou tak ustavený, aby bol vo vodorovnej polohe. V plavákovvej hlave sú dva tvarové otvory pre dva bloky nástrojov, podľa oboch kužel'ov. Pri práci je vložený iba jeden nástroj, druhý je nahradený tesniacou výplňou tvaru otvoru a prívod kvapaliny k rezným hranám utesneného plávajúceho bloku je uzavretý skrutkou. Presná pracovná hĺbka jednotlivých výstružníkov je zabezpečená dorazovou mierkou na zadnom konci plavákovvej hlavy. Rezný olej je privádzaný vnútrom tyče a plavákovvej hlavy a smeruje na reznú časť výstružníkov. Odvod rezného oleja je cez drážku v tzv. plavákovvej hlave na jej obvode. Platničky výstružníkov sú z rýchlereznej ocele triedy 19 855 a vyhovujú medzi pevnosti materiálu  $R_m \leq 1\,200$  MPa. Na prednej časti plavákovvej hlavy (obr.70) sú dve vedenia z PVC (tzv. texgumoid) v honovanom otvore, vzdialené od seba o dĺžku odstupňovaného tvarového otvoru, tak pre hrubovanie, ako i pre dokončenie. Vedenia slúžia k dosiahnutiu súosovosti vystružovaných otvorov s predhonovaným otvorom a tlmia vznikajúce vibrácie. Sú vymeniteľné po opotrebení. Technológia vystružovania pozostáva z týchto operačných úsekov:

V prvom úseku je potrebné vyhrubovať priemer  $\varnothing 129,35$  mm v dĺžke 800 mm s kuželovým prechodom do 40 mm a následne vymeniť hrubovací výstružník.

V druhom úseku je potrebné vložiť hladiaci výstružník, dokončiť otvor priemeru  $\varnothing 130^{+0,15}$  mm v dĺžke 800 mm a kužel 40 mm s drsnosťou povrchu  $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ .

V treťom úseku sa po výmene plávajúceho bloku 7 a utesnení drážky a prívodu kvapaliny vloží hrubovací blok 8, skrutky pre prívod kvapaliny k 8 sa následne uvoľnia. Potom je potrebné vyhrubovať priemer  $\varnothing 158,85$  mm na jeden prechod v dĺžke 392 mm s kuželovým prechodom 90 mm.

Vo štvrtom úseku je treba vymeniť hrubovací blok za dokončovací a hladiacim výstružníkom dokončiť otvor na priemer  $\varnothing 159,55^{+0,05}$  mm v dĺžke 392 mm a kužel 90 mm.

Rezné parametre pre rýchlorezné plávajúce výstružníky:

$$n = 16 \text{ min}^{-1}$$

$$v_c = 6-8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,12 \text{ mm}$$

$$v_f = 1,92 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

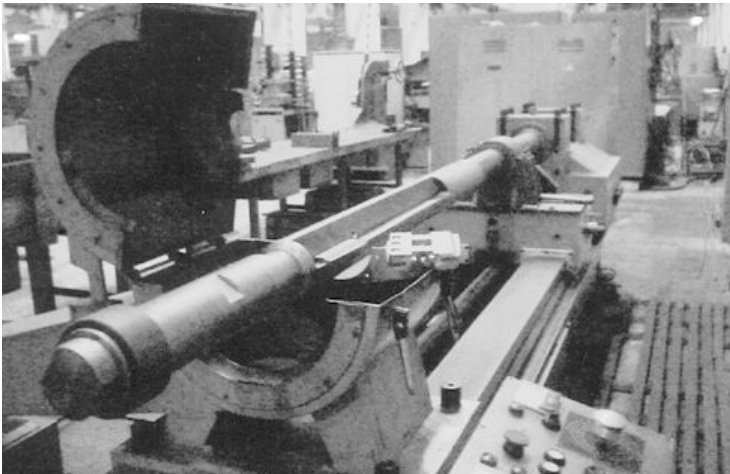
$$Q = 400 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$p = 1,2 \text{ MPa}$$

kusový čas  $t_k = 980$  min

prípravný čas stroja  $t_p = 120$  min

rezný olej P4DS



**Obr.70 Plaváková hlava upnutá v obrábacom stroji RT 401-2.7**  
jeden z plávajúcich blokov je položený na otvorenej lunete stroja

## 5.1 Vyrvtávanie tvarového otvoru komory

Pre sériovú výrobu súčiastok o pevnosti  $R_m =$  až 1 600 MPa sa už nedá aplikovať vystružovanie s nástrojmi z rýchlorezných ocelí. Kopírovací sústruh typu SAFOP LEONARD BG120 CNC pre dĺžky súčiastok až 8 000 mm s riadiacim systémom SIEMENS SINUMERIK-3T, bol riešením. Ten zabezpečuje súvislé riadenie dráhy nástroja, kontrolu rozmerov, grafické vykreslenie tvaru vyrábaného otvoru na displeji, možnosť zadávania programu na novú operáciu počas práce stroja.

Obrábací stroj má podobne ako typ SCHIESS-Ebta 35 taktiež dutý vreteník pre maximálny priemer súčiastky  $\varnothing 400$  mm, a možno do dvoch sklúčovadiel upnúť súčiastku dlhšiu ako 1,7 m. Dlhšie súčiastky, až do  $L = 8\,000$  mm sú podopierané lunetami a pomocným nehnaným vreteníkom (obr.71).

Kopírovacie sústruženie tvarového otvoru sa robí na viac prechodov, nožom s VRP-SK, ktorý nôž je upnutý v kuželovitej tyči  $\varnothing 80/\varnothing 130 \times 1\,200$  mm s vnútorným tlmičom vibrácií od Sandvik COROMANT. Vyrvtávacia tyč s tlmičom vibrácií je upnutá na suporte stroja z druhej strany súčiastky, spolu s prídavným brúsnym vretenom pre dokončovanie kuželov brúsením. Stroj má totiž orovnávač brúsnych kotúčov, pre vytvorenie správneho uhla sklonu kužela (obr.72).

Príkladom vyrvtávania hlbokých otvorov z praxe opracovanie tvarového otvoru. Parametre vyrvtávania sú nasledovné:

$n = 110-137 \text{ min}^{-1}$	$v_c = 53,7-55,1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
hrubovanie $f_1 = 0,26 \text{ mm}$	$a_{p1} = 1,45 \text{ mm}; (14 \text{ rezov})$
dokončovanie $f_2 = 0,19-0,1 \text{ mm}$	$a_{p2} = 0,15-0,1 \text{ mm}; (2 \text{ zábery})$
chladenie emulziou E 5 %	

Použitie výmenné rezné platničky v procese obrábania:

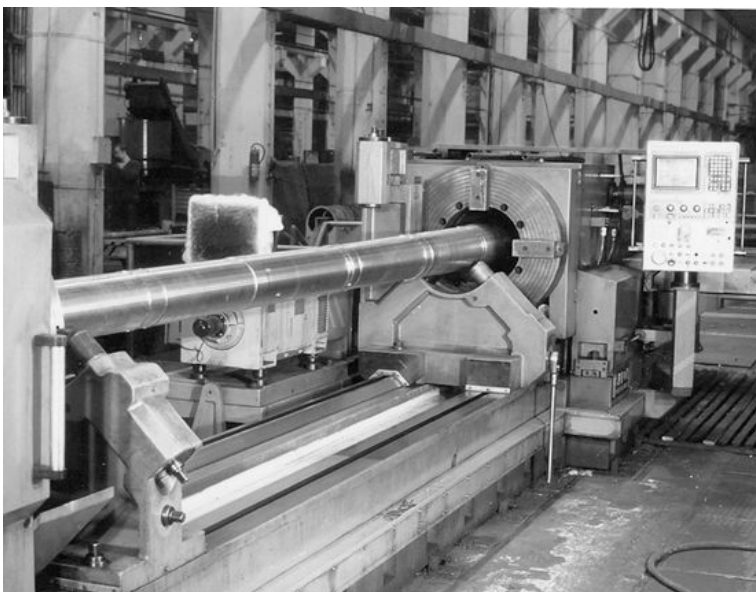
Hrubovanie geometria DNMG 150608 - GC4025 (spekaný karbid typu P25)

Dokončovanie geometria DNMG 150608 - CT5015 (CERMET) od Sandvik COROMANT.

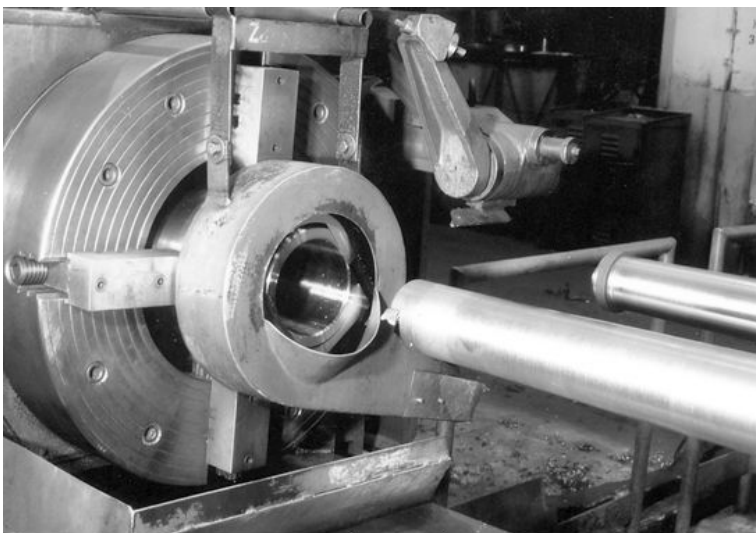
Posuv sa mení pri dokončovacom sústružení tak, aby na valcovej časti bola drsnosť povrchu  $Ra = 3,2 \mu\text{m}$  a na kuželoch  $Ra = 1,6-0,8 \mu\text{m}$ .

Celkový čas jednotkovej práce pri hrubovaní je:  $t_{k1} = t_s + t_v = 210 \text{ min}$ , pri dokončovaní  $t_{k2} = 127 \text{ min}$ , celkom  $t_k = 210 + 127 = 337 \text{ min}$ .

Pri vystružovaní nástrojom s rýchloreznej ocele bol:  $t_{kRO} = 980 \text{ min}$ .



**Obr.71** Upnutá súčiastka Rúra na obrábacom stroji Safop Leonard BG 120 CNC  
podopretá dvoma podpernými lunetami



**Obr.72** Univerzálne štvorčel'ust'ové skl'učovadlo s upnutou súčiastkou  
a ochranným krytom proti rozstrekovaniu chladiacej kvapaliny

Pre dĺžku tvarového otvoru  $L = 1118$  mm a otvor komory  $\varnothing 166^{+0,05}$  mm z honovaného priemeru  $\varnothing 155$  mm, sa musela zabezpečiť väčšia tyč  $\varnothing 120/150 \times 1\,500$  mm s tlmičom vibrácií od Sandvik COROMANT, a pre zníženie počtu záberov pri vnútornom sústružení na stroji SAFOP LEONARD BG-120 CNC sa otvor predvrtal na  $\varnothing 166 \times 1\,100$  mm vyvrtávacou hlavou BTA s predným vedením na stroji NAGEL - BR120-8000 pri nasledovných parametroch:

$n = 60-65 \text{ min}^{-1}$	$v_c = 31,3-33,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
$f = 0,1-0,12 \text{ mm}$	$v_f = 6,0-10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$a_p = 5,6 \text{ mm}$	$t_s = 112-186 \text{ min}$
$Q = 500 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$	$\rho = 3 \text{ MPa}$
$VB = 0,25-0,35 \text{ mm}$	

rezný olej EJEKTOL-V PLUS

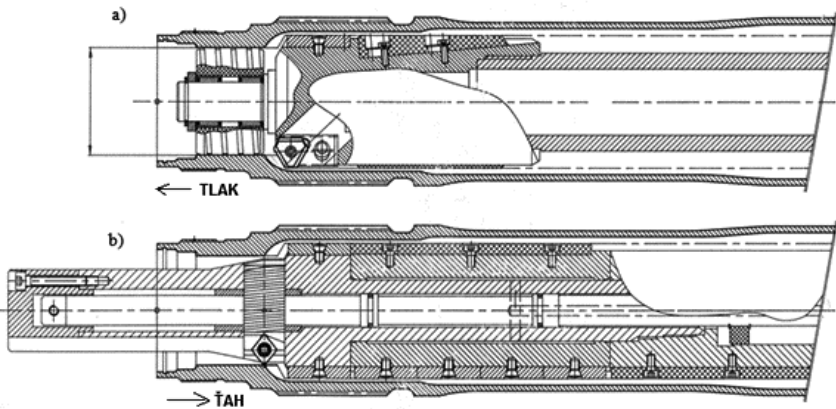
Dokončovanie kužeľa bolo realizované na viac rezov vnútorným sústružením uvedenou tyčou. Celková dĺžka súčiastky je  $L_c = 8\,020$  mm a pevnosť  $R_m = 1\,600$  MPa.

## 5.2 Vyvrtávanie kužeľových otvorov väčších dĺžok

Aj pre vyvrtávanie súvislých kužeľov väčšej dĺžky, boli vyvinuté rôzne typy kužeľových vyvrtávacích hláv pre  $\varnothing 50-300$  mm (obr.73, 74, 75). Kužeľová vyvrtávací hlava pozostáva z telesa hlavy, 3 nožov s VRP-SK, ako aj 3 vodiacich elementov zo spekaného karbidu, ktoré sú odpružené. Výsuvné vyvrtávacie nože sú cez stredom vedený presný kužeľový trň tak riadené, že nože budú kopírovať dokonalý tvar. Odpružené vodička slúžia k tomu, že aj pri hlbokých otvoroch nastane požadované podopretie hlavy o stenu otvoru, takže sa nevyskytne chvenie. Pre dokončovanie sú k dispozícii tiež vystružovacie hlavy ako aj honovacie nástroje.

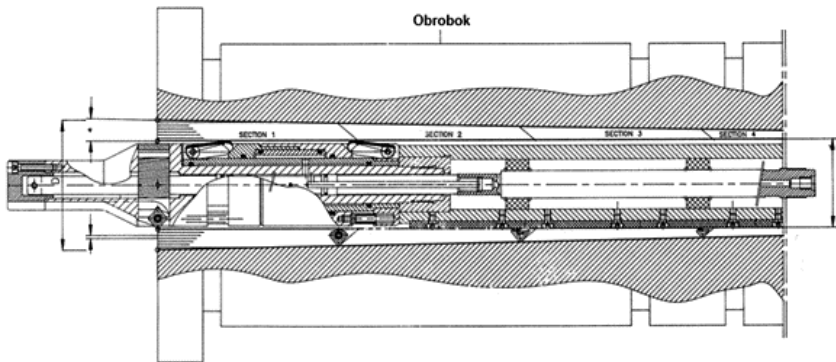


**Obr.73 Ťažná vyvrtávací hlava s radiálne staviteľným nožom s VRP-SK kruhového tvaru pre zhotovenie tvarovej komory pri vedení nástroja v predvrtanom otvore podľa [2]**



**Obr.74 Schematické znázornenie vyvrtávania tvarových otvorov BTA**

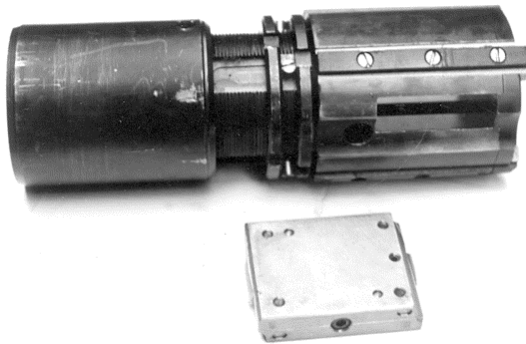
- a) vyvrtávacou hlavou s predným vedením a vyvrtávaním tlakom
- b) ťažnou hlavou s výsuvným nožom podľa [2]



**Obr.75 Znázornenie vyvrtávania kužeľových otvorov u dvojzávitkových valcov extruderov podľa [2]**

## 6 VYSTRUŽOVANIE HLBOKÝCH OTVOROV

Po vrtaní doplna v žíhanom stave a po zväčšovaní hlbokých otvorov vyvrtávaním v zušľachtenom stave, sa robí nasledujúce vystružovanie, s cieľom spresniť geometrický tvar a kužeľovitosť otvoru, ktorého dĺžka môže byť  $L_v = (30-120) \cdot D_0$ . Pre vystružovanie hlbokých otvorov rúr, hydraulických valcov a podobných súčiastok sa používajú vystružovacie nástroje (obr.76) naskrutkované na vrtaciu tyč vnútorným plochým závitom veľkého stúpania, ako u BTA nástrojov. Vystružovacia hlava má na svojom obvode 4 vodítka z texgumoidu, pripevnené skrutkami do kovových líšt, ktoré sú prestaviteľné v kužeľových drážkach pomocou dvoch matíc. V presne brúsenom obdĺžnikovom otvore je vsadený plávajúci blok s dvoma výsuvnými nožmi zo spekaného karbidu, tzv. špeciálnej lúpacej geometrie. Lúpacia geometria je taká, ktorá umožňuje použiť veľkosť posuvu  $f_n$  viac ako 2-4× než je hĺbka záberu  $a_p$ . Pri jednom smere otáčania, musia byť nože navzájom opačne upnuté. Konštrukcia a geometria týchto nástrojov zabezpečuje vysokú produktivitu vystružovania, presnosť otvoru IT9-IT10, ovalitu 0,02-0,03 mm, kužeľovitosť v rozsahu 0,01-0,03 mm, podľa rastúcej dĺžky otvoru.



