
**Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta
Ústav technológií a manažmentu
Katedra technológií a materiálov**

**pracovné listy na prednášku predmetu
Technológia obrábania a montáže
)**

Poznámka: Obrázky a tabuľky uvedené v pracovných listoch slúžia ako interné učebné pomôcky na prednášky z predmetu Technológia obrábania a montáže pre III. A ročník inžinierskeho štúdia.

Zoznam obrázkov

- Obr.1.1** Rozšírené pozadie technológie obrábania
- Obr.1.2** Technológie modernej (progresívnej) výroby (zdroj: **Dorff**)
- Obr.1.3** Nauka o obrábaní – hĺbka a šírka poznatkov
- Obr.1.3** Technológia obrábania v prehľade terminologických kategórií
- Obr.1.5** Štruktúra technológie
- Obr.1.6** Hlavné druhy výrobných procesov podľa klasifikácie CIRP
- Obr.1.7** Inovačné technológie
- Obr.1.8** Klasifikácia procesov obrábania
- Tab.1.1** Klasifikácia spôsobov úberu materiálu rezaním podľa vzájomného pohybu nástroja obrobku
- Obr.1.9** Rozsah použiteľnosti poznatkov o obrábaní
- Obr.1.10** Výroba rotačných plôch sústružením
- Obr.1.10** Výroba plôch frézovaním
- Obr.1.11a** Plochy na obrobku
- Obr.1.11b** Vektory vzájomného pohybu nástroja a obrobku
- Obr.1.12** Výroba otvorov
- Obr.1.13** Nástroje na vŕtanie otvorov a na výrobu presných otvorov
- Obr.1.14** Výroba otvorov vyvrtávaním
- Obr.1.15** Spôsoby výroby hlbokých otvorov
- Obr.1.16** Výroba plôch hobľovaním a obrázaním
- Obr.1.17** Výroba plôch preťahovaním
- Obr. 1.18** Spôsoby výroby rovinných a rotačných plôch brúsením
- Obr.1.19** Dokončovacie metódy obrábania
- Obr.1.20** Vyrobiteľnosť rotačných a rovinných plôch obrábaním geometricky určitou reznou hranou a progresívnymi technológiami
- Obr.1.21** Vyrobiteľnosť tvarových plôch obrábaním geometricky určitou reznou hranou
- Obr.1.22** Klasifikácia nástrojových materiálov
- Obr.1.23** Vlastnosti rezných materiálov a ich označovanie podľa EN DIN ISO 513
- Obr.1.24** Klasifikácia úberu geometricky určitou reznou hranou
- Obr.1.25** Plochy a hrany na hlavných druhoch rezných nástrojov
- Obr.1.26** Ortogonálna súradná sústava – plochy, roviny a uhly na noži
- Obr.1.27** Nástrojové uhly v základnej rovine P_r pre vybrané nástroje
- Obr.1.28** Vymeniteľné platničky s integrovanými utváračmi triesky
- Obr.1.29** Označovanie vymeniteľných platničiek podľa ISO
- Obr.1.30** Vznik povrchu pri brúsení a zloženie brúsneho kotúča
- Obr.1.31** Označovanie brúsnych kotúčov a ich charakteristiky
- Obr.1.32** Vývoj superabrazívnych brúsnych materiálov
- Obr.1.33** Označovanie superabrazívnych kotúčov a ich charakteristiky
- Obr.1.34** Vektory pohybov pri vybraných metódach obrábania
- Obr.1.35** Pracovné uhly pri obrábaní
- Obr.1.36** Prierezy odrezávanej vrstvy pri vybraných metódach obrábania
- Obr.1.37** Javy pôsobiace pri úbere odrezávanej vrstvy
- Obr.1.38** Vektorová interpretácia zložiek reznej sily
- Obr.1.39** Vektorová interpretácia zložiek reznej sily pri frézovaní
- Obr.1.40** Zložky reznej sily pri vŕtaní
- Obr.1.41** Zložky reznej sily pôsobiace na zrno brúsneho kotúča
- Obr.1.42** Rezné odpory v závislosti na hrúbke odrezávanej vrstvy pri obrábaní ocele 12 050.1 podľa STN
- Obr.1.43** Teplo a teplota pri obrábaní
- Obr.1.44** Vplyv reznej rýchlosti na teplo a teplotu pri obrábaní.
- a) tepelná bilancia pri obrábaní
- b) stredné teploty pri obrábaní
- Obr.1.45** Teplo a teplota pri brúsení
- a) Tepelná hustota ako Jaegerov pohyblivý tepelný zdroj
- b) teplotové pole obrobku
- c) podiel odvedeného tepla obrobkom
- Obr.1.46** Vznik triesky pri rezaní
- Obr.1.47** Mechanizmy vzniku triesky pri obrábaní – hlavné skupiny

- Obr.1.48** Klasifikácia tvarov triesok podľa EN ISO 3685
- Obr.1.49** Klasifikácia tvarov triesok podľa zabratého objemu
- Obr.1.50** Postupnosť štyroch štádií vzniku nárastku (BUE)
- Obr.1.51** Vonkajšie prejavy opotrebenia reznej hrany podľa ISO EN 3685
- Obr.1.52** Priebeh postupného opotrebenia rezného klina, členenie mechanizmov opotrebenia a poškodzovania reznej hrany
- Obr.1.53** Opotrebenie reznej hrany a brusiva
- Obr.1.54** Formy opotrebenia rôznych druhov nástrojov
- Obr.1.55** Zostavenie trvanlivostnej závislosti $T(v_c)$ (F.W. Taylor)
- Obr.1.56** Taylorova $T(v_c)$ závislosť a jej význam
- Obr.1.57** Súvislosti technológie a funkčných vlastností obrobeného povrchu (**Warnecke**)
- Obr.1.58** Vznik povrchu pri rezaní – zjednodušená schéma
- Obr. 1.59** Priebeh zvyškového napätia v povrchovej vrstve pri niektorých spôsoboch obrábania
- Obr.1.60** Drsnosť povrchu pri obrábaní a porovnanie s vybranými technológiami výroby polotovarov.
Horný a dolný rozsah drsnosti povrchu je dosahovaný výnimočne
- Obr.1.61a** Drsnosť povrchu pri obrábaní progresívnymi technológiami
- Obr.1.61b.** Tolerancie vyrábaného rozmeru pri obrábaní progresívnymi technológiami
- Obr.1.62** Rozsahy pre drsnosť povrchu a tolerancie pri rôznych technológiách
- Obr.1.63** Vyrábaný rozmer a jeho tolerancia pri rôznych technológiách
- Obr.1.64** Druhy rezných kvapalín podľa rastúcej obtiažnosti obrábania
- Obr.1.65** Funkcie rezných kvapalín
- Obr.1.66** Klasifikácia rezných kvapalín podľa DIN 51386
- Obr.1.67** Prvky prípravkov pre obrábanie
- Obr.1.68** Stavebnicový prípravok pre obrábanie
- Obr.1.69** Znaky strojárkej výroby a technologických postupov obsahujúcich obrábanie
- Obr.1.70** Kvalita v oblasti výroby a manažmentu
- Obr.1.71** Faktory ovplyvňujúce kvalitu výrobku
- Obr.1.72** Výroba a technológia v systéme kvality výrobkov
- Obr.1.73** Rozmerová presnosť obrobenej plochy a relatívne náklady obrábanie
- Obr.1.74** Kusové náklady, kusový čas a produktivita obrábania:
- a) High Efficiency rozsah reznej rýchlosti pri obrábaní reznou hranou
- b) porovnanie produktivity a kusových nákladov pri dvoch rezných materiáloch
- Obr.1.75** Náklady na obrábanie pri výrobe taniera pre kužeľové ozubenie
- Obr.1.76** Porovnanie produktivity a kusových nákladov pri dvoch spôsoboch brúsenia
- Obr.1.77** Všeobecná schéma pre priebeh plánovania technológie
- Obr.1.78** Základné znaky rôznych výrobných princípov používaných pri plánovaní technológie
- Obr.1.79** Sektory ekologického bilancovania technológie obrábania
- Obr.1.80** Ekologický reťazec pre technológiu obrábania
- Obr.1.81** Stredné podiely látok, odpadu a vody pri obrábaní a brúsení
- Obr.1.82** Obrobiteľnosť materiálov
- Obr.1.83** Činitele charakterizujúce obrobiteľnosť materiálov
- Obr.1.84** Reznosť nástrojov

Tab.1.2 Súhrn pre roviny a uhly rezného klina v ortogonálnej súradnej sústave

Tab.1.2a Súhrn definícií rovín ortogonálnej súradnej sústavy

Tab.1.3 Súhrn vzťahov pre hlavný pohyb, posuv a hĺbku rezu

Tab.1.4 Súhrn hlavných vzťahov pre vznik plynulej triesky pri voľnom rezaní

Tab.1.5 Súhrn vzťahov pre pracovné uhly vplyvom kinematiky rezania

Tab.1.6 Súhrn vzťahov pre prierezy odrezávaných vrstiev

Tab.1.7 Súhrn hlavných vzťahov pre zložky reznej sily

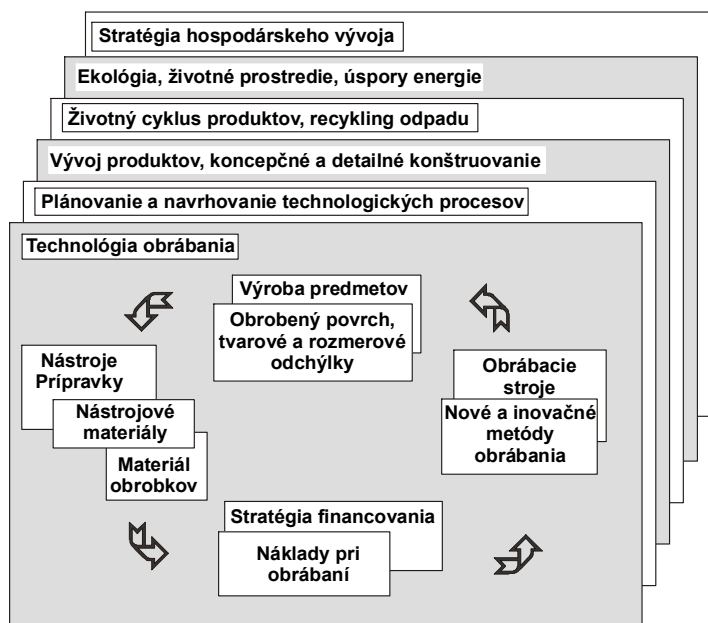
Tab.1.8 Súhrn vzťahov pre hlavnú zložku reznej sily podľa rezného odporu

Tab.1.9 Súhrn vzťahov pre hlavnú zložku reznej sily podľa merného rezného odporu

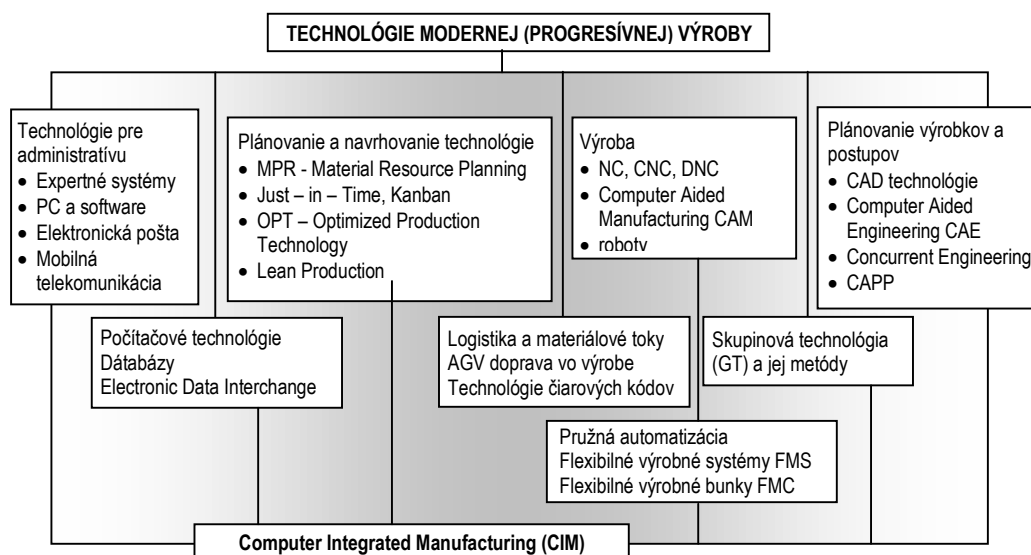
Tab.1.10 Súhrn hlavných vzťahov pre tepelné javy pri obrábaní

Tab.1.11. Rovnice trvanlivosti reznej hrany

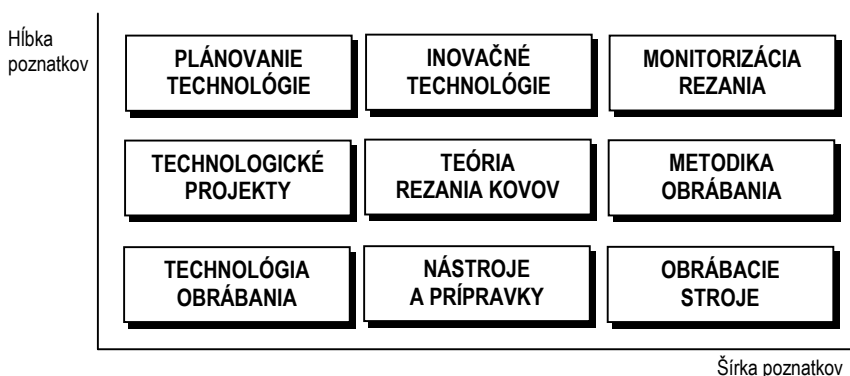
Tab.1.12 Súhrn vzťahov pre výpočet hlavného (strojového) času



Obr.1.1 Rozšírené pozadie technológie obrábania



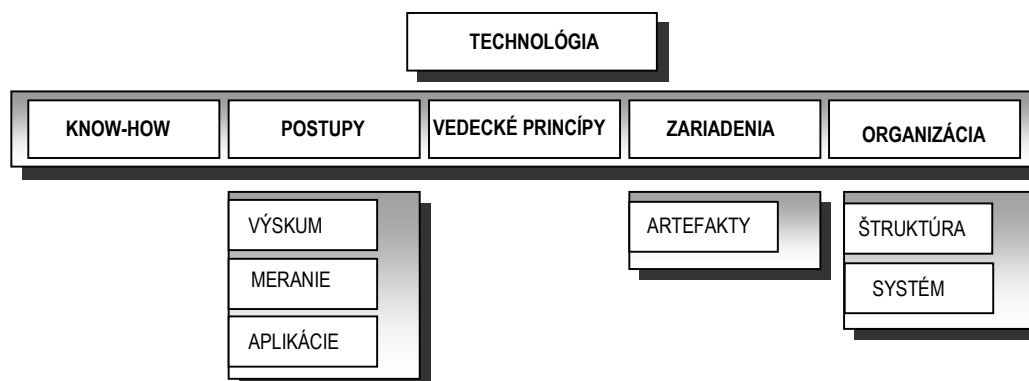
Obr. 1.2 Technológie modernej (progressívnej) výroby (zdroj: Dorff [1])



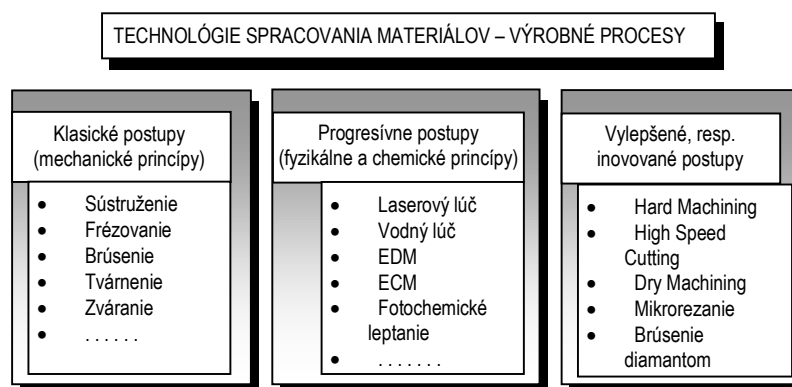
Obr.1.3 Náuka o obrábani – hĺbka a šírka poznatkov



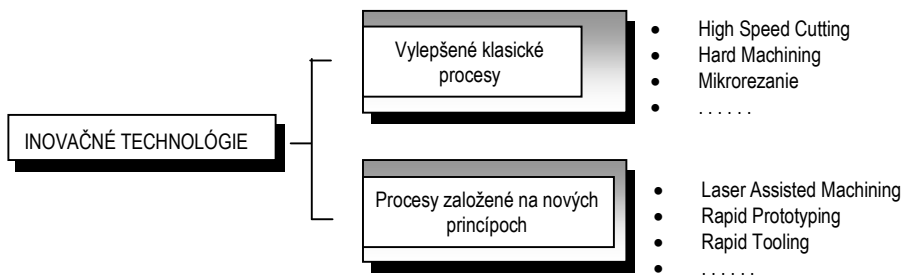
Obr.1.3 Technológia obrábania v prehľade terminologických kategórií



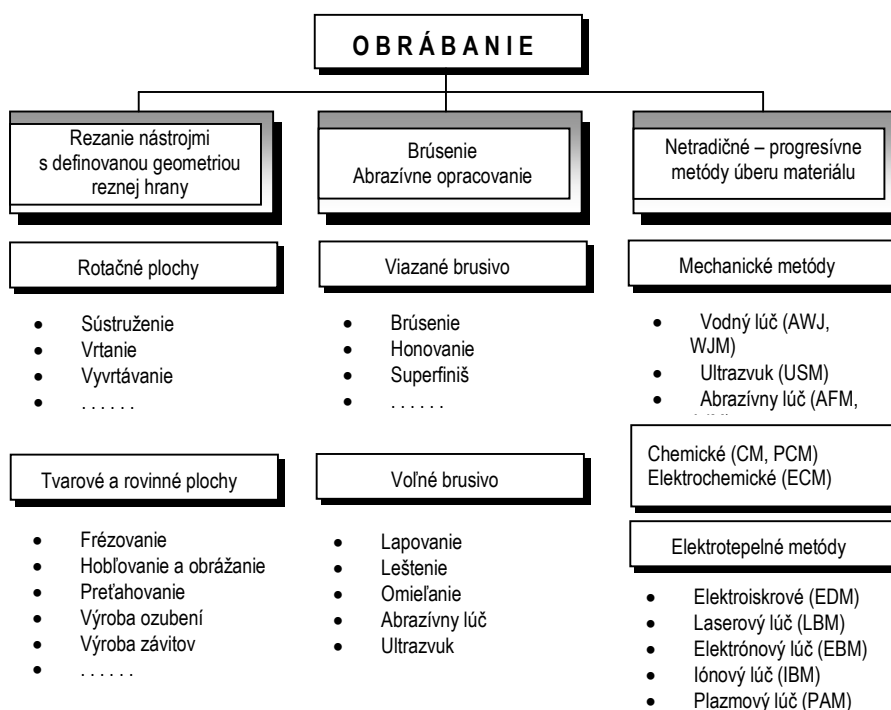
Obr.1.5 Štruktúra technológie



Obr.1.6 Hlavné druhy výrobných procesov podľa ich postupného vývoja



Obr.1.7 Inovačné technológie



1.9 Klasifikácia procesov obrábania

ZÁKLADNÝ POHYB NÁSTROJA					
ZÁKLADNÝ POHYB OBROBKU		Stacionárny ●	Priamočiary →	Rotačný ↻	Zložený ↻→
	Stacionárny ●	1	PREŤAHOVANIE 2 OBRÁŽANIE	3	VŔTANIE 3
	Priamočiary →	HOBLOVANIE 5	6	BRÚSENIE 7 FRÉZOVANIE	8
	Rotačný ↻	9	SÚSTRUŽENIE 10	11	12
	Zložený ↻→	13	14	BRÚSENIE 15 ODVALOVANIE	16

■ Z technického hľadiska veľmi ťažko realizovateľné, alebo nerealizovateľné

Tab.1.1 Klasifikácia spôsobov úberu materiálu rezaním podľa vzájomného pohybu nástroja obrobku

OBRÁBANIE REZNOU HRANOU A ABRAZIVOM				
NÁSTROJ	OBROBOK	STROJ	ÚBER MATERIÁLU	PROSTREDIE
<ul style="list-style-type: none"> Rezný materiál Abrazivo a superabrazivo Geometria a tvar nástrojov Opotrebenie 	<ul style="list-style-type: none"> Materiál Geometrický tvar obrobku Kvalita obrobenej plochy Kvalita obrobku <ul style="list-style-type: none"> ? drsnosť povrchu ? tolerancie a presnosť ? geometrická špecifikácia produktu, GPS. 	<ul style="list-style-type: none"> Užitočný výkon Krútiaci moment Periférne zariadenia Časové a výkonové využitie Tuhosť uzlov a mechanizmov Upínanie nástrojov a obrobkov 	<ul style="list-style-type: none"> Pohyb nástroj/obrobok Prídavky na obrábanie Prierez odrezávanej vrstvy Intenzita úberu (Material Removal Rate) Sprievodné javy pri obrábaní 	<ul style="list-style-type: none"> Použitie chladiacich látok a mazív Čistota prostredia Odpadové produkty a recyklácia

Technológia obrábania reznou hranou (sústruženie, frézovanie, vŕtanie,

Technológia brúsenia a progresívne technológie (EDM, ECM, WJM, ...)

Inovačné technológie obrábania (High Speed Cutting; Hard Machining, Dry Machining, a i.)

