

Technologičnost konstrukce při obrábění

4. přednáška

Úvod

- Základem úspěchu strojírenského podniku je zisk
 - Management, konstruktéři, technologové a další pracovníci jej společně vytvářejí. Je proto velmi důležitá spolupráce všech, kteří se na návrhu a realizaci strojírenského výrobku podílejí
 - Výrobní náklady tvoří v průměru asi 40% ceny strojírenských výrobků
 - Technologie obrábění představuje asi 30 - 40% pracnosti všech technologií vstupujících do výrobku a její podíl je velmi významný
- Respektování zásad technologičnosti konstrukce, spolupráce konstrukčního oddělení a dalších podnikových složek s technologickým útvarem, je podmínkou konkurence schopnosti strojírenských podniků
- Za technologicky vhodnou konstrukci lze považovat konstrukci, která kromě základních požadavků na funkci stroje, respektuje:
 - nízké výrobní náklady, nízká pracnost, malá hmotnost,
 - výběr optimálních materiálů,
 - sériovost výroby,
 - metrologii
 - montáž a demontáž, údržby, recyklovatelnost a ekologii
- Technologičnost konstrukce lze tedy chápat jako vhodnost konstrukce z hlediska výroby, ale i dalších aspektů

Technologičnost konstrukce

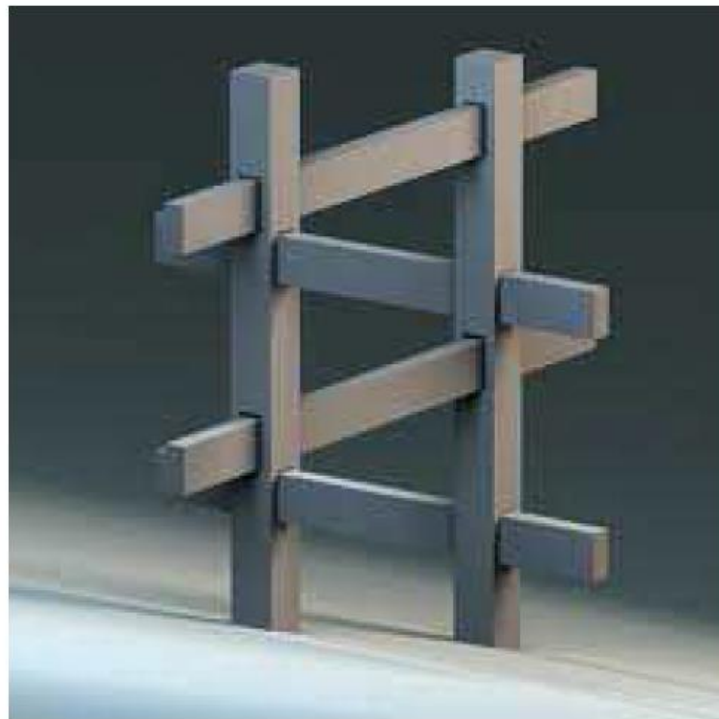
- Technologičnost konstrukce je komplexní pojem s řadou technických, ekonomických a ekologických aspektů, které působí někdy protichůdně.
- Hledá se ideální kompromis
- Rozhodující jsou výrobní náklady na realizaci výrobku, při splnění požadavků na funkční vlastnosti výrobku

Konstrukce

Hlavní požadavky na konstrukci z hlediska výroby:

jednotlivé díly lze

- vyrobit
- smontovat
- slícovat (seřídit)



Design for Manufacturing and Assembly

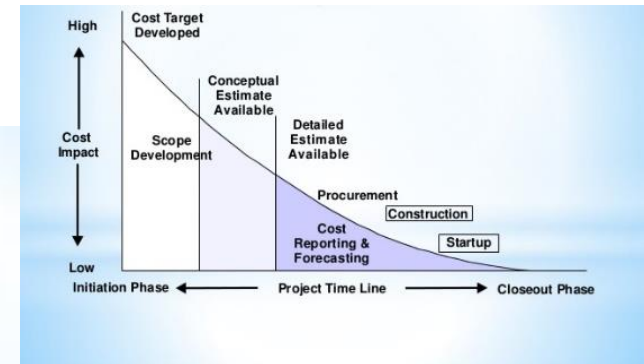
- Design for Manufacturing and Assembly (DFMA, DFM / A nebo DFM / DFA)
- DFMA je kombinací dvou metodik, Design for Manufacturing (DFM) a Design for Assembly (DFA).
- Tato kombinace umožňuje efektivní výrobu a snadnou montáž designu produktu s minimálními výrobními náklady.
- Prostřednictvím použití DFM / A může společnost předcházet, zjišťovat, kvantifikovat a eliminovat plýtvání a neefektivitu výroby v rámci designu produktu
- Využitím DFM / A spolupracují konstruktéři designu a výroby společně jako tým při vývoji výrobních a montážních metod produktu současně s designem
- Konstruktor obvykle navrhne produkt a poté předá výkresy výrobě, která poté určí výrobní a montážní procesy
- Mnoho techniků tyto dva systémy automaticky rozdělují na DFM a DFA
- Aby bylo možné efektivně používat DFM / A, musí obě činnosti pracovat jednotně, aby získaly největší užitek.

Design For Manufacturing (DFM)