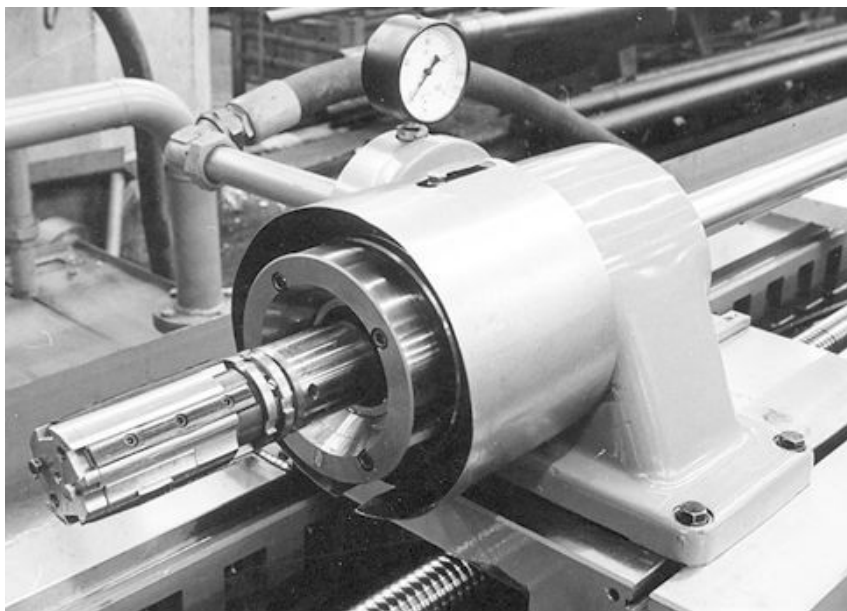
**Obr.76 Vystružovacia hlava s tzv. plávajúcim blokom s dvoma výsuvnými nožmi a prispájkovanou karbidovou reznou platničkou**

Prívod chladiaceho prostriedku, aditovaného rezného oleja, je ako u BTA systému vrtania, cez tlakovú hlavu a okolo vrtacej tyče a hlavy k nožom. Odvod triesok je pred vystružovacou hlavou cez vyvrtaný otvor. Vystružovanie sa robí všeobecne na 2 prechody: a to 1. tlačným dopredným spôsobom ako pri vrtaní doplna, a po vybratí a vložení nového plávajúceho bloku nastaveného na väčší rozmer v laterne stroja, 2. ťažným spôsobom od

vretena stroja k tlakovej hlave. Výhodou týchto nástrojov je zvýšenie produktivity vystružovania oproti nástrojom z rýchloreznej ocele (RO), zníženie kužeľovitosti a tým i prídavkov na honovanie. V opakovaných sériových výrobách, pri vystružovaní vysokopevných ocelí o  $R_m = 1\,350\text{--}1\,600\text{ MPa}$  je potom použitý plávajúci blok s výsuvnými držiakmi a s VRP-SK s povlakom.

Výsuvné nože sú v plávajúcom bloku upevnené skrutkami a kolíkmi, po nastavení na rozmer pomocou staviteľnej skrutky, cez kužeľovú plochu noža. Celá kazeta je brúsená. Kývavý pohyb radiálne umožňuje drážka z boku bloku, a skrutka, v rozsahu cca 10 mm, a zabraňuje vypadnutiu bloku z hlavy. Plávajúci blok je v hlave upnutý vodorovne, ako vidieť na stroji SIG-B30/3 (obr.77).

Parametre vystružovania sú v tabuľke 3, pre otvor z materiálu pevnosti  $R_m = 1\,000\text{--}1\,100\text{ MPa}$  (A) a pre hydraulický valec  $\varnothing 110 \times 4\,650\text{ mm}$  z materiálu 11 523.0 na obrábacom typu stroji SIG B31/8-NC (B).



**Obr.77 Hlava ako súčasť stroja SIGB30/3 pri vystružovaní**  
D = 72,8 mm tlakom a D = 73 mm ťahom na dĺžke L = 2 130 mm

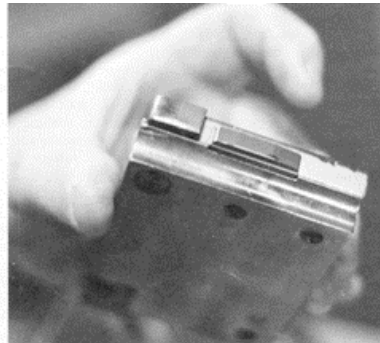
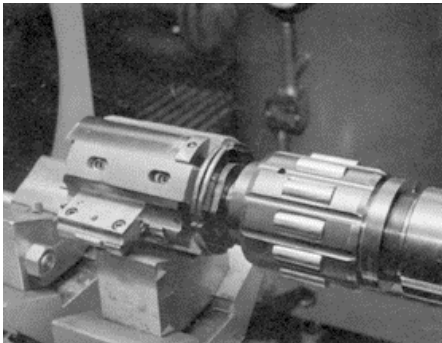
**Tab.3 Príklady A a B parametrov technológie vystružovania**

Názov	Príklad A	Príklad B
otvor	Ø73 × 2 130 mm	Ø110 × 4 650 mm
materiál	16 444.7	11 523.0
$n$ [min <sup>-1</sup> ]	200-225	360
$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	51,4-50,4	124
$f$ [mm]	0,62-0,65	1,0
$v_f$ [mm·min <sup>-1</sup> ]	130-140	360
$a_p$ [mm]	0,15	0,15
rezný olej	P4DS	EJEKTOL-HV
$Q$ [l·min <sup>-1</sup> ]	160	200
$p$ [MPa]	3,0	2,0
$t_{s}$ [min]	14,6	12,9
$T$ [min]	72,9-43,8	53-65
$VB$ [mm]	0,25-0,3	0,2-0,25

**Tab.4 Vystružovanie súčiastok na obrábacom stroji Nagel BR 120 (A) a na obrábacom stroji SIGB31/8-NC (B)**

Názov	A	A	B	B
rez	1. tlak	2. tlak	1. tlak	2. ťah
priemer [mm]	154	154,4	124	124,5
$n$ [min <sup>-1</sup> ]	60	60	65	65
$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	29	29,5	25,3	26
$f$ [mm]	0,7	0,7	0,7	0,8
$v_f$ [mm·min <sup>-1</sup> ]	42	42	45	52
$a_p$ [mm]	0,25	0,2	0,25	0,2
rezný olej	CMT	UNI	PLUS	5-30
$Q$ [l·min <sup>-1</sup> ]	400	400	300	300
$p$ [MPa]	0,7	0,7	0,8	0,8
$t_{s}$ [min]	170	170	133	115
$t_c$ [min]	250	250	200	200
rezný mat.SK	P15	P15	P15	P15
$T$ [min]	170	170	130	130
$VB$ [mm]	0,35	0,3	0,25	0,2

Vystružovanie hlbokých otvorov do vysokopevných materiálov s pevnosťou  $R_m = 1\ 350-1\ 600$  MPa sa následne realizuje už s použitím tzv. plávajúceho bloku s držiakmi a tiež s VRP-SK s povlakom. Parametre technológie vystružovania sú potom uvedené v tab.4. Obe súčiastky sa po vystružovaní honujú. Kuželovitosť otvoru je po 2. vystružovaní u A = 0,05/7 150 mm, resp. u B = 0,03<sup>-0,04</sup>/6 010 mm. Dosahovaná drsnosť povrchu otvoru po vystružovaní v oboch prípadoch je  $Ra = 1,6-2,0$   $\mu\text{m}$ . Pri vystružovaní hydraulických valcov väčších dĺžok, v závislosti od použitia daného valca, sa často u nás ale najmä v zahraničí používajú kombinované hlavy vystružovacie a valčekovacie, spomenuté už v kapitole 3. Mnohé valce, najmä pre vysokozdvížne vozíky, musia byť honované a nie valčekované, nakoľko honovaný povrch s krížovými ryhami po brúsnych zrnách honovacích kameňov lepšia vytvára olejový film, ktorý je potrebný pre rovnomerný plynulý pohyb piesta vo valci. Valčekované povrchy sa tu neosvedčujú (zvlášť u vysokozdvížnych vozíkov). V iných prípadoch áno, pretože sa dosahuje drsnosť povrchu  $Ra = 0,05-0,4$   $\mu\text{m}$ . Príklad kombinovanej vystružovacej a valčekovacej hlavy je na obr.78.



**Obr.78 Kombinovaná vystružovacia a statická valčekovacia hlava**  
s detailom tzv. plávajúceho bloku s VRP-SK  
a oporným vodítkom zo spekaného karbidu s povlakom  
podľa [2, 5]

## 6.1 Vystružovanie hlbokých otvorov malých priemerov

U loveckých, športových a vojenských zbraní s pomerom  $L : D = 60-125$ , u vzduchoviek, malorážok, a hlavni samopalov, pušiek či pištolí, u loveckých zbraní, sú to súčiastky s priemerom otvoru  $\varnothing 4,5-26 \times 700$  mm, s drsnosťou povrchu  $Ra = 0,4$   $\mu\text{m}$ . Samotné vrtanie sa už musí realizovať na špeciálnych hlbokovrtacích strojoch systémom vrtania s jednoklinovými vrtákmi zo spekaného karbidu, alebo vrtacími hlavami BTA, s prispájkovanými reznou platničkou a s vodičkami z SK, alebo dnes už s hlavou s VRP-SK (napr. BOTEK). Podľa sériovosti výroby sa vrtanie robí na 2-4 vretenových strojoch, konštrukcie napr. SIG-B174/1 resp. TBT-M500-4-1000, používaných najmä v zbrojárskom priemysle. Zabezpečuje sa produktivita a presnosť výroby, s dosahovanou drsnosťou povrchu  $Ra = 1,6-3,2$   $\mu\text{m}$ , s minimálnou odchýlkou osi vrtaného otvoru  $\gamma = 0,1-0,5/500$  mm a s presnosťou rozmeru otvoru IT 9.

Základom pre výrobu konečného rozmeru a opracovania povrchu požadovaných súčiastok je vystružovanie otvoru dĺžky až  $L = 125 \cdot D$  [mm]. Táto operácia sa donedávna zabezpečovala s tzv. rýchloreznými výstružníkmi špeciálnej konštrukcie, z rýchloreznej ocele RO (19 830, 19 802) a to ťažným spôsobom. Technologický prídavok medzi vrtaním a konečným vystruženým priemerom je rozdelený na 2-3 veľkosti priemerov výstružníkov, odstupňovaných po 0,3 mm. Výstružníky, keďže opracovávajú otvory mnohonásobne väčšej dĺžky ako je ich priemer, sú zložené z dvoch častí: vlastný rezný nástroj a nosná tyč. Nosná tyč menšieho priemeru ako je vrtaný otvor, slúži k upínaniu výstružníka a k jeho predĺženiu cez otvor hlavne. Vzájomne sú obe časti spojené kuželom a závitom a slúžia k rozoberateľnému spojeniu. V stroji je upnutá tyč v upínacej hlavičke vo vretene stroja, a krútiaci moment je prenášaný jednak trením, ale najmä štvorhranom na tyči v upínacej hlavičke stroja. Geometria výstružníkov, ich valcová časť je rovnako dlhá ako u ručných výstružníkov, ale nábehový kužel  $2^\circ$  je u násady tyče. Pre  $\varnothing 7,30-7,55$  mm je počet zubov výstružníka  $z = 5$ , nerovnomerná rozteč, rovné zuby,  $L = 80-120$  mm.

Stroj pre vystružovanie je špeciálny vodorovný obrábací stroj, so šiestimi vretenami. Jeho lôžko zviaza s vodorovnou rovinou uhol cca  $10^\circ$  smerom dolu od vretena stroja. Po lôžku sa pohybuje jednoduchý suport na ktorom je príslušný upínač pre ten ktorý typ súčiastky. Súčiastky sú upínané axiálne a umožňujú prechod dlhej tyče s nástrojom cez celú opracovávanú súčiastku. V pevnej časti upínača bližšie k vretenu sú špeciálne kalíšky u každého vretena, do ktorých sa privádza rezný olej. Ten potom samospádom,

vytvoreným sklonom lôžka stroja, preteká otvorom ku každému výstružníku, uľahčuje rezanie, a odplavuje triesky cez drážky rotujúceho výstružníka do spodnej časti stroja a do zbernej nádrže [5].

Prevodová skriňa stroja umožňuje meniť otáčky vretien i posuv tak, aby boli dosiahnuté vhodné rezné podmienky pre každý vystružovaný priemer a materiál súčiastok. Zvláštnosťou posuvovej skrine je hnacie ozubené koleso. To má na svojom obvode niekoľko krát vytvorenú väčšiu zubovú medzeru, čo zabezpečuje prerušovaný posuv a tak delenie triesky. U niektorých typov obrábacích strojov je tento efekt vytváraný už hydraulickým pohonom s prerušovaným posuvom stola. Postup vystružovania na stroji pre vystružovanie je nasledovný. Obsluha stroja upne postupne axiálne 6 súčiastok. Cez vrtné otvory sa prestriča tyče a naskrutkujú sa na ne pripravené výstružníky. Každá tyč sa upne do hlavy na vretene. Nastavia sa otáčky a posuv. Olej je privádzaný do otvorov. Zapnú sa otáčky a posuv. Vystružovanie sa uskutoční ťažnými nástrojmi. Pracovník obsluhuje vzhľadom k dlhým časom minimálne 2 stroje. Konečný vystružený rozmer po 3. vystružení má toleranciu vývrtu 0,03 mm a opracovanie povrchu  $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ . Dokončovanie sa je realizované technológiou honovania s  $Ra = 0,4 \mu\text{m}$

## 6.2 Rezné podmienky pri vystružovaní

Rezná rýchlosť  $v_c$  a posuv  $f$  sú dôležité parametre vystružovania, ktoré ovplyvňujú presnosť a kvalitu opracovaného povrchu, a ovplyvňuje ich vystružovaný materiál a jeho priemer i dĺžka. Pre materiály súčiastok: 13240.3 [9] a 15230.9 s pevnosťou  $R_m = 1\,000 \text{ MPa}$  pre jednotlivé priemery a dĺžky 700 mm boli overené nasledovné podmienky:

Rezná rýchlosť  $v_c = 8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , otáčky a posuv pre nasledovné priemery boli overené nasledovne:

$D = 6 \text{ mm}$	$n = 450 \text{ min}^{-1}$	$f = 0,18 \text{ mm}$
$D = 7,30\text{-}7,55 \text{ mm}$	$n = 350 \text{ min}^{-1}$	$f = 0,18\text{-}0,3 \text{ mm}$
$D = 8,25\text{-}8,5\text{-}8,76$	$n = 300 \text{ min}^{-1}$	$f = 0,18\text{-}0,3 \text{ mm}$
$D = 16,05\text{-}16,35 \text{ mm}$	$n = 160 \text{ min}^{-1}$	$f = 0,53 \text{ mm}$
$D = 18,4\text{-}18,7 \text{ mm}$	$n = 140 \text{ min}^{-1}$	$f = 0,40 \text{ mm}$
$D = 21,2\text{-}21,8 \text{ mm}$	$n = 120 \text{ min}^{-1}$	$f = 0,40 \text{ mm}$
$D = 26,7 \text{ mm}$	$n = 114 \text{ min}^{-1}$	$f = 0,45 \text{ mm}$

Použitá rezná kvapalina pri vystružovaní bol rezný olej typu KATOL PP, dnes už bez obsahu chlóru. Zabezpečuje dosiahnutie drsnosti povrchu  $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ . Nasledujúcimi operáciami po vystružovaní je kontrola krivosti, rovnanie, honovanie a rotačné kovanie pre výrobu drážkovania. Aj pri vystru-

žovanie hlbokých otvorov malých priemerov sú rýchlorezné výstružníky postupne nahradzované tvrdokovovými výstružníkmi rôznej konštrukcie (DIHART, MAPAL, GÜHRING, BECK, ISCAR, URMA). K dispozícii je dnes špeciálna konštrukcia upínacej hlavy, s možnosťou vystredenia priamo na vretene použitého stroja, s presnosťou až 0,005 mm. Výstružník je vedený v otvore pomocou valcových fazetiek na každom zube s vedľajším uhlom nastavenia iba niekoľko uhlových minút. To umožňuje dosiahnuť vysokú rozmerovú presnosť pri vystružovaní a počas stanovenej doby trvanlivosti nie je potrebné prestavovanie výstružníka na rozmer. Monolitný výstružník zo spekaného karbidu triedy ISO a tyou karbidu K10/K20 UF + CVD povlak TiAlN, mal počet zubov  $z = 6$ , kuželovitosť dozadu 0,012 mm a priemer  $\varnothing 8,515$  mm, pri uhle nastavenia reznej hrany  $\kappa = 90^\circ$ .