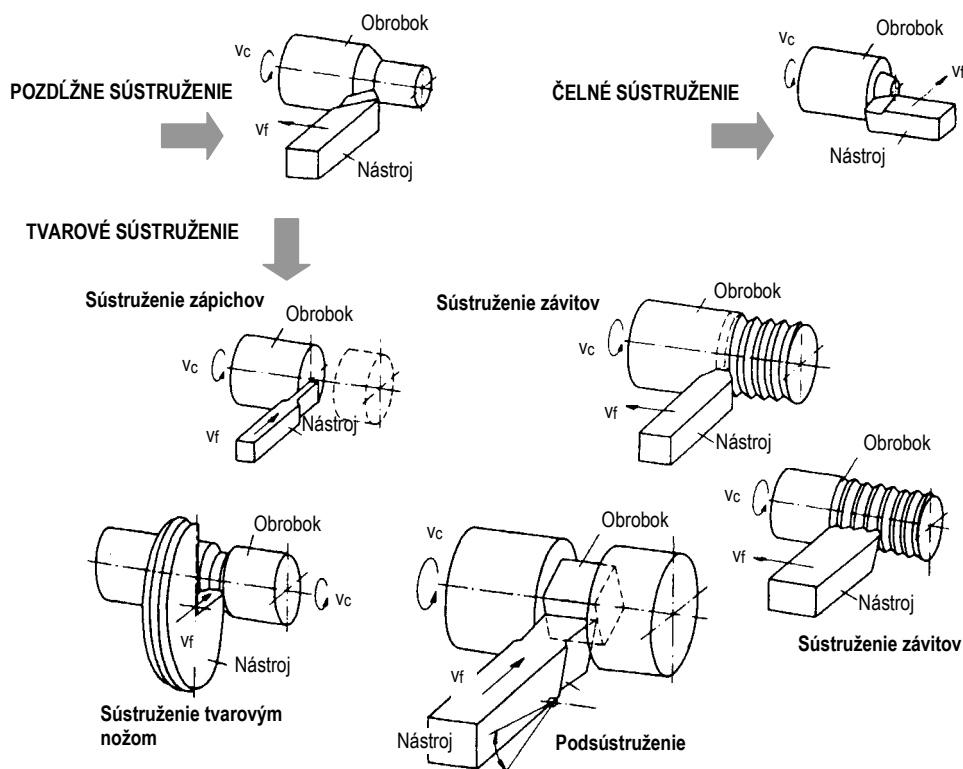
Výrobové inovácie, kvalita vyrábaných predmetov, kvalita výroby

Flexibilná automatizácia, výrobná logistika, náuka o výrobe

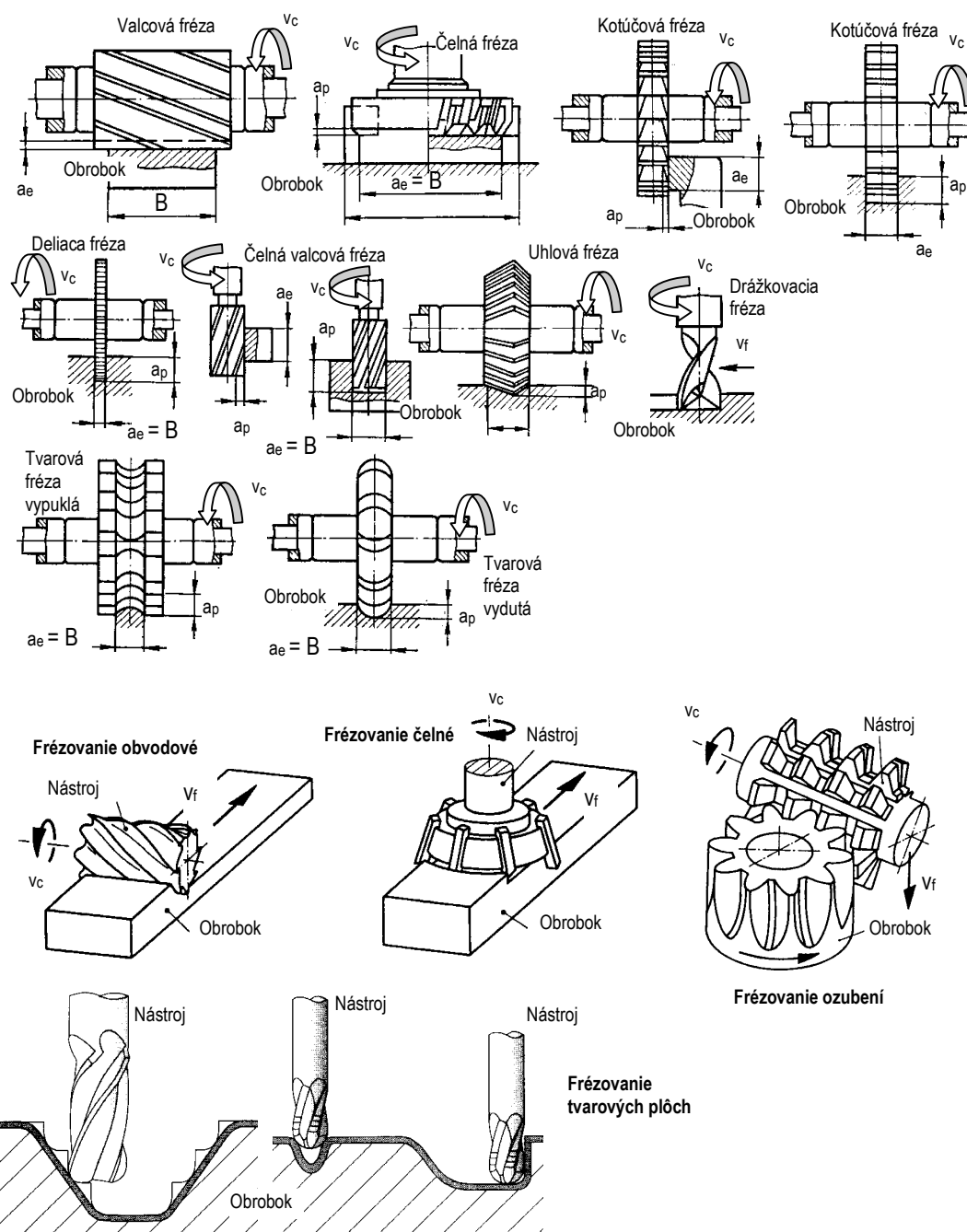
Tvorba vyššej pridanej hodnoty a ekonomika strojárkej výroby

Konkurencie schopnosť strojárskych výrobkov

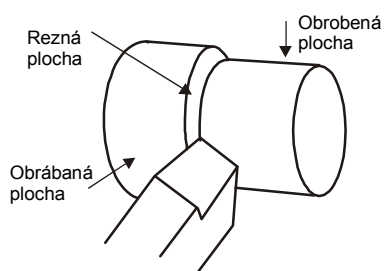
Obr.1.9 Rozsah použiteľnosti poznatkov o obrábaní



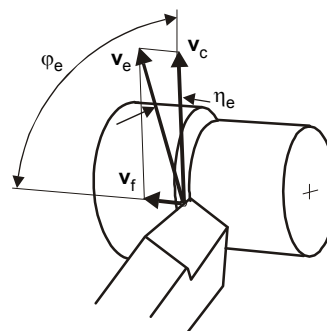
Obr.1.10 Výroba rotačných plôch sústružením



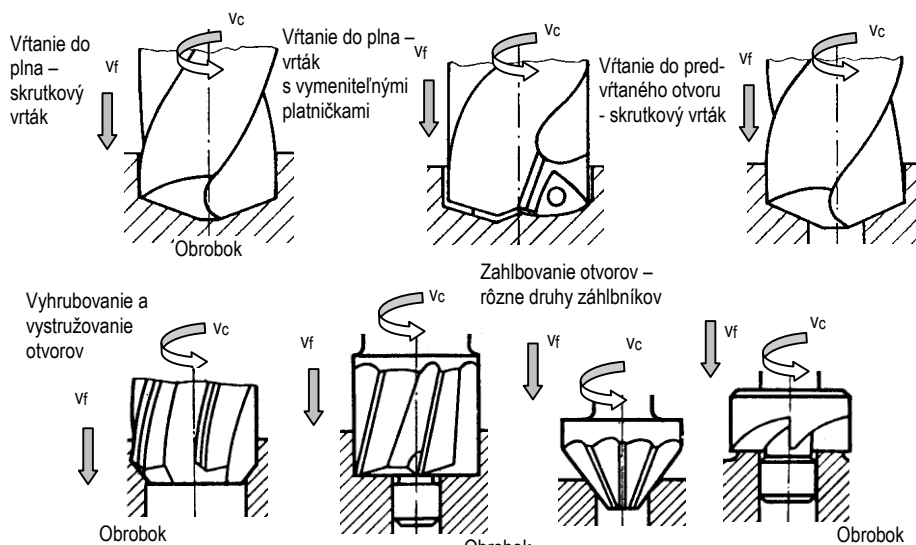
Obr.1.10 Výroba plôch frézovaním



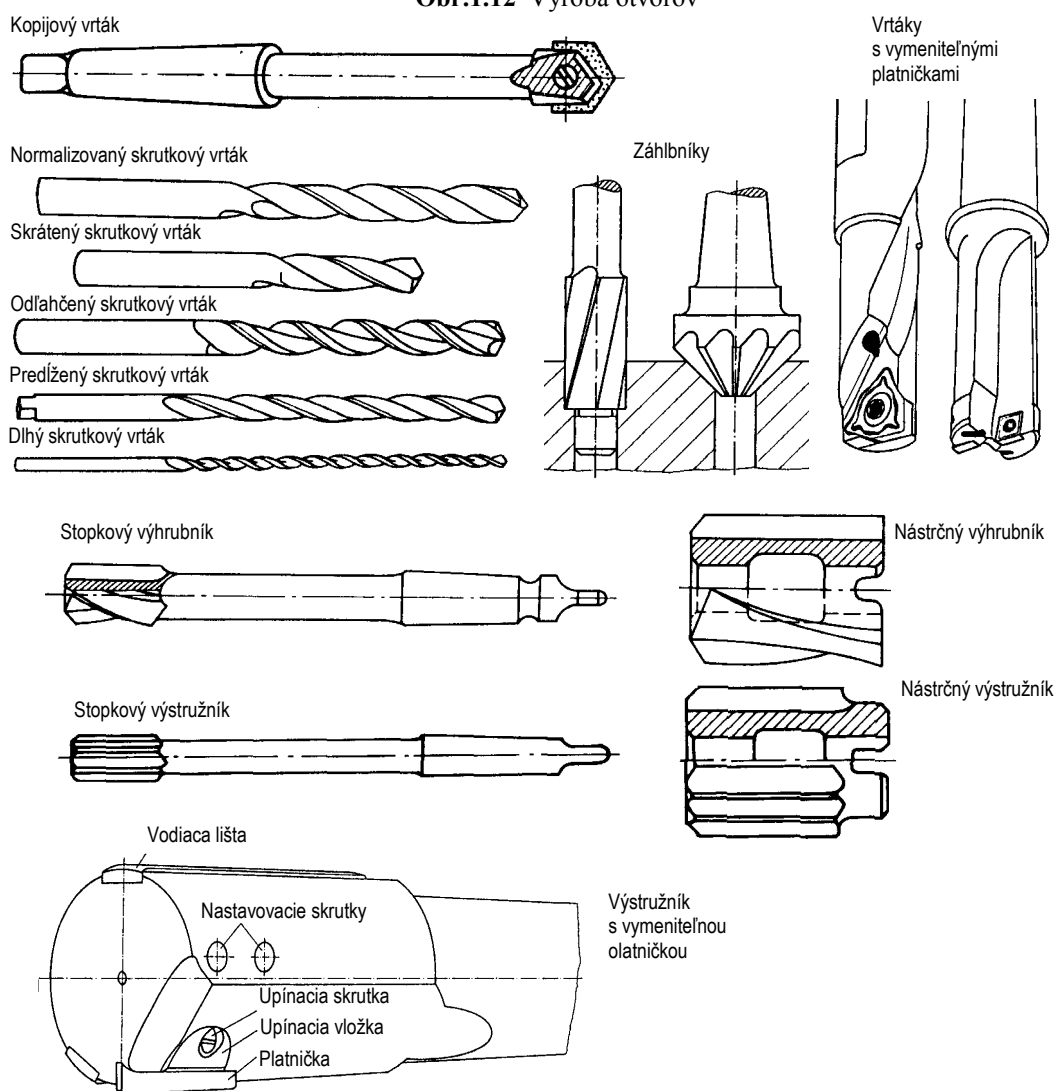
Obr.1.11a Plochy na obrobku



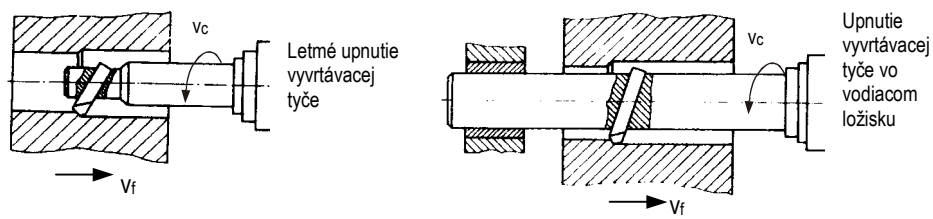
Obr.1.11b Vektory vzájomného pohybu nástroja a obrobku



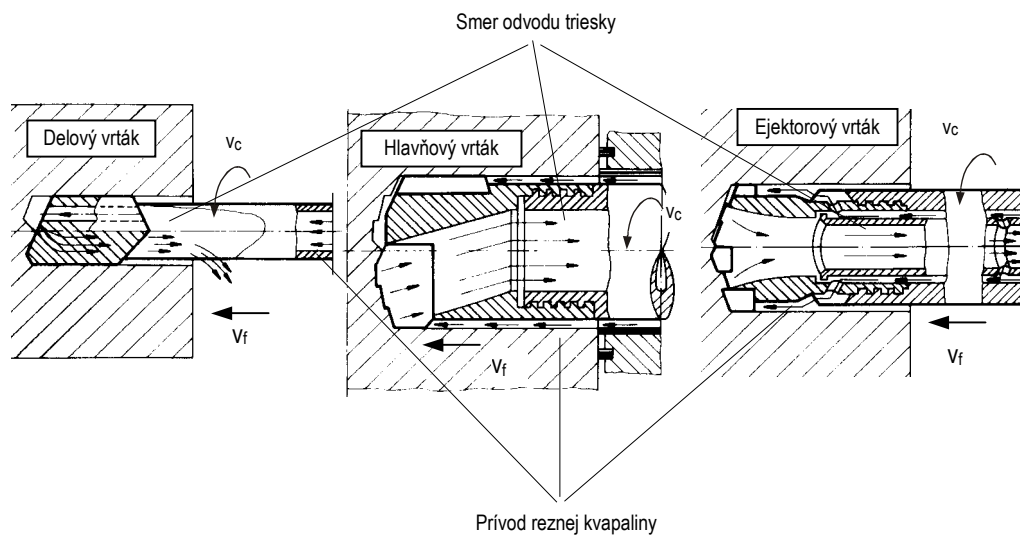
Obr.1.12 Výroba otvorov



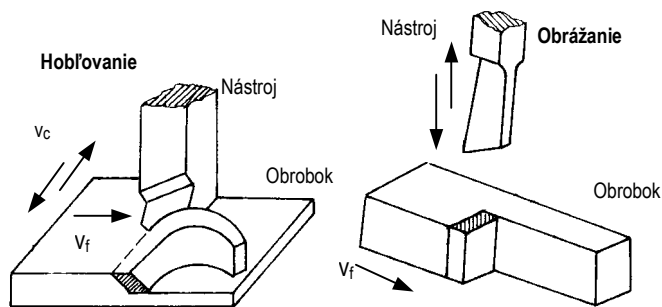
Obr.1.13 Nástroje na vrtanie otvorov a na výrobu presných otvorov



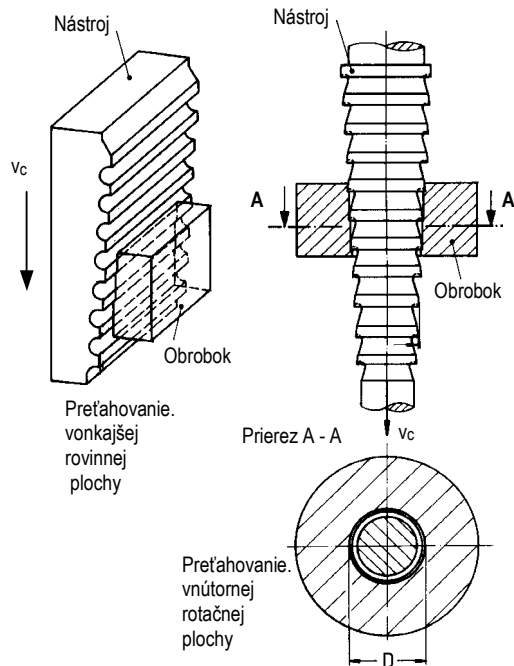
Obr.1.14 Výroba otvorov vyvrtávaním



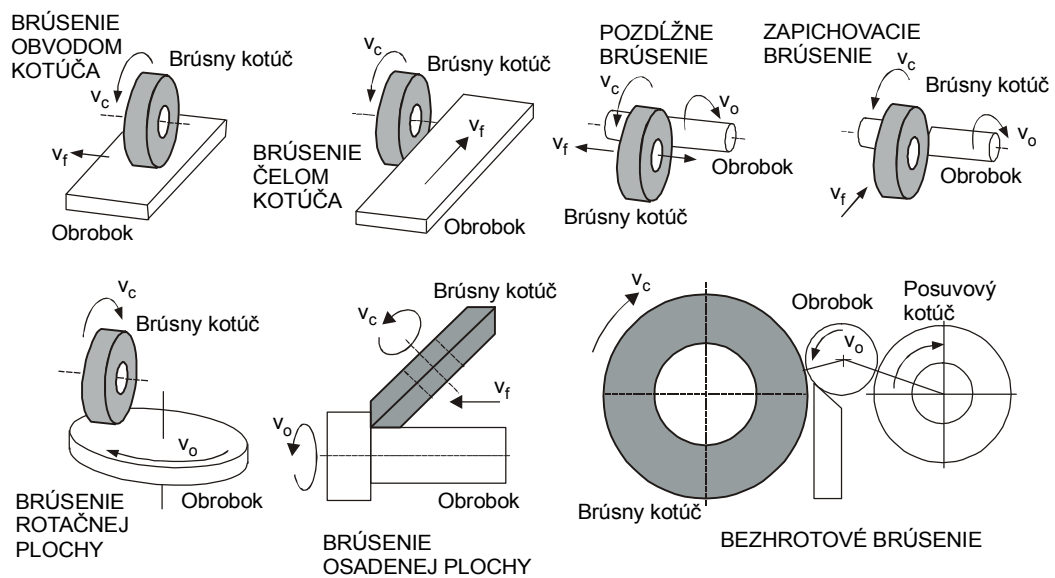
Obr.1.15 Spôsoby výroby hlbokých otvorov



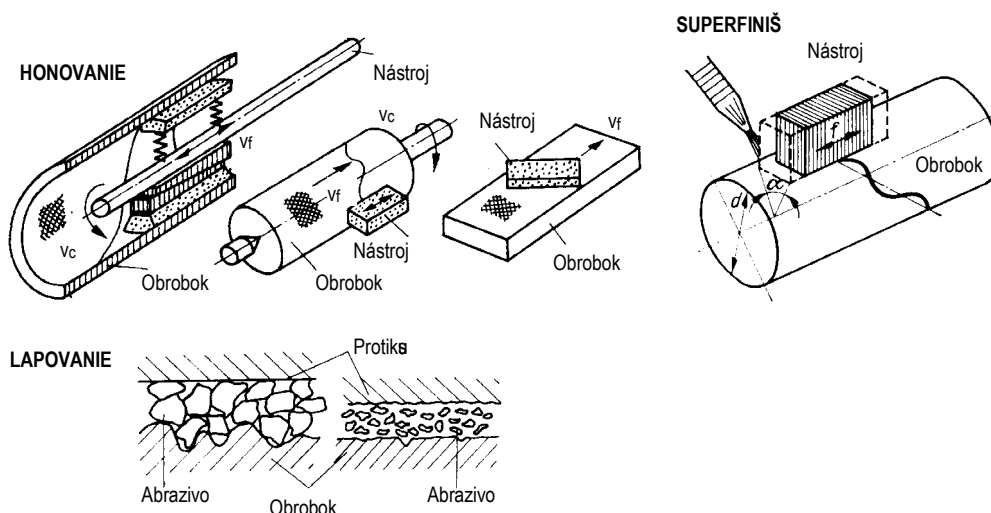
Obr.1.16 Výroba plôch hobľovaním a obrázaním



Obr. 1.17 Výroba plôch preťahovaním



Obr. 1.18 Spôsoby výroby rovinných a rotačných plôch brúsením



Obr.1.19 Dokončovacie metódy obrábania

ROTAČNÁ PLOCHA	VALEC	KUŽEL'	ZÁPICH
Vonkajšia	Pozdĺžne sústruženie	Sústruženie kužeľov Preťahovanie kužeľov	Priečne sústruženie EDM, ECM, USM
Vnútná	Pozdĺžne sústruženie Vŕtanie Vyhrubovanie, vystružovanie Vyvrtávanie Vŕtanie hlbokých otvorov Vŕtanie malých otvorov D < 1mm LBM, EDM, ECM, EBM	Sústruženie kužeľov Zahlbovanie kužeľov	Sústruženie
ROVINNÁ PLOCHA	ČELNÁ ROVINNÁ PLOCHA	DRAŽKA NA ROVINNEJ PLOCHE	VŠEOBECNÁ ROVINNÁ PLOCHA
	Čelné sústruženie Zahlbovanie Frézovanie CM – Chemical machining	Frézovanie drážok Obrážanie drážok Preťahovanie	Čelné frézovanie Frézovanie Hobl'ovanie a obrážanie Preťahovanie rovinatej plochy

OBRÁBANIE GEOMETRICKY URČITOU REZNOU HRANOU
 PROGRESÍVNE TECHNOLOGIE

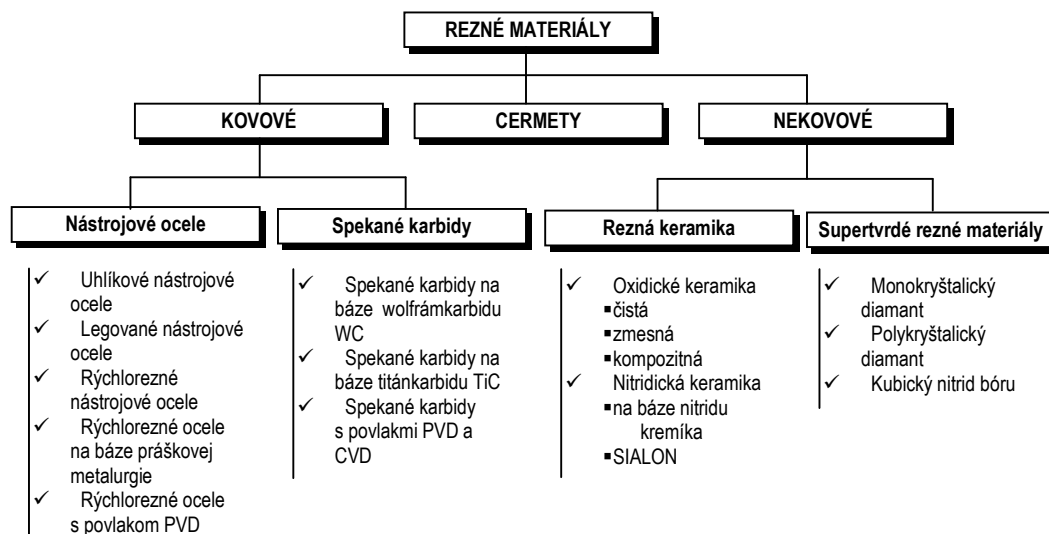
Obr.1.20 Vyrobiteľnosť rotačných a rovinných plôch obrábaním geometricky určitou reznou hranou a progresívnymi technológiami

TVAROVÁ PLOCHA	VYRÁBANÁ NA ROTAČNEJ PLOCHE		VYRÁBANÁ NA ROVINNEJ PLOCHE
	VONKAJŠIA	VNÚTORNÁ	
ZÁVITY	Závitorezný nôž - sústruženie	Závitorezný nôž - sústruženie	
	Závitorezná čelusť	Rezanie závitníkom	
	Frézovanie závitov	Frézovanie závitov	
ČELNÉ OZUBENIE (priame/šikmé)	Frézovanie tvarovou frézou	Preťahovanie rovinatej plochy	Obrázanie
	Odvaľovacie frézovanie		
	Obrázanie hrebeňom		
	Obrázanie kotúčovým nožom		
KUŽELOVÉ OZUBENIE (priame/šikmé)	Frézovanie tvarovou frézou		
	Hobľovanie		
	Odvaľovacie frézovanie		
KUŽELOVÉ OZUBENIE (zakrivené)	Odvaľovacie frézovanie		
VŠEOBECNÁ TVAROVÁ PLOCHA	Sústruženie - tvarový nôž	Sústruženie - tvarový zápich	Frézovanie – tvarová fréza
	Sústruženie – kopírovací nôž	Tvarové preťahovanie	Frézovanie– kopírovacia fréza
	Tvarové preťahovanie		Tvarové preťahovanie
3-D OBRÁBANIE	EDM – Electro Discharge Machining		EDM – Electro Discharge Machining
	LBM – Laser Beam Machining		LBM – Laser Beam Machining
	EBM – Electron Beam Machining		USM – Ultrasonic Machining
	USM – Ultrasonic Machining		

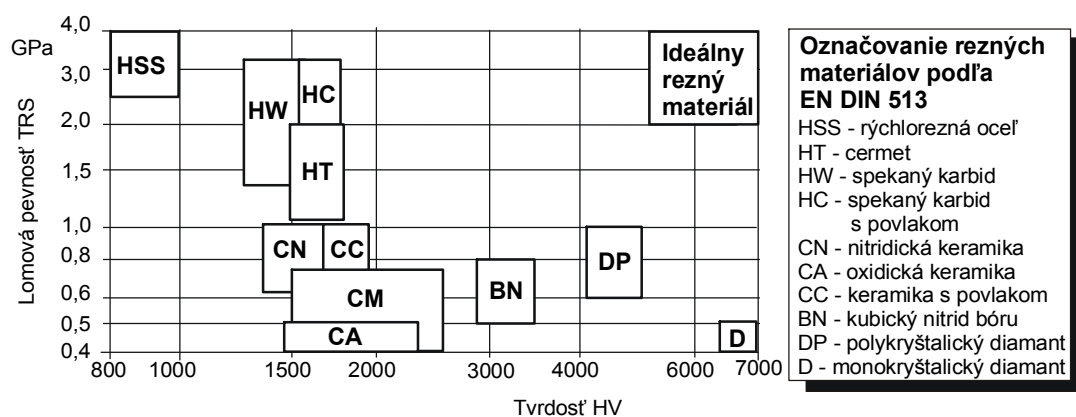
 OBRÁBANIE GEOMETRICKY URČITOU REZNOU HRANOU