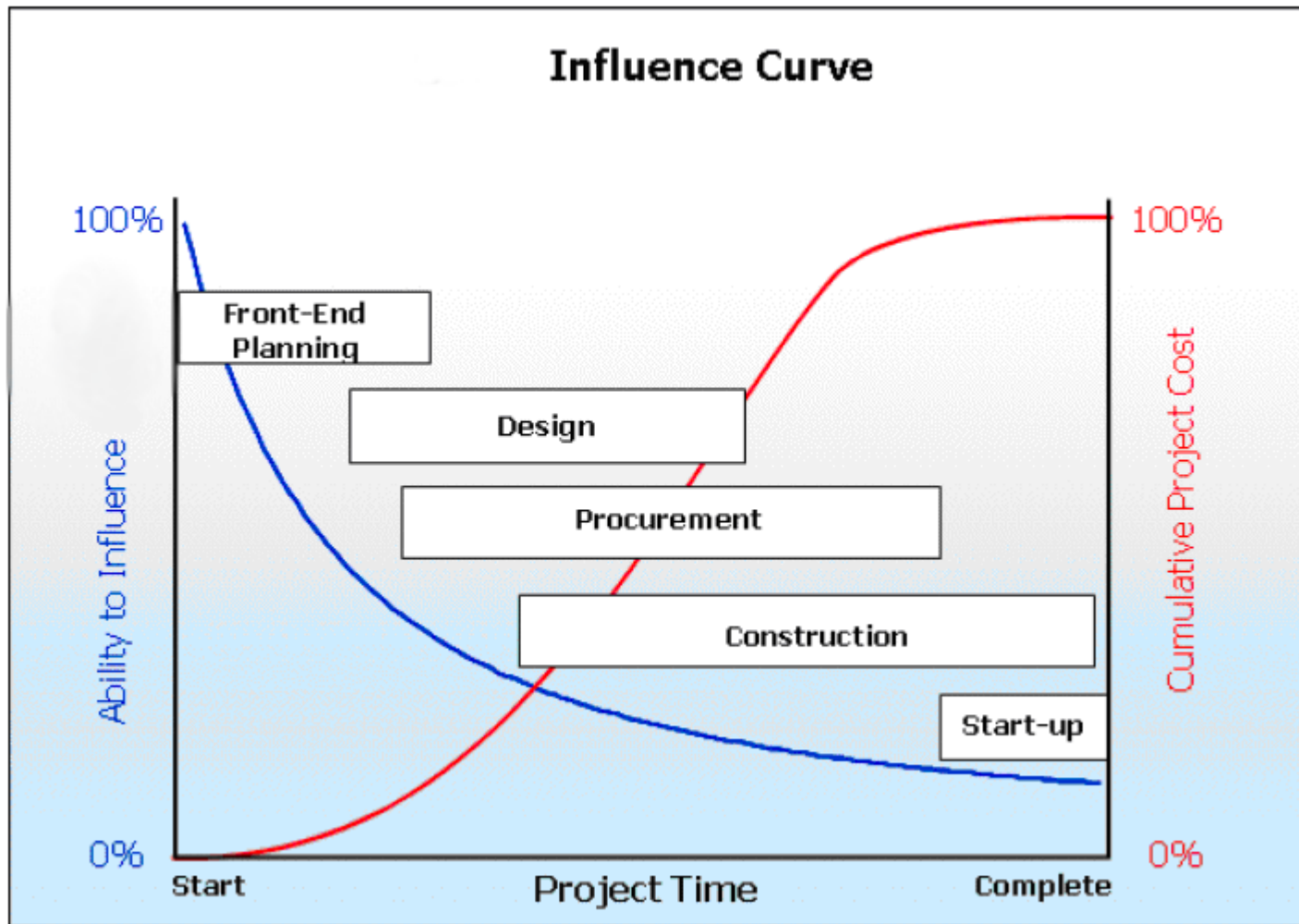
- DFM je optimalizace designu součásti, produktu nebo součásti, aby byla levnější a jednodušší
- DFM zahrnuje efektivní návrh nebo konstrukci objektu, obvykle během fáze návrhu produktu, kdy je to snazší a levnější, aby se snížily výrobní náklady
- DFM umožňuje výrobcům identifikovat chyby a nesrovnalosti a předcházet jim.

Vliv fází projektu na možnost ovlivnění nákladů

Jak se projekt pohybuje vpravo v čase informace o rozsahu, harmonogramu a nákladech se prohlubují a ztěžují rozsah ovlivnění



Vliv fází projektu na možnost ovlivnění nákladů



Základní požadavky na technologičnost konstrukce

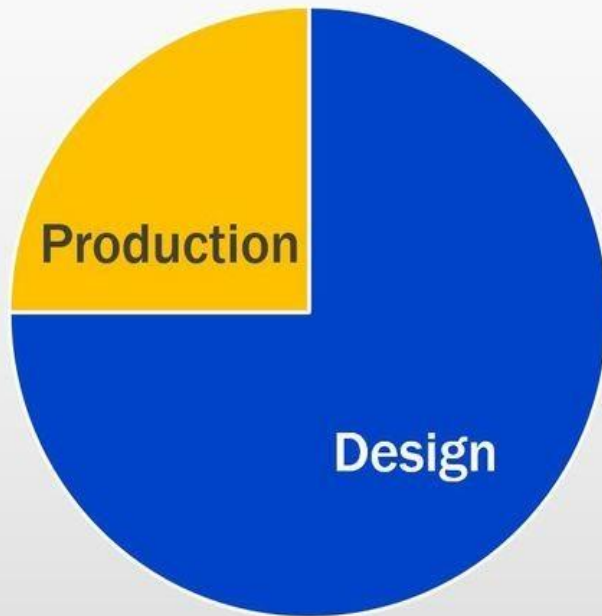
- Minimální výrobní náklady.
- Minimální pracnost výroby a montáže
- Konstrukce co nejjednodušší s požadovanými funkčními parametry
- Konstrukční s jednoduchými tvary
- Používat v maximálně míře normalizované, unifikované a typizované součástky a tvary nebo konstrukční celky
- Vysoká míra dědičnosti konstrukce
- Minimalizace počtu a velikost povrchů dokončovaných obráběním
- Minimální délka výrobního cyklu
- Optimalizace volby polotovaru vyráběné součásti
- Optimalizace materiálu hlediska ceny, druhu, materiálových charakteristik, technologických charakteristik (obrobitelnosti, tvařitelnosti apod.),
- Použití drahých materiálů omezit na nezbytné případy
- Obráběcí nástroje mají snadný přístup k obráběným plochám
- Omezení speciálního nářadí na nezbytné případy, v kusové výrobě nepoužívat
- Požadované kvalitativní parametry by měly být nezbytně nutné

Další aspekty technologičnosti konstrukce

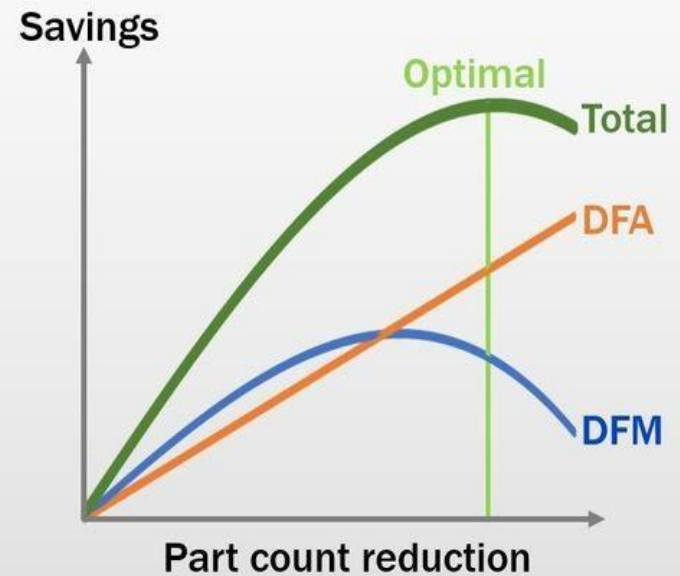
- Sériovost výroby
 - Významným způsobem ovlivňuje technologičnost konstrukce
 - Konstrukce bude jiná v případě hromadné a kusové, resp. malosériové výroby
 - U hromadné a velkosériové výroby lze použít jednoúčelově koncipovaná výrobní zařízení, speciální nářadí a přípravky.
 - Nelze účelně konstruovat strojírenský výrobek bez předem známého počtu vyráběných kusů
- Výrobní zařízení podniku
 - Důležité hledisko
 - Pokud konstruktér vychází pouze z obecných možností dané technologie a ne z množností daného podniku, výroba dané součásti bude v daném podniku nemožná nebo velmi nákladná
 - Vyvolané investice do nového výrobního zařízení
 - Nutnost kooperace (nákupu) prací v jiném podniku