Bolo realizované vystružovanie otvorov  $\varnothing 8,5$  H6 do pancierového plechu typu ARMOX 560T, tvrdosti 52 až 54 HRC, na obrábacom stroji FNGJ-20-CNC, pri nasledovných rezných parametroch:

$$\begin{array}{ll}
 n = 400 \text{ min}^{-1} & v_c = 10,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \\
 f = 0,11 \text{ mm} & v_f = 44 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \\
 f_z = 0,018 \text{ mm} & a_p = 0,25 \text{ mm} \\
 \text{chladenie E 5 \%} &
 \end{array}$$

Vystružené otvory mali rozmer  $\varnothing 8,505$  mm, dosahovali drsnosť povrchu  $Ra = 0,2\text{-}0,3$  mm a kruhovitosť 0,001 mm v závislosti na tvrdosti plechu hrúbky  $h = 6$  mm.

## 7 TECHNOLÓGIA HONOVANIA HLBOKÝCH OTVOROV

Technológia honovania je dokončovací proces opracovania valcových otvorov veľkých dĺžok s cieľom vylepšenia rozmerovej presnosti po vystružovaní (kruhovitosť a kuželovitost') pri dosahovanej drsnosti povrchu  $Ra = 0,8-0,2 \mu\text{m}$ . Pre proces honovania je dôležitá voľba druhu honovacích kameňov (ich tvrdosti a zrnitosti), voľba axiálnej ( $v_a$ ) a obvodovej ( $v_o$ ) rýchlosti honovania, prítlaku kameňov o povrch otvoru a chladiacej kvapaliny. Až potom môžeme dosiahnuť potrebné výkony a kvalitu povrchu otvoru. Honovanie je trieskové brúsne obrábanie, kde jednotlivé rezné hrany a klíny brúsnych zŕn majú nedefinovanú geometriu. Rezným nástrojom je honovacia hlava s jedným (u malých priemerov), ale prevažne so 4-6 brúsnyimi kameňmi, ktoré sú rôznej rozmerovej veľkosti, upnuté prilepením alebo mechanicky v kovovej výsuvnej lište. Tá má kuželové oporné plochy dotýkajúce sa vysúvacieho kužela v tiahle hlavy. Pri stálom styku kameňov s plochou otvoru obrobku, a pri otáčajúcom sa pohybe tyče s nástrojom, alebo súčasne protibežne nástroja i obrobku, dochádza k periodickej zmene priamočiareho vratného axiálneho pohybu nástroja a tým k vytvoreniu rovnobežných a križujúcich sa stôp od zŕn kameňov. Honovacia tyč s upevnenou na nej honovacou hlavou vykonáva súčasne dva hlavné pohyby - otáčavý a axiálny vratný pohyb. Ak sa má dosiahnuť veľkých objemových výkonov obrábania a vysokej presnosti, musí sa pomer axiálnej reznej rýchlosti ( $v_a$ ) a obvodovej reznej rýchlosti  $v_o$  pohybovať v rozmedzí 1 : 1,5 až 1 : 3,5. Prítom rezná rýchlosť  $v$ , ako výslednica oboch pohybov, závisí od obrábaného materiálu, druhu brusiva a výkresom požadovanej drsnosti povrchu. Honovanie sa prevažne robí v dvoch pochodoch a to ako tzv. predbežné alebo hrubovacie honovanie a dokončovacie honovanie na čisto. Na rozdiel od brúsenia, kde je v zábere naraz relatívne malý počet zŕn v styku s obrobkom pri vysokej rýchlosti a tvrdom spojive, pri honovaní, keďže počet súčasne pracujúcich zŕn je veľký a sú používané rezné rýchlosti menšie 40× až 120×, než pri brúsení. Rezné sily sú tiež menšie a množstvo vznikajúceho tepla je mizivé oproti brúseniu. Teplota povrchu obrobku pri honovaní neprevyšuje 130 až 150 °C, hĺbka deformovanej vrstvy je iba 0,006-0,002 mm (pri brúsení a teplotách rezania 700-800 °C je hĺbka deformovanej vrstvy do 0,07 mm). Honovacie kamene sa na začiatku honovania dotýkajú len vrcholkov predchádzajúcich nerovností. Po krátkom čase sa tieto vrcholky zrovnajú, nosná plocha sa zvýši, drsnosť povrchu sa zlepší a odobraný materiál odnáša (spolu s vylomenými zrnami z kameňov) rezná kvapalina väčšieho množstva. Merné tlaky medzi kameňmi (brusivom) a plochou otvoru sú 0,05 až 1,2 MPa a rezné rýchlosti sú iba

$v = 20$  až  $75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , dosahovaná drsnosť povrchu  $Ra = 1,6$  až  $0,025 \text{ } \mu\text{m}$ ; presnosť rozmeru:

- pri predbežnom honovaní IT 6 až IT 8, pri  $Ra = 0,4$ - $1,6 \text{ } \mu\text{m}$
- pri dokončovacom honovaní IT 3 až IT 5, s  $Ra = 0,1 \text{ } \mu\text{m}$  i lepšej.

Podľa tzv. Abbotovej nosnej krivky podielu profilu, činí nosný podiel (nosná plocha) až 90 %. Ako rezný materiál pre výrobu honovacích kameňov sa používa umelý korund t.j. oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ktorý môže byť biely, ružový, šedý (označovaný A99, A98, A97), umelý karbid kremíka SiC (karborundum), označovaný ako C49 až C47, ktorý je farby zelenej až šedej, rôznej tvrdosti a zrnitosti, prevažne so spojivom keramickým (V), alebo bakelito-vým (B). V hromadných výrobách (automobilový priemysel) sa používajú lišty honovacích hláv z diamantových zŕn a kovového spojiva.

Honovanie umožňuje odstrániť ovalitu, nepresnosť kruhovitosti i kuželovitosti otvoru, vďaka rovnomernému prítlaku všetkých kameňov (líšt) v hlavě. Kĺbové spojenie honovacej hlavy s tyčou umožňuje vhodné samostredenie osi honovacej hlavy v otvore a vylučuje akékoľvek vyosenie otvoru voči povrchu. Priamosť a súosovosť otvoru musí byť zabezpečená predchádzajúcou operáciou (vystružovaním, jemným vyvrtávaním a pod.). To umožňuje opracovať aj otvory s minimálnymi prídavkami. Prídavky na honovanie sa volia v závislosti od rozmeru otvoru a jeho dĺžky a podľa presnosti predchádzajúcej operácie. Pre hrubovacie honovanie sa prídavok volí tak, aby umožnil odstránenie drsnosti a chýb geometrického tvaru obrábaného povrchu (ovalnosť, kuželovitosť, súdkovitosť, vlnitosť) z predchádzajúceho obrábania. V praxi sú prídavky 1,5 až  $2 \times$  vyššie ako chyba geometrického tvaru a počítajú sa podľa rovnice

$$a = 2a_p = 2R_z + O_k + O_v + O_p \quad [\text{mm}/\emptyset] \quad (17)$$

kde  $R_z = 5 \cdot Ra$  [ $\mu\text{m}$ ]. Prídavky potom bývajú 0,1 až 0,35 mm na priemer (menej v sériovej výrobe, viac v kusovej výrobe). U dokončovacieho honovania v závislosti od dĺžky súčiastky sú prídavky  $a = 0,02$  až 0,1 mm na priemer.

Pri väčších a hlbokých otvoroch v kusovej a malosériovej výrobe sa prídavok na honovanie počíta z rovnice

$$a = 0,002D \quad [\text{m}/\emptyset] \quad (18)$$

Proces honovania môže byť tzv. jednostupňový a vykonávaný jednou a tou istou hlavou i kameňmi, bez prerušenia práce, iba zmenou rezných rých-

lostí ( $v_a$ ,  $v_o$ ) a prítlaku kameňov ku koncu honovania, a môže byť aj dvojstupňový, t.j. pozostávajúci z hrubovacieho honovania hlavou s hrubozrnnejšími kameňmi a nasledujúceho dokončovacieho honovania (po výmene honovacej hlavy) za inú s jemnozrnnejšími kameňmi. Pre vyhladzovanie povrchu a získanie vysokej kvality povrchu sa často používajú čierne grafitové kamene, v hromadných výrobách aj diamantové lišty. V kusových výrobách a pri výrobe prototypov sú prídavky na honovanie vyššie ( $a = 0,2$  až  $0,5$  mm na priemer) a postačuje i operácia vyvrtávania otvorov, resp. sústruženia.

Obrobky určené pre honovanie nepotrebujú v podstate žiadne konštrukčné úpravy. Najlepšie sú ale obrobky predsa len tuhej konštrukcie s rovnakým prierezom (rovnomerný odvod tepla), pri ktorých sa môže honovať s veľkými úberovými výkonmi za použitia otáčok a posuv. Dlhé valce a rúry je možno honovať pri nastavení obrobkov v podperných lunetách, súosovo nastavených do osi stroja. Honovať ale možno i tenkostenné dlhé súčiastky, dvojstupňovým honovaním. I hlavne zbraní sa honujú dvojstupňovo, s medzioperáciami opracovania tvarovej komory a ťahania skrutkových drážok. Upínanie obrobkov sa realizuje prevažne tak, ako sa upínajú v montáži.

Spôsoby upnutia sú nasledovné:

- tuhé upnutie obrobku a tzv. plávajúce uloženie honovacej hlavy (odchýlka osi je max.  $0,3$  mm),
- plávajúce upnutie súčiastky, pevná hlava.

Hrany otvorov pred honovaním sa majú obojstranne zraziť (menšia spotreba kameňov pri ich vybiehaní z otvoru do  $\frac{1}{3}$  dĺžky). Po upnutí súčiastky na stroji sa najskôr nastaví axiálna rýchlosť pohybu  $v_a$ , potom obvodová  $v_o$  je asi  $2\times$  vyššia, než sa začne proces technológie honovania. Obsluha stroja sleduje sluchom proces záberu, úber materiálu a úbytok kameňov, postupne zvyšuje prítlak kameňov, prípadne koriguje rezné parametre. V priebehu procesu honovania sa meria (sleduje) rozmer otvoru na začiatku a na konci. V sériovej výrobe sa používajú sledovacie vzduchové meradlá, v hromadnej výrobe hlavy so zabudovaným vzduchovým meraním. U kratších otvorov sa používajú kontrolné kalibrové krúžky, ktoré automaticky po dosiahnutí otvoru sa zasunú dovnútra a súčasne vypnú cez kontakt alebo pohyb honovacej hlavy. Pri honovaní treba výdatne chladiť olejom.

Chladenie pri honovaní je realizované prostredníctvom tzv. rezného oleja. Používajú sa špeciálne rezné oleje, nízkej viskozity  $1,2-5$  °E pri  $20$  °C, napr. typ HONOIL, GP 20 až GP 50 od GEHRING a pod. Od reznej kvapaliny požadujeme:

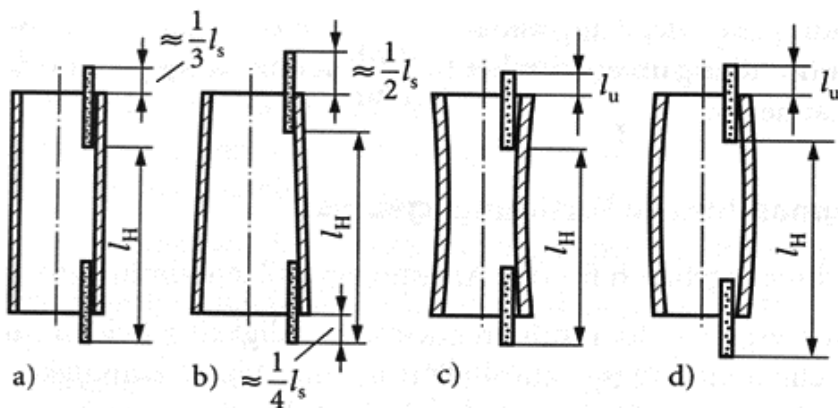
- chladiaci účinok (odvod tepla z miesta rezu od trenia),
- mazací účinok (schopnosť vytvoriť film odolávajúci tlaku),
- čistiaci účinok (kameňov od triesok a brusiva),
- prevádzkovú stálosť (nesmie napadať kovy, nátery a tesnenia stroja),
- zdravotnú nezávadnosť (nejedovaté, nesmie dráždiť pokožku obsluhy stroja),
- nízku cenu.

Množstvo reznej kvapaliny pri honovaní podľa priemeru sa odporúča voliť nasledovným spôsobom:

- Ø50-100 mm  $Q = 20 \text{ až } 40 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$
- Ø150-400 mm  $Q = 50 \text{ až } 200 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$

Objem nádrže pre kvapalinu má byť väčší ako spotreba na 15 min, t.j.  $V = 4 \cdot Q_{\text{max}}$  litrov. Po odchode z miesta honovania musí sa rezná kvapalina čistiť (magnetické, látkové, papierové filtre, odstredivé separátory, ultrazvuk). Nádrž má priečky (ako u brúsok) pre usadzovanie kalu. Vodné emulzie sa pri honovaní neodporúčajú (okrem bronzu, i tu je výhodnejší olej). Čím honujeme tvrdší materiál, tým môže byť kvapalina menej viskózna (hustejšia). Pri nízkej viskozite kvapaliny sa dosahuje lepšia drsnosť povrchu i vyššia produktivita. Viskozita pri 50 °C sa pohybuje rámcovo do 10 cSt. = 10 až 20 mm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>.

Výbeh kameňov z otvoru (tzv. prebeh) je realizovaný tak, že normálne (prevažne) sa výbeh kameňov z otvoru v úvratiach volí  $\frac{1}{3}$  dĺžky kameňov v hlavě. Tým sa zvyšuje síce tlak na zvyšnú časť kameňov, no zväčšenie úberu nenastáva, lebo súčasne dochádza k zmene smeru priamočiareho pohybu v úvratiach a k zmenšeniu rýchlosti i uhlu kríženia stôp. Ak je ale prebeh väčší (napr.  $\frac{1}{2} \cdot l_k$ ) prevláda v úvrati väčší úber materiálu, dochádza k zvýšeniu tlaku a takto možno opraviť napr. kuželovitosť súčiastky - menší otvor (obr.79). Podobne zmenou dĺžky výbehu kameňov možno odstrániť súdkovitosť či vydutosť otvoru. Pri honovaní slepých otvorov sa musí konštrukčne upraviť výbeh - ako pri rezaní závitov, alebo sa urobí kuželovite v dĺžke cca  $\frac{1}{2}$  dĺžky kameňov ( $l_k$ ).



**Obr.79 Znárodnenie vplyvu tzv. prebehu brúsnych kameňov honovacej hlavy na tvarovú presnosť orvoru pri honovaní**

- dĺžka zdvihu a prebeh kameňov  $l = \frac{1}{3} l_k$  pre dosiahnutie valcovitosti otvoru;
- prebeh  $l = \frac{1}{2} l_k$  pre zvýšenie úberu kuželovitého otvoru, naopak  $l = \frac{1}{4} l_k =$  zníženie úberu (odstránenie kuželovitosti);
- nastavenie menšej dĺžky zdvihu a malý výbeh kameňov odstráni kuželovité rozšírenie otvoru na oboch koncoch;
- nastavenie dlhšieho zdvihu pri skrátaní prebehu a výbehu u súdkovitého otvoru podľa [2, 6]

## 7.1 Brúsne materiály na výrobu honovacích kameňov

Pre honovanie všetkých druhov ocelí sa používajú kamene prevažne z umeleho korundu. Označuje sa písmenom A a tiež číslom, ktoré udáva percento  $Al_2O_3$  - A99B, A98, A97.