 PROGRESÍVNE TECHNOLÓGIE

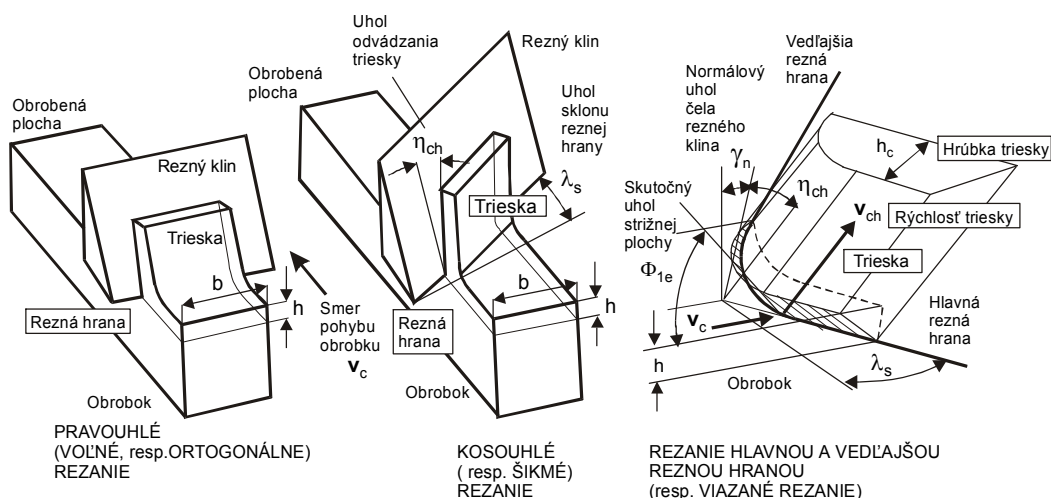
Obr.1.21 Vyrobiteľnosť tvarových plôch obrábaním geometricky určitou reznou hranou



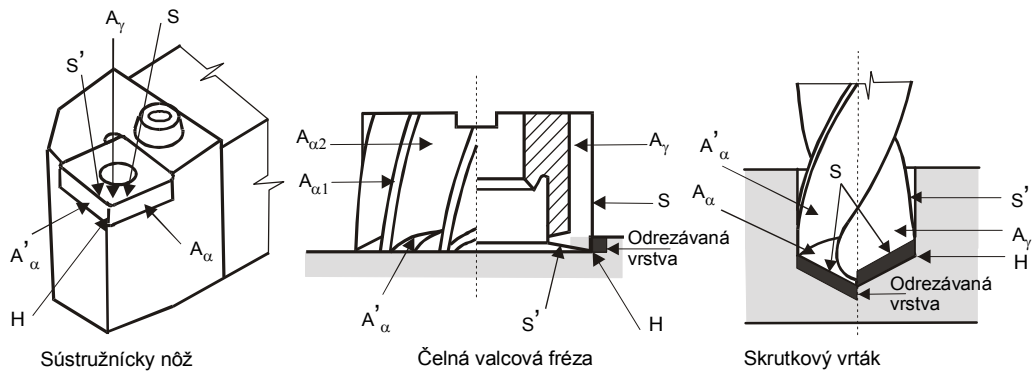
Obr.1.22 Klasifikácia nástrojových materiálov



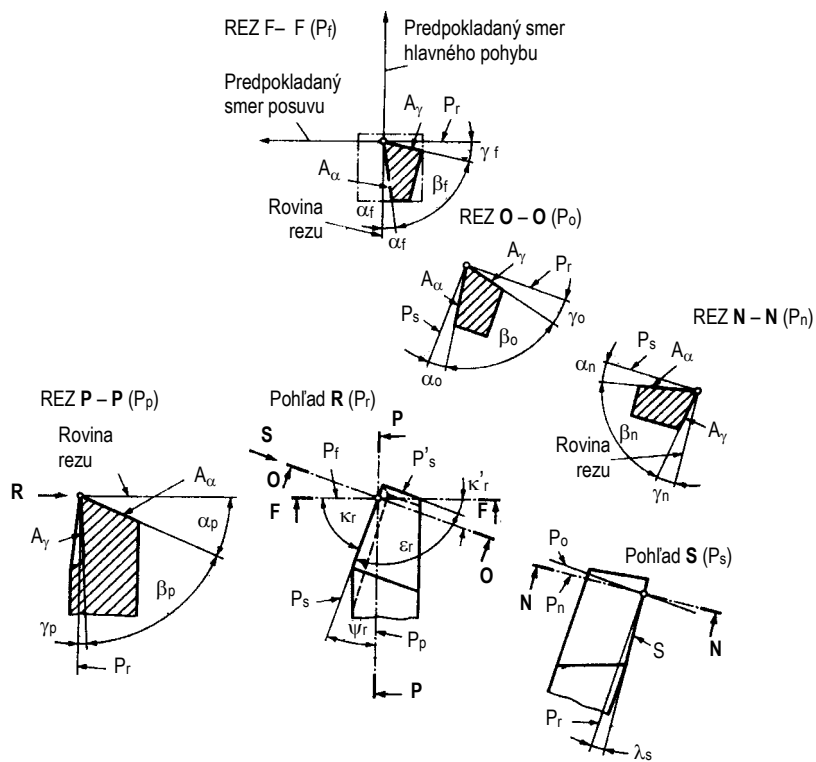
Obr.1.23 Vlastnosti rezných materiálov a ich označovanie podľa EN DIN ISO 513



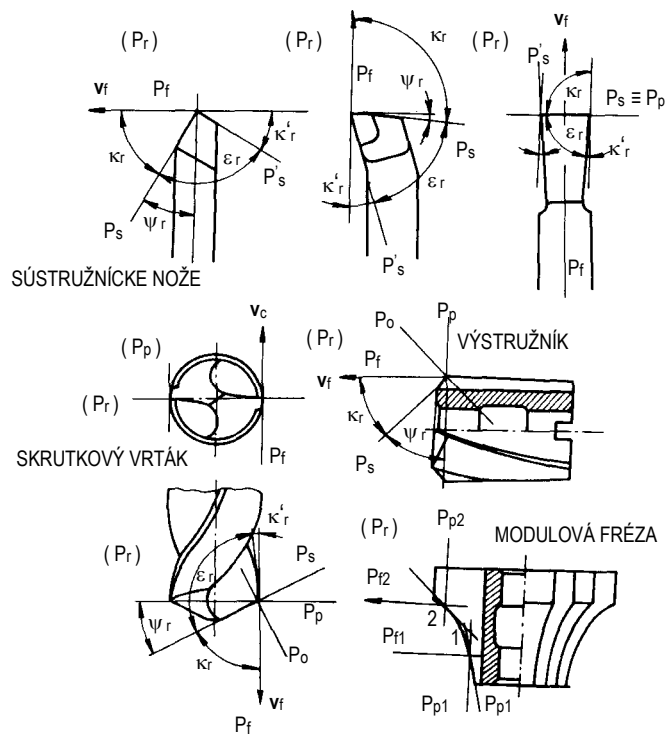
Obr.1.24. Klasifikácia úberu geometricky určitou reznou hranou



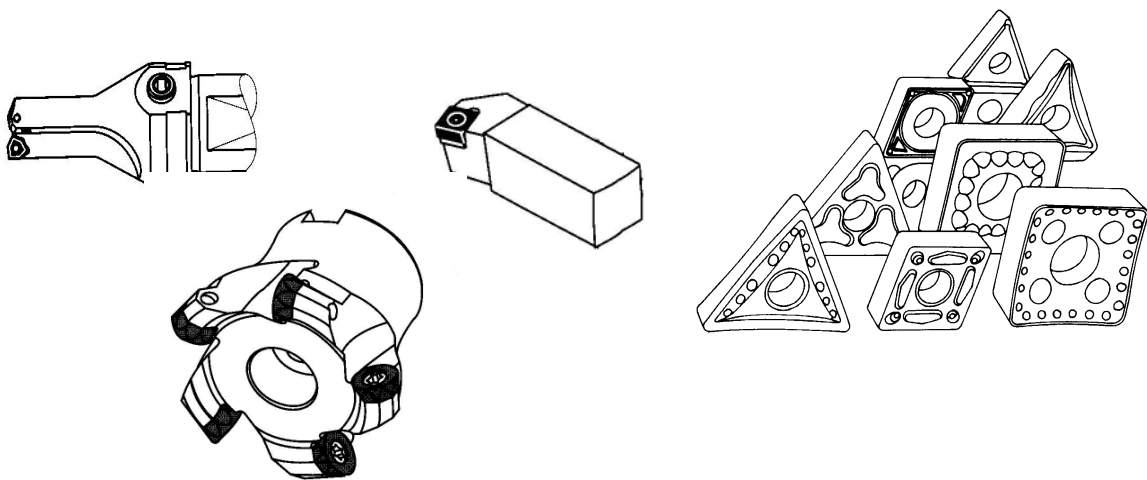
Obr.1.25. Plochy a hrany na hlavných druhoch rezných nástrojov



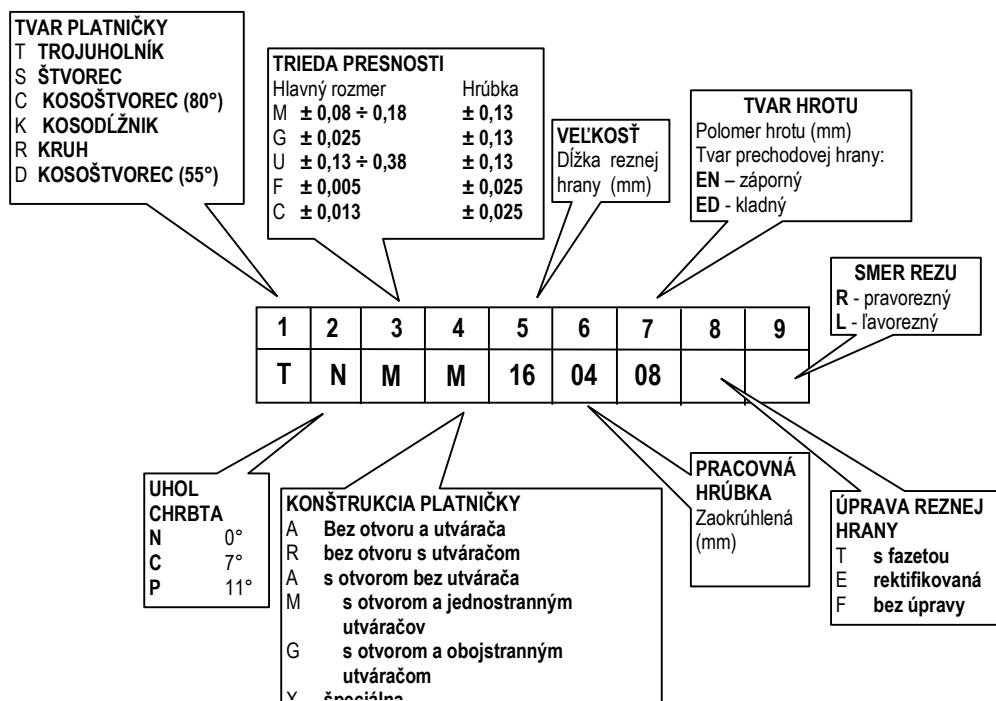
Obr.1.26 Ortoagonálna súradná sústava – plochy, roviny a uhly na noži



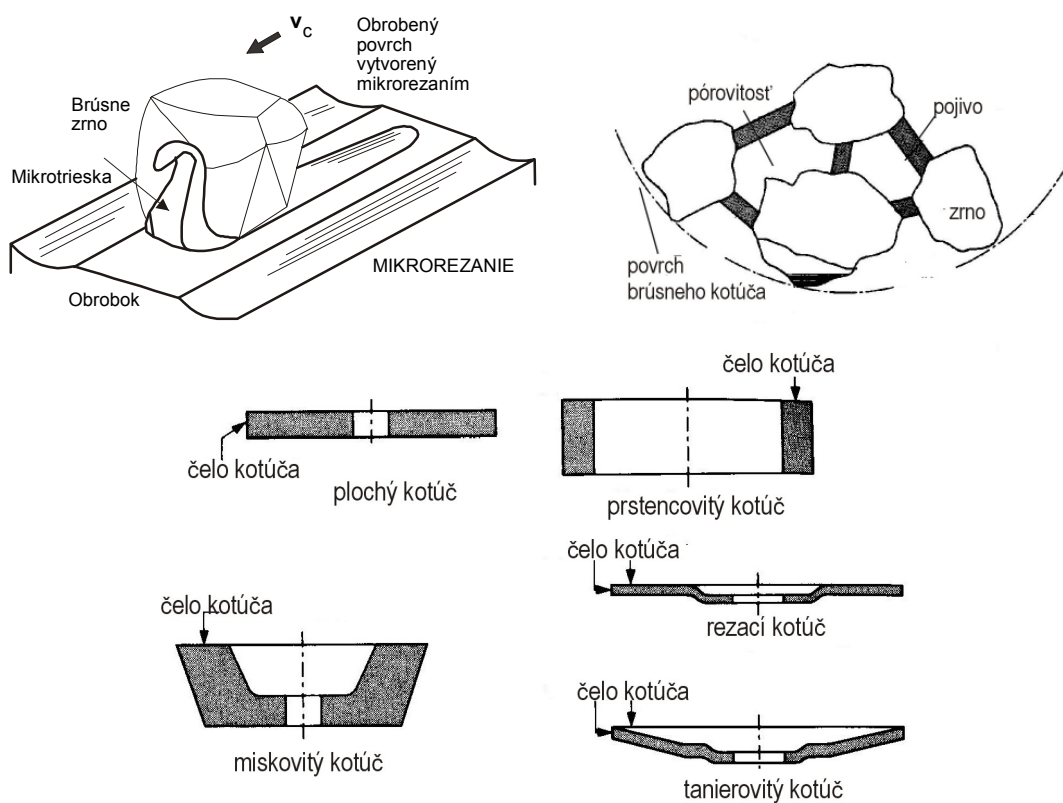
Obr.1.27. Nástrojové uhly v základnej rovine P_r pre vybrané nástroje



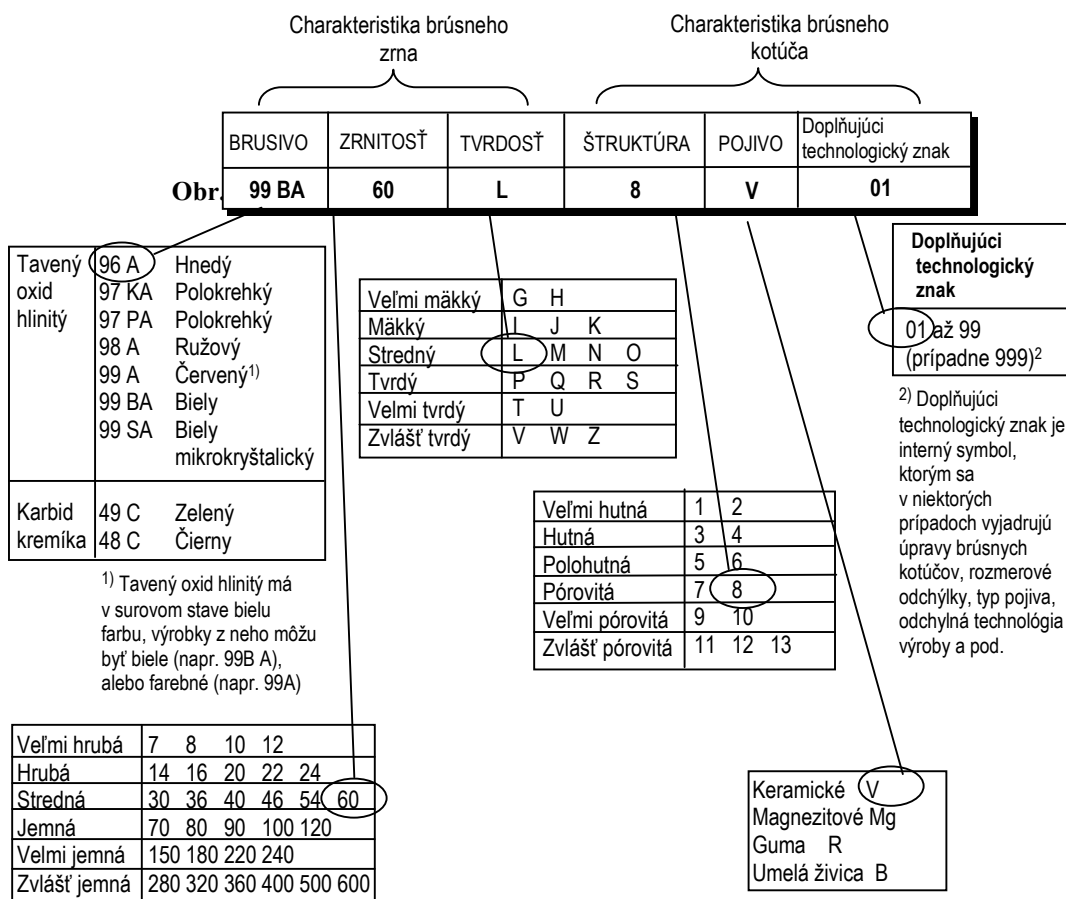
Obr.1.28. Nástroje s vymeniteľnými platničkami



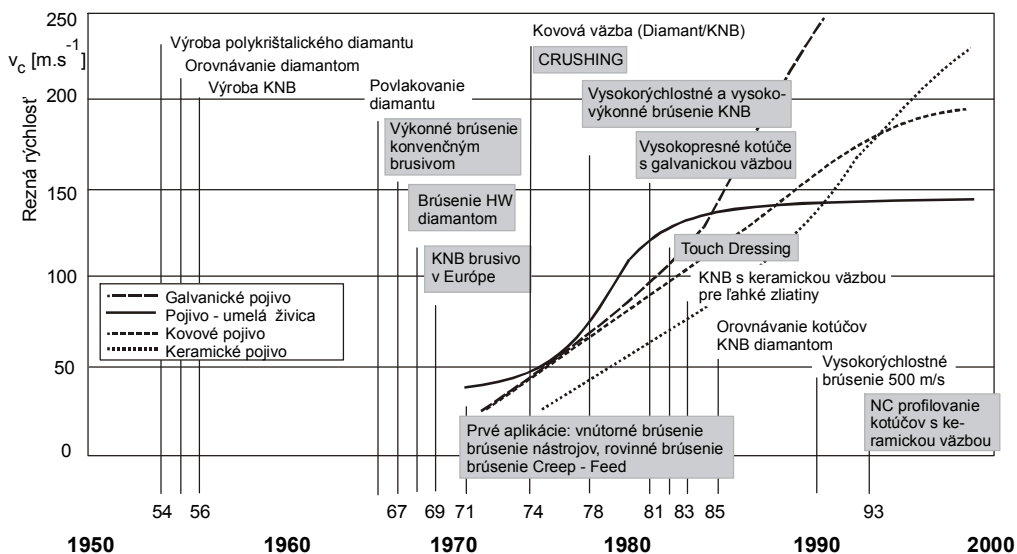
Obr.1.29. Označovanie vymeniteľných platničiek podľa ISO



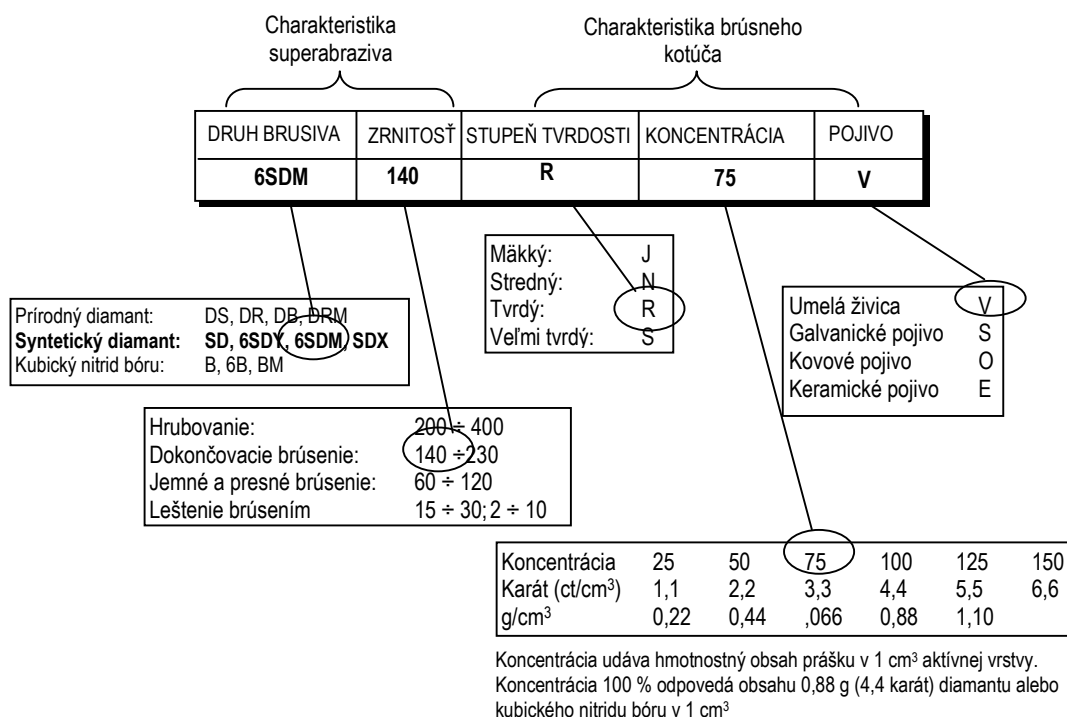
Obr.1.30 Druhy brusných kotúčov, zloženie brúsneho kotúča a záber jedného zrna



Obr.1.31 Označovanie brúsnych kotúčov a ich charakteristiky



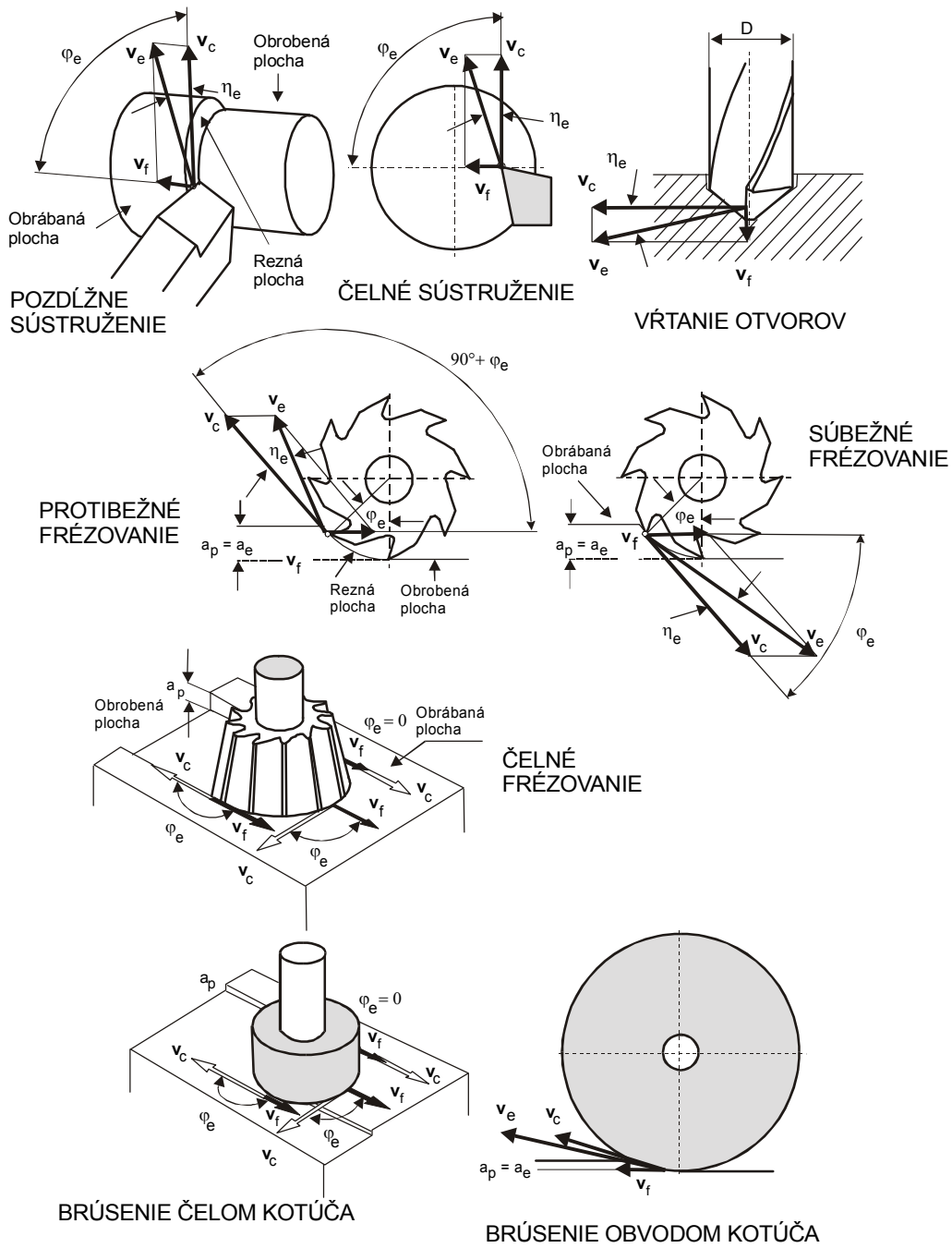
Obr.1.32. Vývoj superabrazívnych brúsnych materiálov