DFM – DFA úspory

Production cost influencers

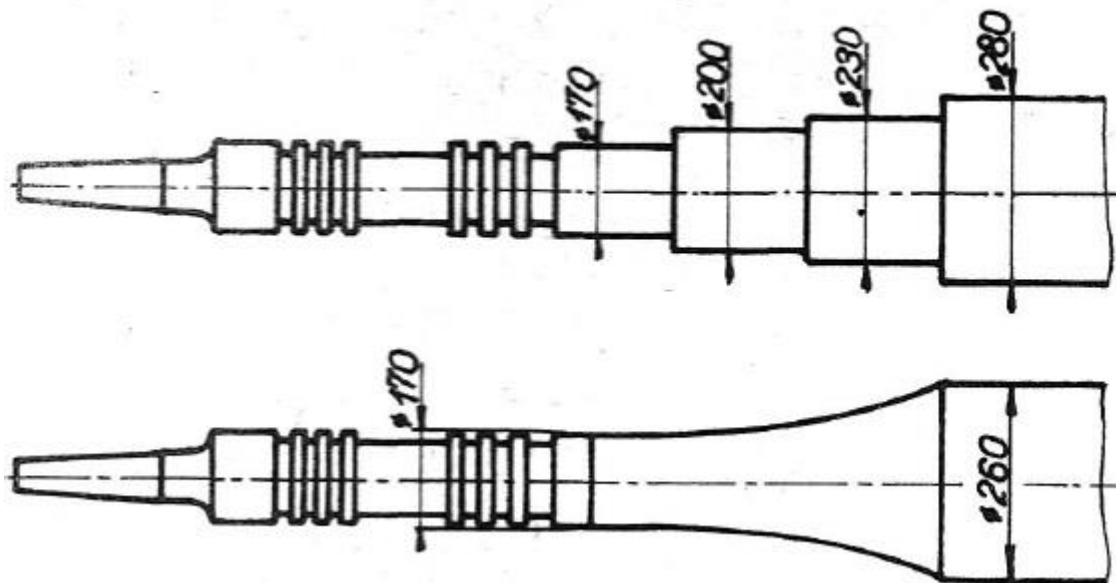


DFM – DFA savings

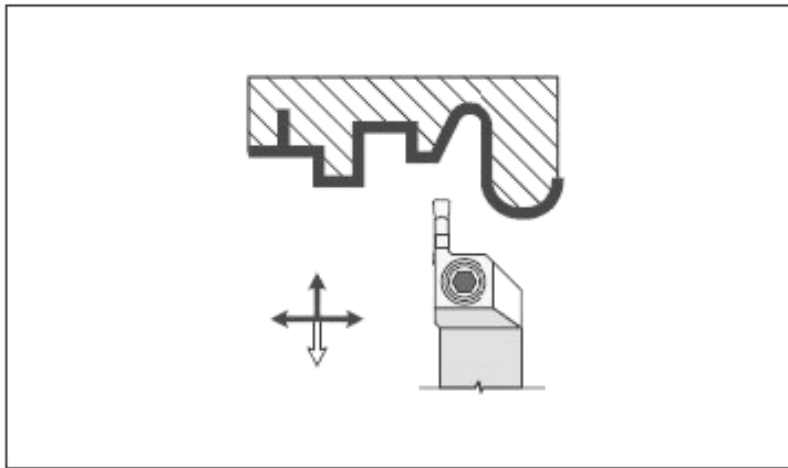


Vliv NC strojů na technologičnost konstrukce

- Vývoj výrobních zařízení CNC obráběcích strojů je velmi rychlý
- Neustále se rozšiřují výrobní možnosti z hlediska tvarů vyráběných ploch, dosahované přesnosti, resp. kvality povrchů
- Výrobní zařízení velmi silně ovlivňují technologičnost konstrukce
- Výroba řady tvarových ploch je dnes principiálně jednoduchou záležitostí a na konvenčních obráběcích strojích je obrábění těchto ploch obtížné nebo nemožné
- Na CNC strojích lze NC programem např. obrábět tvarově složité rotační plochy
 - viz obr. Bez NC řízení je nutné toto řešit většinou osazováním



Nůž pro vnější soustružení

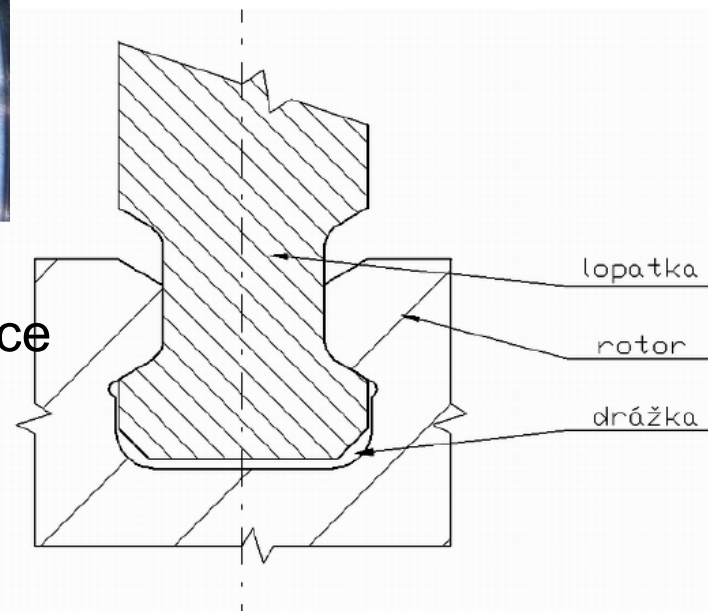


Obrábění drážek pro lopatky



Rotor při montáži lopatek

Schéma lopatky v drážce



Vliv parametrů páry na obrobitelnost

Příklad chemického složení materiálu

Ocel	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	Mo	V	Ti
ČSN 17126 (T58)	0,16÷0,22	0,6÷1	0,6	11÷12,5	0,5÷1	1,6÷2,2	-	0,1÷0,25	-
ČSN 17134	0,17÷0,23	0,5÷1	0,25÷0,6	10÷12,5	0,3÷0,8	-	0,8÷1,2	0,2÷0,35	-
ČSN 17135	0,17÷0,24	0,5÷1	0,25÷0,6	10,6÷12,5	0,3÷0,8	0,4÷0,8	0,4÷0,7	0,2÷0,35	0,03÷0,15

Ocel ČSN 17135 je obdobou zahraniční oceli Turbotherm a navíc obsahuje malé množství Ti.