Karborundum SiC je tvrdší, označuje sa písmenom C a percentom uhlíka, je tvrdší ako korund. Hodí sa pre honovanie tvrdých i krehkých materiálov, ako sú tvrdokovy, liatina, keramika, neželezné kovy. Diamant resp. jeho syntetické zrno v kovovom spojive, je najtvrdší ale i najdrahší. Používa sa na ocele, liatiny, kalené i chrómované ocele v hromadných výrobách. Rozmerovo sa dodávajú kamene pre honovanie o mierach:

- $3 \times 4 \times 63$  mm;
- $4 \times 6 \times 63$  mm;
- $4 \times 6 \times 80$  mm;
- $6 \times 10 \times 100$  mm;
- $6 \times 10 \times 125$  mm;
- $8 \times 10 \times 100$  mm;
- $10 \times 13 \times 125$  mm;

- 13 × 13 × 100-160 mm;
- 20 × 20 × 200 mm.

Upevnenie kameňov k honovacej hlave je realizované nasledovne:

- mechanicky pružinami spolu s lištou,
- prilepením na kovovú lištu (epoxyd, lederit),
- v rybinách hlavy pomocou priziem z PVC, do ktorých sú kamene upevnené.

Označovanie kameňov z výroby Carborundum je podobné ako brúsnych kotúčov (napr. A98-100K-9V), u iných firiem podľa ich zvyklostí. Zahraničné firmy používajú pre mäkké ocele i sírovaný korund.

## 7.2 Honovacie hlavy

Používajú sa rôznych konštrukcií a prevedení (obr.83 a 84), napríklad hlavne konštrukcie a typov od GEHRING, NAGEL, TBT+OSU, ktoré sú spravidla osadené jedným až ôsmymi honovacím kameňmi, u špeciálnych hláv i viac. Kamene sú rovnomerne rozpínané kužel'mi, ručne, mechanicky, najlepšie hydraulicky. Na honovanie krátkych otvorov sú hlavy skrátenej dĺžky, pre hlboké otvory sú hlavy predĺženej konštrukcie, niekedy s 2 a 3 radmi kameňov po 4-8 ks.

Pred začiatkom honovania musí mať hlava priemer kameňov menší o 0,05-0,1 mm oproti priemeru otvoru, ktorý ideme honovať. V sériových výrobách sa kamene po prilepení alebo upevnení prebrusujú na guľato v špeciálnych tŕňoch na rozmer východzieho otvoru, v kusových výrobách sa hlava s rovnými kameňmi nechá v prvom otvore vybehať, pri postupne sa stupňujúcich tlakoch.

## 7.3 Pracovné podmienky honovania

Pracovné (rezné) podmienky v technologickom procese honovania sú nasledovné:

$$\text{rezná rýchlosť} \quad v_c = \sqrt{v_o^2 + v_a^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (19)$$

$$\text{obvodová rýchlosť} \quad v_o = \frac{\pi D (n_1 + n_2)}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (20)$$

$$\text{axiálna (posuvová rýchlosť)} \quad v_a = \frac{2zL_z}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (21)$$

zdvih 
$$L_z = L + l_1 + l_2 - l_k \text{ [mm]} \quad (22)$$

kde  $L$  je dĺžka súčiastky  $l_k$  je dĺžka kameňa,  $l_1, l_2$  je výbeh a prebeh

alebo potom 
$$L_z = L - \frac{1}{3}l_k \quad (23)$$

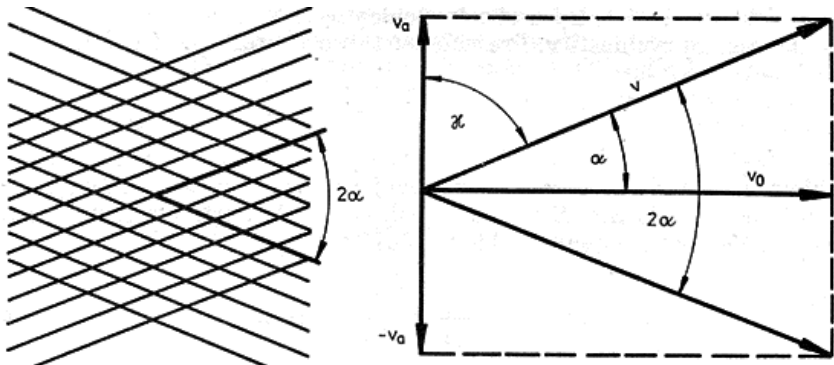
$v_o = v \cos\alpha \quad v_o = 14\text{-}30 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

$v_a = v \sin\alpha \quad v_a = 4\text{-}15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

$v_o : v_a = \cot\alpha \quad 2\alpha = 30\text{-}60^\circ$ , t.j. uhol skríženia stôp

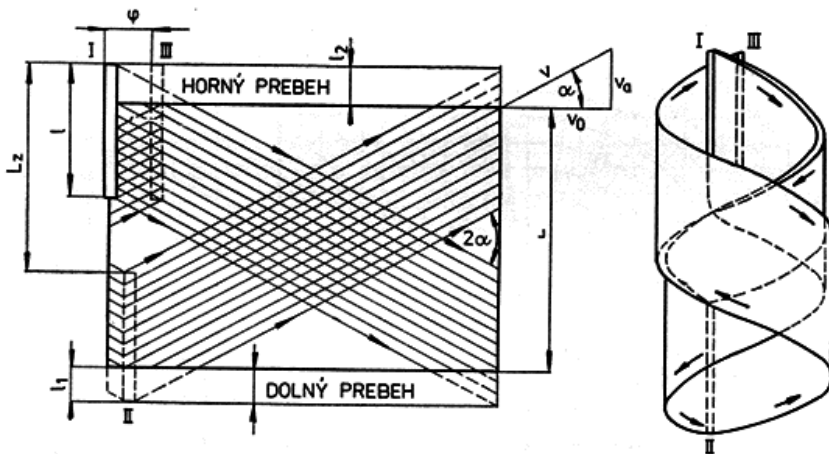
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{s(l)}{\pi D} = \frac{v_a : n}{v_o : n} = \frac{v_a}{v_o} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = 90^\circ - \chi \quad (24)$$

kde uhol  $\chi$  je uhol medzi smerom reznej rýchlosti a osou súčiastky (obr.80).



**Obr.80 Zložky vektorov tzv. honovacej rýchlosti**

$v_o$  - obvodová rýchlosť;  $v_a$  - axiálna vratná rýchlosť priamočiara [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ];  
 $\alpha$  - polovičný uhol kríženia stôp po zrnách honovacích kameňov ( $2\alpha$ );  
 $\chi$  - uhol pomeru obvodovej a axiálnej rýchlosti podľa [2]



**Obr.81 Schéma pohybu honovacieho kameňa na jeden dvojjzdvih hlavy**

$L_z$  - dĺžka zdvihu honovacej hlavy;  $l = l_k$  - dĺžka kameňov n držiakoch hlavy;  $l_1$  - dolný prebeh kameňov;  $l_2$  - horný prebeh (výbeh) kameňov;  $L$  - dĺžka honovanej súčiastky;  $2\alpha$  - uhol križenia stôp po honovaní;  $v$  - výsledná rezná rýchlosť honovania;  $v_o$  - obvodová rýchlosť honovania;  $v_a$  - axiálna rýchlosť honovania;  $\varphi$  - posuv kameňov na jeden dvojjzdvih, rozdiel medzi polohou I a III podľa [2]

Počet dvojjzdvihov axiálneho vratného pohybu k otáčkam hlavy nesmie byť celé číslo, inak by zrná nástroja sa mohli pohybovať tam a späť po rovnakej dráhe. Uhol skríženia stôp  $2\alpha$ , je väčší pri hrubovaní, menší pri dokončovaní (lepšia drsnosť povrchu, menší úber). Prítláčny tlak kameňov o povrch otvoru: je menší na začiatku honovania, postupne sa zvyšuje. Pri hrubovaní je väčší, dokončenie sa robí s menším prítlakom. Zrornosť kameňov sa volí v závislosti od požadovanej drsnosti povrchu súčiastky. Mení sa s tvrdosťou honovaného materiálu. Čím je materiál súčiastky tvrdší, tým mäkkší má byť honovací kameň a naopak. Pórovitejšie kamene majú lepšie rezné vlastnosti. Pre rozmerové a hrubé honovanie sú výhodnejšie kamene s keramickým spojivom, pre dokončovacie honovanie kamene s bakelitovým spojivom (B). Pre mäkké a húževnaté materiály sa doporučuje štruktúra (sloh) či pórovitosť kameňov označovaná číslom 8, 9, 10 pre tvrdé a krehké materiály obrobkov, označované číslom 5, 6, 7 zo stupnice 1 až 15. Dosaiahnutú drsnosť povrchu  $Ra$  ovplyvňujú predovšetkým zrornosť kameňov a prítlak, ďalej materiál obrobku, rezná kvapalina, rezná rýchlosť a uhol, prekriženie stôp i druh honovacích kameňov. Vyššie rezné rýchlosti

a menší uhol prekríženia stôp vplývajú priaznivo na zlepšenie hodnoty drsnosti povrchu ( $Ra$ ,  $Rz$ ).

Čas honovania (25) sa počíta z rovnice

$$t_s = \frac{L_z a}{1000 v_a h} = \frac{a}{2hz} \text{ [min]} \quad (25)$$

kde  $L_z$  je zdvih honovacej hlavy [m],  $a = 2a_p$  je prídavok na honovanie a priemer [ $\mu\text{m}$ ],  $h$  je hĺbka triesky odoberaná na jeden zdvih [ $\mu\text{m}$ ],  $v_a$  je axiálna (posuvová) rýchlosť [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ] a  $z$  je počet dvojzdvihov za minútu. Počet dvojzdvihov za minútu vypočítame z rovnice

$$z = \frac{1000 v_a}{2L_z} \text{ [dvojzdvih}\cdot\text{min}^{-1}] \quad (26)$$

#### 7.4 Zvláštnosti honovania hlbokých otvorov

Honovanie hlbokých otvorov s pomerom  $L : D = 30\text{-}120$  mm má rad špeciálnych zvláštností akými sú dlhý čas jedného zdvihu, malý počet dvojzdvihov za čas, konštruujú sa špeciálne honovacie hlavy - viacradové a predĺžené, používané stroje do  $L = 5000$  mm sú vertikálne, od  $5000$  až do  $11000$  mm sú stroje horizontálne (obr.82, 83). V praxi sa používajú vertikálne honovacie stroje do  $L = 9000$  mm a horizontálny honovací stroj pre  $L_{\text{max}} = 23000$  mm. Súčiastka na vodorovnom stroji sa upína jedným koncom v univerzálnom skľučovadle upevnenom na vreteno dutého vreteníka stroja (môže sa otáčať), a druhý koniec je podopretý podpernou lunetou na zhotovenej páske povrchu. Lunet môže byť i viac. Pri nastavovaní súčiastky na stroji treba zabezpečiť meraním súosovosť osi súčiastky s osou vretena stroja a nosnej tyče na  $0,02$  mm (indikátorom za otáčania súčiastky). Pri druhom čele súčiastky je operný ložiskový krúžok, proti jej axiálnemu posunutiu. U prvého čela, v mieste zavádzania hlavy do otvoru je špeciálny podstavec resp. žľab, výškovo prestaviteľný s rovnakým priemerom ako má honovacia hlava. Umožňuje ľahké vchádzanie hlavy do otvoru.

Po zavedení honovacej hlavy do otvoru sa malým prítlakom honovacia hlava rozopne, kamene sa tlakom hydraulického valca, ktorý je v pohyblivom vreteníku stroja, pritlačia k stene otvoru, zapne sa axiálny pohyb hlavy a nastavenými otáčkami tyče i obrobku začína honovanie. Zapne sa tlakové mazanie olejom, u vertikálnych strojov medzikružím nad otvorom z vonka, u horizontálnych strojov cez vnútro tyče k hlave a ku kameňom. Kvapalina potom vyteká voľným otvorom pre honovacou hlavou späť do nádrže stro-

ja, kde je filtrovaná a vracia sa späť do obehu. Vreteník s tyčou a hlavou sa pohybuje po vedení frémy (lôžka) stroja. Aj honovacia tyč, vzhľadom na svoju dĺžku je vedená v podperných lunetách s presuvným vedením. Otáčanie obrobku pri honovaní je potrebné (protibežne hlavu), aby vplyvom váhy honovacej hlavy s tyčou nebola spôsobená ovalita otvoru (u neotáčajúceho sa kusa to nastáva). Pri honovaní hlbokých otvorov s cieľom zníženia strojného času honovania sa používa väčší uhol prekríženia stôp  $2\alpha$ , t.j. menšia  $v_0$  a väčšia  $v_a$ . Intenzita prívodu kvapaliny a jej množstvo musí byť na vodorovných honovacích strojoch vyššia ako na vertikálnych. Pracovný tlak kvapaliny býva  $p = 0,15-0,20$  MPa. Honovanie hlbokých otvorov hlavou bežnej konštrukcie je zdĺhavé a neekonomické. Preto sa vo svete používajú špeciálne konštrukcie hláv s niekoľkými radmi kameňov [6]. Pre honovanie otvorov po pretáhaní drážok je potrebné, aby honovacia hlava mala kamene väčšej šírky, najlepšie  $3 \times$  šírka drážky, zvlášť u rovných drážok. Pri honovaní hlbokých otvorov v súčiastkách z legovaných konštrukčných ocelí po tepelnom spracovaní (zušľachtení) sa odporúča používať hrubovacie kamene, tvrdosť K, L, zrnitosť 16 až 10; dokončovacie kamene, tvrdosť J, K, zrnitosť 5 až M 22. Merný tlak na kameňoch pri hrubovaní  $p_m = 0,35-0,55$  MPa pri dokončovaní je  $p_{md} = 0,1$  MPa. Pri honovaní hlbokých otvorov do ťažkoobrobiteľných austenitických ocelí triedy 17 (Cr-Ni) sa odporúča používať menšie rezné rýchlosti honovania, intenzívnejšie chladenie a kvapalinu s lepšou čistiacou schopnosťou. Rovnako aj kamene z A99B a A98M tvrdosti J až M, zrnitosť 16 až 6, prípadne C49 s tvrdosťou L až M, resp. ich kombinácia na jednej hlavu.

## 7.5 Honovanie materiálov pevnosti

**$R_m = 1\ 350$  až  $1\ 600$  MPa**

Pre úplnosť je potrebné uviesť dosiahnuté výsledky honovania súčiastky Rúra-T, ktorej  $R_m = 1\ 280-1\ 350$  MPa.

Honovanie  $\varnothing 125\ H6 \times 6\ 010$  mm

Materiál: STN 16 444.9

Honovací stroj: GEHRING HH 7500-250 (obr.82, 83)

Honovacie hlavy: GEHRING (obr.84)

Honovacie kamene:

a) CARBOUNDUM typ A99 10K9V  $10 \times 13 \times 125$  mm

b) GEHRING typ EK 100 LE 30-40 V45SG  $13 \times 13 \times 150$  mm

Parametre honovania:

a)  $v_o = 9,8-15,7 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

$v_a = 7-14 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

$v_c = 12-21 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

$a_p = 0,25 \text{ mm}$

$\rho = 0,8-1,2 \text{ MPa}$

b)  $v_o = 12-25 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

$v_a = 8-18 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

$v_c = 14,4-30,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

$a_p = 0,25 \text{ mm}$

$\rho = 0,8-1,5 \text{ MPa}$

chladenie rezným olejom GPH- 40 GEHRING

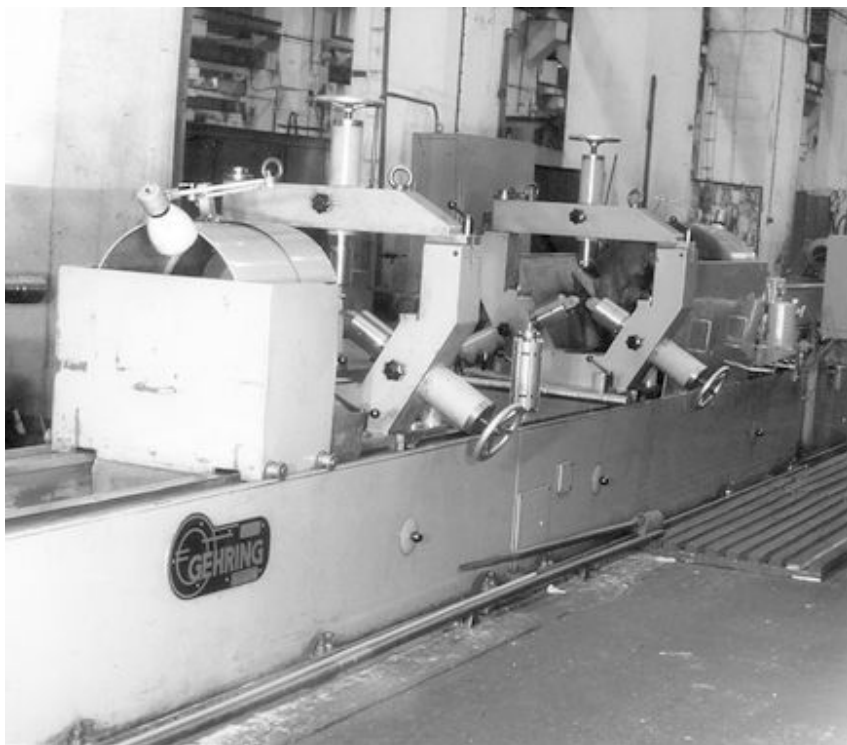
Úber materiálu:

$U_h = 3\ 500-4\ 500 \text{ mm}^3\text{min}^{-1}$

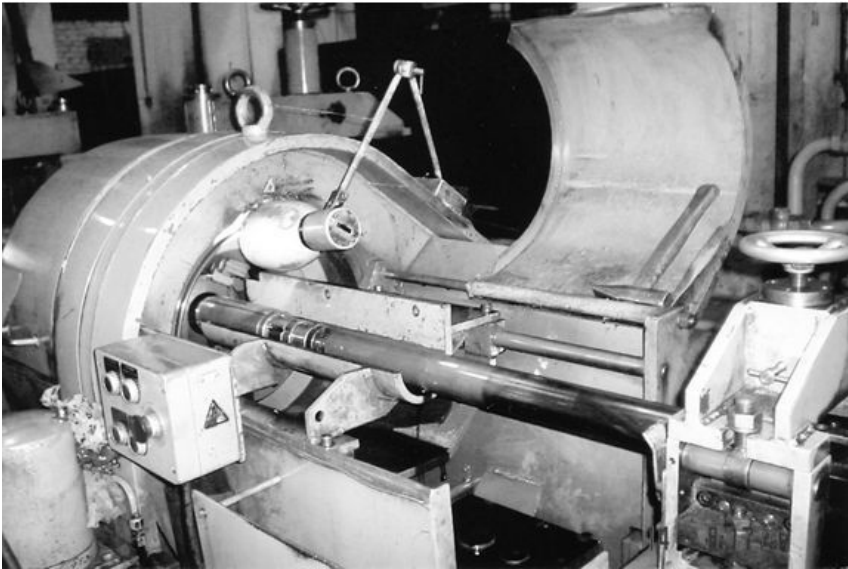
$t_s = 70-100 \text{ min}$

$U_h = 7\ 950-10\ 000 \text{ mm}^3\cdot\text{min}^{-1}$

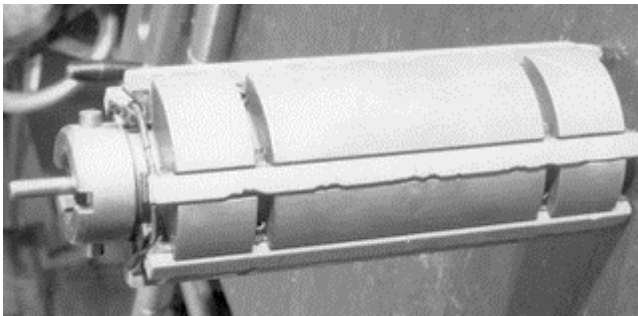
$t_s = 24-33 \text{ min}$



**Obr.82 Pohľad na honovací stroj GEHRING HH 7500-250  
zo strany výbehu nástroja z otvoru**



**Obr.83 Pohľad na honovací stroj GEHRING HH 7500-250  
zo strany vchádzania honovacej hlavy do otvoru súčiastky**



**Obr.84 Honovacia hlava GEHRING na honovanie hlbokých otvorov  
priemer 125 H6 × 6 010 mm**

Honovanie súčiastky priemeru  $\text{Ø}155 \text{ H}8 \times 7\,050 \text{ mm}$  sa robí nadvokrát a to hrubovacie na  $\text{Ø}154,85^{+0,05} \text{ mm}$  pred vývrtom komory a pred pretáhováním drážok a dokončovacie honovanie na rozmer  $\text{Ø}154,95^{+0,05} \text{ mm}$  s  $Ra = 0,4\text{--}0,2 \text{ }\mu\text{m}$  po pretáhovaní skrutkových drážok. Pri skúškach honovania boli použité typy kameňov NORTON, LAPORT, STELLA a GEHRING. Ako hono-

vací prostředek sa používa tzv. bezchlórový honovací olej typu HONOIL 171 - CASTROL.

Parametre honovania odporúčané zo skúšok honovania Ø125 mm:

$$v_0 = 21,4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$v_a = 13-18 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$v_c = 25-28 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$\rho = 1,2-1,6 \text{ MPa}$$

kamene: typ NK 100 LE 50-60 V45GS - GEHRING

V praxi boli použité nasledovné rezné parametre:

$$v_0 = 24,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$n_0 = 6,2 \text{ min}^{-1}$$

$$n_h = 45 \text{ min}^{-1}$$

$$v_a = 12-15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$\rho = 1,2-1,4 \text{ MPa}$$

kamene: typ NK 100 LE 50-60 V45GS - GEHRING

Nastavený čas honovania na ovládacom paneli stroja je  $t_s = 5-15$  min. Po tomto čase honovania sa smer otáčania tyče a obrobku automaticky zmenia na opačné. Medzikontrola rozmeru otvoru meradlom na oboch stranách obrobku. Pred záverom honovania sa zníži prítlak a axiálna rýchlosť  $v_a$ , čím sa dosiahne lepšia kvalita povrchu otvoru.

## 7.6 Honovanie dlhých hydraulických valcov

Pre zaistenie technológie výroby hydraulických a pneumatických valcov s priemerom  $D_0 = 80-300$  mm a maximálnej dĺžky až  $L = 10\,000$  mm bol dodaný vodorovný vyvrtávací stroj WOLENBERG B800 B  $\times$  10 000 mm a vodorovný honovací stroj GEHRING HH-11000-250.

Vyvrtávanie dlhých valcov je realizované ťažnými hlavami, čím sa zabezpečí minimálna odchýlka osi otvoru. Valce sú pri vyvrtávaní i honovaní upínané medzi tzv. strediacie kužele na oboch koncoch a podopierané tromi lunetami na strediacich pásikoch. Pred honovaním sa otvory vystružujú plávajúcou vystružovacou hlavou. Honovacia hlava s tyčou vo vreteníku stroja, sa môže otáčať s  $n = 12-200 \text{ min}^{-1}$ , prítlak honovacích kameňov sa môže meniť taktiež presúvacími pákami v rozsahu  $p = 0-4$  MPa. Honovacia tyč je podopieraná jednou pevnou a jednou pohyblivou lunetou. Nádrž chladiaceho média (oleja) GEHRING GPH-50, má objem  $V = 2\,000$  litrov. Olej je privádzaný k honovacej hlave cez tyč a otvory v hlave. Honovacie kamene pre hrubovanie celej série sú nasledovné:

Priemer otvoru je  $D = 80-220$  mm;  $D = 250-300$  mm

Hrubovacie kamene:

typ NK 120 LE 30-40 V45SG; NK 120 LE 50-60 V45SG

Dokončovacie kamene:

typ K 320 EK LE 14-17 Ba K 320 EK LE 17-22 Ba

Rozmery kameňov:

$100 \times 10 \times 13$  ( $150 \times 13 \times 13$ ) mm;  $150 \times 16 \times 16$  ( $200 \times 20 \times 20$ ) mm

Používané parametre honovania pre materiály s medzou pevnosti

$R_m = 500-1\ 000$  MPa:

obvodová rýchlosť  $v_o = 20-28$  m·min<sup>-1</sup>

axiálna rýchlosť  $v_a = 5-25$  m·min<sup>-1</sup>

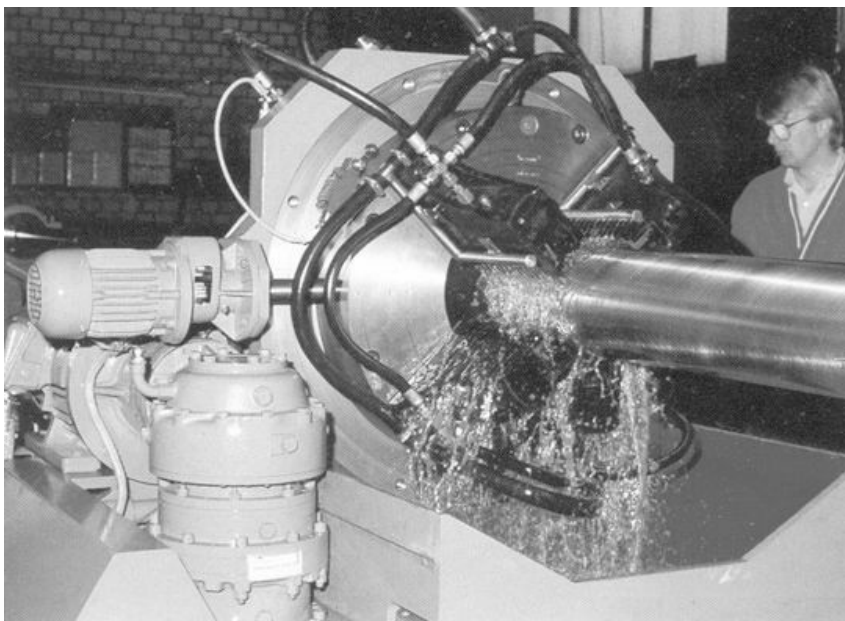
Obe rýchlosti treba tak zladit', aby skríženie stôp ležalo v rozmedzí 45-70°. Na ovládacom paneli stroja sa nastaví časy pre hrubovanie a čas pre dokončovanie. Prítlak kameňov sa automaticky zmení po uplynutí nastaveného času.

Dosahované drsnosti povrchu po honovaní:  $Ra = 0,2-0,3$  μm

Dosahovaná kuželovitost' otvoru: 0,005-0,01 mm

Ovalita povrchu: 0,005-0,01 mm

Spoločnosť Hunger (Nemecko) vyrába valce od najmenších až po obrovské až 23 000 mm dlhé na vodorovnom honovacom stroji, a na vertikálnych troch strojoch o celkovej dĺžke až 9 000 mm riadených počítačom. Vyrábajú si aj vlastné honovacie kamene, ktoré nelepia na kovové lišty, ale tieto sú prizmami uložené v kovových vedeniach, a pri nastrekovaní plastu sa obalí i honovací kameň. Využije sa vlastne celá výška honovacích kameňov a PVC nástrek na bokoch kameňov zotiera nečistoty z povrchu otvoru. Honujú i vonkajšie povrchy PIESTNIC pre hydraulické valce (obr.85).

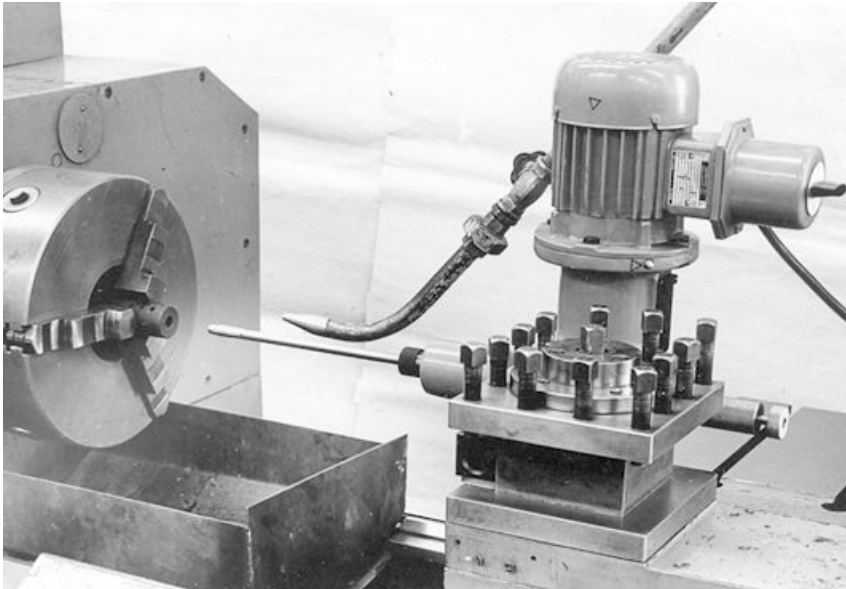


*Obr.85 Honovanie vonkajších povrchov piestnic hydraulických valcov*

## **7.7 Vibračné honovanie**

Technológia vibračného honovania sa považuje za jednu z ekonomicky najefektívnejších a rovnako aj jednu z najproduktívnejších metód dokončovacieho obrábania. Je to proces, ktorého dynamika je podobná superfinišovaniu. S ním sa zhoduje v charaktere pracovných pohybov a v dosahovaní vysokej kvality povrchu otvoru. S honovaním má spoločné to, že sa používajú honovacie hlavy pri veľkých úberoch. K otáčavému a axiálnemu pohybu sa u vibračného honovania pridružuje ešte ďalší pohyb a to vibračný, o určitej amplitúde a frekvencii, v smere osi. Axiálna rýchlosť býva však u vibračného honovania značne menšia ako je používaná u klasického honovania. Vibračný pohyb pôsobí na honovací proces veľmi priaznivo, zlepšuje podmienky práce, pretože každé zrnó nepracuje len jednou reznou hranou ale viacerými a tak sa teda neotupí a neopotrebit tak rýchlo. Súčasne sa tým znižuje dĺžka triesky odoberaná jedným zrnó, uľahčuje sa čistenie nástroja a odvod triesok z miesta rezu. Toto všetko spôsobuje, že pri vibračnom honovaní môžeme používať bez nebezpečenstva zanášania honovacích kameňov tvrdšie nástroje než je zvykom pri klasickom honovaní.

Všeobecne sa pri vibračnom honovaní odporúča použiť o jeden stupeň tvrdšie kamene, než pri konvenčnom honovaní. Vibračné honovanie je možné použiť na honovacích strojoch určených pre tento spôsob honovania, napr. na stroji typu SZFS 63 × 315 mm od WMW Naumburg, alebo na sústruhu, s použitím prídavného zariadenia ESZI-315 (obr.86).



*Obr.86 Pohľad na prídavné zariadenie určené k tzv. vibračnému honovaniu na sústruhu*

## **7.8 Honovanie otvorov s diamantovými lištami**

Autori [2, 10, 11, 12] uvádzajú príklady technológie honovania s použitím diamantových lišt. Vzhľadom na cenu diamantových lišt, je ich aplikácia vhodná pre veľkosériovú až hromadnú výrobu. Pri veľkosériovej výrobe cca 350 000 ks/rok napr. VLOŽKY VALCOV spaľovacích motorov na dvoch dvojvretenových strojoch SZSMR 2 × 200 × 500 mm s aktívnou kontrolou, prešli u priemerov 68 a 72 × 155 mm z pôvodných honovacích kameňov na diamantové lišty nasledovnej kvality:

hrubovacie honovanie: ASV - 200/160 MS3 100 %

dokončovacie honovanie: SR - 50/40 M1 100 %

U materiálu, ktorým bola špeciálna liatina, a požadovaná drsnosť povrchu otvoru  $Ra = 1,6 \mu\text{m}$ , bol uhol skríženia stôp po honovaní  $2\alpha = 75^\circ$ . Jedno osadenie honovacej hlavy s diamantovými lištami vydržalo vyhonovať priemerne 3 400 otvorov, pri odoberaní prídavku  $2a_p = 0,04\text{--}0,07 \text{ mm}$  na priemer.

Používané rezné parametre pri diamantovom honovaní:

$$v_0 = 51,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$v_a = 23,0 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$\rho = 0,7\text{--}0,9 \text{ MPa}$  pri hrubovaní

$\rho = 0,5\text{--}0,6 \text{ MPa}$  pri dokončovaní

Výsledky honovania sú nasledovné:

prídavok  $a_p = 0,02\text{--}0,035 \text{ mm}$

úber celkom  $U = 700\text{--}1\ 100 \text{ mm}^3$

merný úber  $U_m = 325\text{--}511 \text{ mm}^3\cdot\text{min}^{-1}$

čas honovania  $t_h = 2,15 \text{ min}$

použitá chladiaca kvapalina olej GEHRING - GPH 25-40.

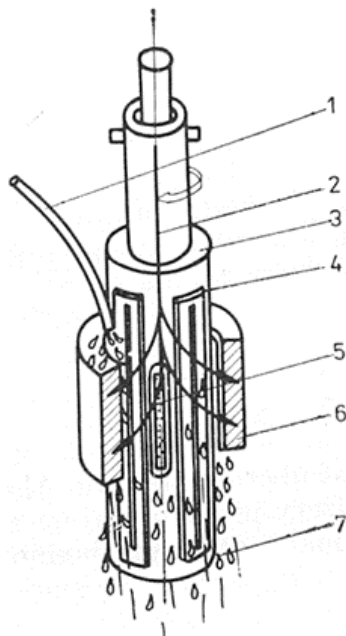
Honovanie diamantovými lištami sa používa pri opracovaní veľmi presných otvorov v ocelových a liatinových súčiastkach, ako sú: bloky valcov, vložky a puzdra, spaľovacích motorov, hydraulických a pneumatických prístrojov, valcov kompresorov, puzdra lodných motorov, súčiastky brzdových systémov, oká ojnic, puzdra palivových čerpadiel, a pod. Honovacie diamantové lišty umožňujú obrábať legované materiály, farebné kovy a ich zliatiny. Veľká rozmerová stálosť diamantových lišt spôsobuje zvýšenie trvanlivosti diamantových lišt oproti korundovým či karborundovým kameňom 100-200×, pri značnom znížení teploty 2-3× [2, 10].