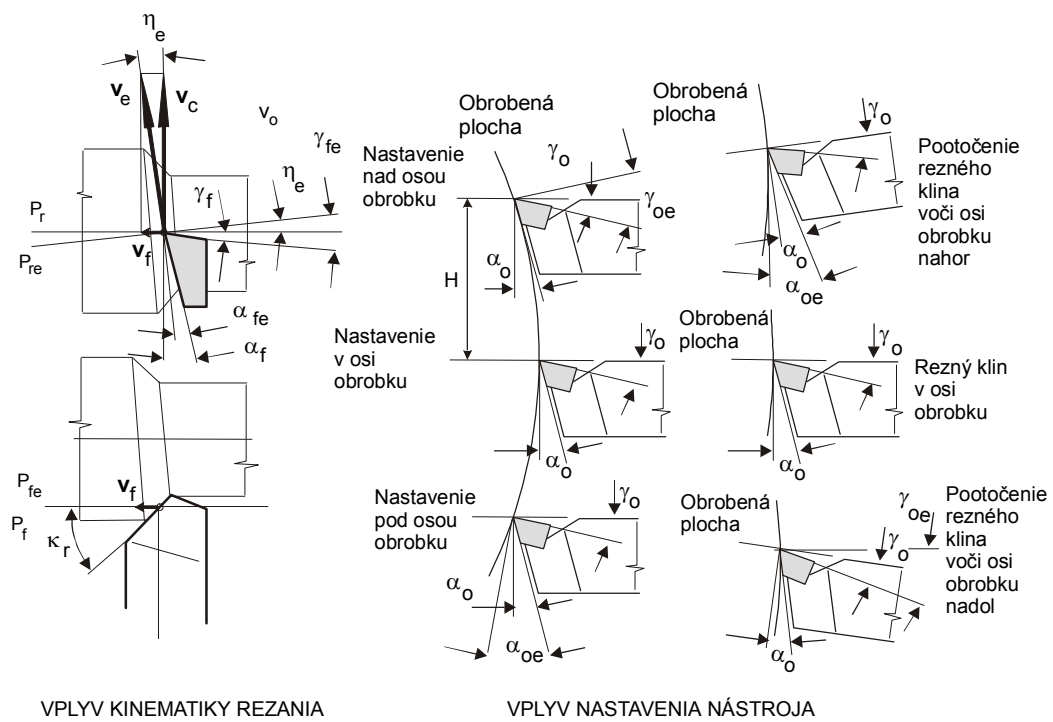
Obr.1.33 Označovanie superabrazívnych kotúčov a ich charakteristiky

Tab.1.1a Súhrn vzťahov rezný pohyb

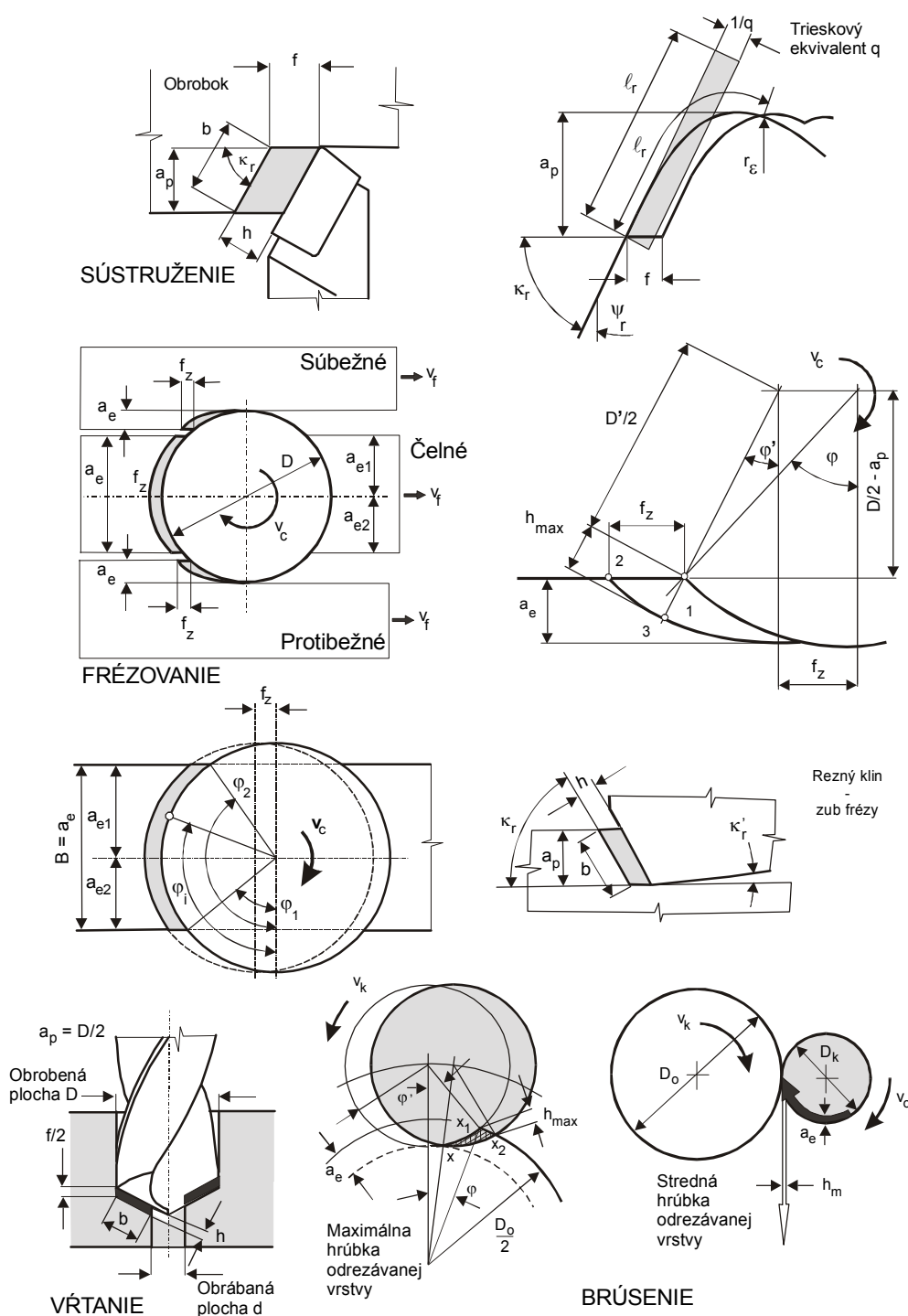
Sústruženie Vrtanie Vyhrubovanie Vystružovanie	$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2}$	$\operatorname{tg} \eta_e = \frac{v_f}{v_c}$	$\varphi_e = 90^\circ$
Valcové frézovanie	$v_e = \frac{v_f + v_c \cdot \cos \varphi_e}{\cos(\varphi_e - \eta_e)}$	$\operatorname{tg} \eta_e = \frac{\sin \varphi_e}{\frac{v_c}{v_f} + \cos \varphi_e}$	$\varphi_e \neq 90^\circ$
Čelné frézovanie	$\varphi_e = 0^\circ$ $v_e = v_c + v_f$	$\varphi_e = 90^\circ$ $v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2}$	$\varphi_e = 180^\circ$ $v_e = v_c - v$
Brúsenie	$v_e \approx v_c$		



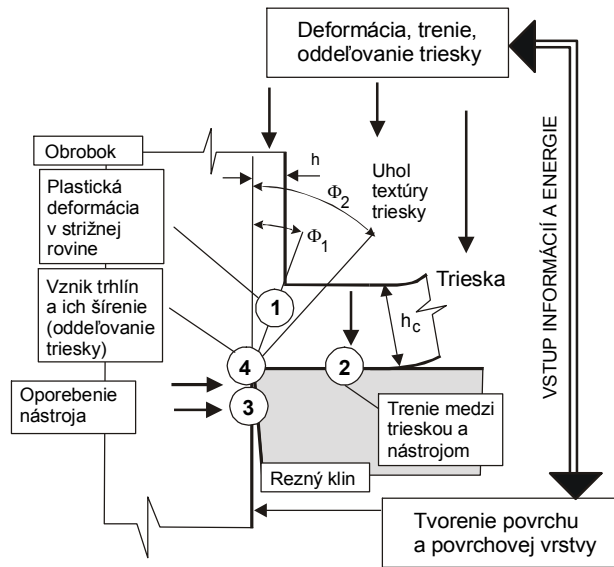
Obr.1.34 Vektory pohybov pri vybraných metódach obrábania



Obr.1.35 Pracovné uhly pri obrábání



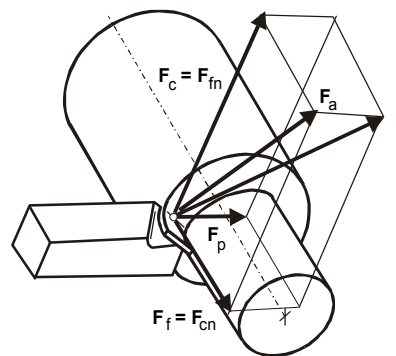
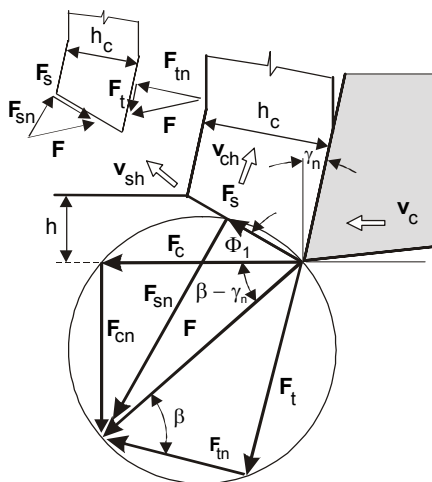
Obr.1.36. Prierezy odrezávanej vrstvy pri vybraných metódach obrábania



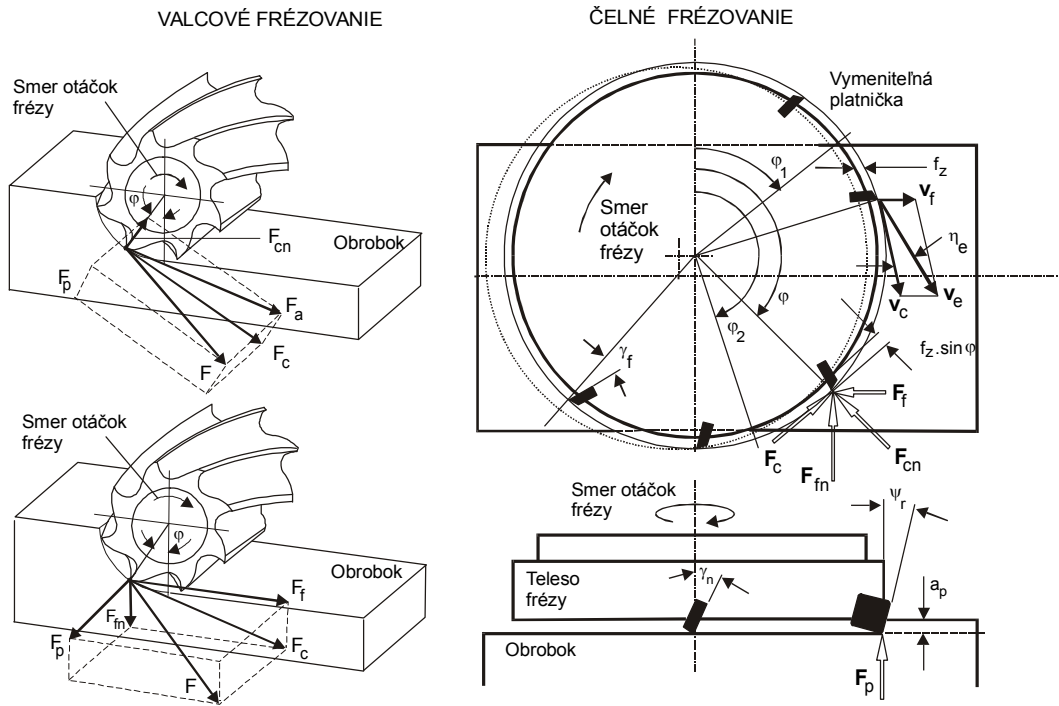
Obr.1.37. Javy pôsobiace pri úbere odrezávanej vrstvy

Voľné rezanie - princíp minimálnej energie (Merchant)

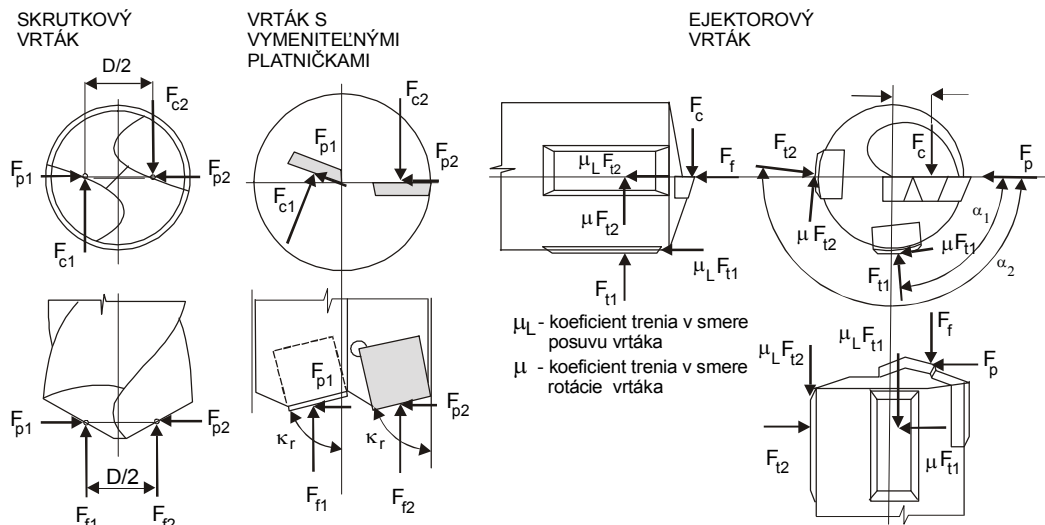
Zložky reznej sily pri sústružení



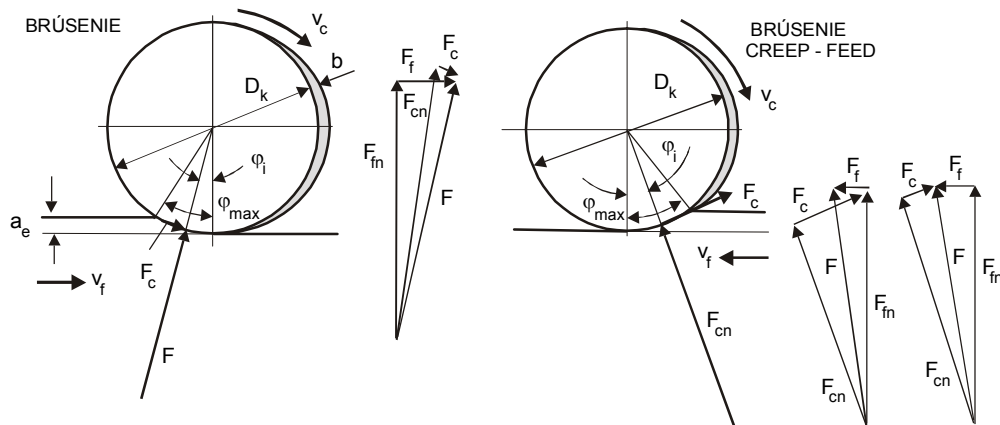
Obr.1.38 Vektorová interpretácia zložiek reznej sily



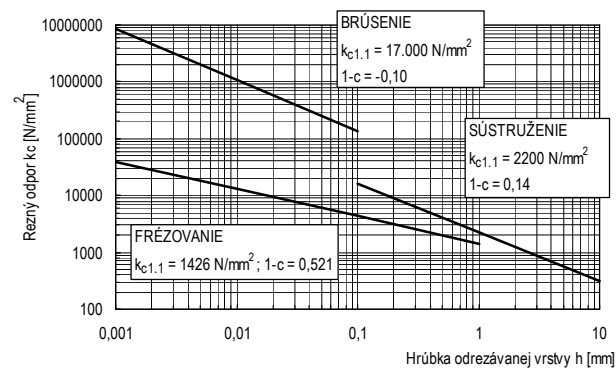
Obr.1.39 Vektorová interpretácia zložiek reznej sily pri frézovaní



Obr.1.40 Zložky reznej sily pri vrtaní

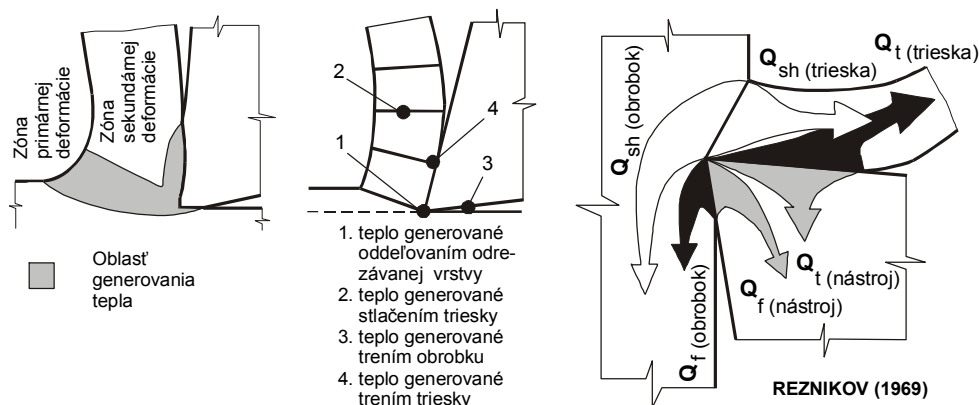


Obr.1.41 Zložky reznej sily pôsobiace na zrno brúsneho kotúča

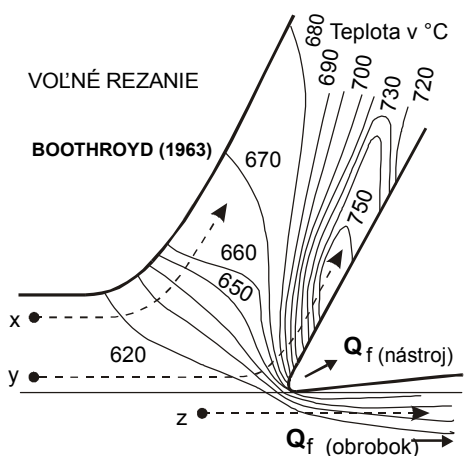


Obr.1.42 Rezné odpory v závislosti na hrúbke odrezávanej vrstvy pri obrábaní ocele C 45 (12 050.1 podľa STN)

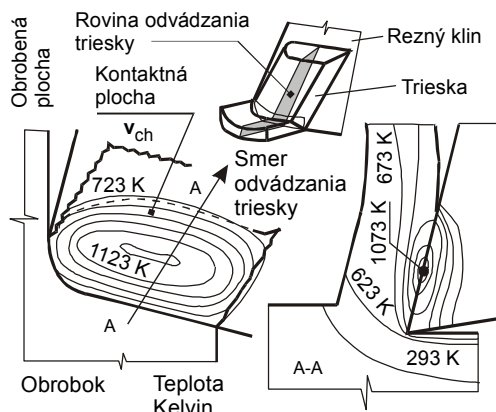
ZDROJE TEPLA A PRÚDENIE TEPLA



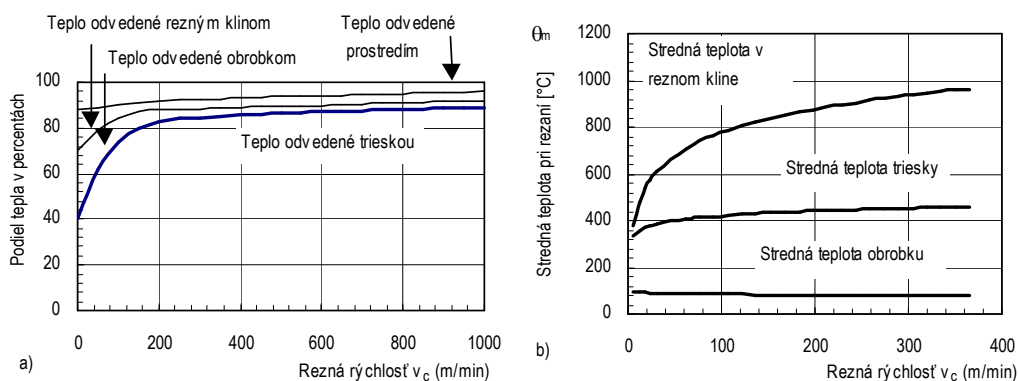
ROZLOŽENIE TEPLOTOVÉHO POĽA



REZANIE HLAVNOU A VEDĽAJŠOU REZNOU HRANOU

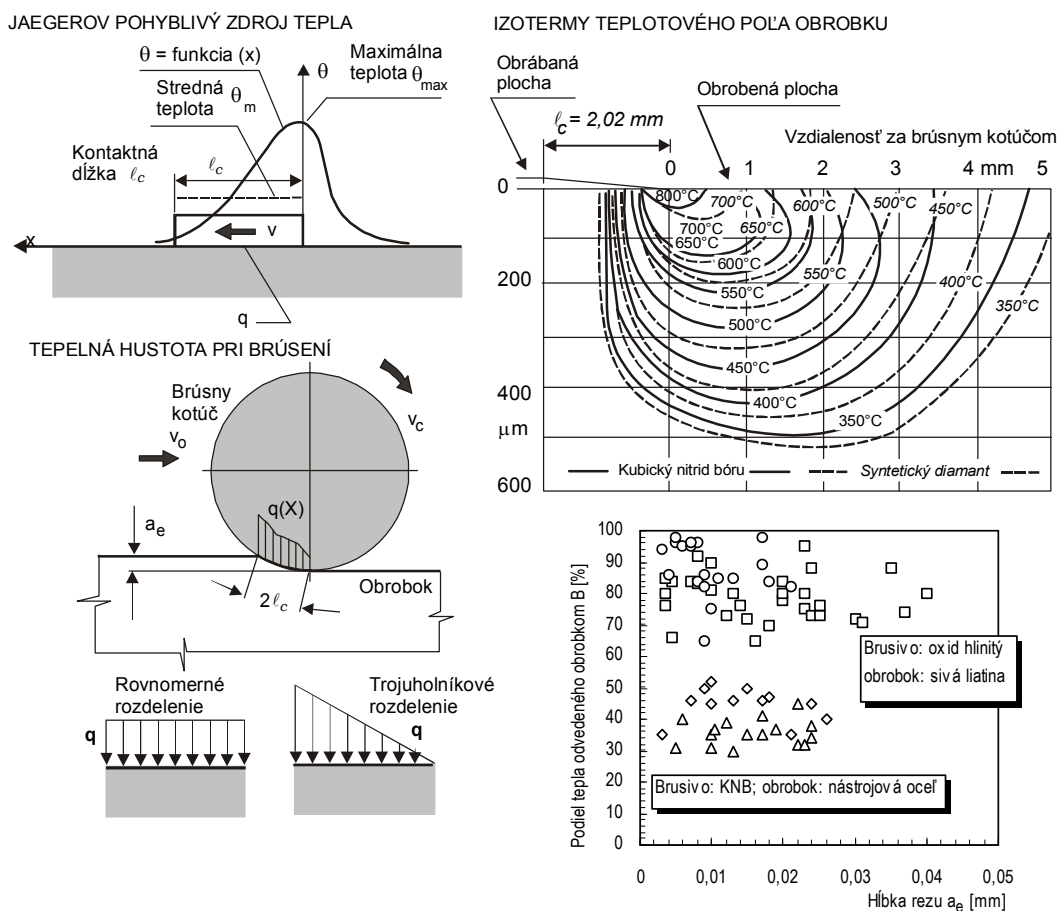


Obr.1.43. Teplo a teplota pri obrábani



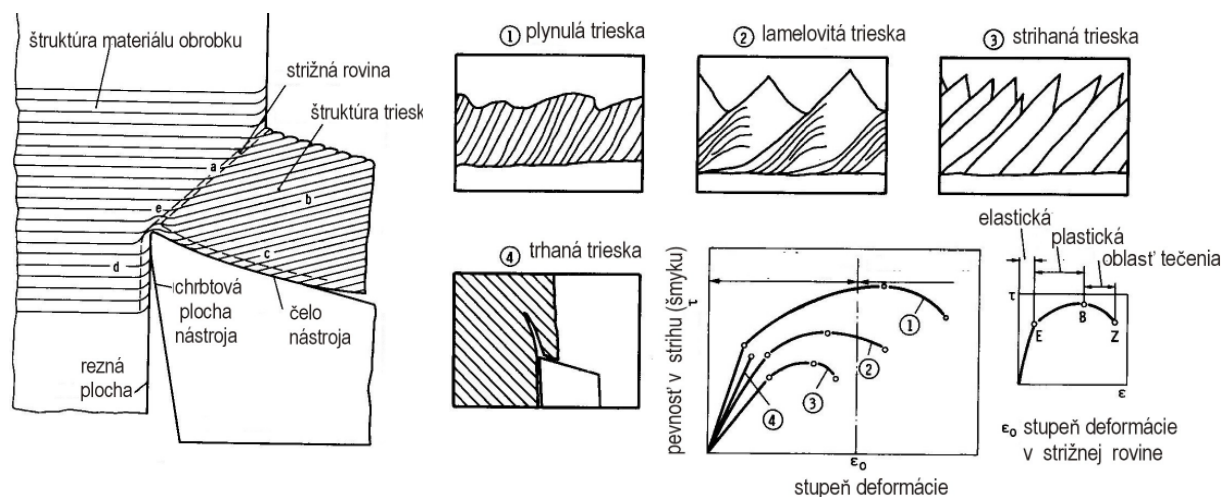
Obr.1.44 Vplyv reznej rýchlosti na teplo a teplotu pri obrábani.

