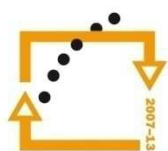




MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1

Šablona: Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT

Název: Obrábění

Téma: Fyzikální metody obrábění 2

Autor: Ing. Kubíček Miroslav

Číslo: VY_32_INOVACE_19 – 17

Anotace: Slouží jako podklad pro výuku obrábění. Popis a charakteristika metod elektrochemického, chemického obrábění, ultrazvukem a vodním paprskem. Text určen pro studenty 2. ročníku střední odborné školy oboru strojírenství.

FYZIKÁLNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

- Fyzikální technologie obrábění jsou založeny na využití fyzikálního nebo chemického principu úběru materiálu
- Většinou jde o bezsilové působení nástroje na obráběný materiál, bez tvoření klasických třísek které vznikají při obrábění reznými nástroji
- Obrobitelnost materiálu u těchto metod je dána
 - Tepelnou vodivostí - Teplotou tání
 - Elektrickou vodivostí - Odolností proti elektrické erozi
 - Odolností proti chemické erozi - Vzájemnou vazbou atomů a molekul
- Vhodné pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů a pro složité (členité) tvary (vnější i vnitřní)

ELEKTROCHEMICKÉ

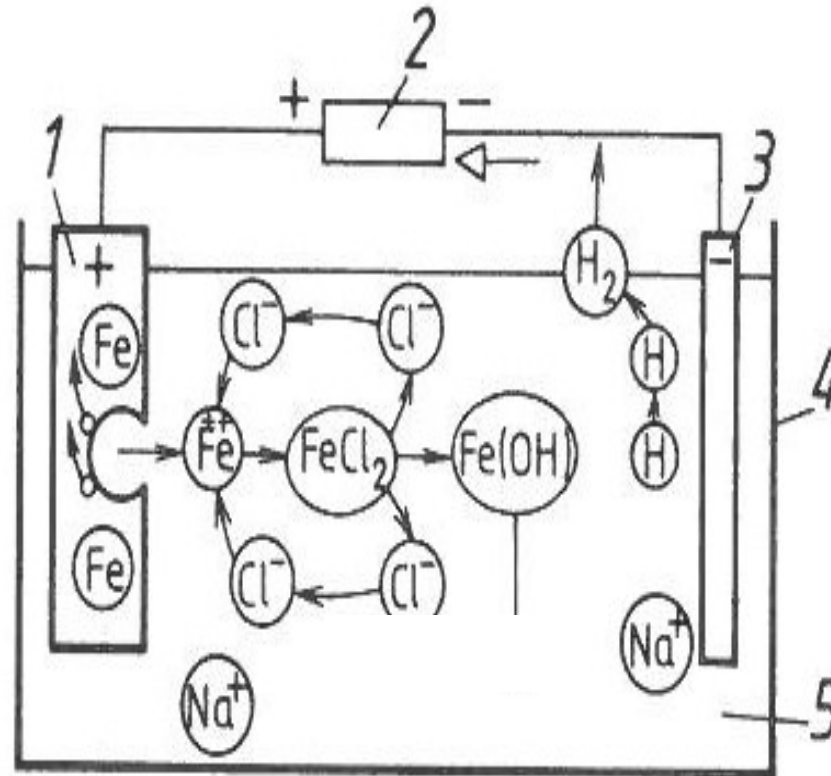
- Obrábění je metoda beztržkového(bezsilového) úběru materiálu elektricky vodivých materiálů
- Obráběná součást je ponořena do elektrolytu a připojena na anodu, dochází v něm k reakci, při níž se kationty elektrolytu slučují s anionty kovu na povrchu anody a postupně rozrušují (ubírají) kov z anody
- Anoda kopíruje (je negativem) tvar katody – nástrojové elektrody
- Největší rychlost rozpouštění kovu je při minimální mezeře mezi elektrodami (0,05 – 1 mm)
- Hustota proudu až $1\,000\text{ Acm}^{-2}$
- SS napětí 5 – 30 V

ELEKTROCHEMICKÉ

- Stejného principu elektrochemického obrábění se používá i u dalších metod
 - Obrábění s nuceným odstraňováním produktů vzniklých chemickými reakcemi
 - Obrábění proudícím elektrolytem (hloubení tvarů a dutin, hloubení malých otvorů, odstraňování otřepů, dělení materiálu)
 - S mechanickým odstraňováním (broušení lapování, honování)
 - Povrchové obrábění bez odstraňování produktů vzniklých chemickými reakcemi

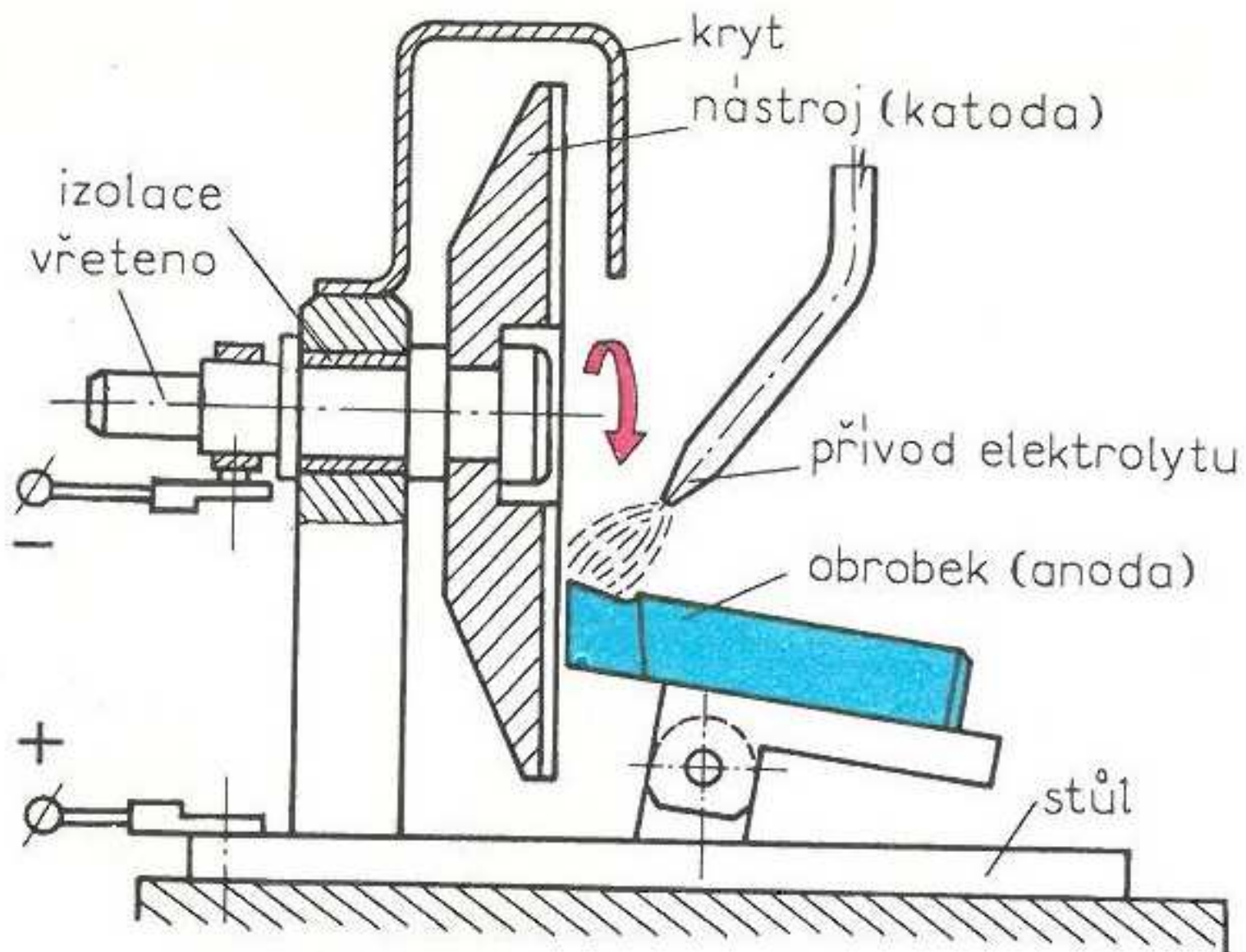
ELEKTROCHEMICKÉ

- Princip elektrochemického obrábění

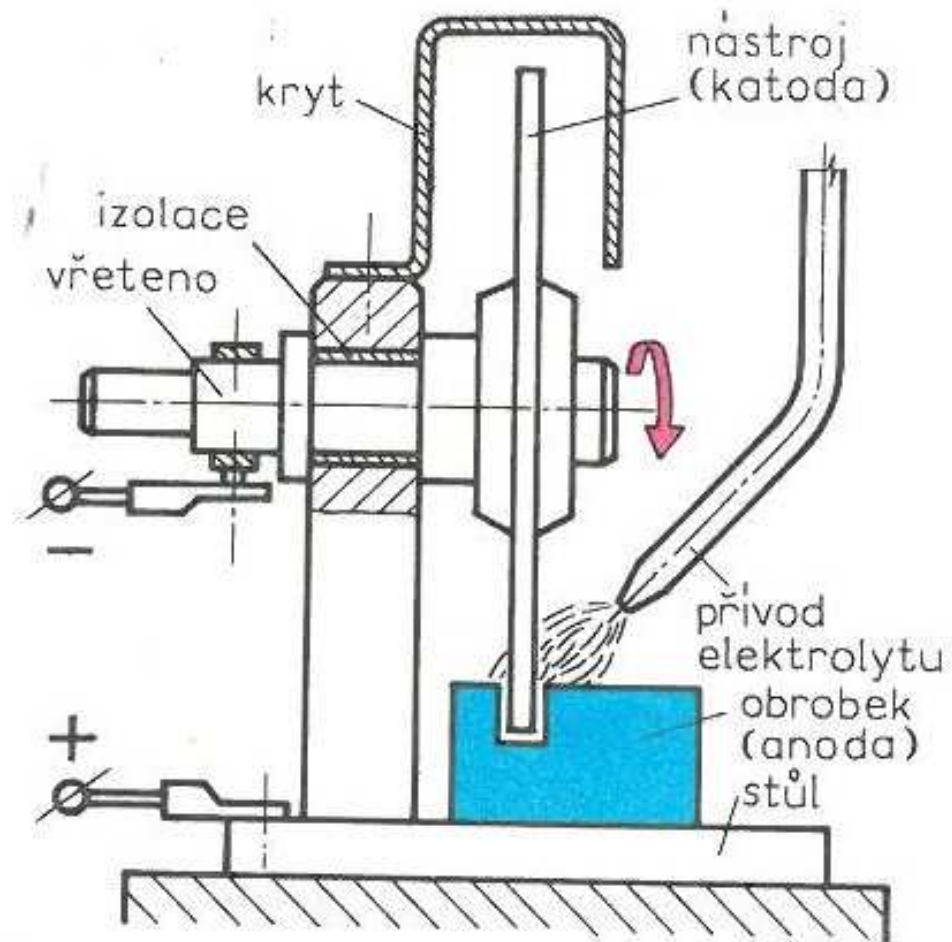


1 – obrobek (anoda), 2 – napájecí zdroj,
3 – nástroj (katoda), 4 – pracovní vana,
5 – elektrolyt