Jednou zo základných predností honovania diamantovými lištami je dosiahnutie nepoškodenej povrchovej vrstvy, čo má vplyv na odolnosť proti opotrebeniu priklznom i valivom trení. Zvyšuje sa produktivita honovania a skracovanie vedľajších časov. Rozmerová a geometrická presnosť obrábaných otvorov dosahuje  $\pm 0,002 \text{ mm}$ .

Výška diamantovej vrstvy na honovacích lištách je spravidla 1-5 mm. Súčtová šírka všetkých diamantových lišt na honovacej hlave je menšia než  $\frac{1}{5}$  obvodu otvoru, ich počet býva rozdielny podľa priemeru. U najmenších priemerov sa použije jedna lišta.

## 7.9 Elektrolytické honovanie

Podstatou procesu je elektrolytické rozpúšťanie materiálu súčiastky a mechanické odstraňovanie jeho zvyškov pomocou brúsnych materiálov z ktorých sú vyrobené honovacie kamene alebo diamantovými lištami, rovnako ako pri elektrolytickom brúsení alebo ostrení nástrojov. Osvedčuje sa najmä pri honovaní ťažko obrábateľných materiálov, kde zvyšuje produktivitu honovania 2-3×. Princíp je na obr.87.



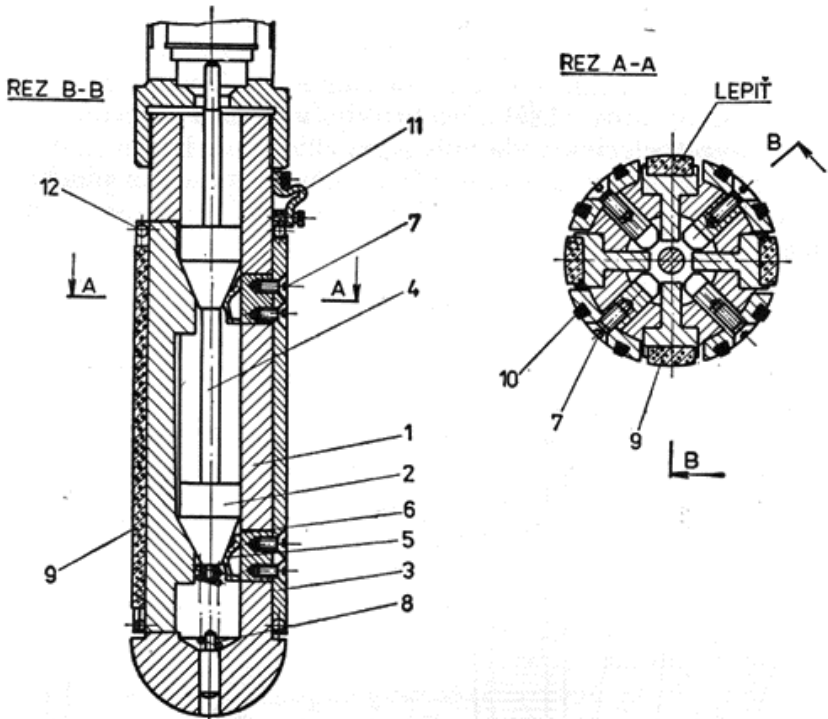
**Obr.87 Schéma procesu elektrolytického honovania otvorov**

- 1 - privod elektrolytu, 2 - tok elektrického prúdu, 3 - honovacia hlavica, 4 - elektróda,  
5 - honovací kameň, 6 - opracovávaná súčiastka (+), 7 - výtok kvapaliny  
podľa [2, 10]

Honovacia hlava pre elektrolytické honovanie musí mať okrem vysúvateľných elektricky nevodivých honovacích kameňov ešte aj kovové elektricky vodivé, podobným spôsobom vysúvateľné elektródy.

Mechanický úber materiálu kameňmi sa riadi zákonmi klasického honovania brúsnyimi kameňmi ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC), či diamantovými lištami. Ak na elektródu nástroja, ktorá je katódou (- pól) a obrábanú súčiastku, ako anódu (+pól) Privedieme elektrický jednosmerný prúd a medzeru medzi nimi za-

lejeme elektrolytom. Materiál v otvore súčiastky sa začne rozpúšťať v zzhode s Faradayovým zákonom. V dôsledku axiálneho a otáčavého pohybu honovacej hlavice nastáva elektrolytický úber. Materiálu po celom povrchu, takže sa odoberá rovnomerná vrstva. Úber materiálu prebieha podľa množstva (veľkosti) prúdu, ktorý je priamo úmerný veľkosti činnej plochy elektródy. Hlavica pre elektrolytické honovanie je rozdielna od klasickej (obr.88).



**Obr.88 Hlavica pre elektrolytické honovanie**

1- teleso honovacej hlavice, 2-rozpínacie kuželky, 3- elektróda, 4- rozpínacia tyč, 5- kĺzadlo po kuželi, 6-vedenie rozpínania elektród, 7- skrutka, 8-pružina, 9-honovací kameň, 10- vlepené tvrdokovové pätky, 11- ohybný kábel, 12- sťahovacia pružina

## 8 TECHNOLOGIA PREŤAHOVANIA SKRUTKOVÝCH ALEBO ROVNÝCH DRÁŽOK HLBOKÝCH OTVOROV

Výroba skrutkových drážok v hlbokých otvoroch je najlukratívnejšou technológiou, ktorá sa používa pri výrobe súčiastok RÚR (hlavní). Vyžaduje špeciálne stroje, ale aj špeciálne nástroje. Ako stroje sa používajú obyčajne vodorovné preťahovacie (niekedy tlačné) stroje o výkone  $P = 45-100$  kW. Ako pri každom preťahovaní tvarových otvorov všeobecne i pri preťahovaní drážok u hlbokých otvorov sa nesmie podceňovať význam chladenia a mazania nástrojov. Pre tento účel sa používajú špeciálne aditované rezné oleje s EPA (Extreme Pressure Aditiva) prísadami o veľkom množstve a dostatočnom tlaku pre prívod do miesta rezania [13, 14, 18]. Najmä preto sa význam chladenia a mazania nesmie podceňovať, že sa používajú nástroje z rýchloreznej ocele (RO = HSS), hoci dnes už PVD povlakované povlakmi TiN, TiCN či TiAlCN. Pre vysokopevné materiály o pevnosti  $R_m = 1\,400$  až  $1\,600$  MPa to už musia byť nástroje z HSS ocele, vyrábané práškovou metalúrgiou PM-ASP-30 a povlakované PVD metódou.

### 8.1 Konštrukcia nástroja pre ťahanie drážok výsuvnými nožmi

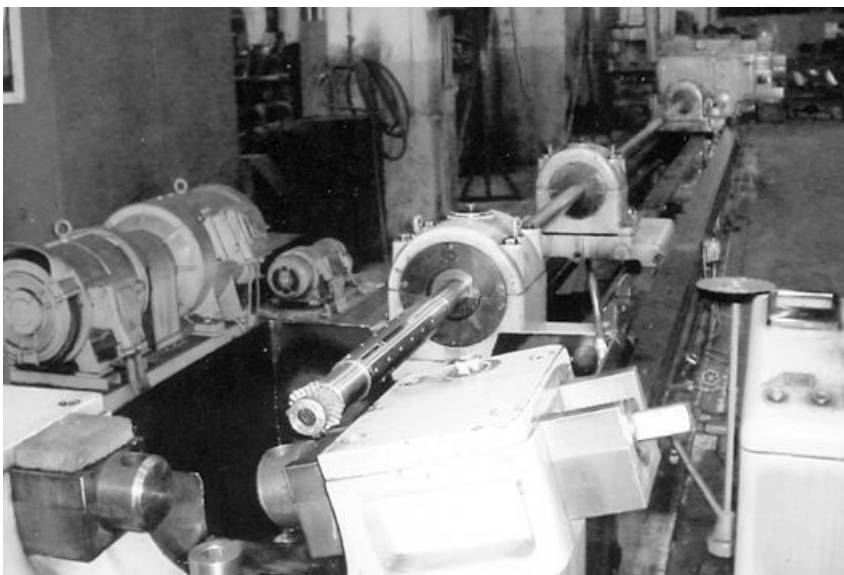
Ako nástroj pre ťahanie rovných alebo skrutkových drážok v hlbokých otvoroch sa používa ťažná hlava (obr.89) s niekoľkými nožmi (4 až 20) v závislosti na priemere otvoru a rozmeroch drážky. Teleso ťažnej hlavy je z konštrukčnej legovanej ocele zušľachtenej a má na svojom obvode mechanicky upevnené vodiace i oporné lišty zo sivej liatiny alebo bronzu, brúsené na rozmer s vôľou do honovaného otvoru  $0,02$  mm. V presných drážkach hlavy sú vsadené ploché, brúsené nože, najčastejšie z rýchloreznej ocele RO, s tvrdosťou HRC = 64-67. Nože sú vysúvané radiálne do záberu pomocou pohybujúceho sa kaleného kužela, ktorý sa pohybuje v honovanom otvore ťažnej hlavy pomocou tiahla vo vnútri ťažnej tyče stroja. Vysúvanie sa môže nastaviť a robiť ručne i automaticky z miesta ťažného supportu. Po každom prechode ťažnej hlavy cez otvor súčiastky a pretiahnutí sa cez prídavné deliace kolečko pridá dorazom nastavená hodnota úberu na zub ( $a_p = 0,025-0,05$  mm, na priemer  $0,05-0,1$  mm/ $\varnothing$ ). Pred spätným chodom cez otvor súčiastky do východzej polohy musia byť nože schované (vtiahnuté) do hlavy mimo záberu, čo pri pohybe tiahla dopredu sprostredkuje druhý kužel a pružiny (perá). Na prednej časti hlavy je kartáč pre vyčistenie otvoru od prípadných triesok. V zadnej časti hlavy je upínací kužel a matica pre upevnenia ťažnej hlavy na ťažnú tyč.



**Obr.89** Preťahovacia hlava  $\varnothing 155$  mm so 16 výsuvnými nožmi z rýchloreznej ocele pre ťahanie vnútorných drážok na obrábacom stroji ŠKODA - TZR 16  $\times$  7000

Prívod rezného oleja je vnútom tyče cez tiahlo až k otvorom, ktoré sú v hlave a smerujú na jednotlivé nože. Triesky po ťahaní zostávajú v drážkach pre triesky. Vypadnú po každom reze do nádoby na triesky po vyjdení hlavy z otvoru. Skôr musí dôjsť ale k zastaveniu prívodu oleja, obsluhou stroja. Na začiatku preťahovania musí sa súčiastka upnúť a vystrediť pomocou 2-3 pevných lunet do osi ťažného nástroja s presnosťou 0,02 mm. Hlavou so schovanými (vtiahnutými) nožmi sa pomaly vojde do otvoru s použitím chladenia a mazania a prejde sa cez celý otvor. Sledujú sa prístroje pre prúdové a napätové zaťaženie na obslužnom paneli stroja. Pri správnom upnutí a vystredení súčiastky musia meracie prístroje byť bez výchyľky. Kontroluje sa podľa honovaného otvoru. Použitý obrábací stroj je ŠKODA TZR 16  $\times$  7000 (obr.90). Podľa pevnosti materiálu sa nastaví úber na zub pre jeden ťah, rezná rýchlosť preťahovania a vymenia sa vypočítané ozubené kolesá pre zabezpečenie otáčania sa tyče s dĺžkou. Uhol skrutkovice býva  $\omega = 5-10^\circ$ . Uhol stúpania je zabezpečený štyrmi ozubenými kolesami a má zodpovedať požiadavke výkresu. V prípade, že tomu tak nie je, doladenie sa robí vykláňaním korekčného pravítka na suporte stroja ( $\pm$ ). Pravítko je dlhé 900 mm a k dĺžke súčiastky má zodpovedajúci prevod dvoma kolesami pre rýchlosť posúvania kladiek po pravítku v závislosti na dĺžke. Väčšia preťahovaná dĺžka, pomalšie posúvanie kladiek po pravítku. Nastavené hodnoty sa overia prechodom cez súčiastku naprázdno, ale s prívodom oleja. Zmeria sa dĺžka dráhy zodpovedajúca pootočeniu hlavy o 360°, čiže stúpanie skrutkovice. Odčítanie dĺžky sa robí na pravítku na vodiacich lištách lôžka stroja pre preťahovanie. Drážky sa ťahajú postupne tak, ako keby zaberali jednotlivé zuby preťahovacieho kruhového trňa na

drážky s vynechaným jedným či dvoma zubmi medzi sebou. Po niekoľkých prechodoch naprázdno začnú nože brať v otvore najskôr svojimi hrotmi až postupne celá plocha chrpta zubov. Počet ťahov v jednej polohe hlavy je daný hĺbkou drážky a môže byť  $\xi = 30-50$ . Každý nôž pretiahne dĺžku dráhy a počet prechodov zodpovedajúcich trvanlivosti. Drsnosť povrchu na dne drážok požaduje konštruktér  $Ra = 3,2-0,8 \mu\text{m}$ . Podľa toho sa volia rezné parametre a počet prechodov do opotrebenia. V prípade, že sa prekročí opotrebenie  $VB_v$ , alebo sa nedosahuje pred poslednými ťahmi v drážke predpísaná drsnosť dna drážky, vymení sa celá sada nožov za novú.



**Obr.90 Pohľad na pretáhovací stroj ŠKODA-TZR 16 x 7000 mm**  
 ťahaní rovných drážok 4x Ø75 mm, na dĺžke L= 2 000 mm

Pre zvýšenie trvanlivosti nožov z RO u vysokopevných hlavni s medzou pevnosti  $R_m = 1\,440-1\,600 \text{ MPa}$ , musia byť nože povlakované PVD metódou typu TiN, TiCN, TiAlCN. Zo skúseností s ťahaním drážok do RÚRY s medzou pevnosti  $R_m = 1\,000-1\,100 \text{ MPa}$ , pri  $v_c = 3,5-3,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a  $a_p = 0,05 \text{ mm}$ , pri zabezpečení  $Ra = 3,2 \mu\text{m}$  bolo opotrebenie nožov na chrptovej ploche stanované na  $VB_{\text{max}} = 0,2-0,3 \text{ mm}$ .

U materiálov s pevnosťou  $R_m = 1\,440\text{--}1\,525$  MPa použitá rýchlorezná oceľ triedy 19 855.4, bez povlakovania, nevyhovela požiadavke trvanlivosti ani dosahovanej drsnosti povrchu [4]. V procese výroby bolo odskúšané PVD povlakovanie PVD s povlakom TiN, TiCN a viaceré typy rýchlorezných ocelí 19 857, 19 858, 19 861. Výsledky skúšok pretáhovania sú v tabuľkách 5 a 6.

Parametre pretávovania:

$$\begin{array}{ll} v_c = 1,4\text{--}1,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} & v_z = 6\text{--}5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} \\ a_p = 0,025 \text{ mm} & \dot{t}_T = 25\text{--}50 \\ Ra = 0,7\text{--}2,4 \text{ }\mu\text{m} & VB = 0,5\text{--}1,0 \text{ mm} \\ \rho = 4 \text{ MPa} & Q = 100 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1} \end{array}$$

rezný olej SCHELL bez prísady Cl,

Stroj: ŠKODA-TZR 16 × 7000 (obr.90)

Nástroj: ťažná hlava (Dx-Eža00057), so 16 nožmi (TV-Eža 0006)

Nôž: (TV-Ent 0030) (STN19855, 19856, 19858, až PM-ASP-30) + TiN, TiCN povlak

Tyč: Ťažná tyč priemeru 118 mm

Pri počte drážok v súčiastke  $z = 48$  a hĺbke drážky 1,25 mm pri šírke 5,8/8 mm a tvare podľa noža, sa po pretiahnutí 16 drážok (jedna poloha nožov) na rozmer  $\varnothing D^{\pm 0,02}$  mm hlava podľa deliaceho kotúča na upínači ťažnej tyče pootočí o uhol rozteče  $7^\circ 30'$  a začína sa ťahanie ďalších 16 drážok zo základnej polohy nožov. Toto sa opakuje  $3 \times (3 \times 16 = 48)$ . Dĺžka pretávovania je  $L_p = 5\,773$  mm, stúpanie je dané uhlom  $\omega = 9^\circ$ .