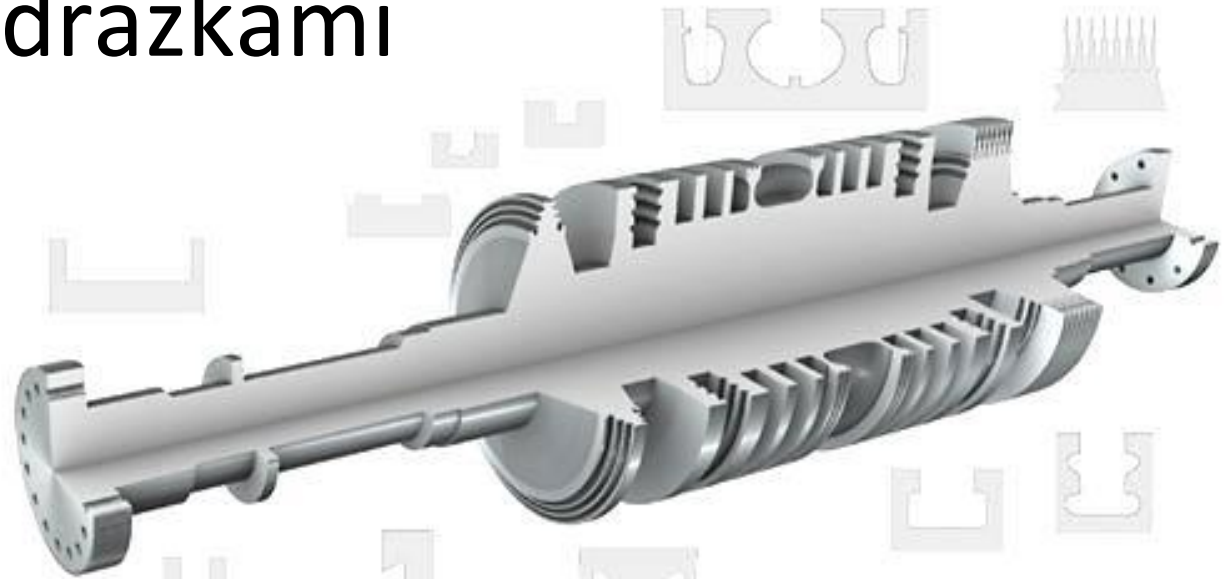
Ocel ČSN 17126 (T58) byla vyvinuta ve společnosti ŠKODA Plzeň a je vhodná pro menší a střední výkovky.

Provozní parametry:

Cca 630 C
28 – 30 Mpa

Trend
700 C
35 MPa

Rotor parní turbíny s jednotlivými možnými drážkami



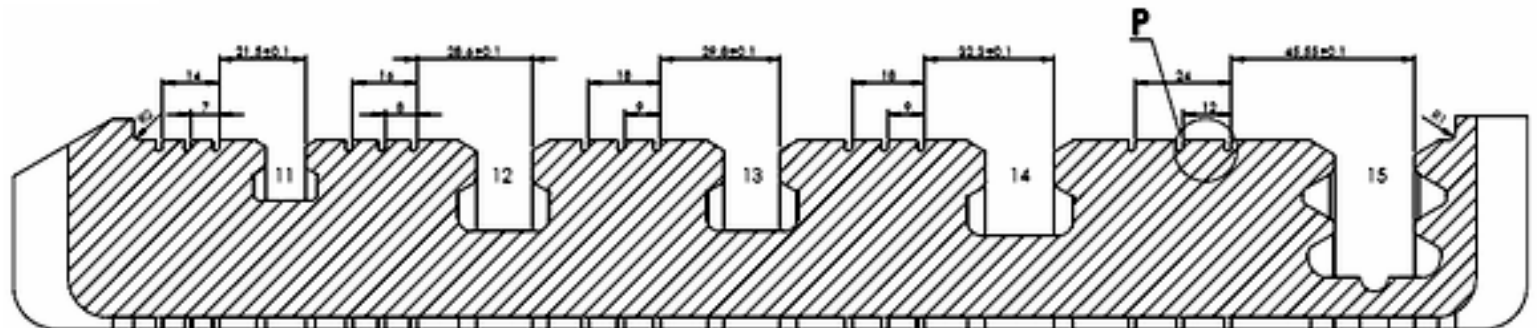
Detail drážek

ČÍSLO VÝKRESU
DRAŽKY ZÁVĚSU 12-13
E 4-19256

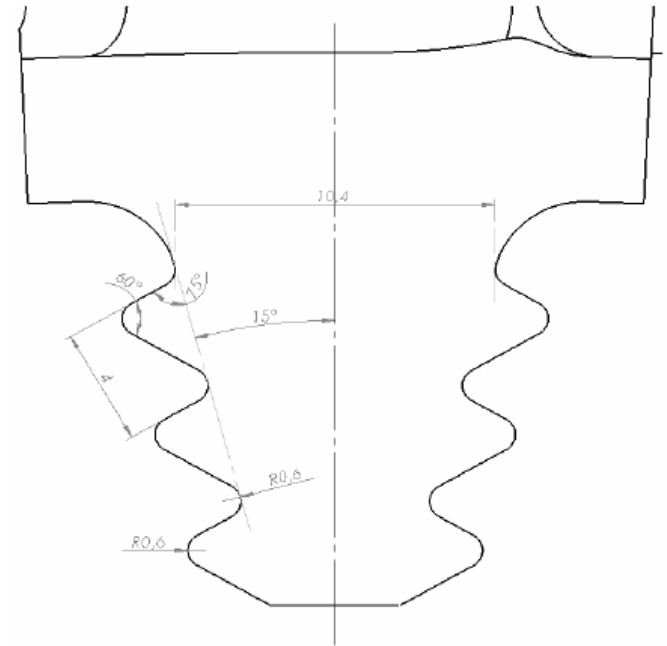
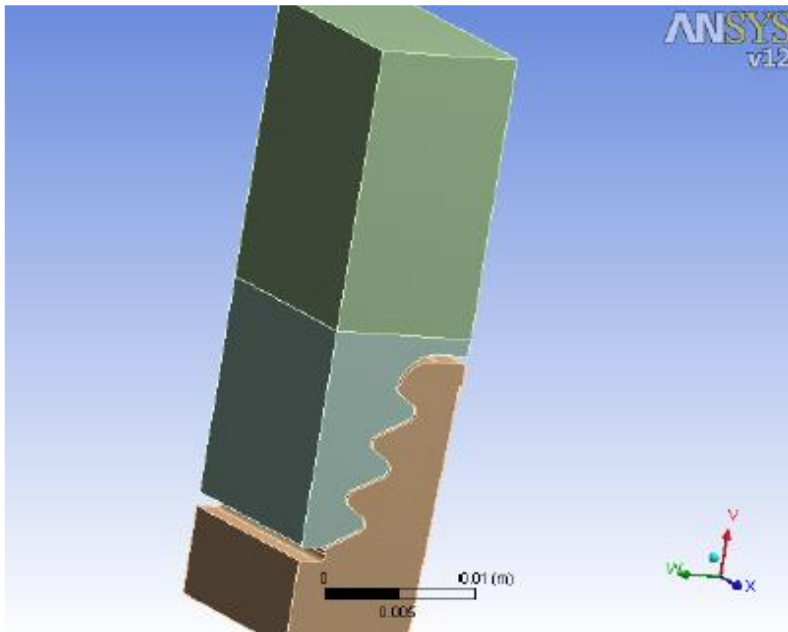
DETAIL G
1:1

ČÍSLO VÝKRESU
DRAŽKY ZÁVĚSU 14
E 4-23547

ČÍSLO VÝKRESU
DRAŽKY ZÁVĚSU 15
E 4-22718



Model geometrie části závěsu lopatky



Parametrizace tvaru zubu pro závěs lopatky

vrcholový úhel

δ

úhel sklonu opěrné plochy

β

rozteč zubů

z

radius

r

Další parametry:

úhel rozevření závěsu

α

výška zubu

v

průmět šířky otláčné plochy

b_{otl}

smyková výška zubu

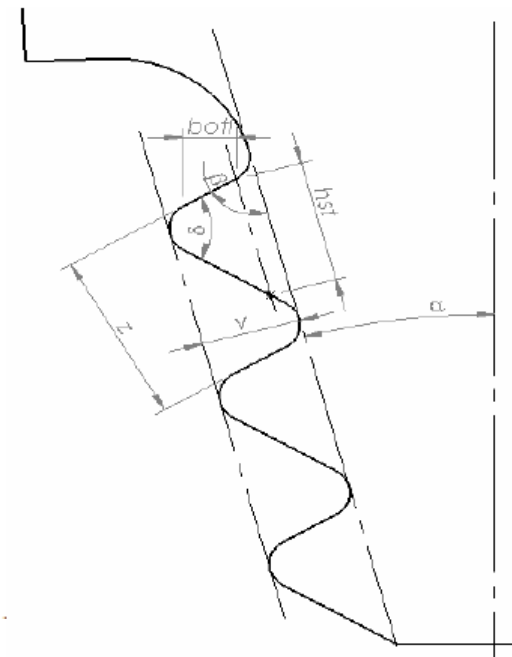
h_{st}

druhý krček

kr_2

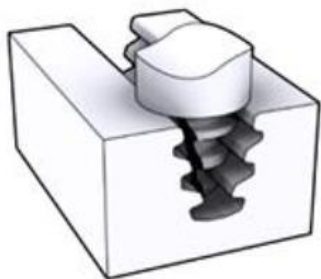
třetí krček

kr_3

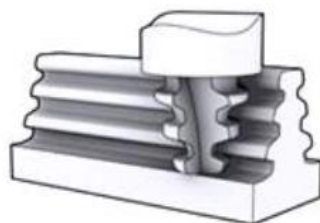


Výroba drážek - frézování

Příklad sady monolitických nástrojů pro vnitřní frézování



Vnitřní frézování
Drážka v rotoru



Vnější frézování
Závěs lopatky



Hrubování



Drážkování



Mezi - rozměry



Polo - dokončování

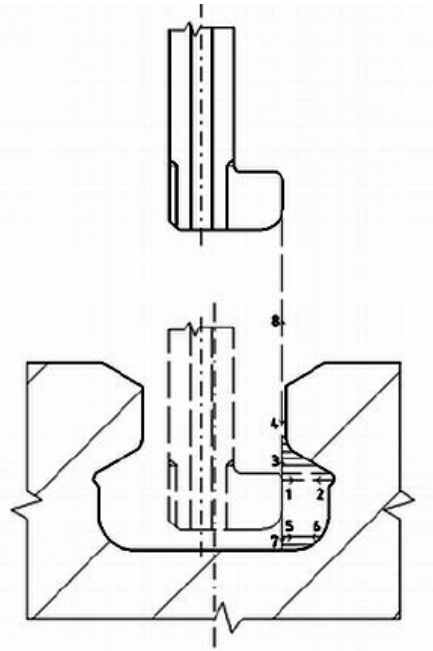
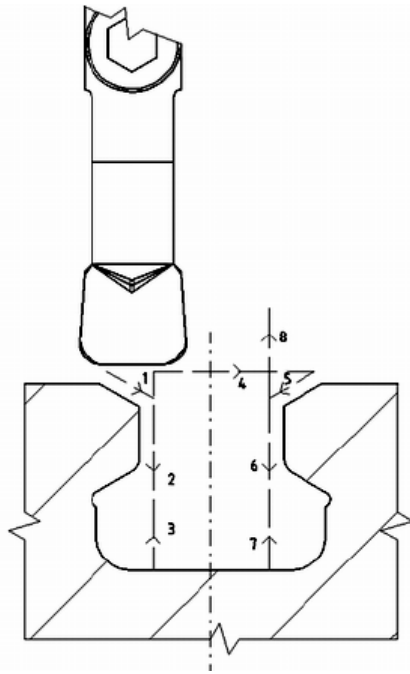