ANODOMECHANICKÉ

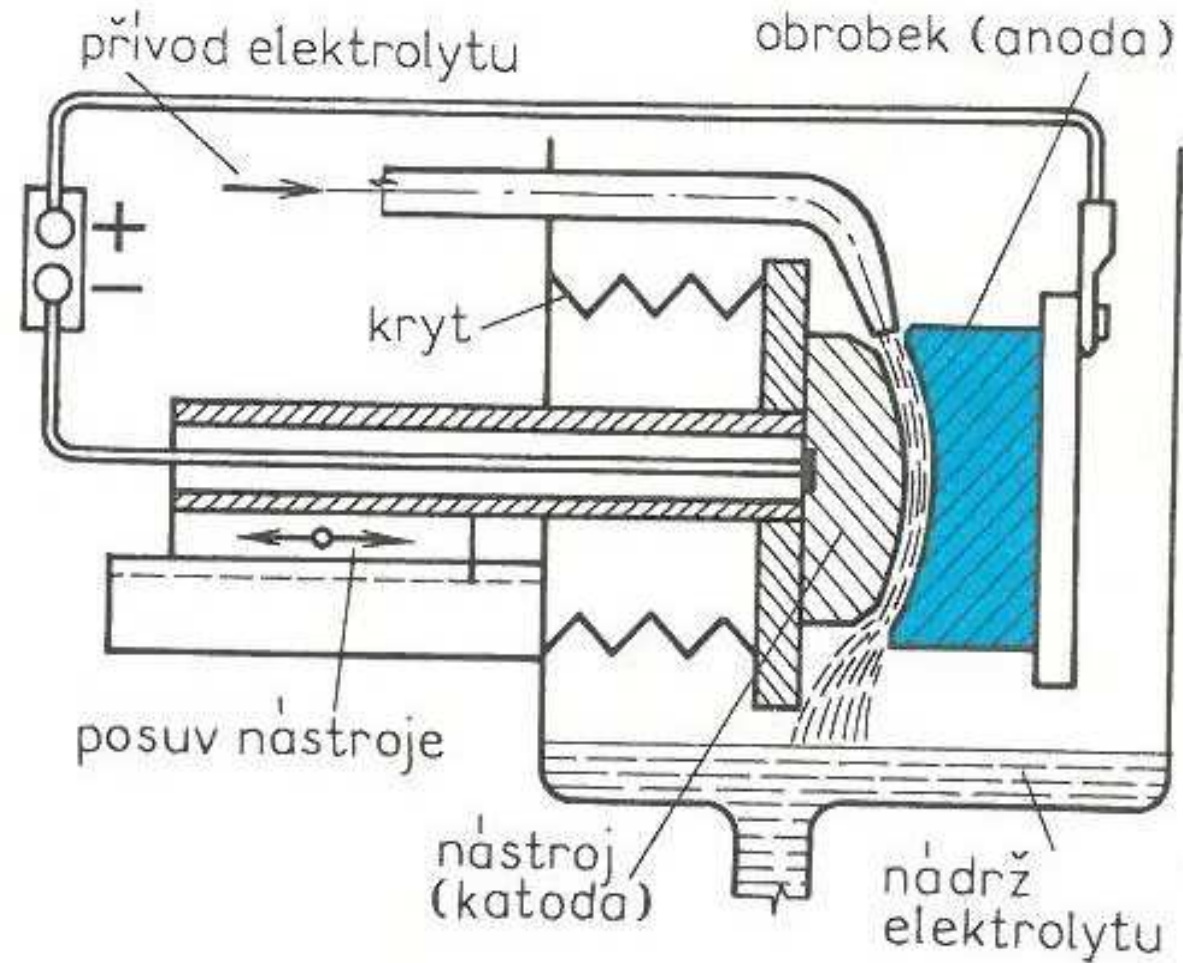


ELEKTROCHEMICKÉ - otáčející se elektrodou



Elektrochemické obrábění
otáčející se elektrodou

ELEKTROCHEMICKÉ – proudícím elektrolytem

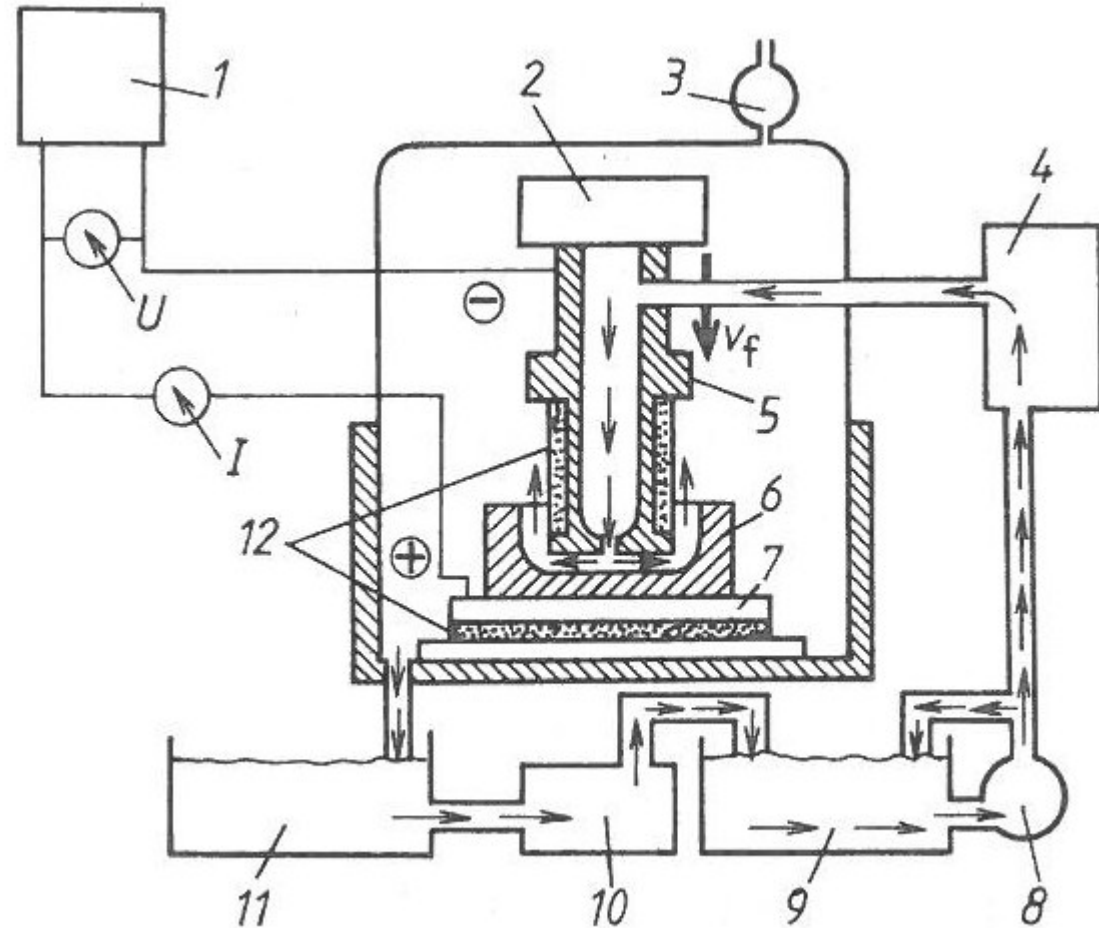


Elektrochemické obrábění proudícím elektrolytem

ELEKTROCHEMICKÉ – hloubení dutin

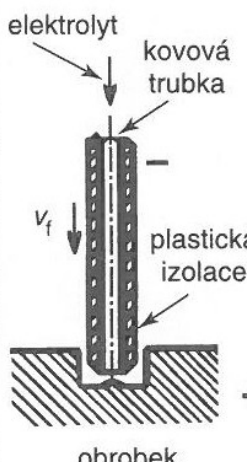
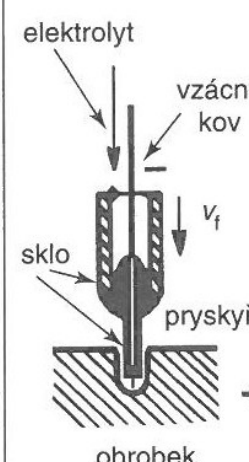
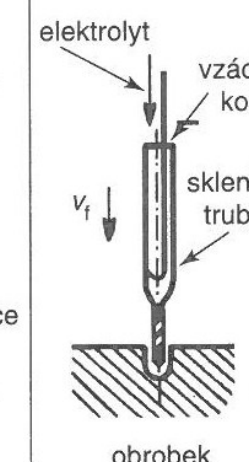
- Zařízení pro hloubení dutin

1 – napájecí zdroj,
2 – mechanismus posuvu,
3 – odsávání, 4 – filtr,
5 – nástroj, 6 – obrobek,
7 – pracovní stůl, 8 – čerpadlo,
9 – zásobník elektrolytu,
10 – filtr, 11 – nádrž
s elektrolytem, 12 – izolace