- c) tepelná bilancia pri obrábani
- d) stredné teploty pri obrábani

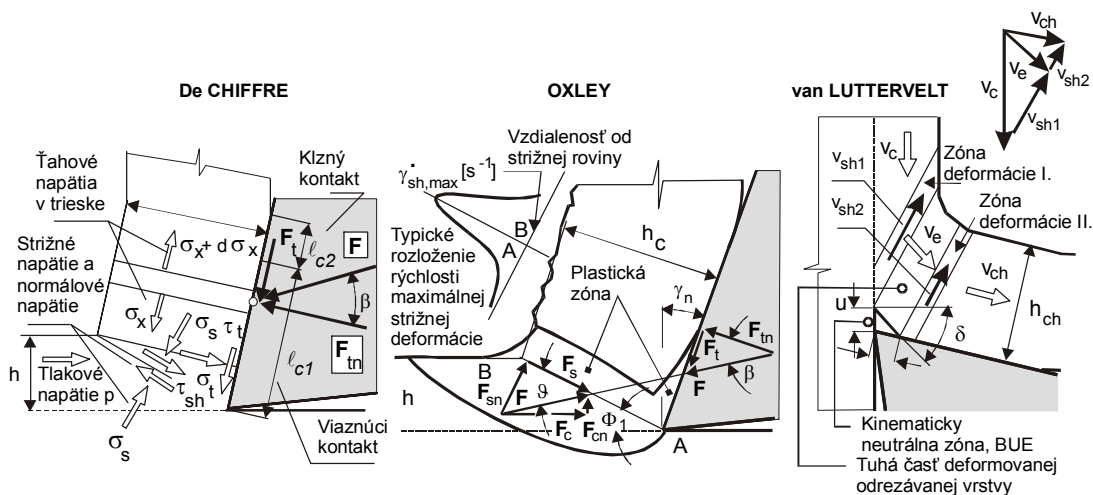


Obr.1.45 Teplo a teplota pri brúsení

- d) Tepelná hustota ako Jaegerov pohyblivý tepelný zdroj
- e) teplotové pole obrobku
- f) podiel odvedeného tepla obrobkom



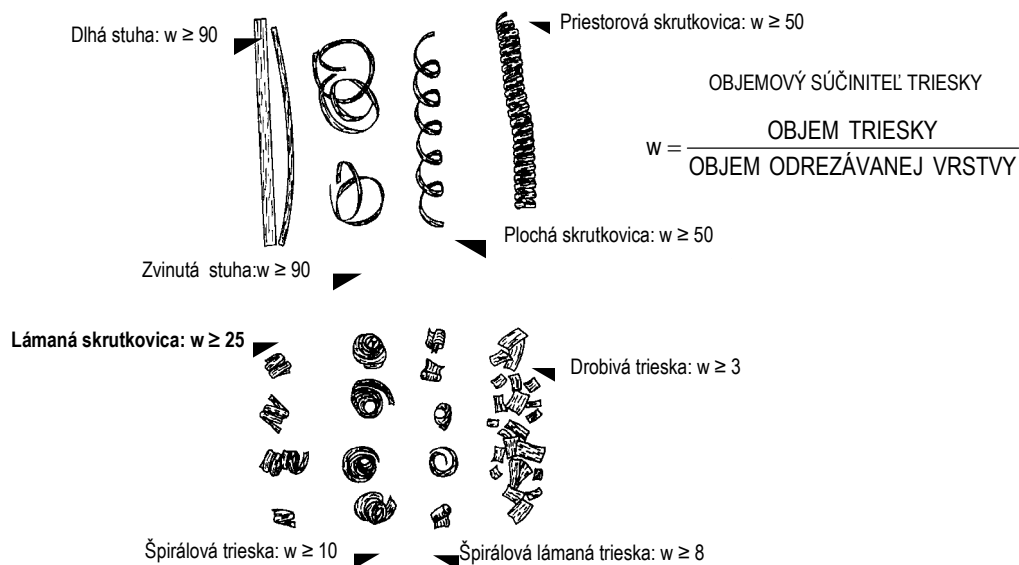
Obr.1.46 Vznik triesky pri rezaní



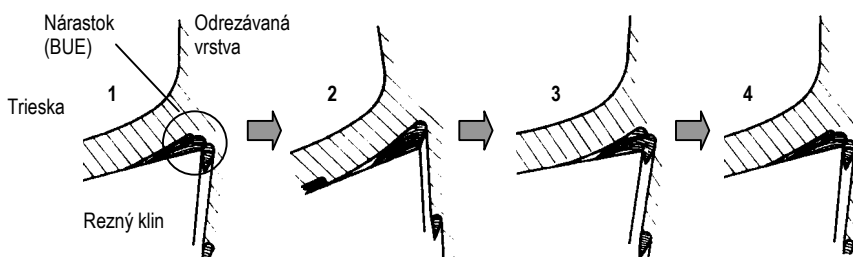
Princíp maximálneho napätia Princíp poľa sklzových čiar Princíp prúdevej čiary
Obr.1.47. Mechanizmy vzniku triesky pri obrábani – hlavné skupiny

TVARY TRIESOK PODĽA EN ISO 3685							
1. Stuhovité	2. Vínuté	3. Špirálové	4. Kuželovité - skrutkovité	5. Ploché - skrutkovité	6. Oblúkovité	7. Elementárne	8. Ihlové
1.1. Dlhé	2.1. Dlhé	3.1. Ploché	4.1. Dlhé	5.1. Dlhé	6.1. Spojené		
1.2. Krátke	2.2. Krátke	3.2. Kuželové	4.2. Krátke	5.2. Krátke	6.2. Delené		
1.3. Zvinuté	2.3. Zvinuté		4.3. Zvinuté	5.3. Zvinuté			

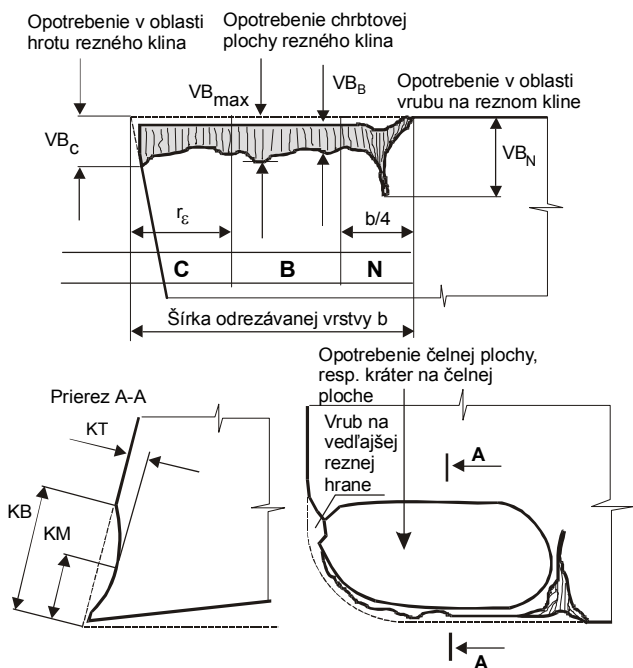
Obr.1.48 Klasifikácia tvarov triesok podľa EN ISO 3685



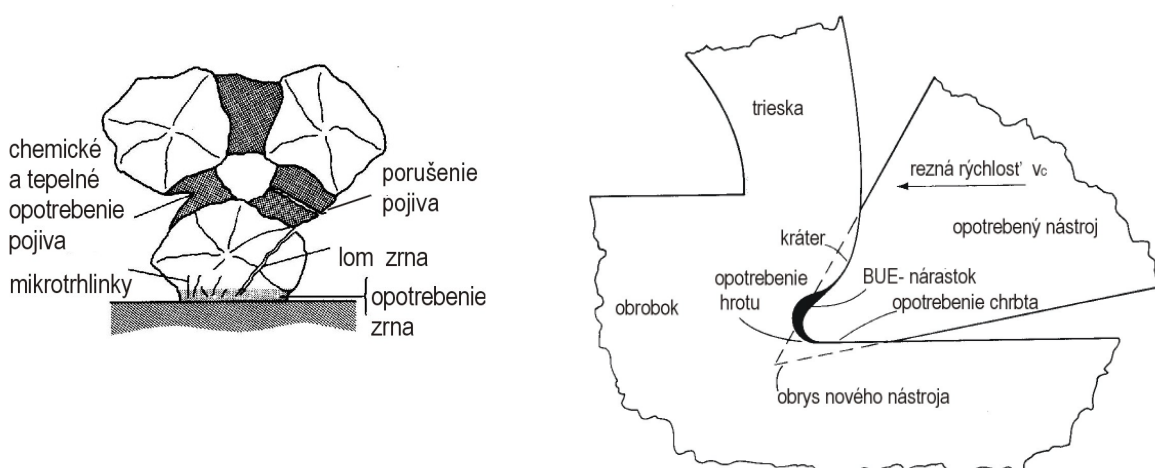
Obr.1.49 Klasifikácia tvarov triesok podľa zabratého objemu



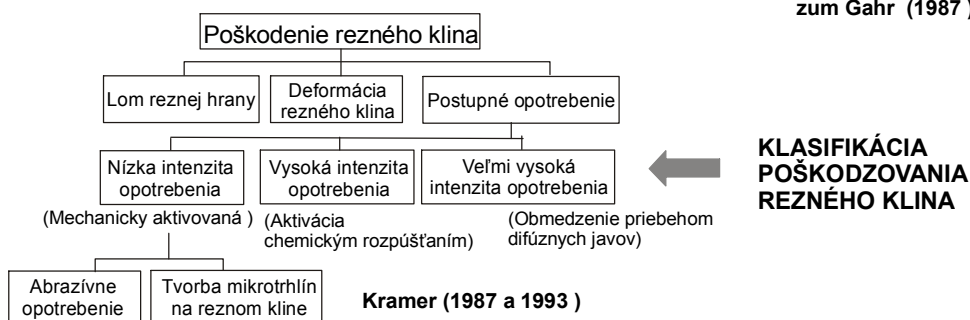
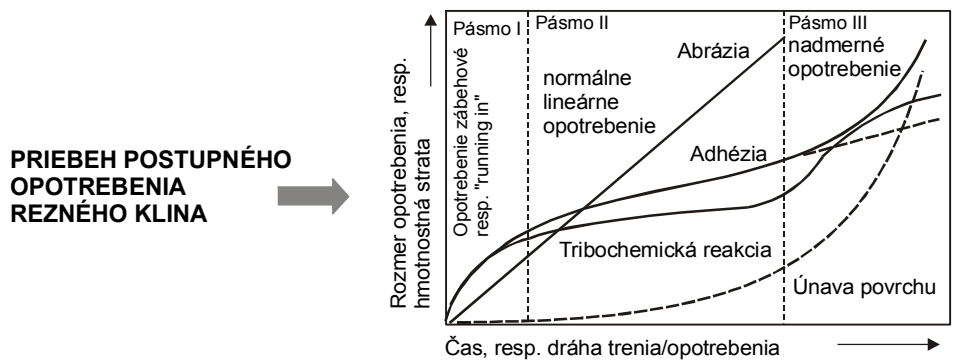
Obr.1.50 Postupnosť štyroch štádií vzniku nárastku (BUE)



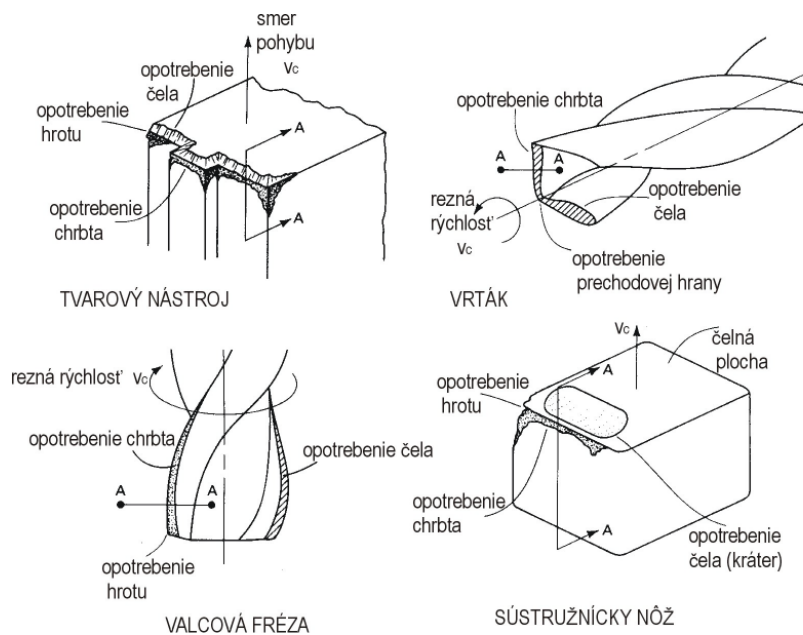
Obr.1.51 Vonkajšie prejavy opotrebenia reznej hrany podľa ISO EN 3685



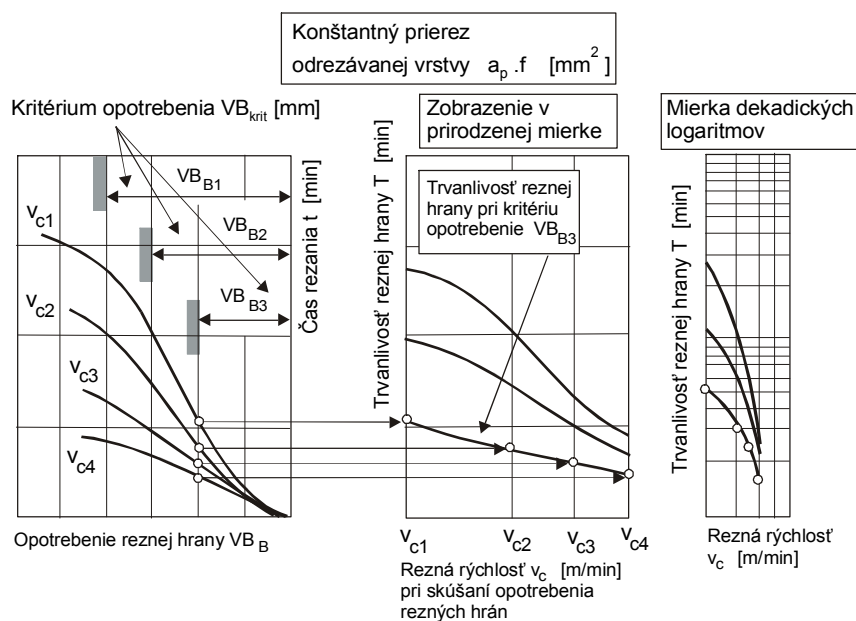
Obr.1.53 Opotrebenie reznej hrany a brusiva



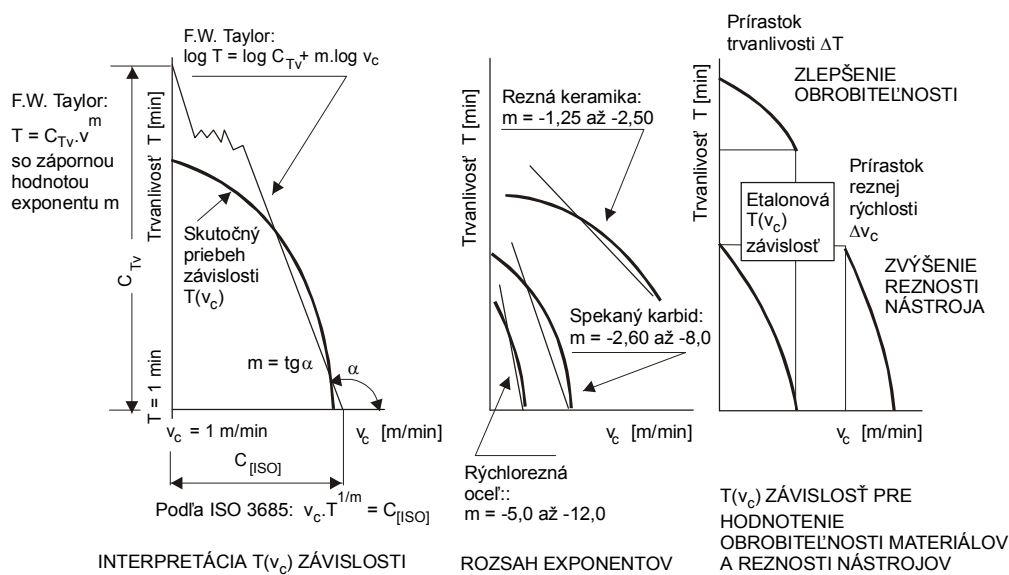
Obr.1.52 Priebeh postupného opotrebenia rezného klina, členenie mechanizmov opotrebenia a poškodzovania reznej hrany



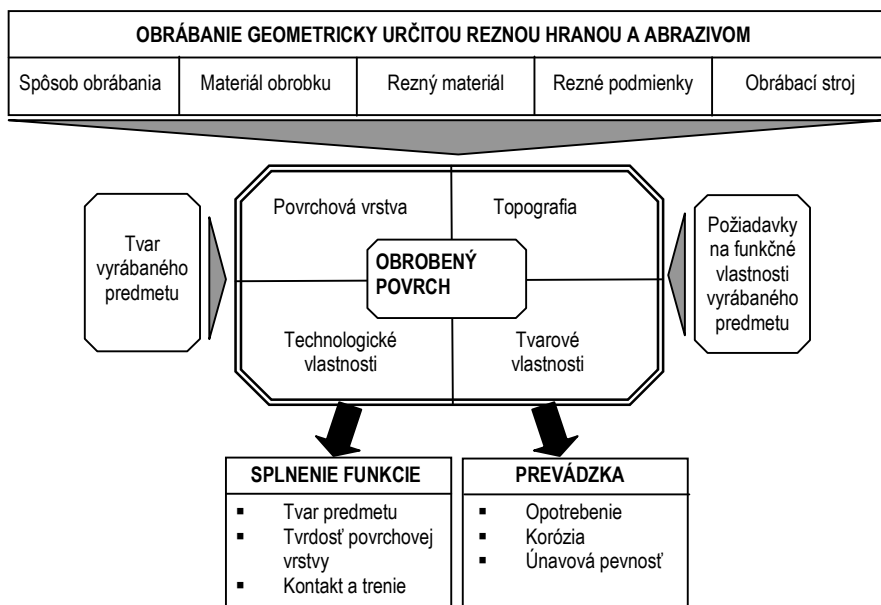
Obr.1.54 Formy opotrebenia rôznych druhov nástrojov



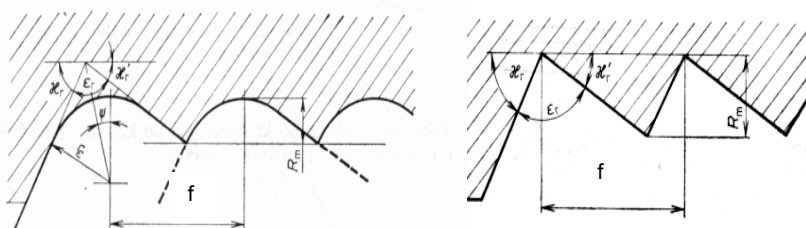
Obr.1.55 Zostavenie trvanlivostnej závislosti $T(v_c)$ (F.W. Taylor)



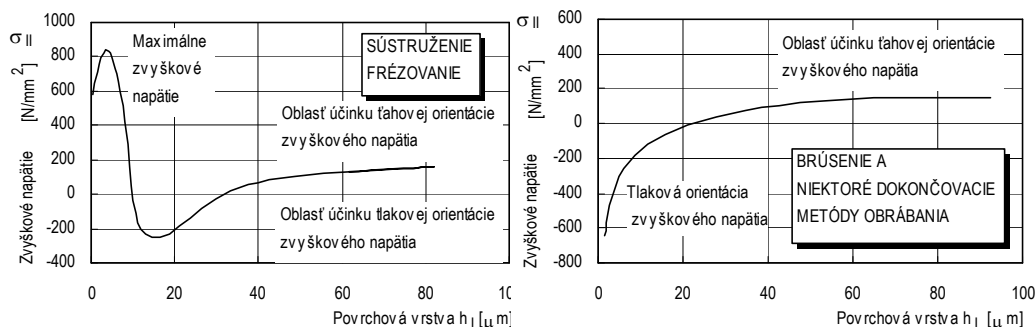
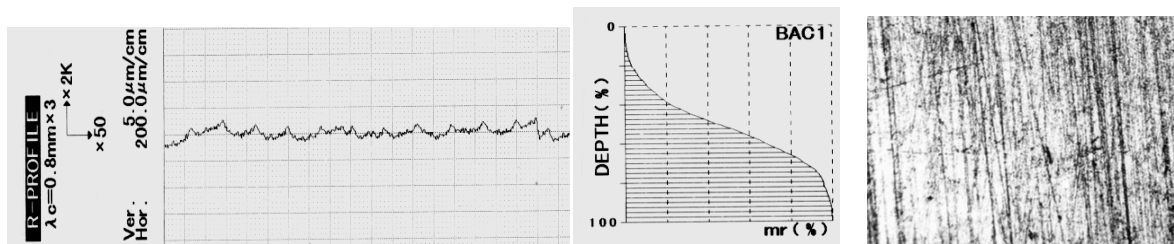
Obr.1.56 Taylorova $T(v_c)$ závislosť a jej význam



Obr.1.57. Súvislosti technológie a funkčných vlastností obrobeného povrchu (Warnecke)



Obr.1.58 Vznik povrchu pri rezaní – zjednodušená schéma

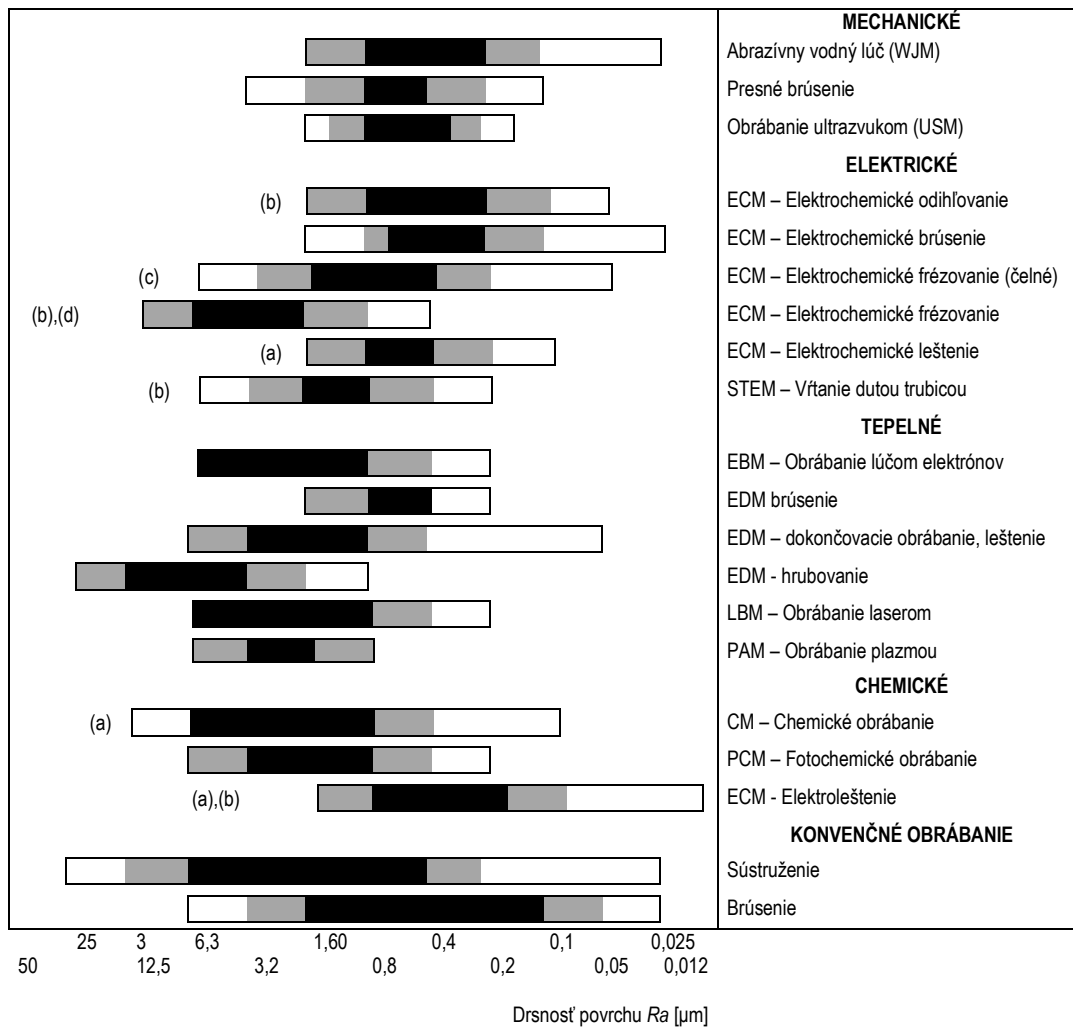


Obr. 1.59. Integrita povrchu vyjaderná cez hodnotenie drsnosti, vzhľad a zvyškového napätia v povrchovej vrstve.