Dokončování

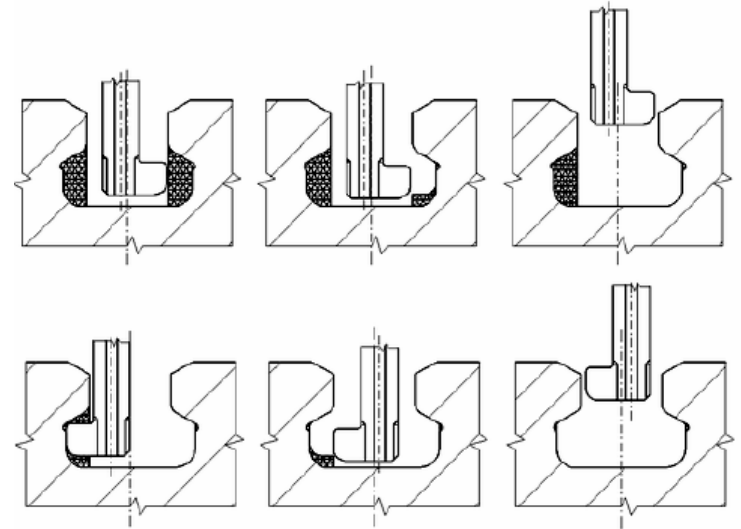


Sada nástrojů

Výroba drážek - soustružení



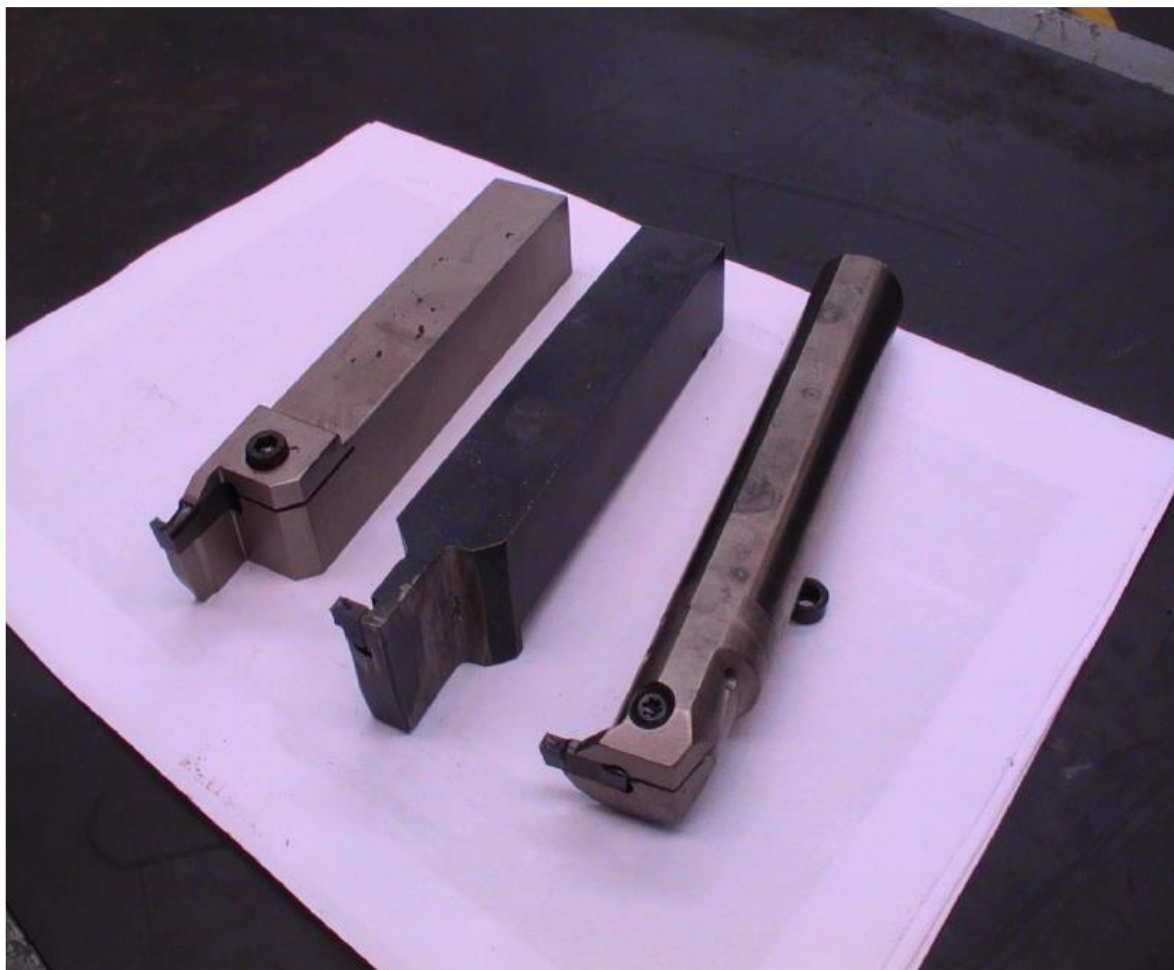
Dráhy nástroje při soustružení tažných hran drážky