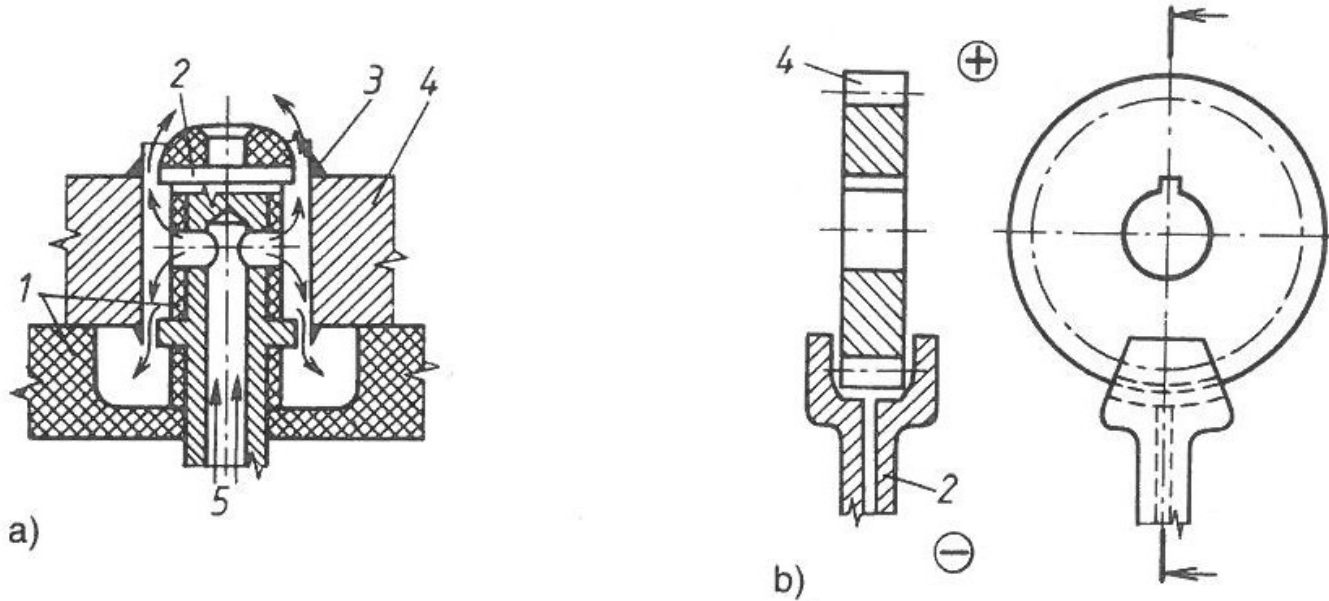


ELEKTROCHEMICKÉ

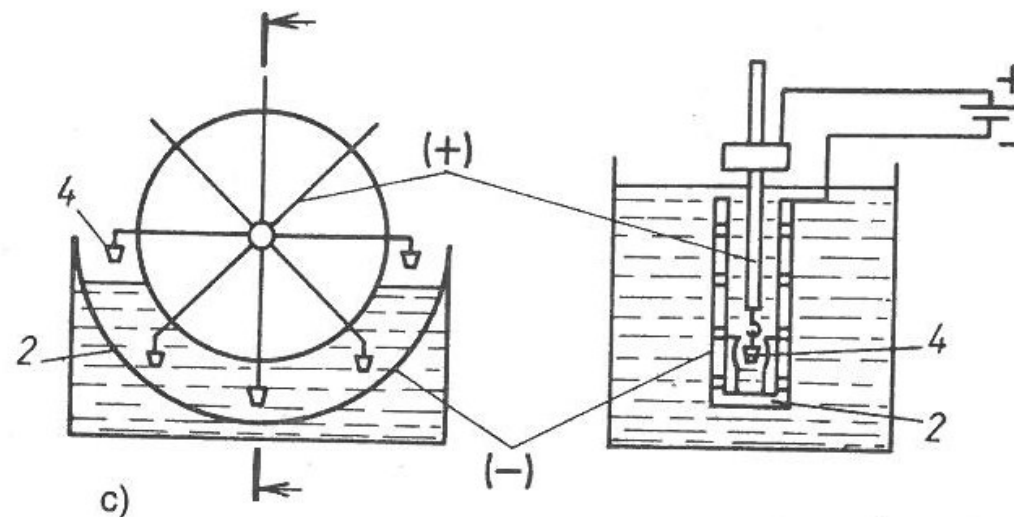
- HLOUBENÍ MALÝCH OTVORŮ

Charakteristika procesu	Elektrochemické odstraňování materiálu hloubením		
Označení metody	STEM	ECF	ESD
Náčrt – schéma			
Nejmenší průměr d_{min} (mm)	0,5 až 5	0,2 až 2	0,125 až 1
Poměr $\frac{l}{d}$	200	100	50 (3)*
Tolerance díry (mm)	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03 (\pm 0,05)^*$
Vrtací nástroj	izolovaná korozi-vzdorná trubka z nerezů nebo titanu	skleněná trubka	skleněná trubka zakončená kapilárou
Elektrolyt	H ₂ SO ₄ HNO ₃	H ₂ SO ₄ HNO ₃	H ₂ SO ₄ HNO ₃
Napětí (V)	20 až 100	100 až 500	300 až 600

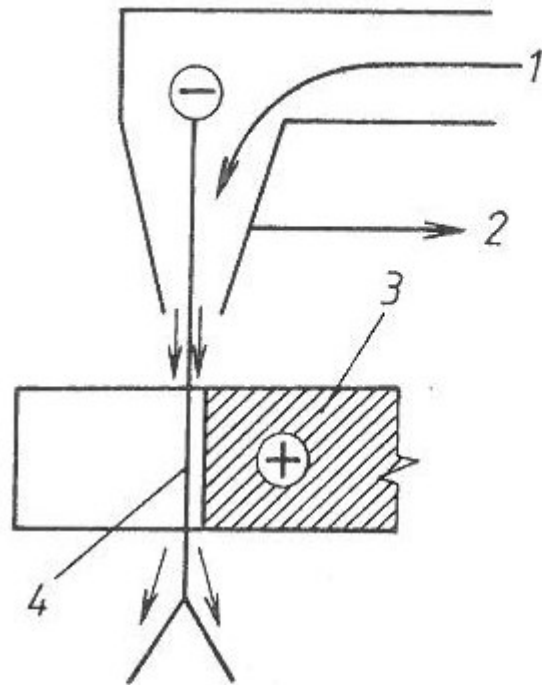
ELEKTROCHEMICKÉ OBR– odstraňování otřepů-druhy



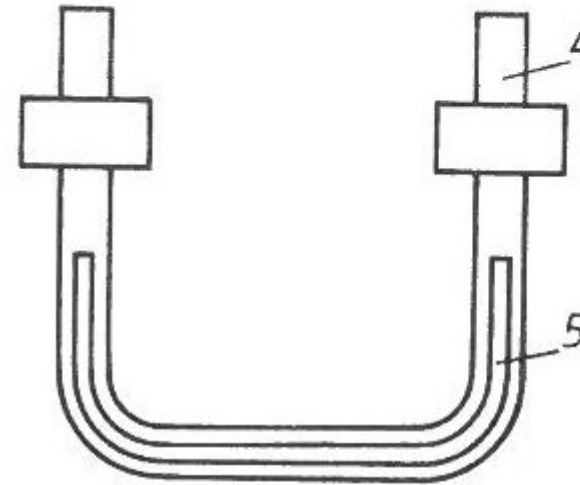
Elektrochemické
odstraňování otřepů
a) tvarovou elektrodou,
b) segmentovou
elektrodou,
c) v lázni
1 – izolace, 2 – nástroj,
3 – otřep, 4 – obrobek,
5 – přívod elektrolytu



ELEKTROCHEMICKÉ – dělení materiálu



a)



b)

Elektrochemické dělení materiálů

a) drátovou elektrodou, b) štěrbinovým nástrojem

1 – přívod elektrolytu, 2 – směr pohybu nástroje, 3 – obrobek, 4 – elektroda, 5 – mezera pro přívod elektrolytu

ELEKTROCHEMICKÉ – obrábění vnějších tvarových ploch

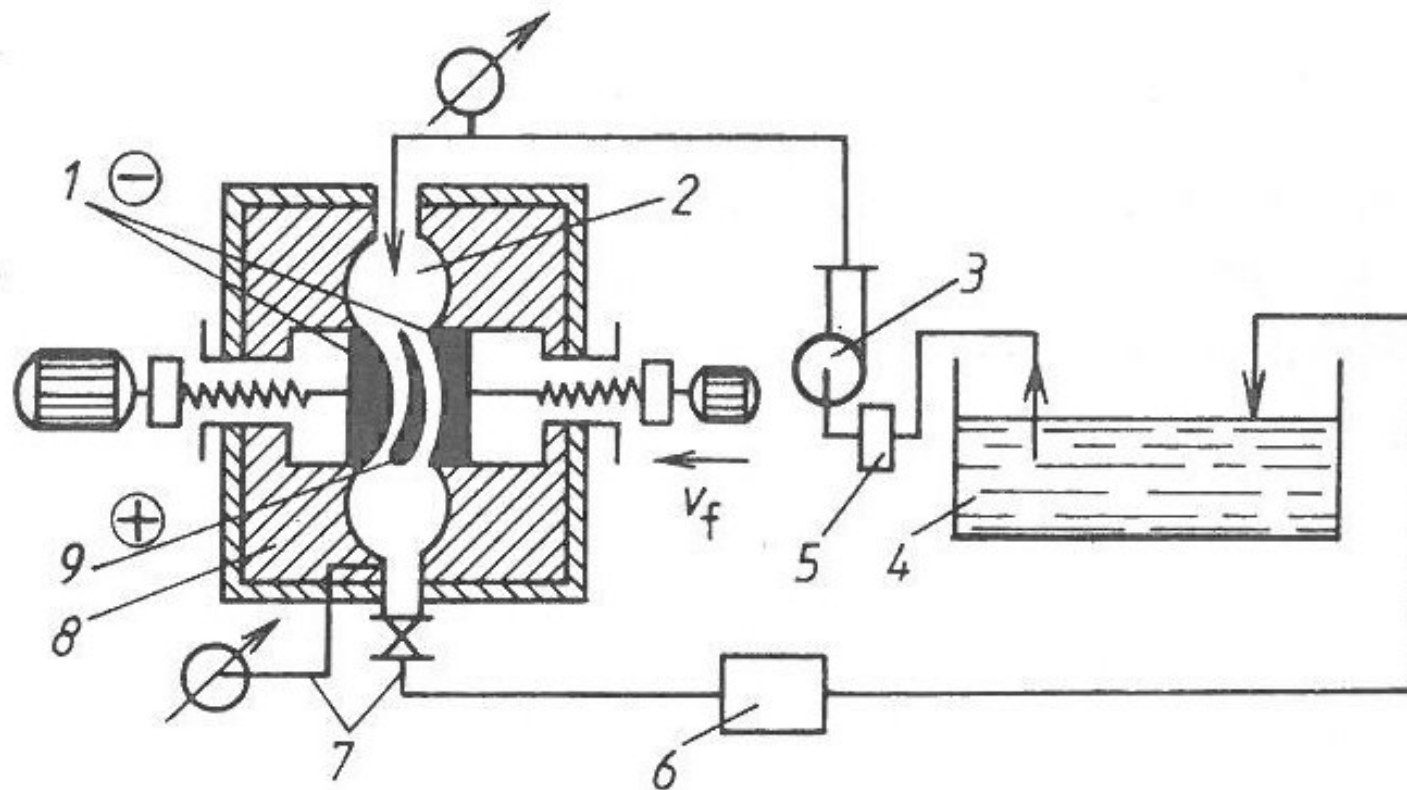


Schéma zařízení pro elektrochemické obrábění vnějších tvarových

ploch

- 1 – nástroj (katoda), 2 – rozvod elektrolytu, 3 – čerpadlo, 4 – nádrž s elektrolytem, 5 – chladič, 6 – filtr, 7 – regulátor tlaku, 8 – pracovní komora, 9 – obrobek (anoda)

ELEKTROCHEMICKÉ

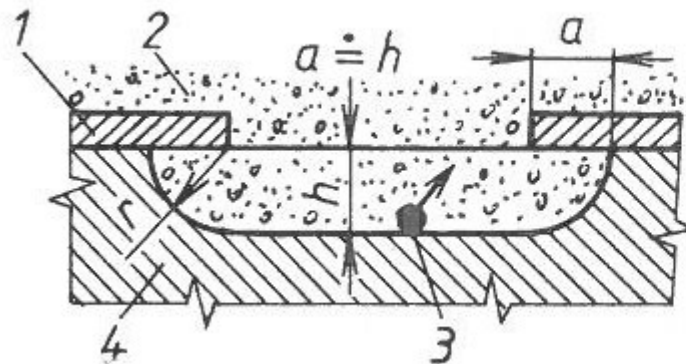
- ELEKTROLYT MÁ TYTO ÚKOLY
 - Zajistit vedení elektrického proudu
 - Určovat podmínky rozpouštění anody
 - Odvádět z pracovního prostoru teplo
 - Odvádět produkty vzniklé chemickými reakcemi
- Požadavky na materiál nástroje
 - Dobrá elektrická vodivost
 - Odolnost proti výbojům a korozi
 - Možnost jednoduché a přesné výroby
 - Dostatečná pevnost
 - Možnost získat velmi hladký, leštěný povrch
- Materiál nástroje může být z mosazi, Cu, korozi-vzdorné oceli, grafitu, kompozice grafit+Cu,
- Jako elektrolyt se používá – NaCl, NaNO₃
NaClO₃, HCl, H₂SO₄, NaOH

ELEKTROLYTY PRO ELEKTROCHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ

Typ elektrolytu	Hmotnostní koncentrace (%)	Obráběné materiály	Poznámka
NaCl	5 až 20	slitiny na bázi Fe, Ni, Cu, Al, Mg, Ti	Silně korozivní, malý vliv na pasivaci; nejedovatý a levný.
NaNO ₃	10 až 20	slitiny na bázi Fe, Al, Cu, Zn	Univerzální použití, výrazně pasivační účinky.
NaClO ₃	20 až 45	oceli	Vysoký úběr a přesnost; nebezpečná manipulace, nebezpečí vznícení.
HCl H ₂ SO ₄	do 10 %	slitiny Ni, Cr, Co	Náročné na bezpečnost, agresivní prostředí, elektrolyt se spotřebovává.
NaOH	do 10 %	W, Mo, SK	Leptací účinek, obtížná manipulace

CHEMICKÉ

- Pod chemické obrábění zahrnujeme **leptání**
- Leptání je řízené odstraňování vrstvy materiálu s povrchu obrobku chemickou reakcí vznikající mezi obrobkem a nástrojem (chemickou látkou) bezsilovým způsobem



Princip chemického obrábění

1 – maska, 2 – nástroj (chemická leptací látka),
3 – odebrané (odleptané) částice materiálu
obrobku, 4 – obrobek