STREDNÁ ARITMETICKÁ ODCHÝLKA PROFILU R_a [μm]													
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,80	0,40	0,20	0,10	0,05	0,025	0,012
Delenie materiálu pílením													
Hobľovanie, obrážanie													
Vŕtanie													
Frézovanie													
Preťahovanie, vystružovanie													
Vyvrťavanie, sústruženie													
Omieľanie													
Brúsenie													
Honovanie													
Leštenie													
Lapovanie													
Superfiniš													
Liatie do piesku													
Kovanie													
Ťahanie za tepla													
Ťahanie za studena													

Drsnosť povrchu pri bežných operáciách
 výnimočne dosiahnuteľné hodnoty

Obr.1.60 Drsnosť povrchu pri obrábaní a porovnanie s vybranými technológiami výroby polotovarov. Horný a dolný rozsah drsností povrchu je dosahovaný výnimočne

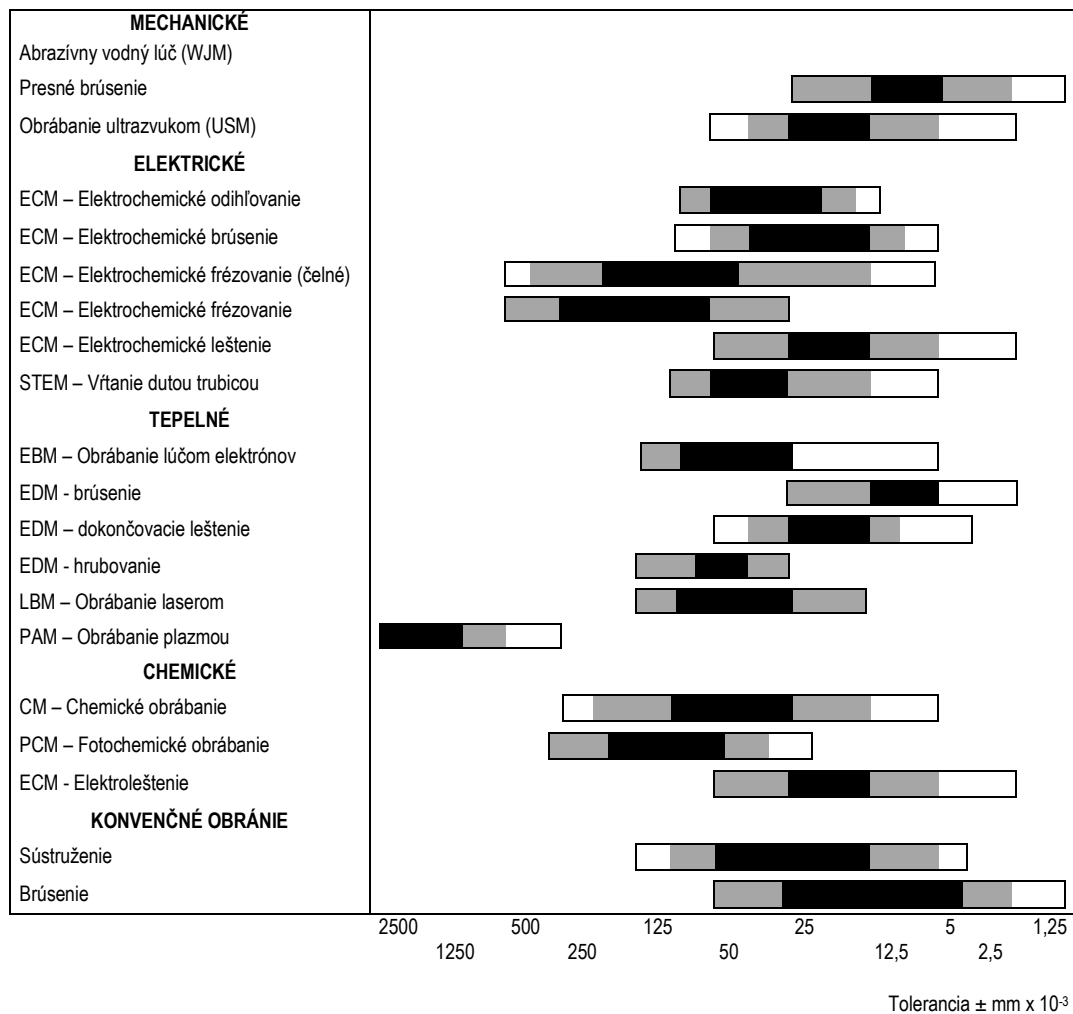


Vysvetlivky

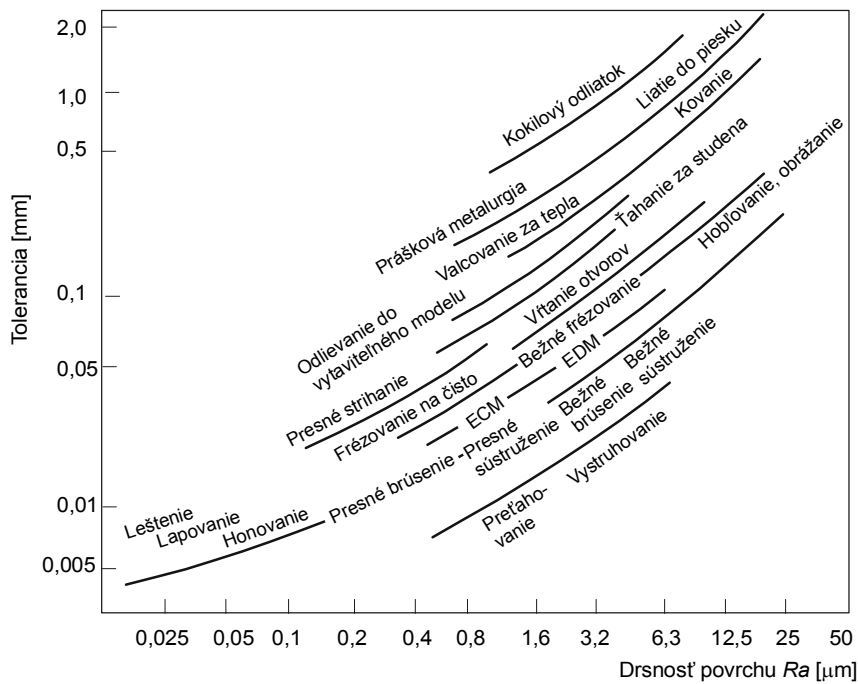
- a) závisí na stave povrchu po predchádzajúcom opracovaní
- b) pri zliatinách na báze titánu sa dosahuje horší povrch než pri niklových zliatinách
- c) oblasť vysokej prúdovej hustoty
- d) oblasť nízkej prúdovej hustoty

- Bežne dosiahnuteľné hodnoty
- Hodnoty dosiahnuteľné pri presnom opracovaní
- Mimoriadne zriedkavé hodnoty (vyžadujú zvláštne podmienky práce)

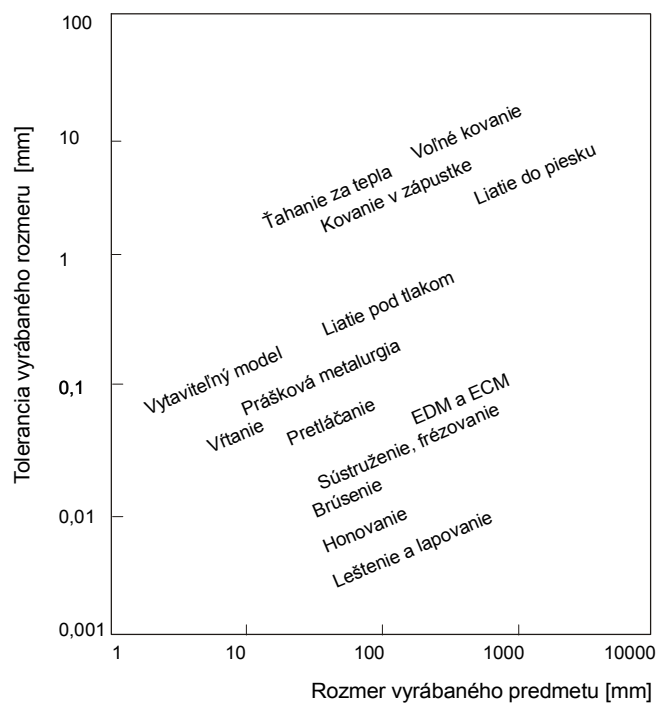
Obr.1.61a. Drsnosť povrchu pri obrábaní progresívnymi technológiami



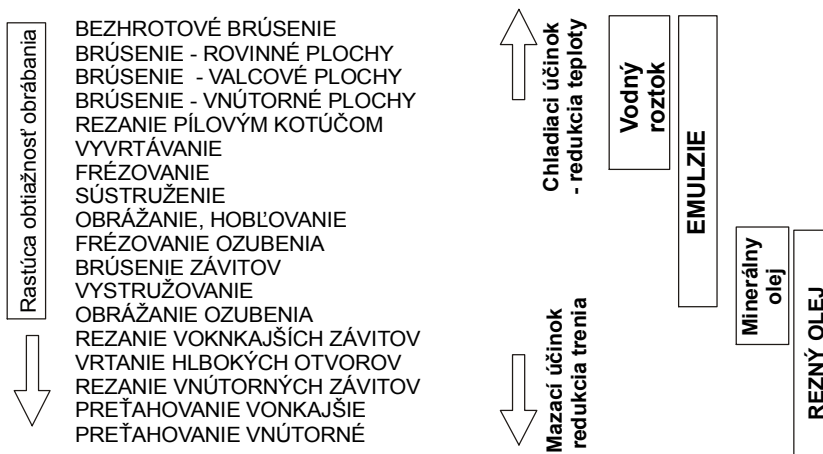
Obr.1.61b. Tolerancie vyrábaného rozmeru pri obrábaní progresívnymi technológiami



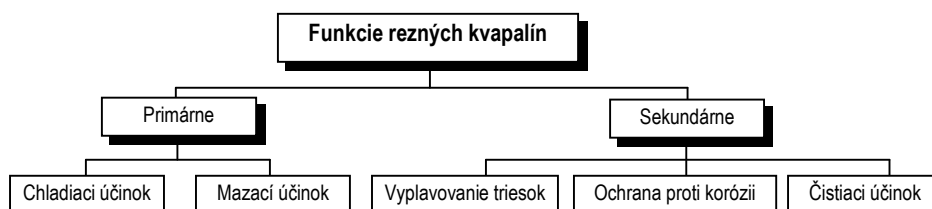
Obr.1.62 Rozsahy pre drsnosť povrchu a tolerancie pri rôznych technológiách



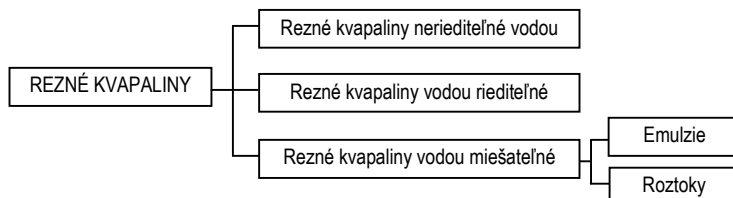
Obr.1.63 Vyrábaný rozmer a jeho tolerancia pri rôznych technológiách



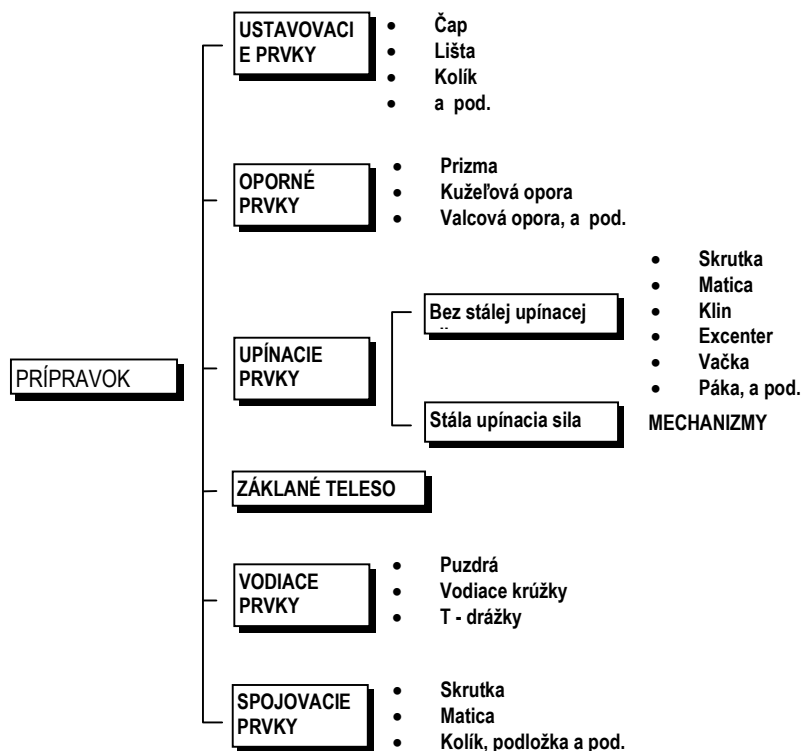
Obr.1.64 Druhy rezných kvapalín podľa rastúcej obtiažnosti obrábania



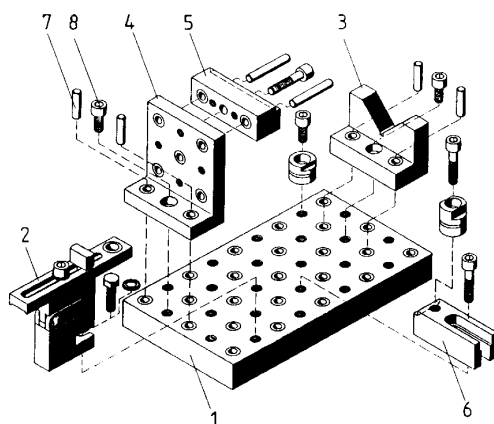
Obr.1.65. Funkcie rezných kvapalín



Obr.1.66. Klasifikácia rezných kvapalín podľa DIN 51386



Obr.1.67 Prvky prípravkov pre obrábanie



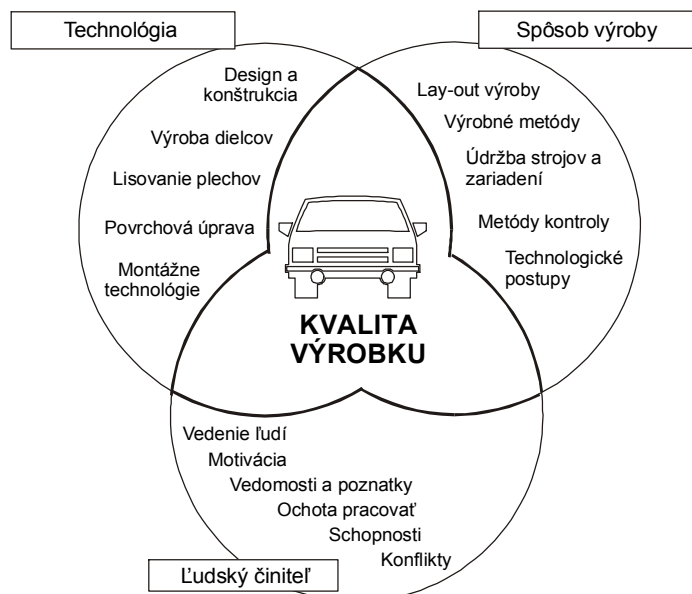
Obr. 1.68 Stavebnicový prípravok pre obrábanie
 (1 – základová doska, 2 – úpinka, 3 – pevná prizma, 4 – oporný uholník,
 5 – doraz, 6 – nastaviteľná opora, 7 – kolík, 8 – skrutka)

	DRUH VÝROBY			
	VÝROBA PROTOTYPOV A VÝROBA ZÁKAZOK	MALOSÉRIOVÁ A STREDNE SÉRIOVÁ VÝROBA	VELKOSÉRIOVÁ VÝROBA	HROMADNÁ VÝROBA
VYRÁBANÉ MNOŽSTVO	1 ÷ 20 kusov jedného druhu	Veľkosť dávky 50 ÷ 1000 kusov	Odvádzané množstvo 5 ÷ 20 kusov/hod	Odvádzané množstvo 35 ÷ 80 (a viac) kusov/hod
ORGANIZAČNÝ PRINCÍP	Princíp technológie	Princíp skupinovej technológie Princíp flexibilnej automatizácie		Princíp predmetu Princíp priebehu Princíp Fordov - Taylorov
PRACOVISKÁ	Dielenské pracovisko	Flexibilný výrobný systém	Flexibilná výrobná linka	Výrobná linka pre hromadnú výrobu
OBRÁBACIE STROJE	Univerzálne, výnimočne špeciálne stroje pre zvláštne tvary a veľké dielce	Stroje s programovým riadením NC, DNC, výkonné viacvreténové stroje a automaty, stroje pre inovačné technológie, stroje typu Hexapod. Integrácia dokončovacích a progresívnych technológií do flexibilných výrobných systémov (tzv. integrované technológie)		Stroje zostavené do liniek, často jednoúčelové
NÁSTROJE	Normalizované nástroje pre obrábanie, nástroje s bežným rezným výkonom	Prednostne nástroje s vymeniteľnými platničkami, nástroje podľa katalógov výrobcov, nástroje konštruované na špecifické operácie, najnovšie druhy rezných materiálov		Prednostne nástroje s vymeniteľnými platničkami, tvarové a kopírovacie nástroje
POLOTOVARY	Tyčové s normalizovanými rozmery, voľne kované výkovky, ručne formované odliatky	Tyčový a profilový materiál, zápuskové výkovky, strojovo formované presné odliatky. Polotovary s minimálnou veľkosťou prídavkov na obrábanie. Polotovary vyrábané novými metalurgickými postupmi		Profilové polotovary, presné výkovky, polotovary vyrobené odstredivým liatím
PRÍPRAVKY	Univerzálne a normálne príslušenstvo obrábacích strojov (zverák, skľučovadlo, deliaca hlava a pod.)	Obvykle prípravky konštruované pre technologické operácie	Stavebnicové prípravky, najčastejšie so zariadením pre stále upínacie sily	Stavebnicové prípravky, najčastejšie so zariadením pre stále upínacie sily
TECHNOLOGICKÉ POSTUPY	Rozpis technologických operácií s hlavnými údajmi (rezné podmienky, čas)	Podrobné a presné postupy, operácie vyznačované náčrtami a kótami, zložité operácie rozložené na úseky a úkony, podrobný popis práce stroja, rezné podmienky, použité náradie, meradlá a látky		Podrobný popis technologických operácií vrátane náčrtov
REZNÉ PODMIENKY	Vyznačenie do postupu s použitím normatívo	Rezné podmienky stanovené s ohľadom na reznosť nástrojov pri rešpektovaní zásad pre dodržanie kvality a hospodárnosti obrábania		
MERADLÁ	Dĺžkové meradlá, medzné kalibre pre štandardné rozmery	Medzné kalibre, štandardné dĺžkové meradlá, prístroje na kontrolu odchýlok tvaru a rozmeru		Meracie a kontrolné pracoviská zaradené do výrobnej linky

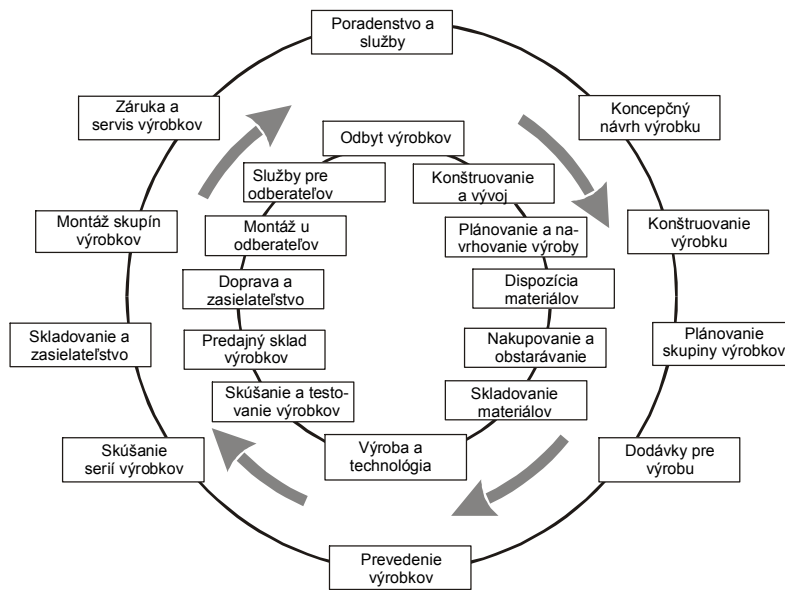
Obr.1.69. Znak strojárkej výroby a technologických postupov obsahujúcich obrábanie



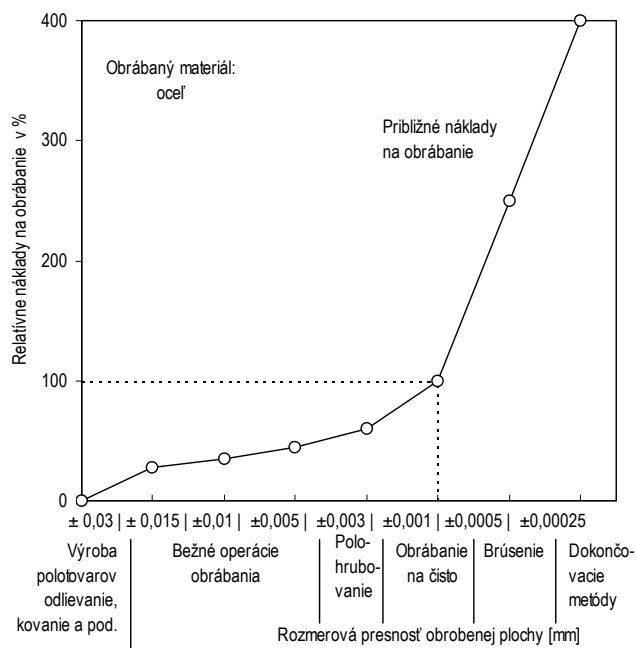
Obr.1.70 Kvalita v oblasti výroby a manažmentu