Postup při soustružení tažných hran drážky

Dráhy nástroje při soustružení krčku a kapsy drážky

Příklad nožů pro soustružení drážek



Vliv NC strojů na technologičnost konstrukce

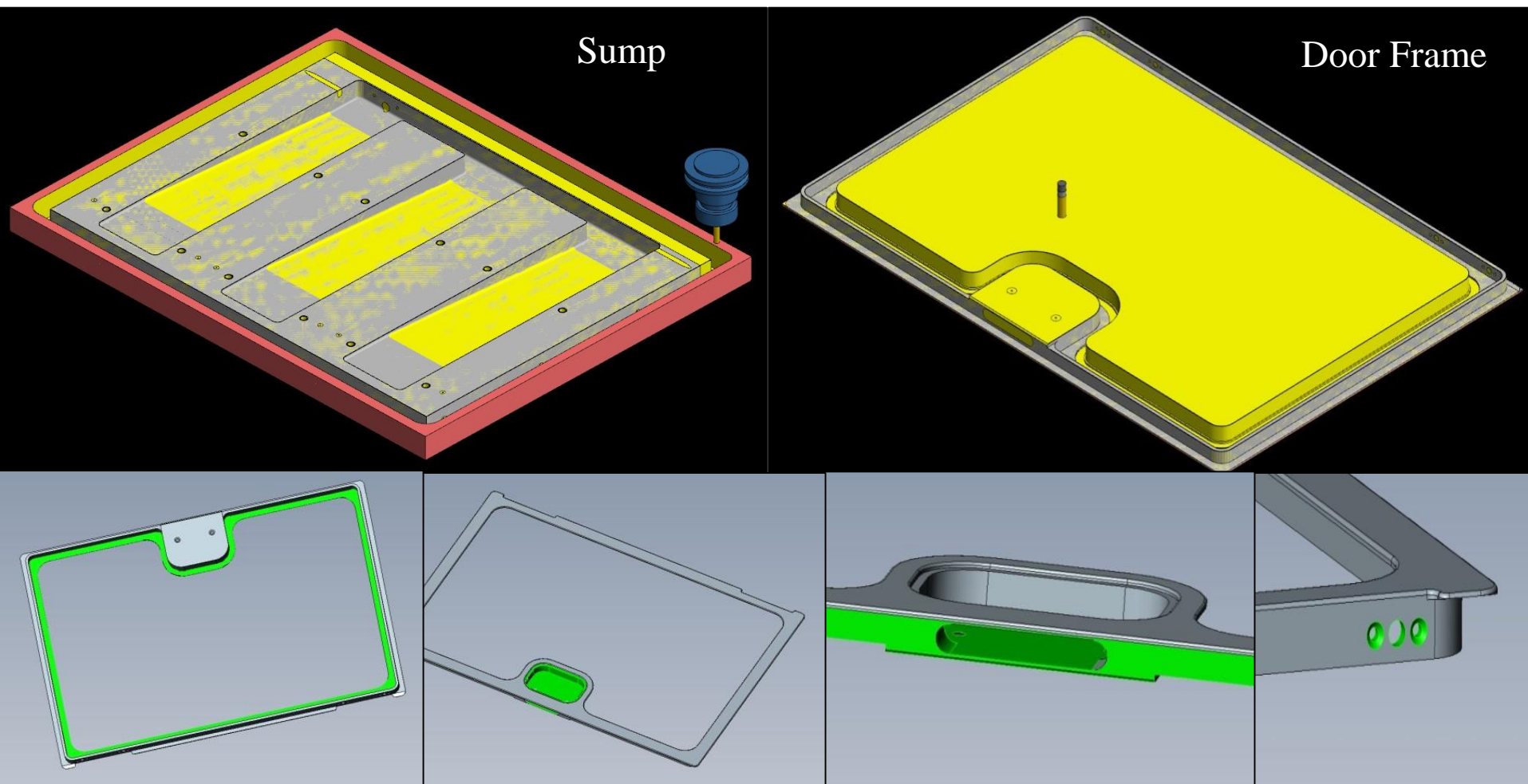
Technologičnost konstrukce v technologii třískového obrábění je nutné, se zřetelem na vývoj obráběcí výrobní techniky, rozlišovat na:

- Technologičnost konstrukce z hlediska obecně platných zásad
- Technologičnost konstrukce z hlediska obrábění na konvenčních obráběcích strojích
- Technologičnost konstrukce z hlediska obrábění na numericky řízených obráběcích strojích
- Na rozdíl od obrábění na konvenčních obráběcích strojích, kdy zásady technologičnosti konstrukce se v zásadě s vývojem obráběcích strojů prakticky nemění, CNC obráběcí techniky reprezentuje stále nové možnosti výroby tvarových ploch
- Zásady technologičnosti konstrukce se mění s rozvojem výrobní techniky
- Zásady technologičnosti konstrukce je tedy nutné neustále přehodnocovat a sledovat vývoj numericky řízených obráběcích strojů.

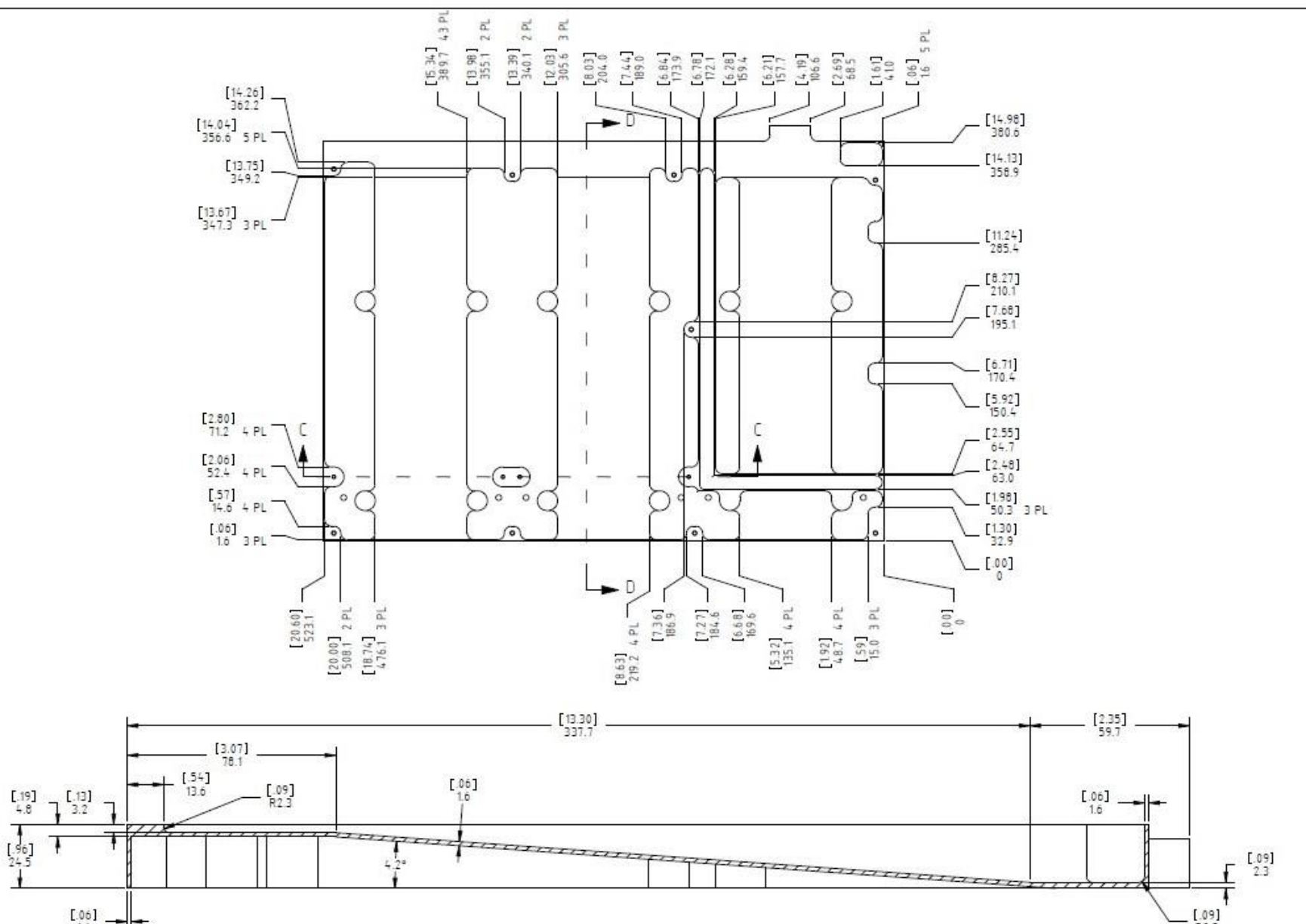
Vliv moderních výrobních strojů na technologičnost konstrukce