- Obráběné materiály – Al, konstrukční a korozivzdorné oceli, Cu, mosaz, Ti

CHEMICKÉ

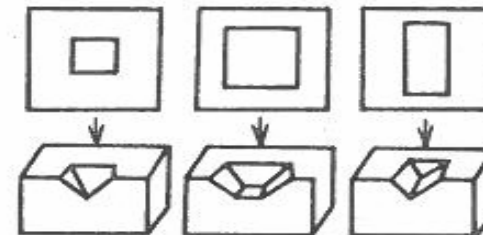
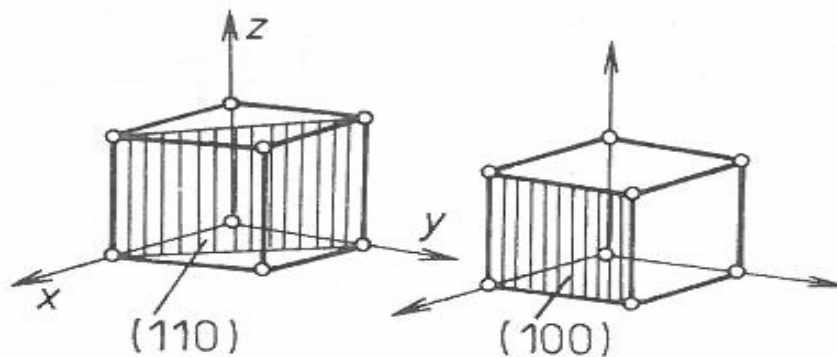
- **Charakteristiky**
 - Rychlost obrábění $0,01 - 0,4 \text{ mmmin}^{-1}$
 - Max doba leptání (závislá na celkové ploše leptání)
8 – 10 hod
 - Max. hloubka do 10 mm (většinou setiny mm)
 - Nelze vytvořit ostré hrany, vždy je okraj dutiny zaoblen
 - Obrobek vkládat do leptací lázně pod úhlem 45°
- **Oblast využití** – výroba mělkých,, několik setin mm
hlubokých, tvarově složitých povrchů, nosníky v leteckých
konstrukcích, obrábění tenkostěnných součástí, tvarově
složitých a málo tuhých součástí, které lze obtížně upínat, aby
nedošlo k jejich deformaci

CHEMICKÉ

- Postup práce při leptání Al slitiny
 - Odmaštění a očištění povrchu součásti technickým benzinem
 - Ponoření do 5% roztoku NaOH o teplotě cca 60° na dobu 1,5 min
 - Oplach v teplé vodě (40 - 60°)
 - Ponoření do 15 – 30% roztoku kyseliny dusičné, aby se odstranil kal vzniklý na povrchu, teplota 15 – 25°C, doba ponoření 0,5 – 5 min
 - Oplach ve studené vodě(15 – 25°C)
 - Osušení povrchu teplým vzduchem
 - Ponoření v H₂SO₄ a dvojchromanu draselného za účelem zvýšení přilnavosti povrchu obrobku k maskovacím ochrannému nátěru
 - Nanesení masky
 - Vysušení masky (2 – 8 hod)
 - Vlastní leptání
 - Oplach s cílem odstranění leptací chemické látky

CHEMICKÉ

- Při opracování Si existují dva způsoby leptání
 - **Anizotropické** – tvar vyleptané dutiny závisí na krystalografické orientaci povrchu obrobku (Si), tvaru a orientaci dutiny v krycí masce a použitého leptacího roztoku
 - **Selektivní** – opět řízené rozpouštění krystalů Si sycených borem. Při koncentraci boru se výrazně snižuje účinnost leptacího roztoku, umožňuje to vertikální odebírání materiálu. Použití při výrobě Si membrán tlustých několik mikrometrů a v elektronové litografii

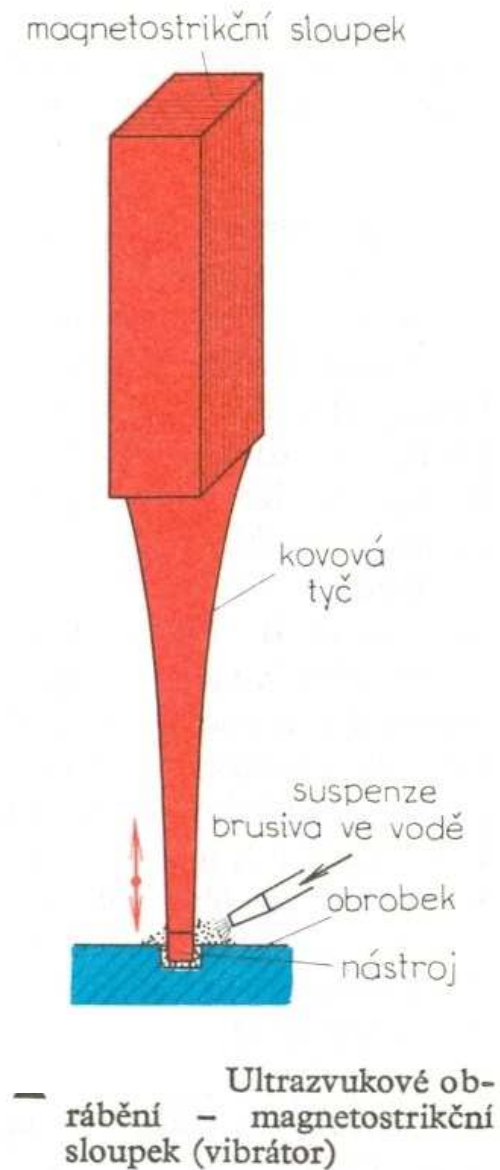


Princip anizotropického leptání

a) směry krystalových rovin, b) tvary odleptaných děr

ULTRAZVUK

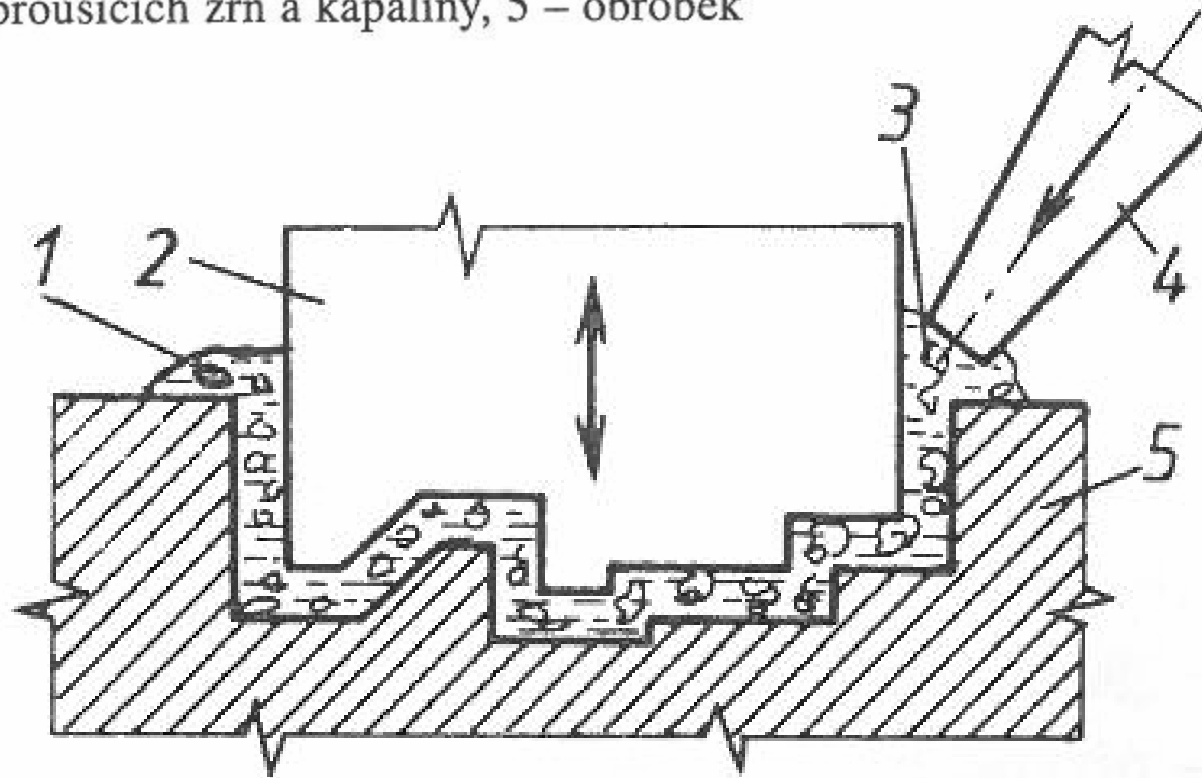
- Řízené rozrušování materiálu obrobku účinkem pohybu zrn abrazivního materiálu a působením kavitační eroze
- Zrna abrazivního materiálu jsou přiváděna mezi obráběný povrch a nástroj, který kmitá v kolmém směru na obráběný povrch kmitů 18 – 25 kHz. Zrna jsou nástrojem přitlačována stálou silou k povrchu, a tím dochází k překopírování tvaru nástroje do obrobku



ULTRAZVUK

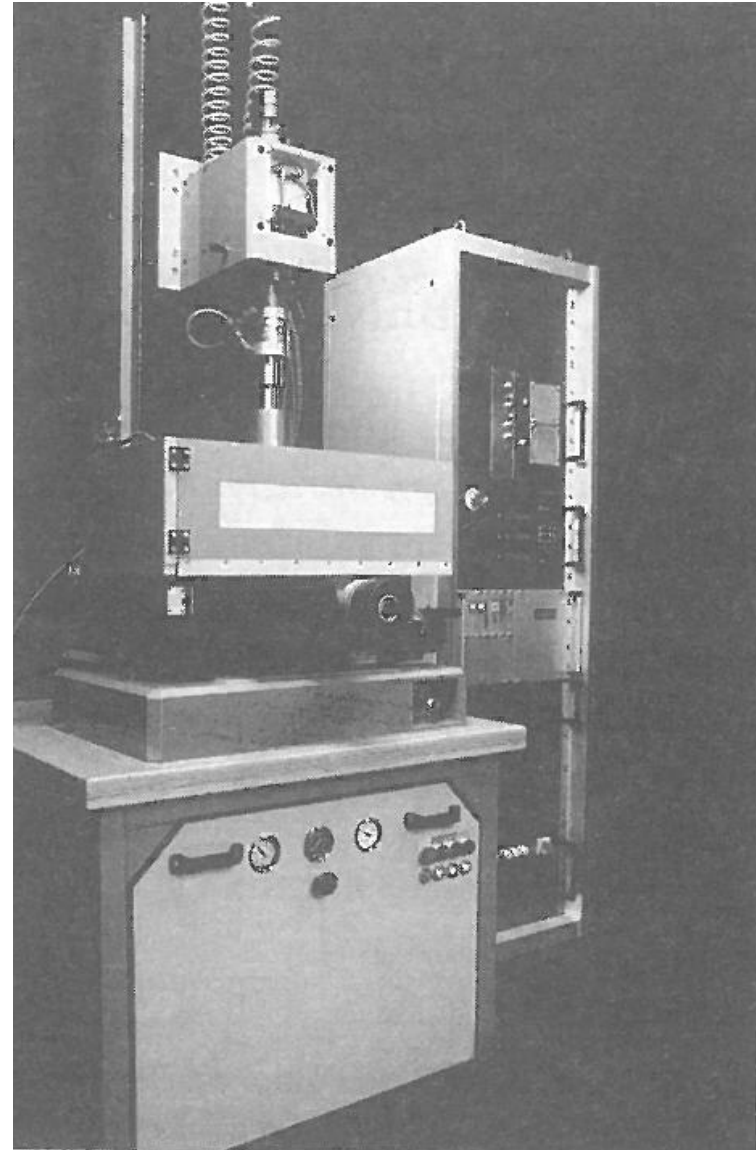
Princip obrábění ultrazvukem

- 1 – kapalina, 2 – nástroj, 3 – brousící zrna,
4 – přívod brousících zrn a kapaliny, 5 – obrobek