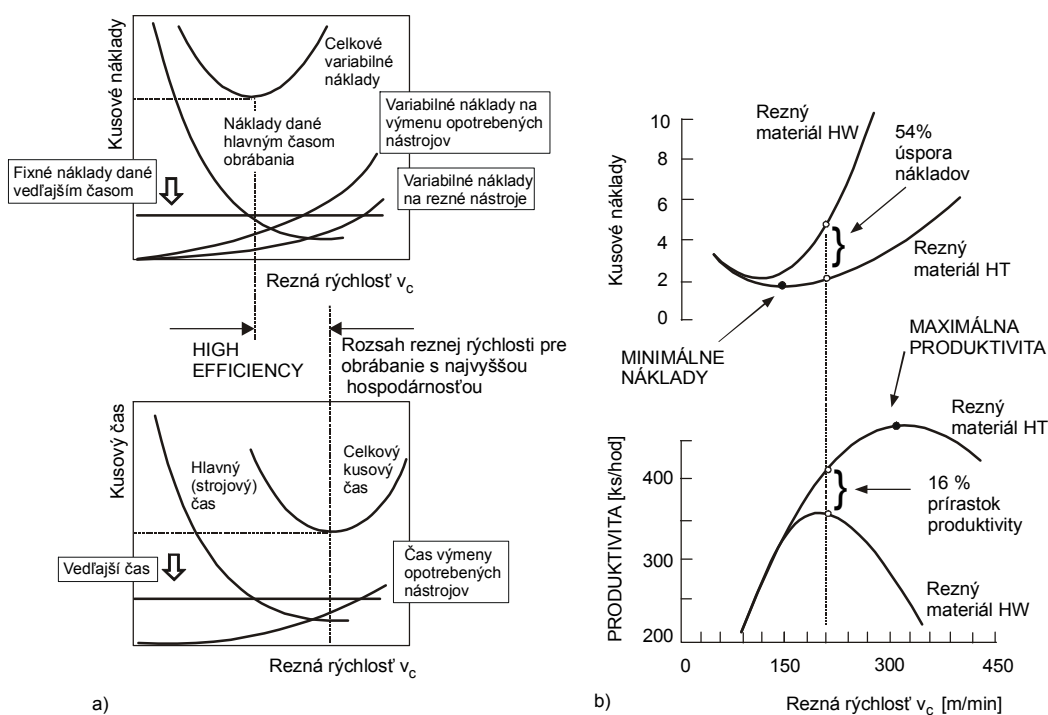
Obr.1.71 Faktory ovplyvňujúce kvalitu výrobku



Obr.1.72 Výroba a technológia v systéme kvality výrobkov

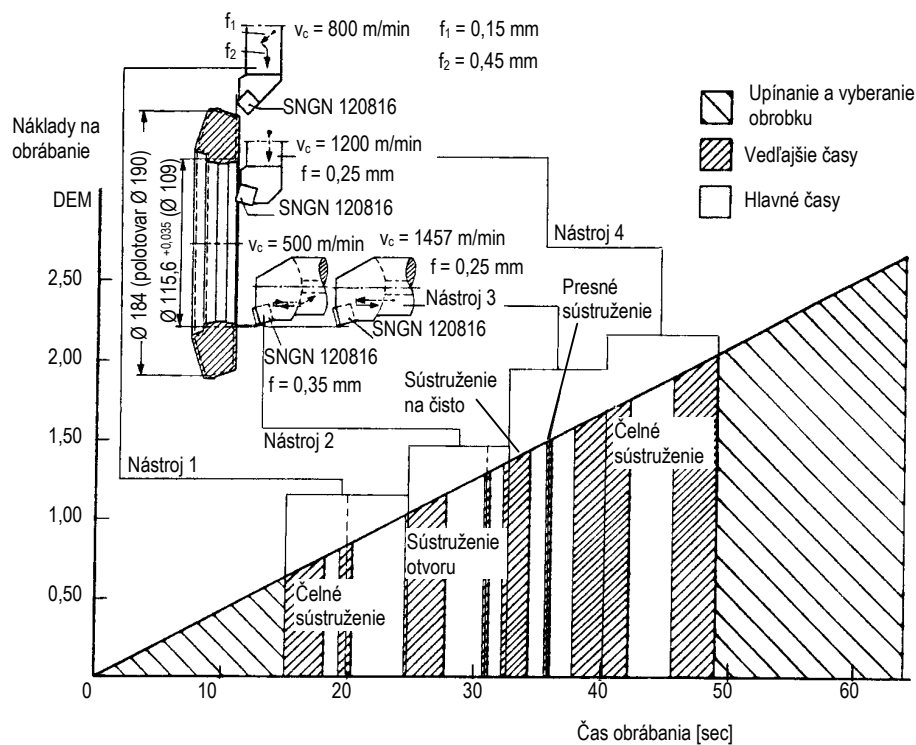


Obr.1.73 Rozmerová presnosť obrobenej plochy a relatívne náklady obrábanie

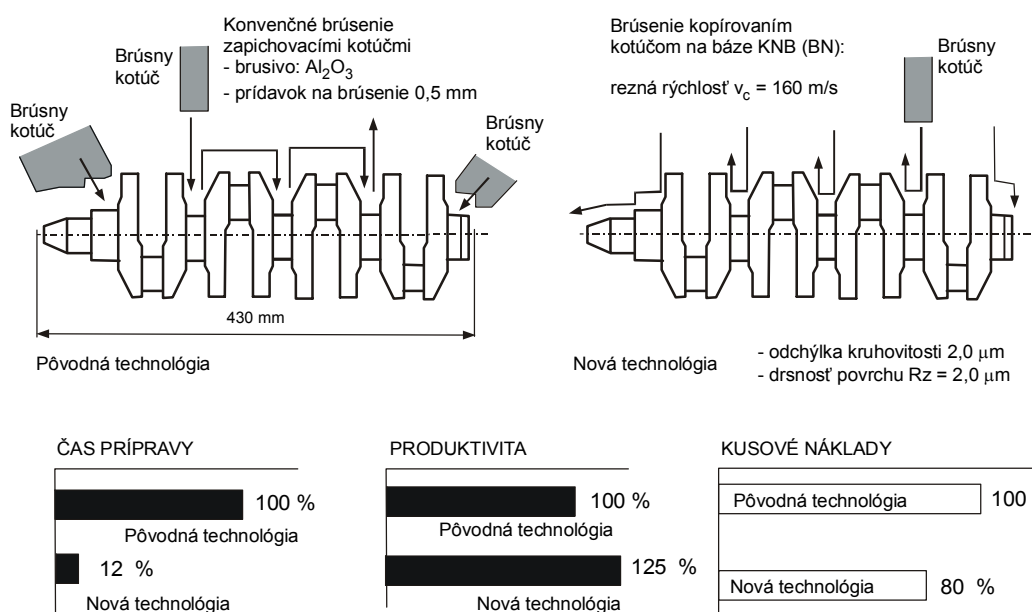


Obr.1.74 Kusové náklady, kusový čas a produktivita obrábania:

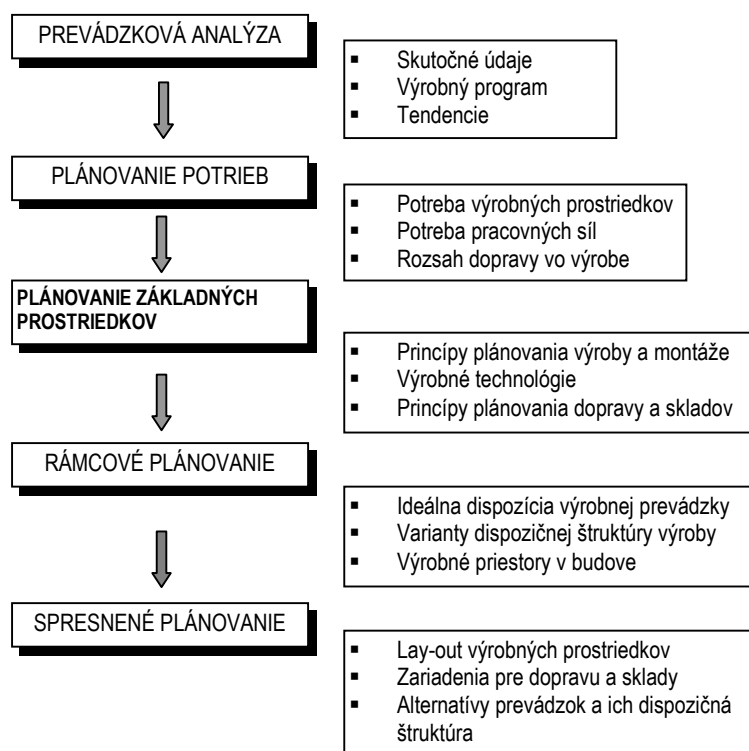
- c) High Efficiency rozsah reznej rýchlosti pri obrábání reznou hranou
- d) porovnanie produktivity a kusových nákladov pri dvoch rezných materiáloch



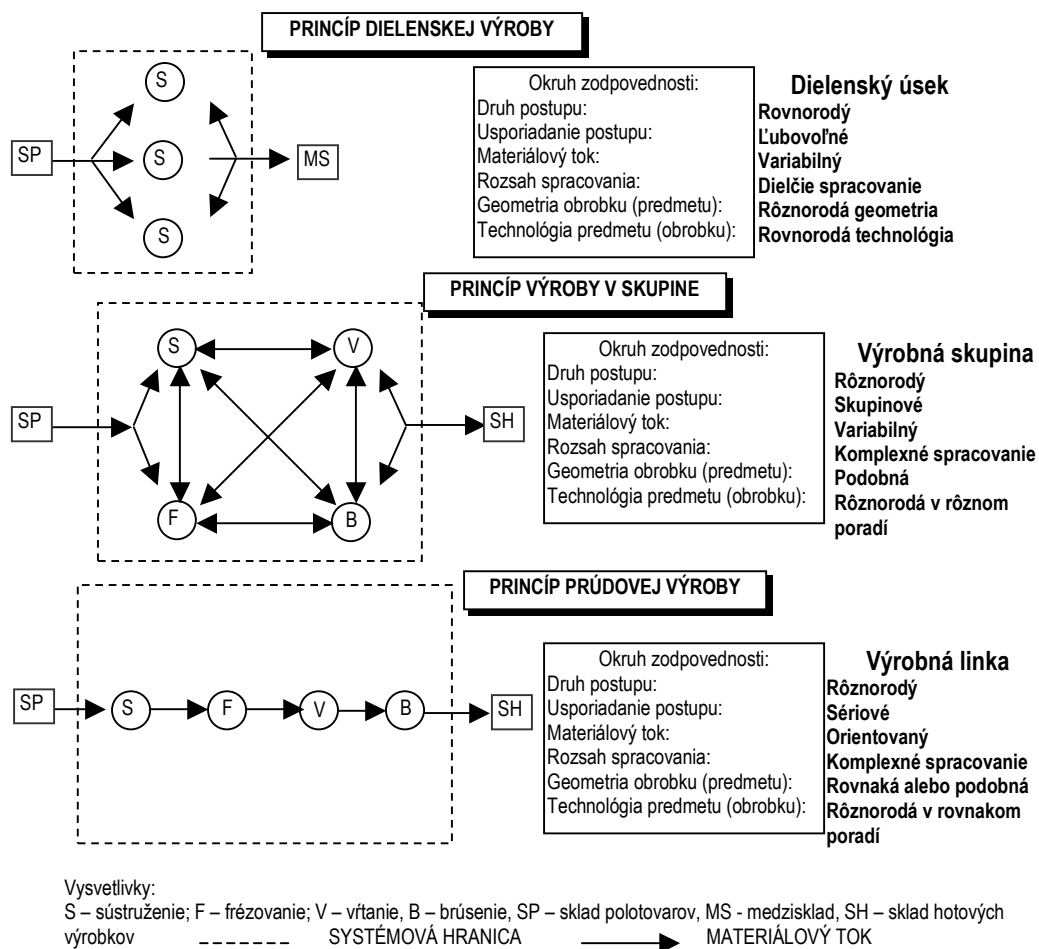
Obr.1.75 Náklady na obrábanie pri výrobe taniera pre kužeľové ozubenie



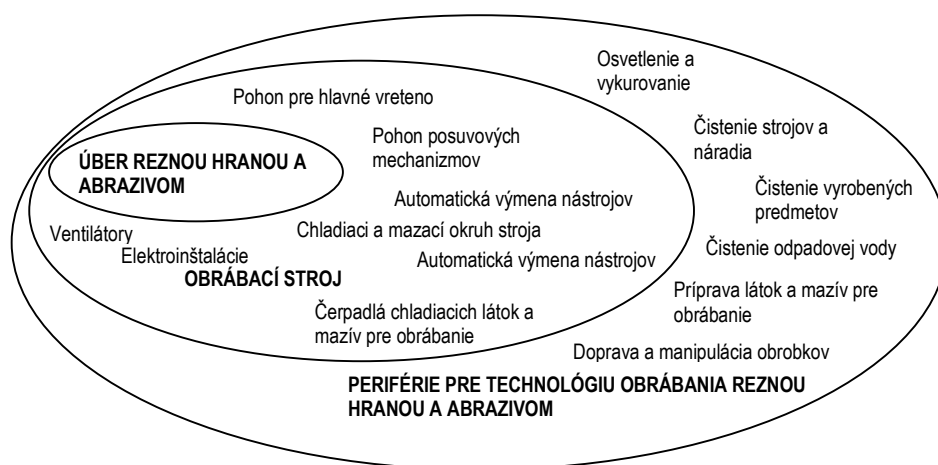
Obr.1.76 Porovnanie produktivity a kusových nákladov pri dvoch spôsoboch brúsenia



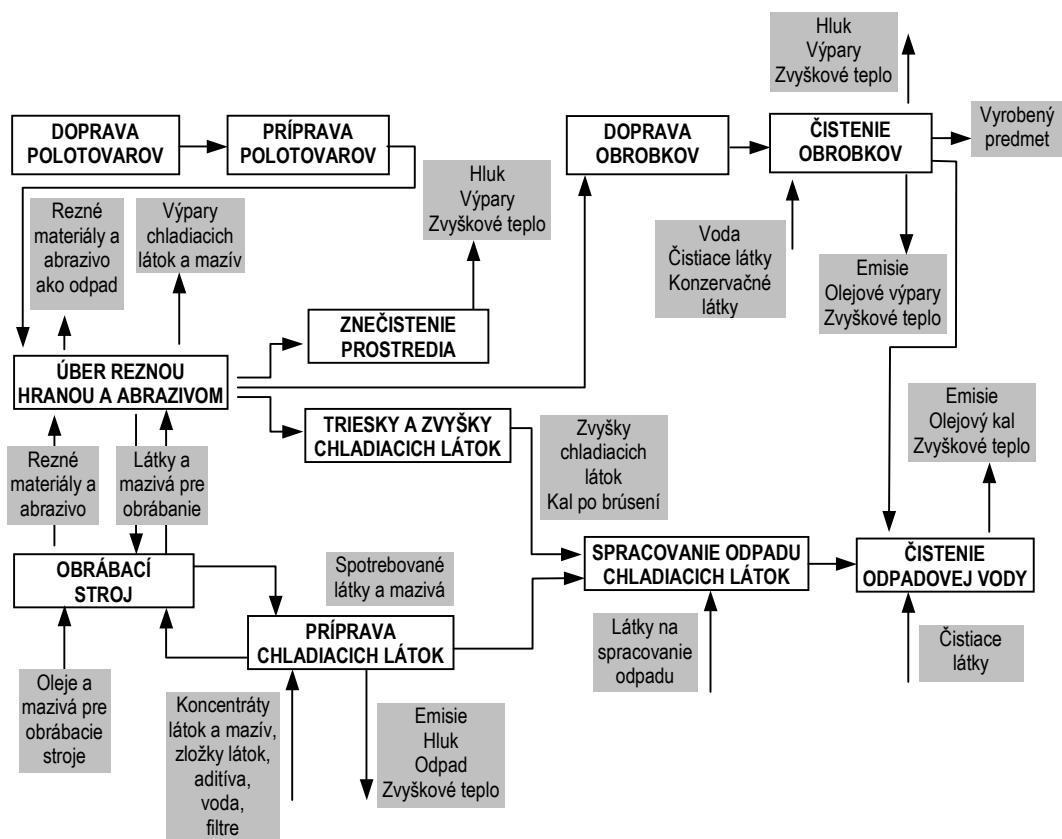
Obr.1.77 Všeobecná schéma pre priebeh plánovania technológie



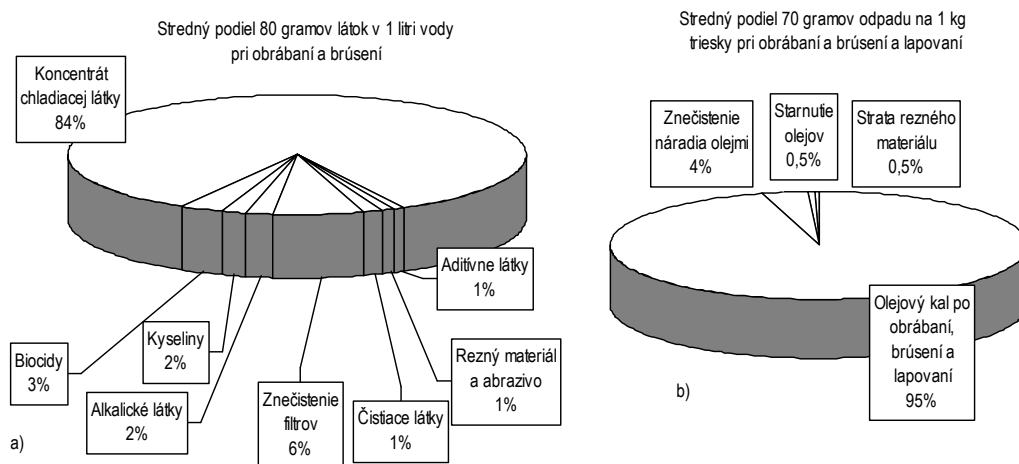
Obr.1. 78 Základné znaky rôznych výrobných princípov používaných pri plánovaní technológie



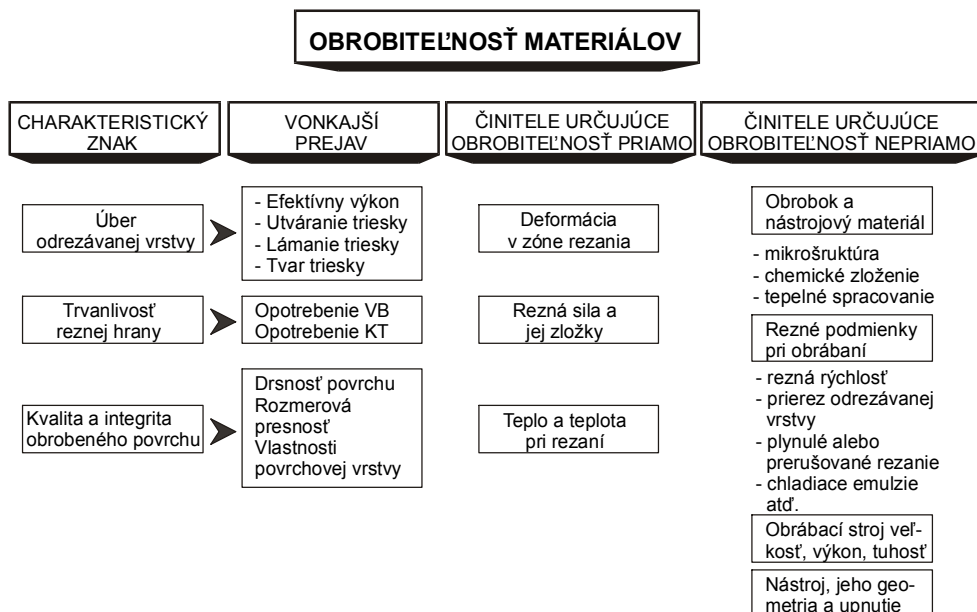
Obr.1.79 Sektory ekologického bilancovania technológie obrábania



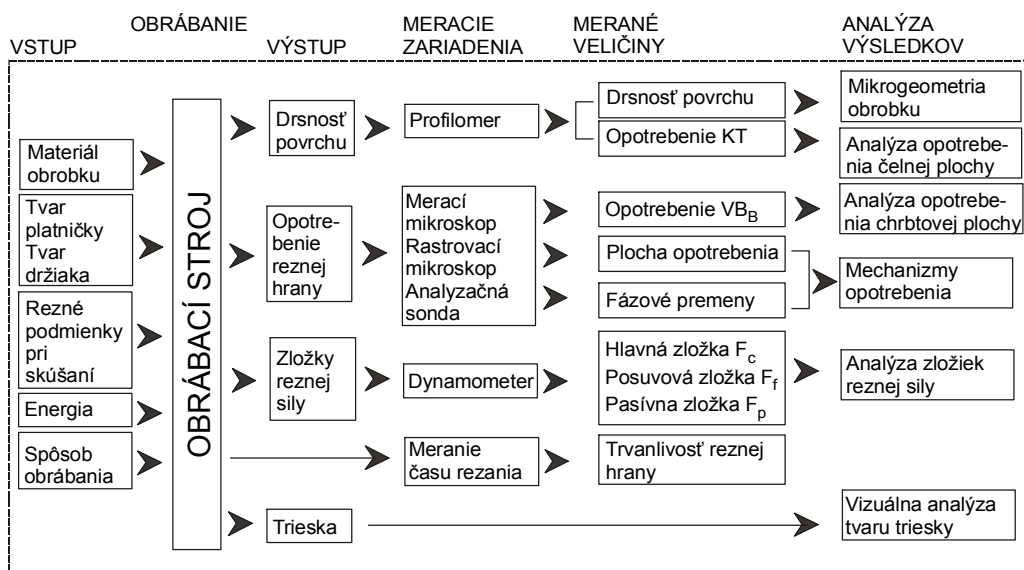
Obr.1.80 Ekologický reťazec pre technológiu obrábania



Obr.1.81 Stredné podiely látok, odpadu a vody pri obrábaní a brúsení



Obr. 82 Obrobiteľnosť materiálov



Obr. 83 Činitele charakterizujúce obrobiteľnosť materiálov



Obr.84 Reznosť nástrojov

Tab.1.2 Súhrn pre roviny a uhly rezného klina v ortogonálnej súradnej sústave

Rovina	Uhly v danej rovine	Poznámka
Základná rovina P_r	$\kappa_r \quad \kappa'_r \quad \varepsilon_r \quad \psi_r$	$\kappa_r + \kappa'_r + \varepsilon_r = 180^\circ$ $\kappa_r + \psi_r = 90^\circ$
Rovina ostria (reznej hrany) P_s	λ_s	
Ortogonalna rovina P_o	$\alpha_o \quad \beta_o \quad \gamma_o$	$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ$
Bočná rovina P_f	$\alpha_f \quad \beta_f \quad \gamma_f$	$\alpha_f + \beta_f + \gamma_f = 90^\circ$
Zadná rovina P_p	$\alpha_p \quad \beta_p \quad \gamma_p$	$\alpha_p + \beta_p + \gamma_p = 90^\circ$

Tab.1.2a Súhrn definícií rovín ortogonálnej súradnej sústavy

Názov	Označenie	Definovanie roviny
Základná rovina	P_r	Prechádza ľubovoľným bodom reznej hrany S a je kolmá na vektor hlavného pohyby v_c
Bočná rovina	P_f	Prechádza ľubovoľným bodom reznej hrany S, je kolmá na základnú rovinu P_r v smere predkladaného posuvu
Zadná rovina	P_p	Prechádza ľubovoľným bodom reznej hrany S a je kolmá na základnú rovinu P_r a bočnú rovinu P_f
Rovina ostria (reznej hrany)	P_s	Prechádza reznou hranou S a je kolmá na základnú rovinu P_r
Ortogonalna rovina	P_o	Prechádza ľubovoľným bodom reznej hrany S a je kolmá na rovinu ostria P_s
Normálová rovina	P_n	Je kolmá na reznú hranu S v každom bode