Úprava stroja TZR-16 × 7000 spočívala v nahradení tzv. Ward-Leonardovho pohonu usmerňovačom od fy ReAns s cieľom zvýšenia ťažnej sily a možnosti zníženia rýchlosti pretávovania pod  $2,5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Obrábací stroj umožňuje ťahať drážky do vysokopevných materiálov s  $R_m = 1\,350$  až  $1\,600$  MPa a  $R_u = 1\,177\text{--}1\,280$  MPa s rýchlosťou  $v_c = 1,0\text{--}1,4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Dlhodobé skúšky ťahania drážok ukázali na potrebu povlakovania nožov z rýchloreznej ocele RO, pričom zo skúšaných povlakov najväčšie zvýšenie trvanlivosti dosiahol povlak TiCN.

**Tab.5**  
**Namerané hodnoty opotrebenia na**  
**chrbovej ploche nožov z rýchlorez-**  
**nej ocele s PVD povlakom TiCN**

Nôž č.	VB [mm]	VB <sub>max1</sub>	VB <sub>max2</sub>
1	0,45	0,80	1,00
2	0,30	0,80	0,70
3	0,36	1,00	1,20
4	0,35	1,30	0,70
5	0,50	1,00	1,00
6	0,40	1,20	1,10
7	0,37	1,20	0,80
8	0,32	1,10	0,70
9	0,30	1,20	0,90
10	0,30	1,10	1,00
11	0,40	1,20	0,90
12	0,32	1,00	0,70
13	0,40	1,60	1,00
14	0,40	1,30	0,80
15	0,25	1,10	1,00
16	0,40	1,10	1,00
str.hod.	0,36	1,12	0,90

**Tab.6**  
**Namerané hodnoty opotrebenia na**  
**chrbovej ploche nožov z rýchlorez-**  
**nej ocele s PVD povlakom TiCN pri**  
**preťahovaní drážok**

Nôž č.	VB [mm]	VB <sub>max1</sub>	VB <sub>max2</sub>
1	0,18	0,35	0,25
2	0,16	0,60	0,30
3	0,17	0,60	0,40
4	0,15	0,20	0,20
5	0,17	0,35	0,55
6	0,18	0,90	0,50
7	0,14	0,40	0,25
8	0,18	0,30	0,50
9	0,17	0,45	0,35
10	0,15	0,60	0,25
11	0,16	0,25	0,32
12	0,12	0,30	0,25
13	0,15	0,60	0,45
14	0,14	0,65	0,30
15	0,17	0,30	0,50
16	0,16	0,65	0,50
str.hod.	0,17	0,47	0,37

Parametre preťahovania:

$$v_c = 1,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$a_p = 0,025 \text{ mm}$$

$$t_{As} = 4,12 \text{ min}$$

Po vyrobení nových sád nožov z PM-RO-ASP30 a po povlakovaní TiN, pri rovnakých parametroch preťahovania 16 drážok jednou sadou nožov závisí trvanlivosť nových sád nožov od pevnosti súčiastky.

Žiaľ, po preostrení nožov za sucha, na ostričke typu BN-102, pri úbere opotrebenia až  $VB_{max}$  na chrbte, došlo k popusteniu i PM-RO ASP30 a tvrdosť poklesla zo 67 HRC na úroveň pôvodných nožov z kobaltových HSS ocelí (63 HRC), čo sa prejavilo vo výraznom poklese trvanlivosti. Najvyššiu trvanlivosť dosahujú tie sady nožov, ktoré sa používajú od začiatku ťahania v ur-

čítej polohe. S rastúcim opotrebením a teda aj s dráhou rezania blížiacou sa k trvanlivosti, zhoršuje sa drsnosť povrchu drážok a práve v čase, keď sa robia posledné úbery triesky (ťahy), t.j. po  $i = 25-45$  sa v drážkach prejavujú zábery, ktoré sú sprevádzané nadmerným opotrebením rohov nožov. Sada nožov, ktorá sa použije na dokončovanie drážok jednej polohy, t.j. už po opotrebení sady prvých nožov, musí odoberať spevnenú vrstvu materiálu (najmä v rohoch) a po 4-15 ťahoch je opotrebená na rovnakú hodnotu  $VB$ , ako 1. sada po  $i = 30-45$  ťahoch. Nasadenie novej sady prináša so sebou predĺženie času pretáhovania drážok v 1 polohe, pretože novou sadou sa musí začať (vzhľadom na tolerancie výroby nožov) znova z východzej polohy a nie v tajkej hĺbke ako skončili nože predchádzajúce. Tak sa niekedy pri nekvalitných nástrojoch stáva, že sa pre výrobu drážok v jednej súčiastke (48 drážok) musí použiť až 9 sad nožov a čas pretáhovania drážok sa predlžuje na viac smien. Riešením mala byť voľba a výroba nožov z PM-ASP-30. U týchto nožov sa dosiahla trvanlivosť po povlakovaní TiN rovnaká a lepšia ako u nožov z ocele 19 855, 19858 po povlakovaní TiCN. Sady nožov z PM-ASP-30 + TiN povlak v priemere vydržali počet ťahov  $i = 45-75$ , t.j. po pretiahnutí 1 polohy drážok, po  $i = 48-50$  bola drsnosť povrchu ešte vyhovujúca. So štyrmi sadami nožov z PM-ASP-30 + TiN povlakom sa dá vyrobiť kompletná súčiastka so 48 drážkami. Navyše, priemerné opotrebenie nožov bolo menšie, takže obrúsenie a tým i počet preostrení nožov za životnosť je vyšší. Po preostrení opotrebených nožov kruhovým brúsením v špeciálnom trne (prípravku), ale najmä na čele nožov na ostríčke bez chladenia s korundovými kotúčmi dochádza k popusteniu i PM rýchloreznej ocele a dosahovaná trvanlivosť sa podstatne znížila. Toto riešenie bolo odporúčané realizovať ďalej vo výrobe na stroji ŠKODA - TZR 16 × 7000, ako ekonomicky zatiaľ najvýhodnejšie, pre kusovú výrobu. Skrutkové drážky sú konštantného stúpania, ale na stroji je možné vyrábať aj progresívne stúpanie, za predpokladu výpočtu a výroby parabolického pravítka pre zmenu veľkosti stúpania s meniacou sa dĺžkou súčiastky. S ťažnou hlavou s výsuvnými nožmi je možné zhotoviť aj drážky s meniacou (zmenšujúcou) sa hĺbkou smerom k ústiu, čím sa zníži strata plynov vo vodiacom krúžku strely. Túto najnovšiu požiadavku konštrukcie nie je však možné robiť na stroji ŠKODA-TZR 16 × 7000, ale na strojoch SIG Z 100/3,5 alebo SIG-Z 200/8,0.

## 8.2 Pret'ahovanie skrutkových drážok v hlbokých otvoroch s použitím korunkových krúžkov

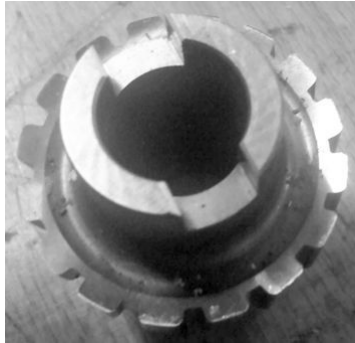
Táto technológia je realizovaná na ťažnom stroji SIG-Z 100/3,5 pri ťahaní skrutkových drážok v honovanom otvore  $\text{Ø}30 \times 2720 \text{ mm}$ , ale bola odskúšaná i na stroji ŠKODA-TZR 16  $\times 7000$  po úprave stroja náhradou Ward-Leonardovho ústrojenstva usmerňovačom od fy ReAns Bratislava, pre zvýšenie ťažnej sily stroja. Ako nástroj sa použili krúžky a ťažná hlava, pre  $\text{Ø}155 \times 7000 \text{ mm}$ . Pre ťahanie skrutkových drážok u  $\text{Ø}30 \times 2720 \text{ mm}$  sa používa stroj SIG-Z 100/3,5 (obr.91).



*Obr.91 Obrábací stroj SIG-Z 100/3,5 na pret'ahovanie skrutkových drážok*

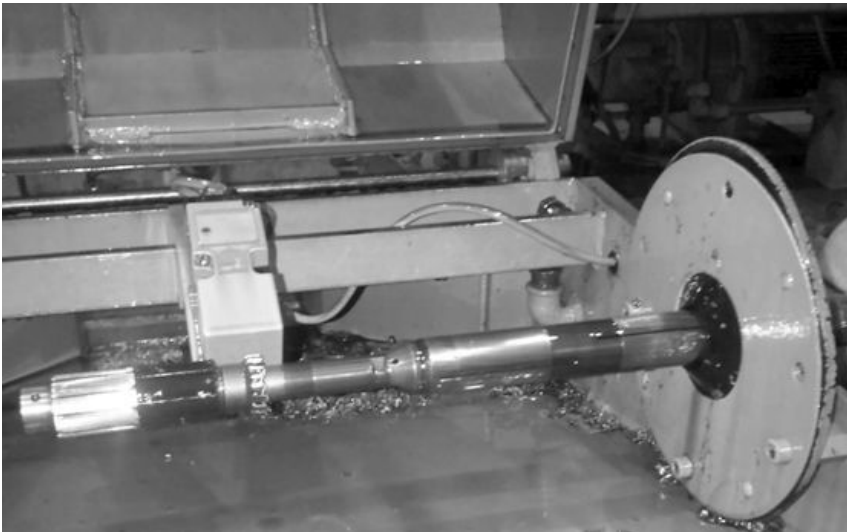
Ťažný krúžok pre pret'ahovanie 16 drážok je z rýchloreznej ocele typu PM-ASP 30 o tvrdosti 67 HRC (obr.92).

Sada ťažných krúžkov je o počte 38 ks rezných krúžkov a 2 ks odihlovacích. Rezné krúžky sú odstupňované na priemeroch po  $0,025^{0,03} \text{ mm}$ , čo znamená, že prídavok na zub je  $a_p = 0,012\text{-}0,015 \text{ mm}$ . Uhol čela  $\gamma = 15^\circ$ ; uhol chrbta  $\alpha = 1^\circ 30'$ ; uhol nastavenia  $\chi = 90^\circ$ , pre materiál pevnosti  $R_m = 1\ 150\text{-}1\ 250 \text{ MPa}$ . Upínací priemer krúžku je  $\text{Ø}12 \text{ H5 mm}$ . Plochy chrbta a ploška na čele  $0,2/15^\circ$  sú lapované s drsnosťou  $Ra = 0,2 \text{ }\mu\text{m}$ .



**Obr.92 Jeden kus z celkovej sady 40 kusov ťažných krúžkov**

Súčiastka je pred pret'ahovaním drážok vŕtaná do plna hlavou typu BOTEK s priemerom  $\varnothing 29,7^{+0,02}$  mm, a s maximálnou odchýlkou osi  $\gamma = 0,1-0,3$  mm. Podľa otvoru je pretočený povrch, v mieste upínania je priemer na povrchu brúsený, otvor je honovaný pred pret'ahovaním drážok na  $\varnothing 30,08^{+0,01}$  mm s  $Ra = 0,8$   $\mu\text{m}$ . Až po pretiahnutí skrutkových drážok je otvor honovaný (druhé honovanie) na konečný rozmer  $\varnothing 30,12^{+0,015}$  mm. Otvor sa po pretiahnutí drážok a očistení tvrdo chrómuje. Výrobný postup pret'ahovania skrutkových drážok s korunkovými krúžkami je nasledovný. Súčiastka sa upína a stredí s presnosťou  $\pm 0,01$  mm na dvoch podperných lunetách s kalenými valčekmi, za brúsený povrch, v mieste upínania súčiastky v zostave. Upína sa pevne do trojčelustového sklučovadla na konci ústia. Začína sa ťahať od nábojovej komory. Pret'ahovacia hlava je naskutkovaná na ťažnú tyč (rúrku)  $\varnothing 29,5$  mm, na povrchu brúsenú. Tyč je vedená v dvoch podperných lunetách s tmičom vibrácií, a koná rotačný pohyb, čím vzniká skrutkovica. Jedná sa o pravú skrutkovicu. Súčiastka je pevná. Natáčanie tyče zabezpečuje hydraulicky vačka v tvare tzv. Archimedovej špirály konštantného stúpania. Stúpanie skrutkovice je  $s = 715,5$  mm, pri pootočení o  $360^\circ$ . Ťažná hlava (Dx - Eža 00062) bez pret'ahovacieho krúžka a zadného vedenia sa spätným pohybom pretlačí cez honovaný otvor na začiatok ťahania a nasadí sa krúžok s poradovým číslom 1, na tri hlavy za  $\varnothing 12$  H5, utiahne sa maticou so zadným vedením z mosadze a s PVC tmičom vibrácií. Nasadí sa vedenie v otvore komory. Zakrytuje sa. Spustí sa prívod oleja cez tyč a otvory v hlavičke a zapne sa ťahanie. Nastavené sú parametre ťahania a to rýchlosť ťahania  $v_c = 3,0$   $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Strojný čas ťahania je  $t_{AS} = 0,906$  min. Dĺžka pret'ahovania je kontrolovaná narážkami a stroj sa automaticky vypne a zastaví prívod oleja.



**Obr.93 Ťažná hlava spolu s preťahovacím krúžkom a zadným vedením s tlmením**  
 kontrolné čidlo (snímač) nad krúžkom signalizuje že krúžok je na hlavičke,  
 a bráni zapnutiu rýchloposuvu späť

Stlačením tlačítka možno teraz zapnúť spätný pohyb hlavy do východzej polohy po zakrytovaní a spustení mazania. Vo východzej polohe sa otvorí kryt, vloží sa krúžok č. 2 (potom ďalší v poradí), upne sa maticou so zadným vedením, nasunie sa vedenie v komore, zakrytuje sa a zapne sa tlačidlo START. Ukazovateľ ťažnej sily signalizuje jej veľkosť a v prípade prekročenia nastavenej hodnoty, stroj vypne. Maximálna hodnota ťažnej sily pri preťahovaní jednotlivým krúžkom u daného materiálu je  $F_{ot} = 8 \text{ kN}$  a zvyšuje sa postupným opotrebením krúžkov, až na  $F_{ot} = 9-10 \text{ kN}$ . Výhoda tejto technológie preťahovania skrutkových či rovných drážok je, že sa pretiahne naraz celkový počet drážok požadovaný konštruktérom, pri ďaleko vyššej produktivite ako pri práci s výsuvnými nožmi, ktorých počet je podielom celkového počtu drážok na výkrese.

Ostrenie preťahovacích krúžkov je realizované po opotrebení celej sady 38 rezných krúžkov na  $VB_k = 0,18-0,2 \text{ mm}$ , sa celá sada preostruje. Po premeraní sady krúžkov na priemeroch a miery A, sa rozhodne o brúsení čela, alebo i chrbta, za použitia chladenia olejom, nie za sucha. Pri preostrení priemeru platí rovnaká tolerancia ako u novej sady, t.j.  $D \pm 0,002 \text{ mm}$ , kruhovitosť  $0,003 \text{ mm}$ . Pri kruhovom brúsení priemeru s dodržaním uhlu

chrbta  $\alpha = 1^\circ 30'$  s  $Ra = 0,2 \mu\text{m}$  treba začať posledným krúžkom č. 38 a prebrúsiť ho na rozmer krúžku č. 37. Pôvodný krúžok č. 38 sa nahradí novým, s rozmermi priemeru  $D_{38} = 31^{\pm 0,002} \text{ mm}$ . Postupne sa tak prebrúsia všetky krúžky v sade až po krúžok č. 1. Pôvodný krúžok č. 1 sa vyradí. Po preostrení treba obrúsiť pôvodné číslo a nahradiť ho novým (napr. č. 25 na č. 24), na mieste označenom na výkrese (povrch  $\varnothing 24$ ). Pri ostrení čela (ploška  $0,2 + 0,2 \text{ mm}/15^\circ$ ) musí sa dodržať miera A medzi predchádzajúcim a nasledujúcim krúžkom uvedená na výkrese. Maximálny rozdiel miery A medzi krúžkami č.1 a 38 môže byť iba  $0,2 \text{ mm}$ .