STROJ NA OBRÁBĚNÍ ULTRAZVUKEM

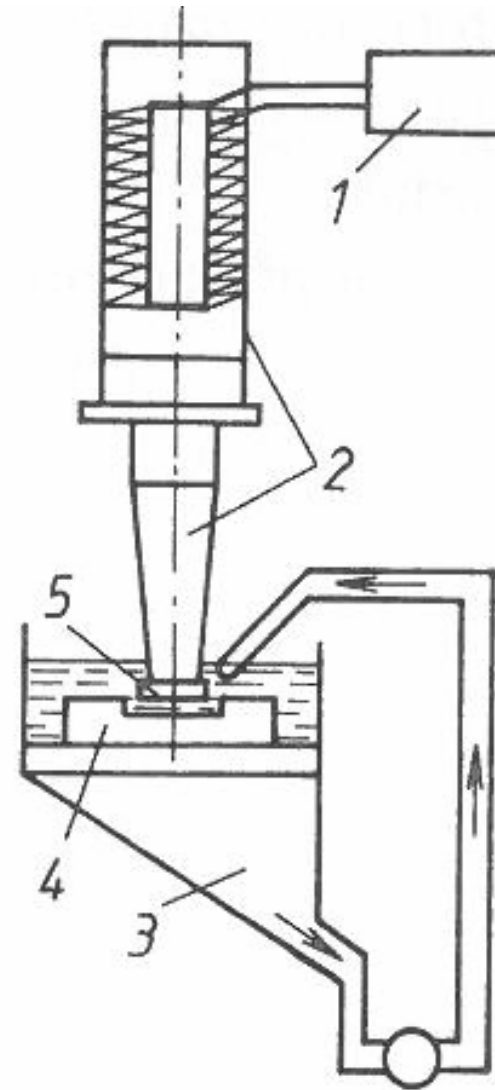
SKUTEČNÉ PROVEDENÍ



OBRÁBĚNÍ ULTRAZVUKEM

SCHEMA - PRINCIP

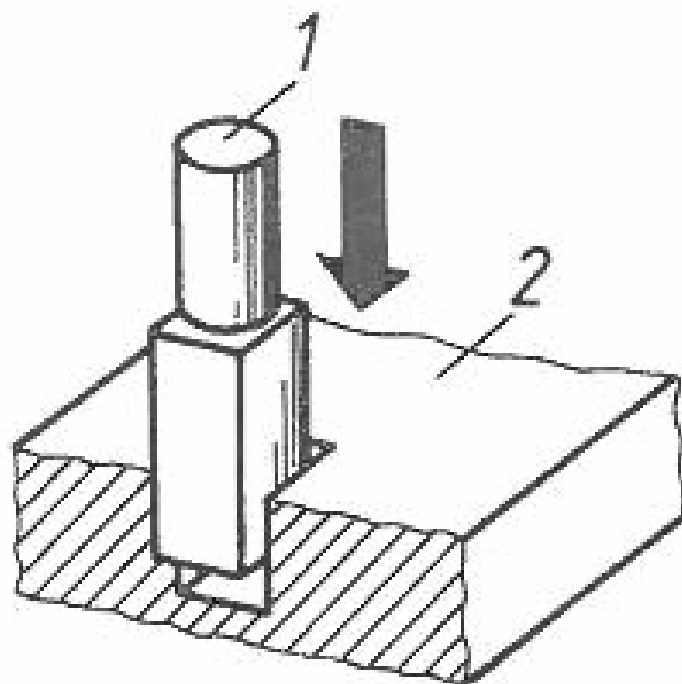
- 1 – generátor ultrazvukových kmitů
- 2 – systém pro vytvoření mechanických kmitů
- 3 – přívod brousících zrn a kapaliny
- 4 – obrobek
- 5 - nástroj



PŘÍKLADY NÁSTROJŮ A OPERACÍ OBRÁBĚNÝCH ULTRAZVUKEM

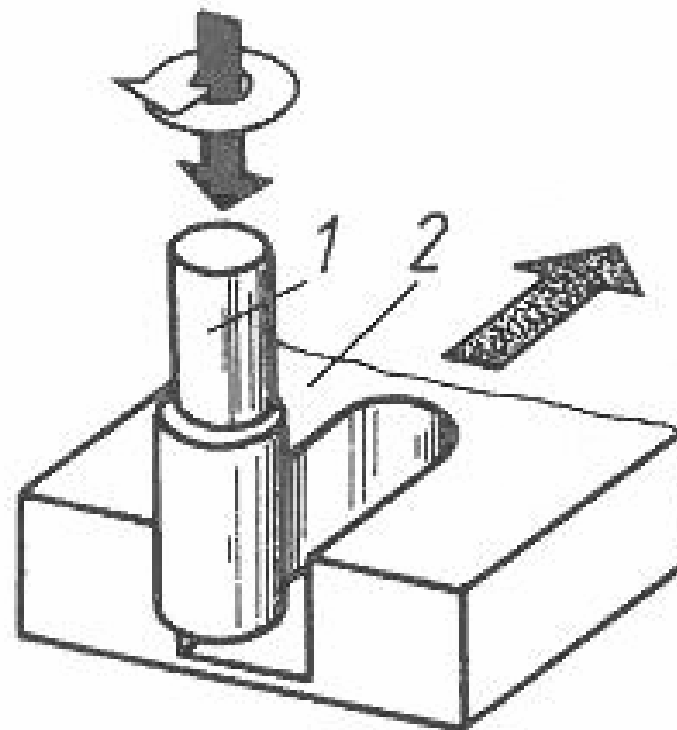
NEROTAČNÍ DUTINY

1 – NÁSTROJ



OTEVŘENÉ DRÁŽKY

2 - OBROBEK



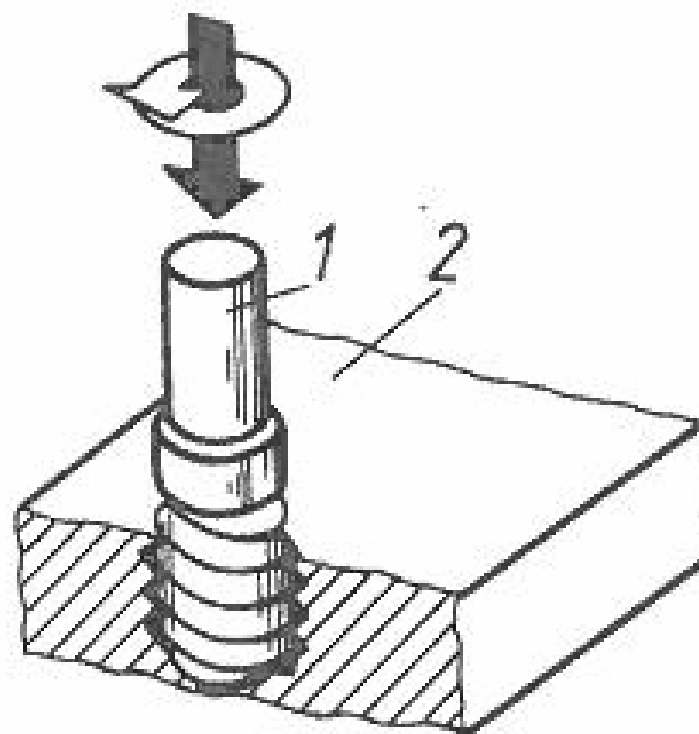
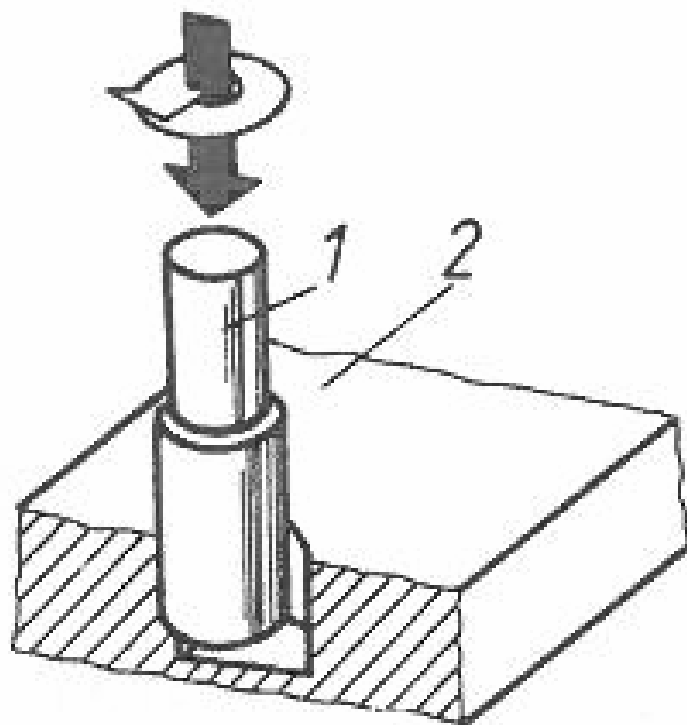
PŘÍKLADY NÁSTROJŮ A OPERACÍ OBRÁBĚNÝCH ULTRAZVUKEM

KRUHOVÉ DÍRY

ZÁVITY

1 – NÁSTROJ

2 - OBROBEK



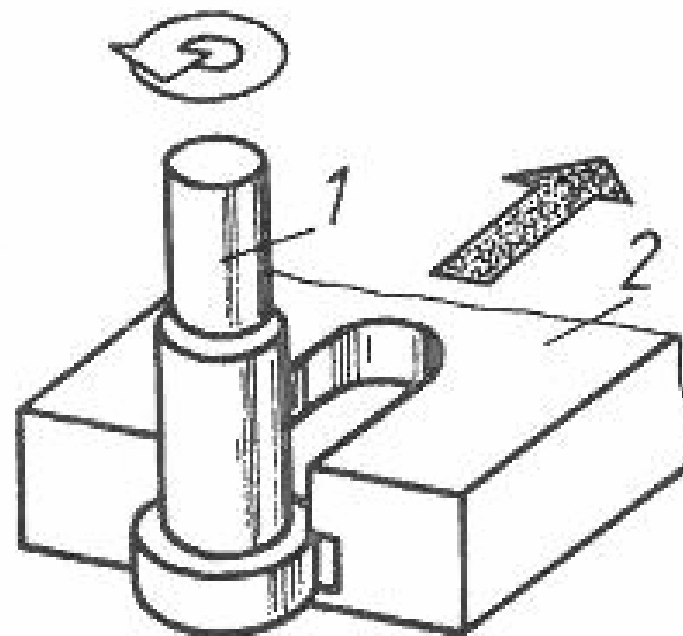
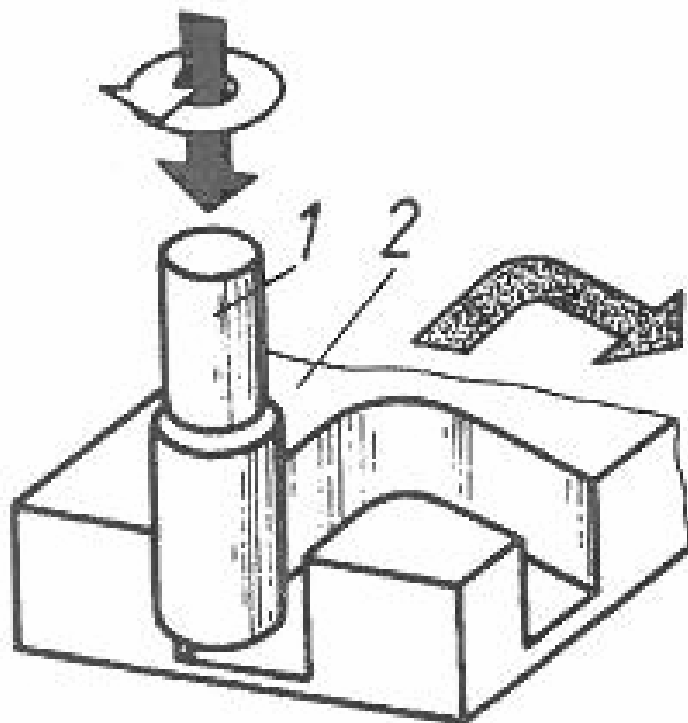
PŘÍKLADY NÁSTROJŮ A OPERACÍ OBRÁBĚNÝCH ULTRAZVUKEM