Tab.1.3 Súhrn vzťahov pre hlavný pohyb, posuv a hĺbku rezu

	Hlavný pohyb rezná rýchlosť v_c	Posuv f rýchlosť posuvu v_f	Hĺbka rezu a_p
Sústruženie Vrtanie Vyhrubovanie Vystružovanie	$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ [m/min] D – priemer obrobku (nástroja) [mm] n – otáčky vretena [1/min]	$v_f = \frac{f \cdot n}{1000}$ [m/min] f – posuv na otáčku [mm]	$a_p = 0,5 \cdot (D - d)$ d – priemer obrobenej plochy [mm] $a_p = 0,5 \cdot D$ pre vrtanie do plného materiálu
Valcové frézovanie	$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ [m/min] D – priemer frézy [mm] n – otáčky vretena [1/min]	$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000}$ [m/min] f_z – posuv na zub [mm] z – počet zubov frézy	$a_p = a_e$
Čelné frézovanie	$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ [m/min] D – priemer frézy [mm] n – otáčky vretena [1/min]	$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000}$ [m/min] f_z – posuv na zub [mm] z – počet zubov frézy	$a_e = B$ a_p
Hobl'ovanie, obrážanie	Počet dvojzdvihov $n_D = \frac{1000 \cdot v_m}{2 \cdot L}$ $v_m = 2 \cdot v_c \cdot \frac{q}{q+1}$ $q = \frac{v_{sp}}{v_c}$	f – posuv na dvojzdvih [mm] v_m – stredná rýchlosť do rezu [m/min] q = 1,4 ÷ 3,5 pre hobl'ovacie stroje q = 1,4 ÷ 2 pre obrážacie stroje v_{sp} – stredná rýchlosť spätneho pohybu [m/min]	a_p
Pret'ahovanie	Konštantná rezná rýchlosť v_c	f_z – posuv na zub [mm]	neudáva sa
Brúsenie	$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000}$ [m/s] D – priemer brúsneho kotúča [mm] n – otáčky vretena [1/s]	Ako posuv na otáčku obrobku pri brúsení rotačnej plochy Ako posuv na dvojzdvih stola pri rovinnom brúsení	Brúsenie čelom kotúča $a_e = B, a_e = D$ Brúsenie obvodom kotúča $a_p = a_e$

Tab.1.4 Súhrn hlavných vzťahov pre vznik plynulej triesky pri voľnom rezaní

Stlačenie triesky K	$K = \frac{h_c}{h} = \frac{\cos(\Phi_1 - \gamma_n)}{\sin \Phi_1}$	h - hrúbka odrezávanej vrstvy [mm]
Uhol strižnej roviny Φ_1	$\text{tg } \Phi_1 = \frac{\cos \gamma_n}{K - \sin \gamma_n}$	h_c - hrúbka triesky [mm] γ_n - uhol čela
Rýchlosť odvádzania triesky v_{ch} [m/min]	$v_{ch} = v_c \frac{\sin \Phi_1}{\cos(\Phi_1 - \gamma_n)}$	v_c - rezná rýchlosť [m/min]
Deformácia triesky γ_{sh}	$\gamma_{sh} = \frac{\cos \gamma_n}{\cos(\Phi_1 - \gamma_n)} = \cot g \Phi_1 + \text{tg}(\Phi_1 - \gamma_n)$	
Strižná rýchlosť v_{sh} [m/min]	$v_{sh} = v_c \frac{\cos \gamma_n}{\cos(\Phi_1 - \gamma_n)}$	
Rýchlosť deformácie v strižnej rovine $\dot{\gamma}_{sh}$ [s^{-1}]	$\dot{\gamma}_{sh} = \frac{v_{sh}}{\Delta} = v_c \frac{\cos \gamma_n}{\cos(\Phi_1 - \gamma_n) \cdot \Delta}$	Δ - hrúbka strižnej roviny [mm]
Uhol textúry triesky Φ_2	$\Phi_2 = \Phi_1 + \psi$ ψ - doplnkový uhol	$\cot g \psi = \frac{\gamma_{sh}}{2} \pm \sqrt{1 + \frac{\gamma_{sh}^2}{4}}$

Tab.1.5 Súhrn vzťahov pre pracovné uhly vplyvom kinematiky rezania

Pozdĺžne sústruženie	$\gamma_{fe} = \gamma_f + \eta_e$ $\alpha_{fe} = \alpha_f - \eta_e$	$\text{tg } \eta_e = \frac{v_f}{v_c}$	$\varphi_e = 90^\circ$
Priečne sústruženie	$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta_e$ $\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta_e$	$\text{tg } \eta_e = \frac{v_f}{v_c}$	$\varphi_e = 90^\circ$
Valcové frézovanie (súbežné a protibežné)	$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta_e$ $\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta_e$	$\text{tg } \eta_e = \frac{\sin \varphi_e}{\frac{v_c}{v_f} + \cos \varphi_e}$	$\varphi_e \neq 90^\circ$

Tab.1.6 Súhrn vzťahov pre prierezy odrezávaných vrstiev

Sústruženie $a_p \gg r_\epsilon$	$S = a_p \cdot f = b \cdot h$ [mm ²]	prierez odrezávanej vrstvy
Hobl'ovanie (obrážanie)	$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$ [mm]	šírka odrezávanej vrstvy
a_p – hĺbka rezu [mm]		
f – posuv [mm]		
posuv na otáčku (sústruženie); posuv na dvojzdvih (hobl'ovanie)	$h = f \cdot \sin \kappa_r$ [mm]	hrúbka odrezávanej vrstvy
Sústruženie pri $a_p \geq r_\epsilon$	$h_m \approx \frac{S}{\ell_r}$ [mm]	
ψ_r – doplnkový uhol nastavenia reznej hrany	$\ell_r \approx a_p - r_\epsilon \frac{1 - \sin \psi_r}{\cos \psi_r} + \pi \cdot r_\epsilon \left(\frac{90^\circ - \psi_r}{180} \right) + \frac{f}{2}$ [mm]	
	h_m - stredná hrúbka odrezávanej vrstvy pre sústruženie pri $a_p \geq r_\epsilon$	
	ℓ_r - dĺžka reznej hrany v zábere pre sústruženie pri $a_p \geq r_\epsilon$	
Valcové frézovanie (súbežné a protibežné)		maximálny prierez odrezávanej vrstvy
D – priemer frézy [mm]	$S_{\max} = \frac{f_z \cdot D}{2 \cdot \sin \lambda_s} \sum_{z=1}^{z_j} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$ [mm ²]	
f_z – posuv na zub [mm]		$\varphi_1; \varphi_2$ – uhly záberu zubov na reznej ploche
φ – uhol záberu zuba	$z_j = \frac{\varphi_{\max} \cdot z}{360^\circ}$	počet zubov frézy v zábere na reznej ploche
a_e – záberová veličina [mm]	$\varphi_{\max} = \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot a_e}{D} \right)$	maximálny uhol záberu zuba frézy
z – počet zubov frézy	$h_{\max} = f_z \cdot \sin \varphi_{\max}$ [mm]	maximálna hrúbka odrezávanej vrstvy
	$S_m = h_m \cdot B$ [mm ²]	stredný prierez odrezávanej vrstvy
	$h_m = \frac{114,6}{\varphi_{\max}^\circ} f_z \frac{a_e}{D}$ [mm]	stredná hrúbka odrezávanej vrstvy
Čelné frézovanie	$S = b \cdot h$ [mm ²]	prierez odrezávanej vrstvy
D – priemer frézy [mm]	$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$ [mm]	
f_z – posuv na zub [mm]	$h = f \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa_r$ [mm]	okamžitá hrúbka odrezávanej vrstvy
φ – uhol záberu zuba	$S_{\max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \kappa_r \sum_{z=1}^{z_{j,\max}} \sin \varphi$ [mm ²]	maximálny prierez odrez. vrstvy
a_e – záberová veličina [mm]	$z_j = \frac{\varphi_{\max} \cdot z}{360^\circ} + 1$	maximálny počet zubov v zábere na reznej ploche
κ_r - uhol nastavenia reznej hrany	$\varphi_{\max} = \arccos \frac{2 \cdot a_e}{D}$	maximálny uhol záberu zuba frézy
	$h_m = \frac{114,6}{\varphi_{\max}^\circ} f_z \cdot \sin \kappa_r \frac{a_e}{D}$ [mm]	stredná hrúbka odrezávanej vrstvy
	$S_m = h_m \cdot b$ [mm]	stredný prierez odrezávanej vrstvy

Tab.1.6 Súhrn vzťahov pre prierezy odrezávaných vrstiev - pokračovanie

Vrtanie (skrutkový vrták s dvomi reznými hranami) a_p – hĺbka rezu [mm] f – posuv na otáčku [mm] D – priemer vrtáka [mm]	$S = a_p \cdot f = b \cdot h$ [mm ²] $a_p = 0,5 \cdot D$ [mm] - vrtanie do plna $a_p = 0,5 \cdot (D - d)$ [mm] - vrtanie do predvrtaného otvoru d – priemer predvrtania otvoru [mm] $b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$ [mm] $h = \frac{f}{2} \sin \kappa_r$ [mm]	prierez odrezávanej vrstvy šírka odrezávanej vrstvy hrúbka odrezávanej vrstvy
Vyhrubovanie Vystružovanie z – počet rezných hrán	$S = a_p \cdot f = b \cdot h$ [mm ²] $a_p = 0,5 \cdot (D - d)$ [mm] $h = \frac{f}{z} \sin \kappa_r$ [mm]	prierez odrezávanej vrstvy d – priemer predvrtania otvoru [mm] hrúbka odrezávanej vrstvy
Obvodové brúsenie	$S = h_m \cdot b$ [mm ²] b – šírka brúsenia [mm] $h_m = \frac{v_o}{60 \cdot v_c} a_e$ [mm] v_o – rýchlosť obrobku pri brúsení [m/min] v_c – rýchlosť brúsneho kotúča [m/s] a_e – záberová hĺbka brúsneho kotúča [mm] $h \approx k \frac{v_o}{v_c} \sqrt{\frac{a_e}{D_e}}$ [mm] k – stredný rozstup brúsnych zrn v kotúči ako funkcia zrnitosti brúsneho kotúča (tabelované hodnoty) $D_e = \frac{D_o \cdot D_k}{D_o \pm D_k}$ [mm] D_o – priemer obrobku [mm] D_k – priemer brúsneho kotúča [mm] znamienko plus (+) platí pre brúsenie vonkajšej plochy znamienko mínus (–) platí pre brúsenie vnútornej plochy	stredná hrúbka odrezávanej vrstvy okamžitá hrúbka odrezávanej vrstvy ekvivalentný priemer brúsenia

Tab.1.7 Súhrn hlavných vzťahov pre zložky reznej sily

Voľné rezanie	Pozdĺžne sústruženie
podľa strižného napätia	podľa rezného odporu C_{Fc} , C_{Ff} , C_{Fp} a šiestich exponentov (x_{Fc} , y_{Fc} , x_{Ff} , y_{Ff} , x_{Fp} , y_{Fp}) (Boston a Kraus, 1934)
$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_c \\ F_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta - \gamma_n) \\ \cos(\Phi_1 + \beta - \gamma_n) \\ \sin(\beta - \gamma_n) \\ \cos(\Phi_1 + \beta - \gamma_n) \end{bmatrix} \frac{\tau_{sh} \cdot b \cdot h}{\sin \Phi_1}$	$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (\text{hlavná zložka})$
uhol strižnej roviny	$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (\text{posuvová zložka})$
$\Phi_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta - \gamma_n}{2}$	$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \quad [\text{N}] \quad (\text{pasívna zložka})$
uhol trenia na čelnej ploche rezného klina	podľa špecifického rezného odporu $k_{c1.1}$, $k_{f1.1}$, $k_{p1.1}$ a troch exponentov c , x , y (Kienzle a Victor, 1956)
$\beta = \arctg \mu$	$F_c = k_{c1.1} \cdot b \cdot h^{1-c} \quad [\text{N}] \quad (\text{hlavná zložka})$
stredný koeficient trenia na čelnej ploche	$F_f = k_{f1.1} \cdot b \cdot h^{1-x} \quad [\text{N}] \quad (\text{posuvová zložka})$
$\mu = \frac{F_f + F_c \cdot \tg \gamma_n}{F_c - F_f \cdot \tg \gamma_n}$	$F_p = k_{p1.1} \cdot b \cdot h^{1-y} \quad [\text{N}] \quad (\text{pasívna zložka})$

Tab.1.8 Súhrn vzťahov pre hlavnú zložku reznej sily podľa rezného odporu

Technologická metóda	Vzťah	Obrábanie uhlíkovej ocele
Sústruženie	$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}}$	$F_c = 2085 \cdot a_p^{0,97} \cdot f^{0,81}$
Frézovanie	$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f_z^{y_{Fc}} \cdot B^{z_{Fc}} \cdot z \cdot D^{q_{Fc}}$ z – počet zubov frézy	$F_c = 700 \cdot a_p^{1,10} \cdot f_z^{0,8} \cdot B^{0,75} \cdot z \cdot D^{1,10}$ B – šírka frézovania [mm] D – priemer frézy [mm]
Vrtanie do plna	$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}}$	$F_c = 780 \cdot D^{0,97} \cdot f^{0,8}$ D – priemer vrtáka [mm]
Brúsenie	$F_c = C_{Fc} \cdot v_c^{z_{Fc}} \cdot a_e^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}}$	$F_c = 21 \cdot v_c^{0,71} \cdot a_e^{0,62} \cdot f^{0,71}$

Tab.1.9 Súhrn vzťahov pre hlavnú zložku reznej sily podľa merného rezného odporu

Sústruženie	$F_c = k_{c1.1} \cdot b \cdot h^{1-c} \quad [\text{N}]$	$k_{c1.1}$ – tabelovaná hodnota merného rezného odporu [N/mm^2]
Hobl'ovanie/obrážanie	b – šírka odrezávanej vrstvy [mm]	
Vrtanie	h – hrúbka odrezávanej vrstvy [mm]	
Vystružovanie		c – exponent
Čelné frézovanie (stredná hodnota hlavnej zložky reznej sily F_c [N])	$F_c = k_{c1.1} \cdot b \cdot \left(\frac{114,6}{\varphi_2^0 - \varphi_1^0} f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \frac{a_e}{D} \right)^{1-c}$ a_e – záberová šírka κ_r – uhol nastavenia hlavnej reznej hrany	φ_1^0 – počiatočný uhol záberu frézy v stupňoch φ_2^0 – uhol výstupu frézy zo záberu v stupňoch
Valcové frézovanie (stredná hodnota hlavnej zložky reznej sily F_c [N])	$F_c = k_{c1.1} \cdot b \cdot \left(\frac{114,6}{\varphi^0} f_z \cdot \frac{a_e}{D} \right)^{1-c}$	φ^0 – záberový uhol v stupňoch D – priemer frézy [mm]

Tab.1.10 Súhrn hlavných vzťahov pre tepelné javy pri obrábaní

Bilancia tepla pri obrábaní: $Q = Q_{sh} + Q_t + Q_f = Q_{nástroj} + Q_{obrobok} + Q_{trieska} + Q_{prostredie}$ [Joule]	
Q_{sh} – teplo generované strižnou deformáciou	$Q_{obrobok} \approx 20 \div 36 \%$
Q_t – teplo generované trením na čelnej ploche rezného klina	$Q_{trieska} \approx 86 \div 52 \%$
Q_f – teplo generované trením na chrbtovej ploche rezného klina	$Q_{prostredie} \approx 1 \div 5 \%$
	$Q_{nástroj} \approx 3 \div 7 \%$
Percentuálne hodnoty odvedeného tepla sú premenlivé	
Stredná teplota v reznom klíne:	$\theta_m = C_\theta \cdot v_c^{a_{10}} \cdot f^{a_{20}} \cdot a_p^{a_{30}}$ [°C]
Stredná teplota je najčastejšie meraná termočlánkami	C_θ – konštanta určovaná spracovaním meraných výsledkov a_{10} – exponent vyjadrujúci vplyv reznej rýchlosti a_{20} – exponent vyjadrujúci vplyv posuvu na otáčku a_{30} – exponent vyjadrujúci vplyv hĺbky rezu
Stredná teplota v trieske	$\theta_m = E \cdot \sqrt{\frac{v_c \cdot h}{\lambda \cdot \rho \cdot c}}$ [Kelvin]
λ [W.K ⁻¹ .m ⁻¹] – merná tepelná vodivosť materiálu obrobku	Pozn. Pri výpočte musí byť v_c a h uvádzané v základných jednotkách [m.s ⁻¹] a [m]
ρ [kg.m ⁻³] – merná hmotnosť materiálu obrobku	
c [Joule.kg ⁻¹ .K ⁻¹] – merné teplo materiálu obrobku	
E [Joule.m ⁻³] – energia potrebná na úber odrezávanej vrstvy	
Stredná a maximálna teplota obrobku pri rovinnom brúsení podľa Jaeger-Carslawovho zákona	
	$\theta_m = \frac{0,754 \cdot q \cdot \ell_c}{\lambda \cdot \sqrt{L}}$ [K] $\theta_{max} = 1,5 \cdot \theta_m$ [K]
$L = \frac{v_o \cdot \ell_c}{a}$	bezrozmerná dĺžka tepelného zdroja pri brúsení
$\ell_c = \sqrt{D_k \cdot a_e}$ [m]	dĺžka kontaktu brúsneho kotúča s obrobkom
q [W/m ²]	plošná hustota tepla na kontaktnej dĺžke
$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ [m ² .s ⁻¹]	teplotná difuzivita obrobku
λ [W.K ⁻¹ .m ⁻¹]	merná tepelná vodivosť obrobku

Tab.1.11. Rovnice trvanlivosti reznej hrany

Autor, rok	Rovnica	Poznámky
Taylor (1907)	$T = C_{TV} \cdot v_c^m$ [min]	C_{TV} - konštanta $T(v_c)$ závislosti m - exponent
Norma ISO 36 85 (1977)	$v_c \cdot T^{1/m} = C_{[ISO]}$ [m/min]	$C_{[ISO]}$ - konštanta
Tzv. komplexná Taylorova rovnica vyjadrujúca vplyv rezných podmienok na trvanlivosť reznej hrany	$T = C_T \cdot v_c^m \cdot f^{x_T} \cdot a_p^{y_T}$	C_T - konštanta m, x_T, y_T - exponenty v_c - rezná rýchlosť [m/min] f - posuv na otáčku [mm] a_p - hĺbka rezu [mm]
Temčín (1957)	$T = C_{TV} \cdot (v_c^m + C_{TV} / T_{max})$	T_{max} - maximálna trvanlivosť
Wu (1963)	$T = C_{TV} (v_c^{a+b} \cdot v_c)$	a, b - súčiniteľ
König a Deperieux (1969)	$T = \exp\left(\frac{k_{vc}}{m} v_c^m + \frac{i_f}{n} f^n + c\right)$	k_{vc}, i_f - súčiniteľ c - konštanta n - exponent
Beňo (1986)	$T = C_{[ap/f]} \cdot v_c^m \cdot \left(\frac{a_p}{f}\right)^x$	x - exponent pre vplyv celočíselného pomeru a_p/f na trvanlivosť reznej hrany $C_{[ap/f]}$ - charakteristická konštanta
Kundrák (1996)	$T = \frac{C_{T1}}{v_c^3 + C_{T2} \cdot v_c^2 + C_{T3} \cdot v_c}$	C_{T1}, C_{T2}, C_{T3} - - charakteristické konštanty

Tab.1.12 Súhrn vzťahov pre výpočet hlavného (strojového) času

Základný vzťah	$t_h = \frac{L}{v_f} i$ [min]	L – dĺžka strojového posuvu [mm] v _f – rýchlosť posuvu [m/min] i – počet záberov pri delení prídavku na obrábanie p – prídavok na obrábanie (tiež aj ako tabelované hodnoty) [mm] a _p ; a _e – hĺbka rezu, šírka záberu [mm]
Pozdĺžne sústruženie rotačnej plochy i ≥ 1	$t_h = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot f} i$	L = ℓ ₁ + ℓ + ℓ ₂ [mm] ℓ - dĺžka obrábanej plochy [mm] ℓ ₁ ; ℓ ₂ – dĺžka nábehu a výbehu noža [mm] D – priemer obrobku [mm] v _c – rezná rýchlosť [m/min]
Pozdĺžne sústruženie kužeľovej plochy konštantnými otáčkami vretena i ≥ 1	$t_h = \frac{\pi \cdot (D_1 + D_2) \cdot L}{2 \cdot 1000 \cdot v_c \cdot f} i \cdot \sqrt{L^2 + 0,25(D_1 + D_2)^2}$	D ₁ – veľký priemer kužeľa [mm] D ₂ – malý priemer kužeľa [mm]
Čelné sústruženie i ≥ 1	a) konštantné otáčky vretena $t_h = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot f} i$	$L = \frac{D}{2} + \ell_1$ D – priemer obrobku [mm]
	b) konštantná rezná rýchlosť pri plynulej regulácii otáčok vretena sústruhu $t_h = \frac{\pi \cdot (D^2 - D_0^2)}{4 \cdot 1000 \cdot v_c \cdot f} i$	D ₀ – konečný priemer čelnej plochy umožňujúci použitie konštantnej reznej rýchlosti D ₀ ≈ 0,25 · D D – priemer obrobku [mm]
Valcové frézovanie i ≥ 1	$t_h = \frac{L}{v_f} i$	L = ℓ ₁ + ℓ + ℓ ₂ [mm] ℓ ₁ + ℓ ₂ = 3 + √(D · a _e - a _e ²) [mm] (hrubovacie operácie) ℓ ₁ + ℓ ₂ = 3 + 2√(D · a _e - a _e ²) [mm] (frézovanie na čisto) D – priemer frézy [mm]
Čelné symetrické frézovanie i ≥ 1	$t_h = \frac{L}{v_f} i$	ℓ ₁ + ℓ ₂ = 3 + $\frac{D}{2} - 0,5 \cdot \sqrt{D^2 - a_e^2}$ [mm] (hrubovacie operácie) ℓ + ℓ ₂ = 3 + D [mm] (frézovanie na čisto)
Vítanie i = 1	$t_h = \frac{L}{v_f} i$	$L = \ell + 1 + \frac{D}{2 \cdot \text{tg } \kappa_r}$ [mm] – vítanie do plna $L = \ell + 3 + \frac{D}{2 \cdot \text{tg } \kappa_r}$ [mm] – vítanie do predvítaného otvoru
Vyhrubovanie a vystružovanie i = 1	$t_h = \frac{L}{v_f} i$	L = ℓ + 6 mm - vyhrubovanie otvorov L = ℓ + D [mm] – vystružovanie otvorov

Tab.1.12 Súhrn vzťahov pre výpočet hlavného (strojového) času pokračovanie

Preťahovanie $i = 1$	$t_h = \frac{\ell_n + 1,5 \cdot \ell}{1000 \cdot v_c}$	ℓ_n – dĺžka preťahovacieho trňa [mm] ℓ – dĺžka preťahovanej plochy [mm]
Hobľovanie a obrážanie $i \geq 1$	$t_h = \frac{B}{f \cdot n_D} \cdot i$ $n_D = \frac{1000 \cdot v_m}{2 \cdot L}$ $v_m = 2 \cdot v_c \cdot \frac{q}{q+1}$ $q = \frac{v_{sp}}{v_c}$	n_D – počet dvojdvihov pri hobľovaní [1/min] B – šírka hobľovania/obrážania [mm] $L = \ell_1 + \ell + \ell_2$ [mm] $\ell_1 + \ell = 200$ [mm] – pre hobľovanie $\ell_1 + \ell = 20 \div 50$ [mm] – pre obrážanie v_m – stredná rýchlosť do rezu [m/min] $q = 1,4 \div 3,5$ pre hobľovacie stroje $q = 1,4 \div 2$ pre obrážacie stroje v_{sp} – stredná rýchlosť spätného pohybu [m/min]
Obvodové brúsenie $i \geq 1$	$t_h = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_o \cdot f} \cdot i$ $L = \ell - 0,3 \cdot B_1$ $i = \frac{D - D_o}{2 \cdot a_e}$	B_1 – šírka brúsneho kotúča [mm] v_o – rýchlosť pohybu obrobku [m/min] f – posuv na otáčku obrobku [mm] D_o – výsledný rozmer obrobenej plochy [mm]
Bezhrtové brúsenie $i \geq 1$	$t_h = \frac{L}{0,95 \cdot \pi \cdot D_R \cdot n_R \cdot \sin \alpha_o} \cdot i$ [min] $L = \ell + B_1$	D_R – priemer podávacieho kotúča n_R – otáčky podávacieho kotúča α_o – uhol sklonu podávacieho kotúča $(\alpha_o = 0,5 \div 3^\circ)$
Brúsenie rovinatej plochy $i \geq 1$	$t_h = \frac{B}{f \cdot n_D} \cdot i$ [min] $n_D = \frac{1000 \cdot v_f}{2 \cdot L}$ [1/min]	v_f – rýchlosť posuvu stola brúsky n_D – počet dvojdvihov stola B – šírka brúsenej plochy L – celkový zdvih stola