Parametre pret'ahovania skrutkových drážok korunkovými krúžkami  $\varnothing 30 \text{ mm}$  sú nasledovné:

rezná rýchlosť pret'ahovania  $v_c = 2\text{-}3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ , menej pri posledných 2 ťahoch

rýchlosť spätného pohybu  $v_z = 6,0 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

prídavok na krúžok  $a_p = 0,025\text{-}0,03 \text{ mm}$  na priemer

počet krúžkov  $i = 38$  pret'ahovacích + 2 odhlovacie

pripustné opotrebenie  $VB_k = 0,18\text{-}0,2 \text{ mm}$

chladenie rezným olejom  $Q = 100 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $p = 2 \text{ MPa}$

viskozita oleja  $\nu = 7,8^\circ\text{E} = 58,9 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$

rezný olej dodaný so strojom: MSA-TFO-200.1 s obsahom S, P, CI

dnes používaný rezný olej: SHELL

čistý strojný čas ťahania  $t_{\text{As}} = 0,906 \text{ min}$  pre 1 krúžok s  $v_c = 3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

drsnosť povrchu drážok  $Ra = 1,6 \mu\text{m}$

Opotrebenie po 2 ks je nemerateľné, pokračovať v pret'ahovaní ks č. 3-20, je potrebné pozrieť opotrebenie krúžkov (premerat'), podľa veľkosti opotrebenia rozhodnúť o pokračovaní (21. až 25. ks), alebo výmene sady krúžkov, po preostrení. Pretiahnutých je potom celkom 30 ks. Použiť novú preostrenú sadu a použitú sadu krúžkov dať preostriť, po premeraní  $VB$ .

## ZÁVER

Uvedený učebný text kolektívu autorov popisuje technológiu obrábania hlbokých otvorov z pohľadu možných systémov, metód a spôsobov vrtania v období s náznakom možných perspektív. Uvádza vývoj nástrojov pre vrtanie doplna malých priemerov s použitím jednoklinových vrtákov JKV zo spekaného karbidu, väčších priemerov  $\varnothing 18$  až 450 mm pre vrtanie doplna, na jadro alebo vyvrtávanie systém BTA či STS, ejektorové vrtanie a ich aplikácie na upravených konvenčných strojoch (prevažne na sústruhoch a horizontálnych vyvrtávačkách), ale zvlášť na špeciálnych NC aj CNC obrábacích centrách a centrách, ktoré si technológia vrtania hlbokých otvorov vyžaduje.

Tento učebný text uvádza konkrétne príklady obrábania rôznych súčiastok z rozdielnych ocelových ale i neocelových materiálov, použité rezné parametre a dosiahnuté výsledky, ako sú trvanlivosť  $T$  [min], opotrebenie  $VB$  [mm], dosiahnuté odchýlky osi otvoru od teoretickej osi, drsnosť povrchu  $R_a$  resp. ( $R_z$ ) [ $\mu\text{m}$ ]. Ponúka prehľad odporúčaných rezných materiálov od rôznych výrobcov nástrojov s aplikáciou VRP-SK s povlakmi CVD/PVD, ktoré zvyšujú oteruvzdornosť spekaných karbidov, znižujú rezné sily a teplotu rezného nástroja, takže zvyšujú trvanlivosť rezných nástrojov, zvlášť pri hlbokom vrtaní, vyvrtávaní aj vystružovaní i vysokopevných zušľachtených kovových materiálov, alebo austenitických Cr-Ni ocelí, či titanových zliatin.

Učebný text sa venuje však aj technológiám dokončovania hlbokých otvorov t.j. vystružovaniu, honovaniu, resp. v malej miere aj valčekovaniu otvorov ale i pretáhovaniu rovných či skrutkových drážok aplikovateľných pri výrobe valcov extruderov, hydraulických valcov, hlavni, pretáhovaniu tvarových otvorov, vyvrtávaní tvarových komôr a technológiám vyvrtávania tvarových otvorov i kuželových hlbokých otvorov ako i vrtaniu u materiálov s nevhodným tvarovaním triesky pri klasickom vrtaní hlbokých otvorov. Učebný text ukazuje študentom cesty akým sa uberá vývoj hlbokovrtacích rezných nástrojov, obrábacích strojov, (špeciálnych olejov s aditívami pre vysoké tlaky), príslušenstva pre tlmenie vibrácií a chvenia vrtacej tyče nástroja až k automatickému tlmeniu chvenia (napr. od Sandvik COROMANT), a prídavných zariadení potrebných pri vrtaní na strojoch pre hlboké vrtanie, ako sú filtre pre automatické zbavovanie nečistôt v používanom oleji, dopravník a automatické odstredivky na triesky, čerpadlá pre vysoké tlaky a chladiče, až po monitorovanie rezných síl (osovej sily  $F_o$ ), výkonu stroja  $P$ , digitálny ukazovateľ dĺžky vrtania, až po automatické programovanie činnosti stroja NC až CNC systémami.

Vývoj technológie obrábania hlbokých otvorov však zďaleka ešte neskončil. Ide ďalej. Pokračuje rapídne rýchlo a Vy čitatelia a študenti ho prosím ďalej sledujte, pretože tento učebný text Vám umožní spoznať doterajší stav, ale pokračovanie už bude vo Vašich rukách, pri riešení konkrétnych prípadov z výroby v praxi.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] MAJERÍK, J. - ŠANDORA, J. *Nové progresívne nástroje a metódy technológie obrábania*. Trenčín. 2012. ISBN 978-80-8075-515-7.
- [2] DUBOVSKÁ, R. - ŠANDORA, J. - MAJERÍK, J. *Vrtanie a výroba hlbokých otvorov*. Hradec Králové. 2014. ISBN 978-80-971909-4-1.
- [3] ŠANDORA, J. - MAJERÍK, J. - ŠURLÁKOVÁ, M. *Systém ejektorového vrtania hlbokých otvorov a jeho aplikácie pri výrobe špeciálnej techniky*. ICMT. Bratislava. 2016. ISBN 978-80-8075-743-4.
- [4] ŠANDORA, J. - MAJERÍK, J. - JAMBOR, J. *Statistical monitoring of decrease of surface eccentricity and hole of barrel tubes from high strength steels under the production conditions*. Materiály a technologie ve výrobě speciální techniky. Brno. 2015. p.93-99. ISBN 978-80-7231-999-2.
- [5] MAJERÍK, J. - KOUŘIL, K. - ŠANDORA, J. *Vystružovanie hlbokých otvorov hlavné*. TRANSFER. Trenčianske Teplice. 2013. ISBN 978-80-8075-607-9.
- [6] MAJERÍK, J. - ŠANDORA, J. *Technológia opracovania otvoru u súčiastky hlaveň BVP2*. TRANSFER. Trenčianske Teplice. 2013. ISBN 978-80-8075-607-9.
- [7] MAJERÍK, J. - ŠANDORA, J. *Presnosť brúsenia priemeru nástroja s prispájkovanými reznými platničkami a ustavenia VRP-SK voči karbidovým vodičkam pri vrtaní hlbokých otvorov*. TRANSFER. Trenčianske Teplice. 2013. ISBN 978-80-8075-607-9.
- [8] MAJERÍK, J. - ŠANDORA, J. *Vrtacie a frézovacie nástroje - nové trendy*. Strojárstvo/Strojírenství. 2009. Vol. 13. No. 4. p.82-83. ISSN 1335-2938.
- [9] ŠANDORA, J. - MARTIŠKOVÁ, M. - MAJERÍK, J. *Výpočtové cvičenia z obrábania, zberka riešených príkladov*. Trenčín. 2006. ISBN 80-8075-193-5.
- [10] BARÁNEK, I. - ŠANDORA, J. *Výroba vybraných súčiastok špeciálnej techniky*. Trenčín. 2004. ISBN 80-8075-017-3.
- [11] DILLINGER, J. et al. *Moderní strojírenství pro školu a praxi*. Europa Sobotáles. 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [12] ŠANDORA J. *Výroba hlbokých otvorov vo vysokopevných oceliach*. Dissertation Thesis. Trenčín. 2003.
- [13] ŠANDORA J. *Verifikácia trvanlivosti nožov z rôznych druhov rýchlorezných ocelí u pretáhovacích hláv pri pretávaní skrutkových drážok vo vysokopevných oceliach*. Vedecké práce a štúdie Trenčín. 2007. p.187-204.
- [14] PROSTINÁK, Š. - ŠANDORA, J. - MORAVEC, V. *Pretáhovanie skrutkových drážok na stroji SIG100/3,5 korunkovými nástrojmi z PM-ASP30*. TRANSFER. Trenčianske Teplice. 2013. ISBN 978-80-8075-607-9.
- [15] MAJERÍK, J. - ŠANDORA, J. *Presnosť brúsenia priemeru nástroja s prispájkovanými SK resp. presnosť ustavenia VR voči vodičkam z SK pri BTA vrtaní hlbokých otvorov*. TRANSFER. Trenčianske Teplice. 2014. ISBN 978-80-8075-665-9.

- [16] ŠANDORA, J. *Zníženie obvodového hádzania povrchu a odchýlky diery od teoretickej osi u hlavne pri obrábaní na viac rezov*. IDEB. Bratislava. 2006. ISBN 80-8075-128-5.
- [17] ŠANDORA, J. *Výpočet a konštrukčný návrh JKV-SK pre vrtanie hlbokých dier*. Vedecké práce a štúdie. Trenčín. 2006. p.188-200.
- [18] ŠANDORA, J. *Preťahovanie skrutkových drážok v hlbokých otvoroch u vysokopevných ocelí*. TRANSFER. Trenčín. 2005. p.485-489. ISBN 80-8075-070-X.
- [19] KLEČATSKÝ, Z. *Delové vrtáky i speciální nástroje*. MM Prmyslové Spektrum. Praha. 2007. No.3. p.80. ISSN 1212-2572.
- [20] ZABEL, A. - HEILMANN, M. *Deep hole drilling using tools with small diameters - Process analysis and process design*. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2012. Vol.61. p.111-114. Elsevier. USA.
- [21] BIERMANN, D. - SACHAROW, A. - WOHLGEMUTH, K. *Simulation of the BTA deep-hole drilling process*. Production Engineering. 2009. Vol.3. p.339-346. Springer Verlag.
- [22] WEINERT, K. - WEBBER, O. - PETERS, C. *On the influence of drilling depth dependent modal damping on chatter vibration in BTA deep hole drilling*. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2005. Vol.54. p.363-366. Elsevier. USA.
- [23] DENG, C. S. - HUANG, J. C. - CHIN, J. H. *Effects of support misalignments in deep-hole drill shafts on hole straightness*. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2001. Vol.41. p.1165-1188. Elsevier Limited.
- [24] GAO, C. H. - CHENG, K. - KIRKWOOD, D. *Investigation on the machining process of BTA deep hole drilling*. Journal of Materials Processing technology. 2000. Vol.107. p.222-227. Elsevier BV.
- [25] CHIN, J. H. - SHEU, S. D. *Strengths and weaknesses of finite element modelling deep hole drilling as compared with beam and column equations*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007. Vol.32. p.229-237. Springer. London.
- [26] DENG, C. S. - CHIN, J. H. *Hole roundness in deep-hole drilling as analysed by Taguchi methods*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2005. Vol.25. p.420-426. Springer. London.
- [27] MEHRABADI, I. M. - NOURI, M. - MADOLIAT, R. *Investigating chatter vibration in deep drilling, including process damping and the gyroscopic effect*. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2009. Vol.49. p.939-946. Elsevier Limited.
- [28] MESSAHOUD, A. - WEIHS, C. *Monitoring a deep hole drilling process by nonlinear time series modeling*. Journal of Sound and Vibration. 2009. Vol.321. p.620-630. Academic Press Inc.

- [29] PERNG, Y. L. - CHIN, J. H. *Theoretical and experimental investigations on the spinning BTA deep-hole drill shafts containing fluids and subject to axial forces*. International Journal of Mechanical Sciences. 1999. Vol.41. p.1301-1322. Elsevier Limited.
- [30] CHIN, J. H. - HSIEH, C. T. - LEE, L. W. *The shaft behavior of BTA deep hole drilling tool*. International Journal of Mechanical Sciences. 1996. Vol.38. p.461-482. Elsevier Limited.
- [31] GÜHRING, B. O. *Vrtání hlubokých otvorů na OC*. MM Průmyslové spectrum. 2006. No.8. p.66-67. ISSN 1212-2572.
- [32] BARÉNYI, I. - ŠANDORA, J. *Pevnost' materiálů a trendy rastu mechanických vlastností ocelí používaných pro výrobu hlavní*. TRANSFER. Trenčianske Teplice. 2014. ISBN 978-80-8075-665-9.

## RÉSUMÉ

This teaching text of the authors team describes special technology of machining of deep holes in terms of available systems, methods and processes during deep drilling with a hint of possible perspectives. Provides development tools for deep drilling in small diameters up using single JKV drill made of cemented carbide, and with large diameter of  $\text{Ø}18$  to  $450$  mm for drilling. Accordingly, the core or boring system BTA or STS, and ejector drilling and modified application on conventional machines (mainly on lathes and horizontal boring milling machine tools), but especially on special NC and CNC machining centers and centers that the technology requires drilling deep holes. This teaching text provides specific examples of machining different components from different steel as well as non-steel materials used cutting data and achievements, dry and tool life of  $T$  [min] tool wear  $VB$  [mm], produced by the variation axis of the deep hole from the theoretical axis, surface roughness  $Ra$  or  $(Rz)$  in  $[\mu\text{m}]$ . It outlines the recommended cutting materials from different manufacturers tools with application of so called VRP-SK (changeable carbide cutting inserts) with CVD/PVD coatings, which increases abrasion resistance of cemented carbides, reduces cutting forces and temperature of the cutting tool, thus improving the tool life of cutting tools. Particularly in deep drilling, boring and reaming and the processed high strength metal materials or austenitic Cr-Ni steel, and titanium alloys. This teaching text is devoted to machining technology but also finishing of deep holes e. g. reaming, honing, respectively to a small extent, the rolling of the holes but also stretching of straight or helical grooves applicable in the production of the extruder cylinder, hydraulic cylinders, principal, drawing variable shaped holes, boring shaped chambers and technologies of boring shaped holes and conical deep holes, as well as drilling in materials with inappropriate forming chips in classical drilling of deep holes. All authors of teaching text wants to show readres and students the way, which have been going in the development of deep drilling cutting tools, machine tools (special oils with additives for high pressures), accessories for vibration damping and vibration of drill rod tool that automatically Vibration damping (e.g. from Sandvik Coromant) and food equipment needed for drilling on machines for deep drilling, dry and filters to automatically get rid of impurities in the oil used, conveyors and automated centrifuges for chips, pumps for high pressure and heat sink, to monitor the cutting force (axial force  $F_0$ ), machine performance  $P$ , digital indicator of drilling the automatic programming of NC machine to CNC systems. The development of deep machining technology of deep holes but by far

not over yet. It goes on. Proceeds rapidly and quickly to the readers and students below him, please watch this instructional text because it lets you know prior, but continuing it will be in your hands when dealing with specific cases of production in practice.

## REGISTER

### B

brúsenie, 38  
BTA systém, 14

### C

CNC systém, 18  
Coromant (Sandvik), 70

### D

dĺžka obrábania, 62  
dokončovanie, 99  
drsnosť povrchu, 42

### E

ejektorový systém, 79

### F

faktor, 28  
frézovanie, 49

### G

GOST, 95

### H

hlava (vrtacia), 15  
hĺbka rezu, 28  
hlboký otvor, 14  
honovanie, 122  
hrubovanie, 76

### CH

chladenie, 82

### J

jednoklinový (vrták), 21

### K

konštrukcia, 109  
kvapalina, 108

### L

luneta, 123

### M

materiál, 126

### N

nástroj, 140

### O

obrábanie, 45  
obrobok, 7  
opotrebenie, 20  
opracovanie, 74  
otvor (hlboký), 14

### P

parameter, 34  
posuv, 17  
povlakovanie, 35  
priemer, 49  
pretáhovanie, 98  
proces, 19  
puzdro, 47

### S

sila, 86  
spekaný karbid, 140  
STS (systém), 140  
suport stroja, 48  
súčiastka, 59  
sústruženie, 90

### T

technika, 144  
technológia, 14  
trieska, 23  
trvanlivosť, 29  
tyč (vrtacia), 31

### V

vrtanie, 38  
výroba, 92  
vystružovanie, 76  
vyvrtávanie, 32

### Z

zariadenie, 19

Název: Technológia obrábania hlbokých otvorov  
Autor: Jozef Majerík, Ing., PhD.  
Rozmarína Dubovská, prof. Ing., DrSc. Jozef  
Šandora, Ing., PhD.  
Obrázek obálky: Jozef Majerík, Ing., PhD.  
Obálka: Lenka Drtinová  
Vydal: Extrasystem Praha  
Rok a miesto vydání: 2024, Praha  
vydání: eBook: [www.extrasystem.com/9788087570630.pdf](http://www.extrasystem.com/9788087570630.pdf)  
Vydání: první elektronické vydání  
Rozsah: 150 stran  
AA/VA: 8,41 AA (text 5,83; obrázky 2,58)/8,48 VA

**ISBN 978-80-87570-63-0**





9788087570630

ISBN 978-80-87570-63-0