PRŮCHOZÍ DRÁŽKY

TVAROVÉ DRÁŽKY

1 – NÁSTROJ

2 - OBROBEK

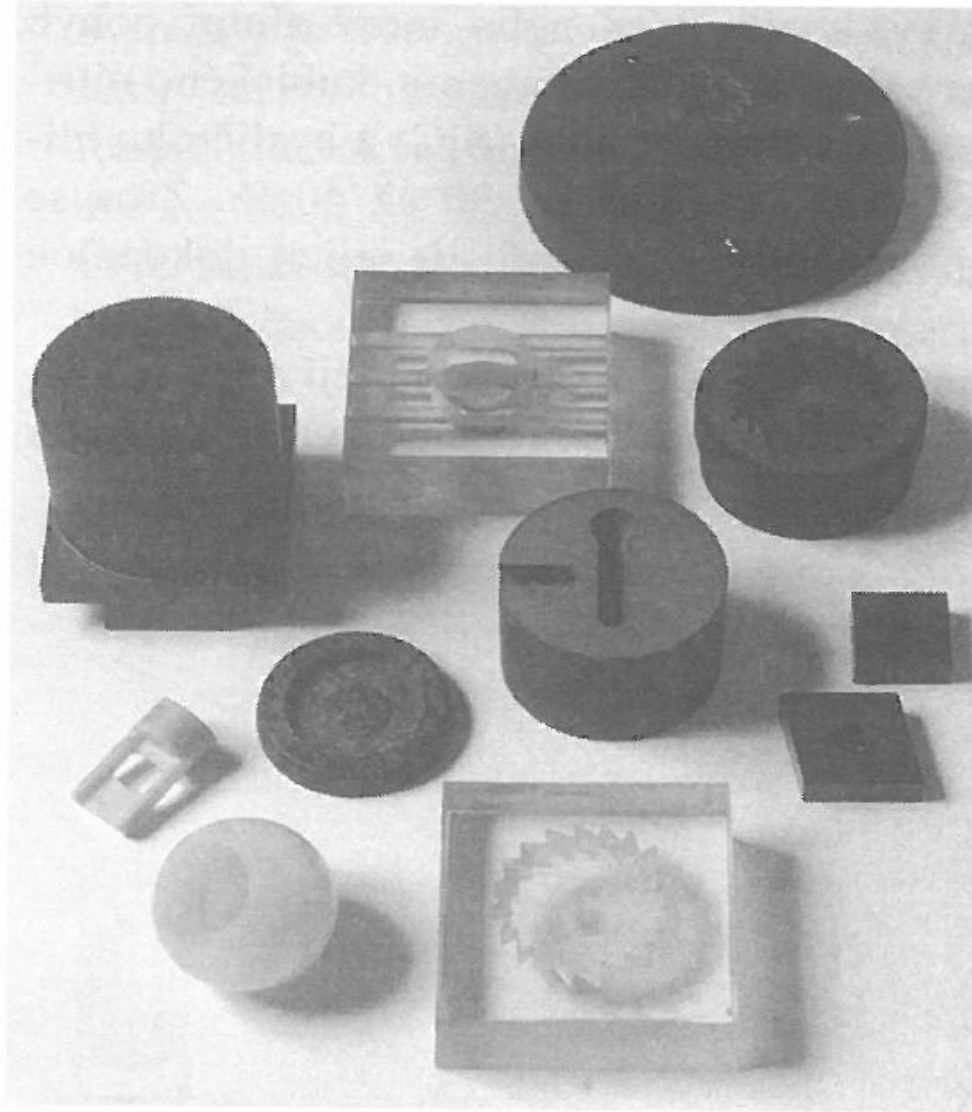


OBROBITELNOST MATERIÁLŮ ULTRAZVUKEM

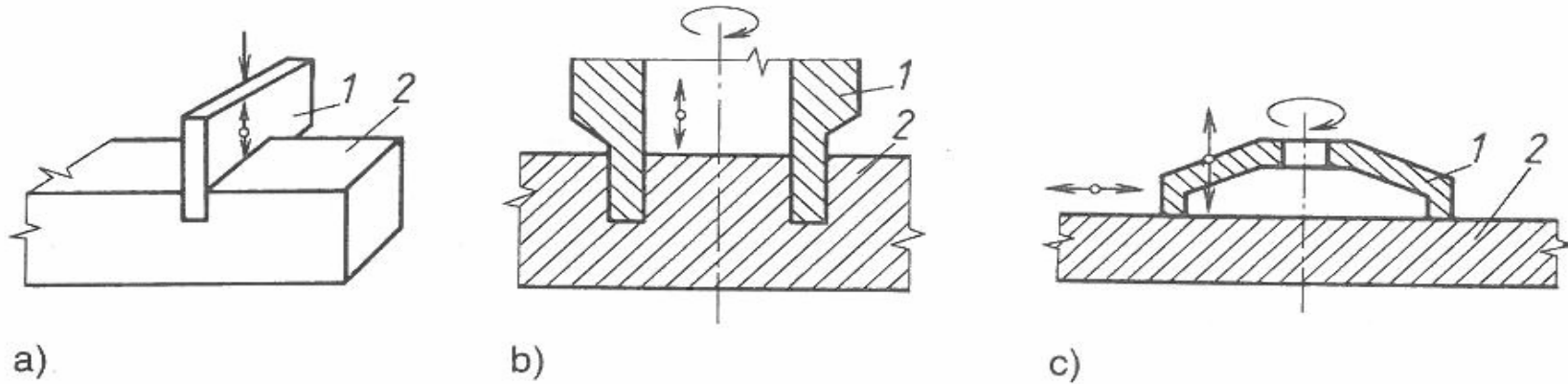
Obráběný materiál	Relativní (poměrná) obrobitelnost	Obráběný materiál	Relativní (poměrná) obrobitelnost
Sklo	1,0 (etalon)	Křemík	0,5
Rubín	0,9	Keramika	0,3
Ferit	0,8	Achát	0,3
Germánium	0,6 – 0,3	Slinutý karbid	0,05 – 0,02

- Obrobitelnost materiálů je úměrná jejich tvrdosti a křehkosti (viz tabulka)
- Obrábět lze elektricky vodivé i nevodivé materiály, sklo, Si, ferity, germanium, keramické materiály, grafit, kavlar, slinuté karbidy, kalené oceli, polodrahokamy
- **Zásadně nevhodné pro plastické materiály**

Příklady součástí vyrobených ultrazvukem



Technologické aplikace obrábění ultrazvukem



a) řezání, b) hloubení průchozích děr, c) broušení rovinných ploch
1 – nástroj, 2 – obrobek

VODNÍ PAPERSEK

- Obrábění je založeno na přeměně kinetické energie kapaliny na mechanickou práci, za současného působení kavitační koroze
- Tlak pracovní kapaliny je 200 – 600 MPa
- Rychlost kapaliny z tryska asi 4x větší než je rychlost zvuku
- Druhy
 - **Čistý kapalinový paprsek** – pro řezání měkkých a málo houževnatých materiálů. Max. tloušťka řezaného materiálu je závislá na druhu materiálu obrobku, tlaku pracovní kapaliny, rychlosti řezání, průměru a vzdálenosti trysky od povrchu obrobku. Šířka řezné spáry 0,1 – 0,3 mm
 - **Abrazivní kapalinový paprsek** (s příměsí brousícího materiálu – zrna křemičitého písku, olivínu, granátu, KNB o velikosti 0,2 – 0,5 mm) – pro tvrdé a houževnaté materiály. Řezaná tloušťka kolem 100 mm. Šířka řezné spáry 1,1 – 2,5 mm
- Rychlost řezání od 5 mmmin⁻¹ (kovy) do 2 000 mmmin⁻¹ (překližky)

VODNÍ PAPERSEK

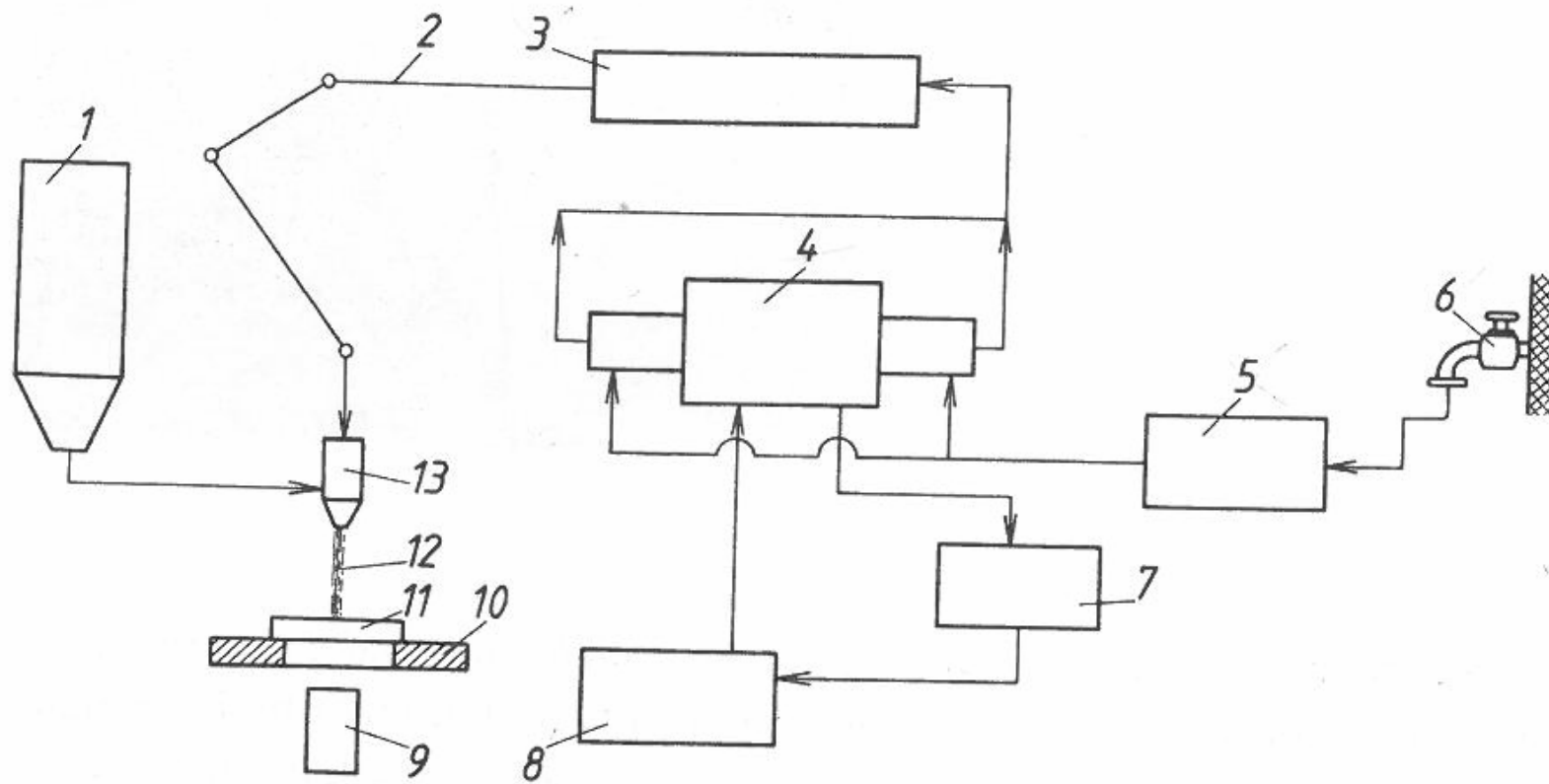


Schéma stroje pro řezání kapalinovým paprskem

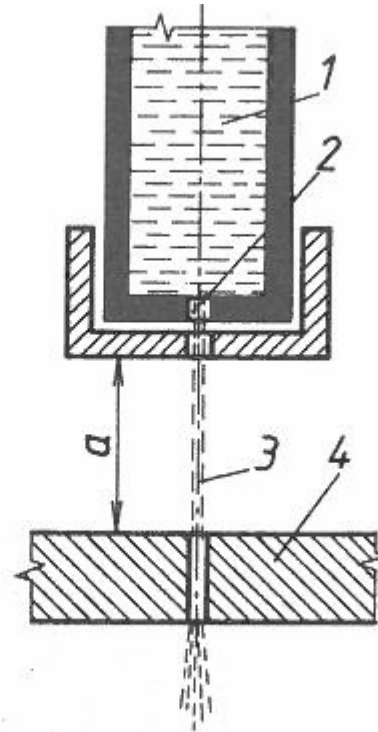
- 1 – zásobník brousících zrn, 2 – vysokotlaké potrubí, 3 – zásobník tlakové kapaliny,
4 – vysokotlaké čerpadlo, 5 – filtry, 6 – přívod pracovní kapaliny, 7 – nádrž oleje,
8 – nízkotlaké čerpadlo, 9 – lapač, 10 – pracovní stůl, 11 – obrobek, 12 – kapalinový
paprsek, 13 – pracovní řezací hlava

VODNÍ PAPERSEK

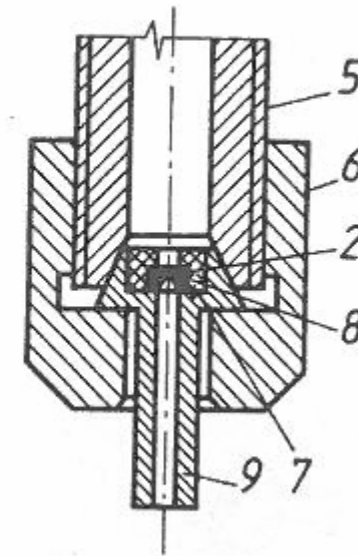
Pracovní řezací hlava pro čistý kapalinový paprsek

a) schéma, b) provedení výstupní
safírové trysky

1 – tlaková kapalina, 2 – výstupní
tryska, 3 – kapalinový paprsek,
4 – obrobek, 5 – potrubí,
6 – matice, 7 – lůžko trysky,
8 – držák trysky, 9 – stabilizátor
proudu kapalinového paprsku,
 a – vzdálenost trysky od povrchu
obrobku



a)

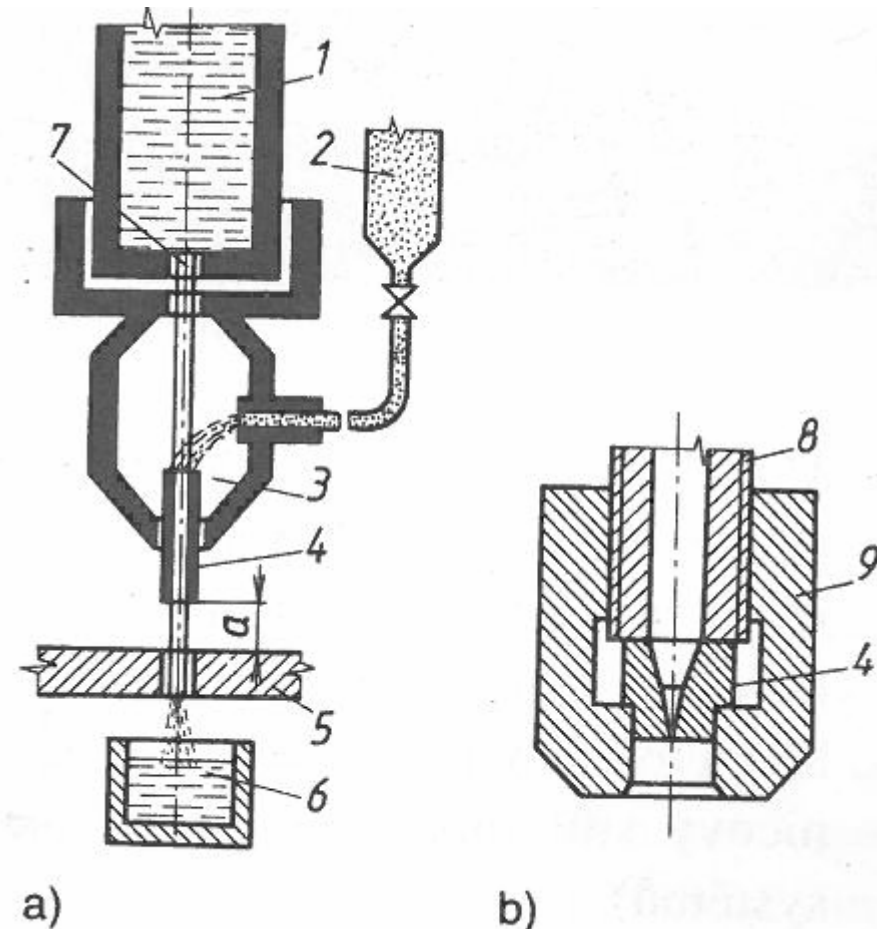


b)

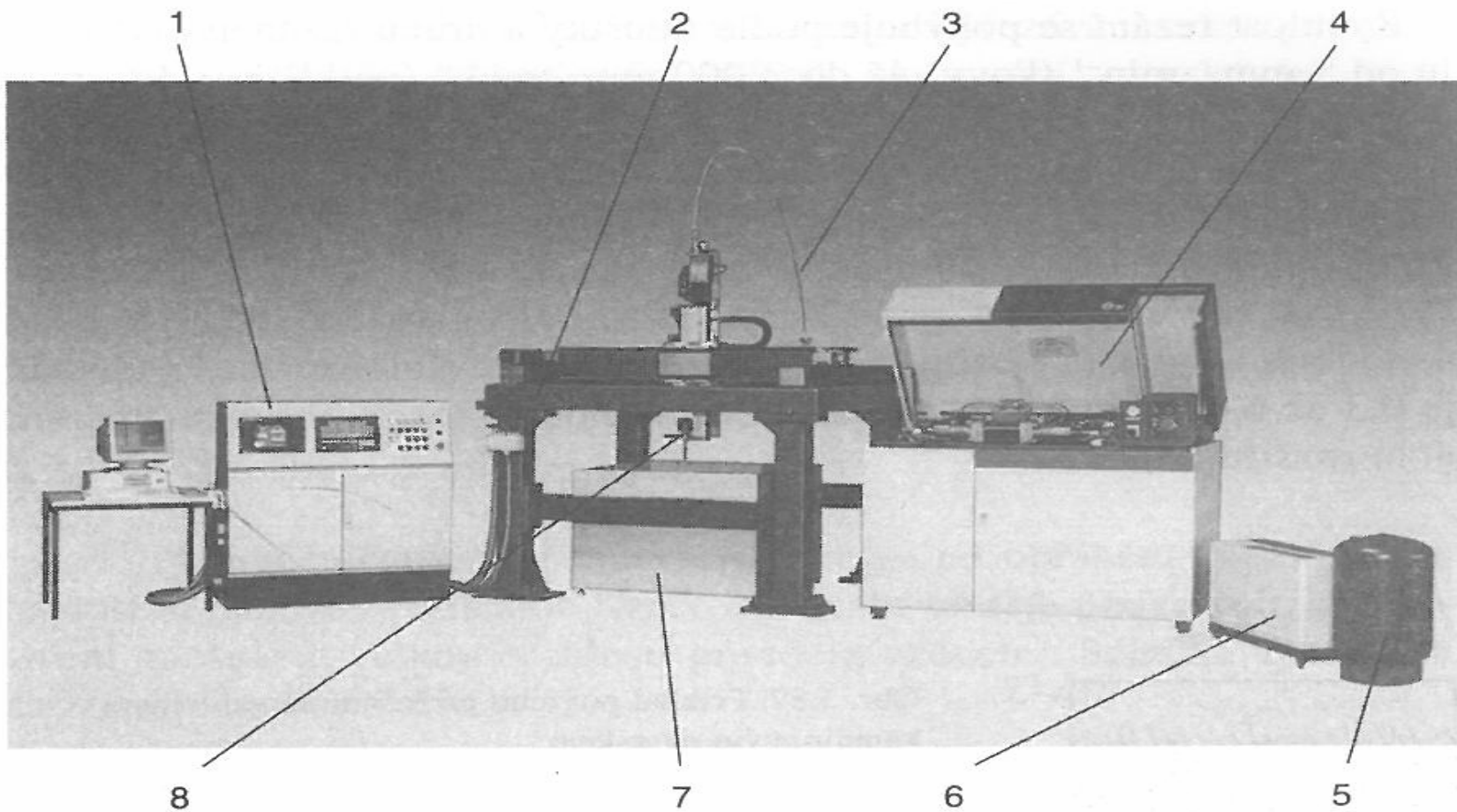
VODNÍ PAPERSEK

Pracovní řezací hlava pro abrazivní kapalinový paprsek

a) schéma, b) provedení výstupní
řezací trysky
1 – tlaková kapalina, 2 – zásobník
brousicích zrn, 3 – směšovací
komora, 4 – výstupní řezací tryska,
5 – obrobek, 6 – lapač, 7 – vodní
safírová tryska, 8 – potrubí,
9 – matice, a – vzdálenost trysky od
povrchu obrobku



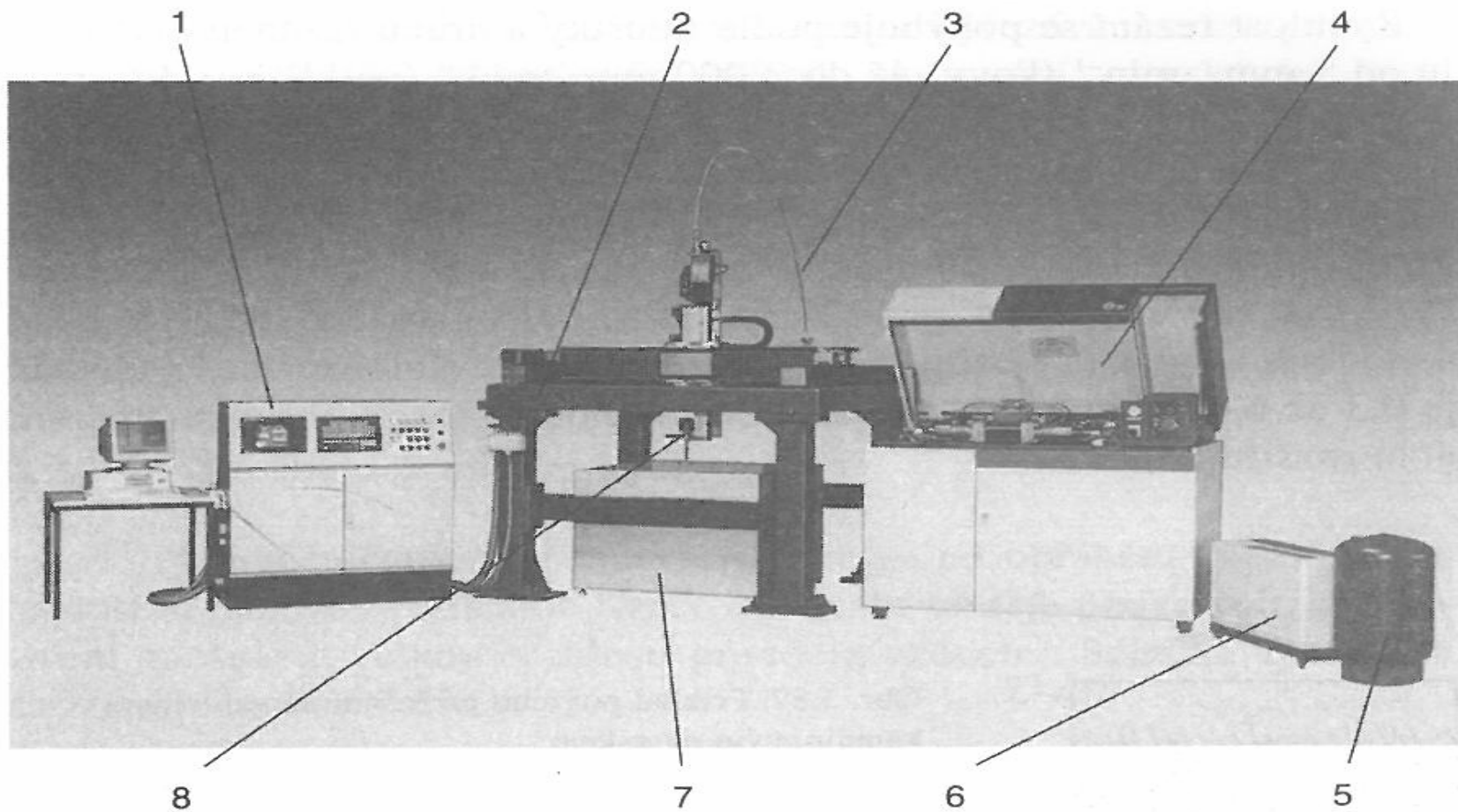
VODNÍ PAPERSEK



Portálový řezací stroj

- 1 – CNC řídicí systém, 2 – portálové manipulační zařízení, 3 - vysokotlaké potrubí,
4 – vysokotlaké čerpadlo, 5 – zásobník tlakové kapaliny, 6 – filtry, 7 – lapač,
8 – pracovní řezací hlava

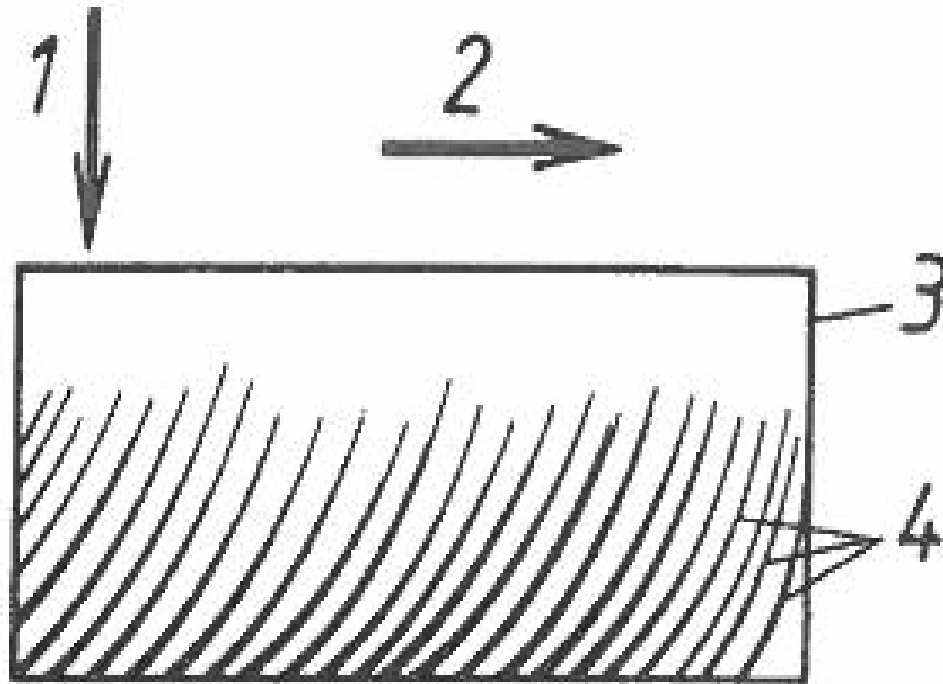
VODNÍ PAPERSEK



Portálový řezací stroj

- 1 – CNC řídicí systém, 2 – portálové manipulační zařízení, 3 - vysokotlaké potrubí,
4 – vysokotlaké čerpadlo, 5 – zásobník tlakové kapaliny, 6 – filtry, 7 – lapač,
8 – pracovní řezací hlava

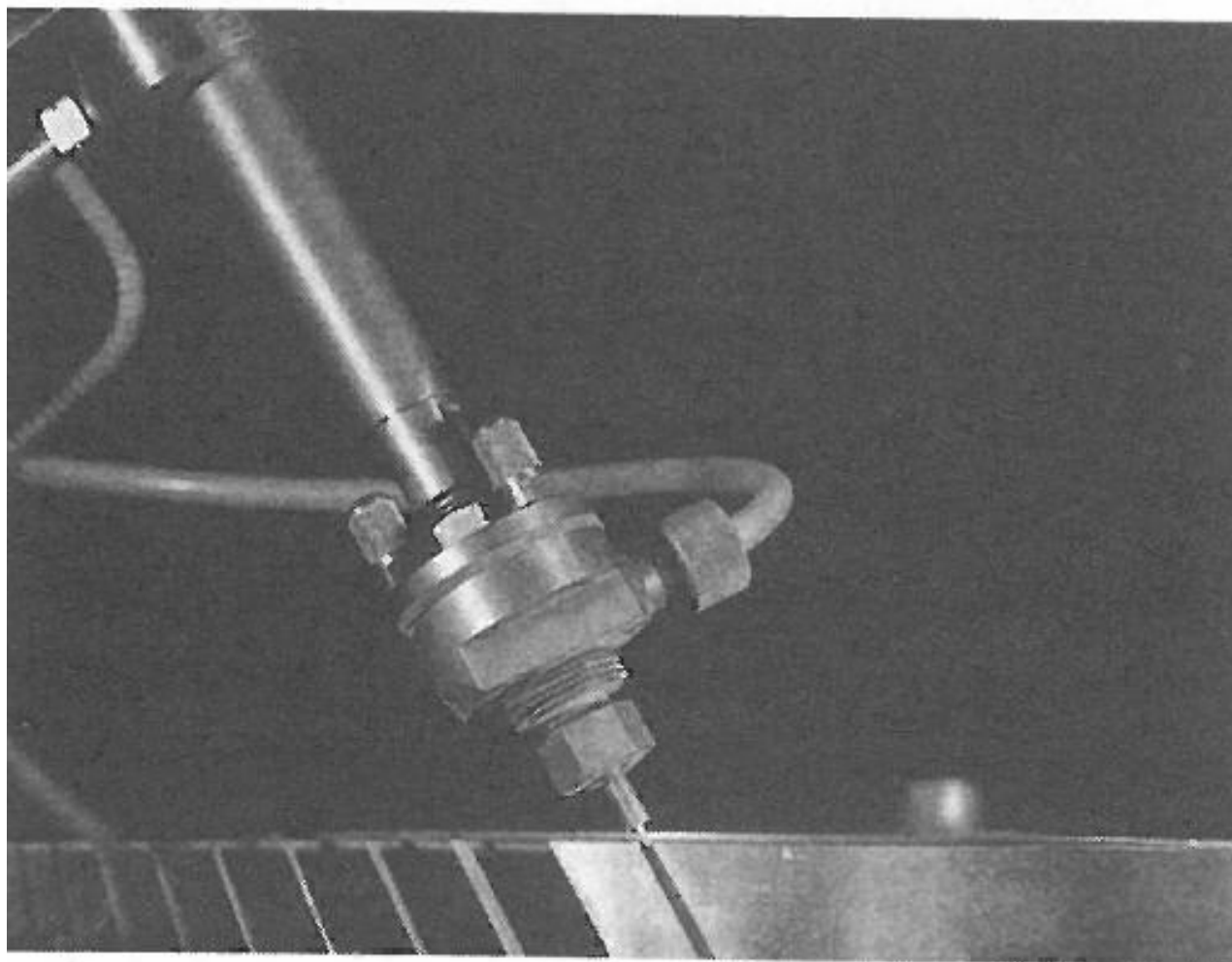
VODNÍ PAPERSEK



Příklad povrchu po řezání abrazivním
kapalinovým paprskem
1 – směr působení paprsku, 2 – směr posuvu pracovní
řezací hlavy, 3 – obrobek, 4 – stopy po řezání

VODNÍ PAPERSEK

FRÉZOVÁNÍ LOPATEK ROTORU ABRAZIVNÍM KAPALINOVÝM PAPERSEM

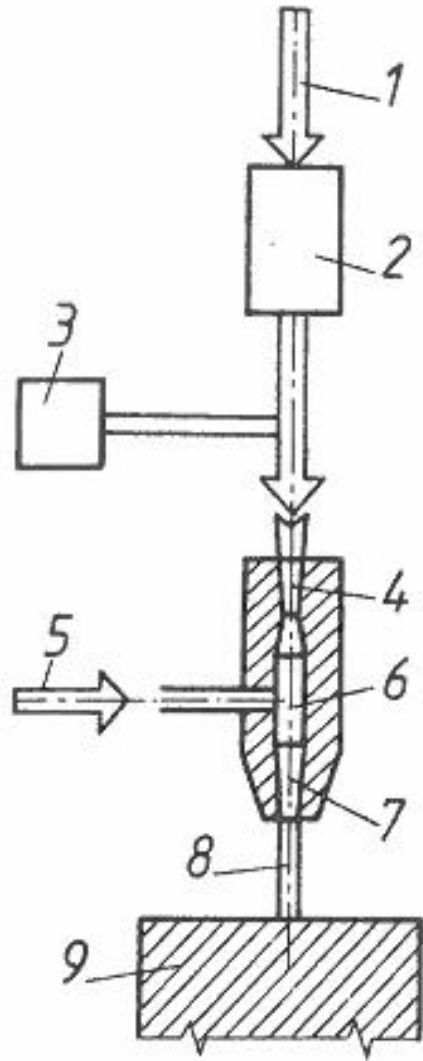


Obrábění proudem brusiva

- Pracovní parametry
 - Pracovní tlak 5 MPa
 - Brousící zrna z Al_2O_3 nebo SiC velikosti 60 μm
 - Rychlost obrábění max. 2 mms^{-1}
 - vzdálenost trysky od povrchu je 10 mm
 - Průměr výstupní tryska 3,5 mm, vyrobena z SK, safíru nebo keramiky
 - Max. úběr materiálu 10 mgmin^{-1}

OBRÁBĚNÍ PROUDEM BRUSIVA

- Schéma zařízení pro obrábění proudem brusiva



1 – přívod vzduchu, 2 – kompresor, 3 – senzor pro řízení tlaku vzduchu, 4 – vstupní vzduchová tryska, 5 – přívod brousicích zrn, 6 – směšovací komora, 7 – výstupní tryska, 8 – proud vzduchu a brousicích zrn, 9 – obrobek

Zdroje:

- Řasa J., Pokorný P., Gabriel V., Strojírenská technologie 3, díl 2, SCIENTIA, PRAHA, 2001
ISBN 80-7183-227-8
- Beneš V., Klůna J., Švercl J., Vávra P., Dílenské tabulky, ALBRA, Úvaly, 2008,
ISBN 80-7361062-0