- Současné moderní produktivní obráběcí stroje (víceosé, multifunkční, automatizace, technologie – HSC, nové materiály obrobků a nástrojů,) vyžadují od konstrukce polotovaru:
 - Snížení rozsahu obrábění řezáním
 - Dobrá obrobitelnost
 - Snížení pružných deformací
 - Omezení počtu seřizování stroje
 - Dosažení vysoké tvarové a rozměrové přesnosti

Příklad – náhrada konvenčních strojů



Obrábění dílů z hliníku pro letecký průmysl – zvýšení kapacity výroby, snížení nároků na kooperace



SECTION D-D
SCALE 1:1

		<small> DRIESSEN ENGINEERING B.V. PO BOX 1000 3720 BA ZWIJNDRECHT THE NETHERLANDS TEL: +31 (0) 71 355 1111 FAX: +31 (0) 71 355 1112 WWW.DRIESSEN-ENGINEERING.COM </small>
METAL PART SUMP DETAILS		
SIZE C	DWG NO. 660401-5	REVISION NAME: BOON DATE:
SCALE: 1:25 & NOTED	SHEET 2 OF 2	DRAWING PART E E

ČASOVÁ STUDIE
VRTACÍ A FRÉZOVACÍ CENTRUM MCV 750 SPEED



Zákazník:	Firma:	ZODIAC GALLEYS EUROPE
	Adresa:	Univerzitní 34/1119, Plzeň
	Kontakt:	

Prodávající:	Firma:	Kovosvit MAS a.s.
	Adresa:	Nám. T. Bati 419, 391 02, Sezimovo Ústí
	Vyřizuje:	Pfauser Milan
	Telefon:	mobil: 608 959 225
	E-mail:	pfauser@kovosvit.cz
Studie ze dne:		29.10.2018

POPIS OPERACÍ A ŘEZNÉ PODMÍNKY

zákazník: ZODIAC GALLEYS EUROPE číslo výkresu: 675952-33 materiál: AL 5754 H111 datum: 29.10.2018

č.op.	popis	počet operací	počet zubů	d [mm]	Fot Fzub	Vc [m/min]	L [mm]	x,y,z přesun	S [ot/min]	F min mm/min	T [min]	x,y,z [min]	tool-tool [min]	celkem T [min]
1 POLOHA: UPNUTO DO PŘÍPRAVKU														
10	čelo	2	5	63	0,12	400	1 688	2	2 021	1 213	1,39	0,08	0,1	2,96
20	hrubování tvaru	1	4	16	0,08	300	6743	5	5 968	1 910	3,53	0,2	0,1	3,83
30	tvar načisto	3	4	16	0,05	200	750	3	3 979	796	0,94	0,12	0,1	3,05
40	vybrání v kapse	2	4	6	0,045	200	122	2	10 610	1 910	0,06	0,08	0,1	0,31
50	dodělaní tvaru načisto	4	4	4	0,03	150	229	4	11 937	1 432	0,16	0,16	0,1	0,90
60	hrany	3	2	4	0,04	133,4	1035	3	10 616	849	1,22	0,12	0,1	3,88
2 POLOHA: UPNUTO DO PŘÍPRAVKU														
10	čelo	1	5	63	0,12	400	262	1	2 021	1 213	0,22	0,04	0,1	0,36
20	hrubování tvaru	3	4	16	0,08	300	3 956	3	5 968	1 910	2,07	0,12	0,1	6,43
30	tvar načisto	3	4	16	0,05	200	1 026	3	3 979	796	1,29	0,12	0,1	4,09
40	hrany	3	1	12	0,15	200	560	3	5 305	796	0,70	0,12	0,1	2,33
50	hrany	3	3	4	0,03	150	890	3	11 937	1 074	0,83	0,12	0,1	2,71
60	vnitřní obvod hrub.	2	4	12	0,08	300	11 293	2	7 958	2 546	4,43	0,08	0,1	9,05
70	vnitřní obvod načisto	2	4	12	0,05	200	1 473	2	5 305	1 061	1,39	0,08	0,1	2,96
80	otvory Ø 3.7	2	1	3,7	0,08	139	35	2	11 958	957	0,04	0,08	0,1	0,25
90	zahlobení 100°	2	2	10	0,05	50	33	2	1 592	159	0,21	0,08	0,1	0,59
3 POLOHA: UPNUTO DO PŘÍPRAVKU														
10	drážka z boku a šikmé plochy	3	4	8	0,05	200	588	3	7 958	1 592	0,37	0,12	0,1	1,33
20	otvory Ø 2,3	8	1	2,3	0,045	86	20	8	11 902	536	0,04	0,32	0,1	0,72
30	otvory Ø 4,3	4	1	4,3	0,055	162	20	4	11 992	660	0,03	0,16	0,1	0,38
40	zahlobení 100°	8	2	10	0,05	50	12	8	1 592	159	0,08	0,32	0,1	1,02
50	hrany	2	3	4	0,03	150	69	2	11 937	1 074	0,06	0,08	0,1	0,31

Výrobní čas bez upnutí	14,93	min/kus 1 poloha
Výrobní čas bez upnutí	28,77	min/kus 2 poloha
Výrobní čas bez upnutí	3,76	min/kus 3 poloha
Výrobní čas bez upnutí	47,45	min/kus celkem

Vliv moderních výrobních strojů na technologičnost konstrukce



Stroj	Door Frame		Sump	
	Výrobní čas	Přípravný čas	Výrobní čas	Přípravný čas
	t_{AC} [min]	t_{BC} [min]	t_{AC} [min]	t_{BC} [min]
Haas	109	115	1 180	110
MCV 750	47,5	45	620	85
MCV 1000	47,5	45	164	50

Vliv moderních výrobních strojů na technologičnost konstrukce

- **HAAS**
 - VF0, VF2, VF4

- Door Frame
 - 109 min/ks

- Sump
 - 1 180 min/ks

- **Kovosvit MAS**
 - MCV 750

- Door Frame
 - 48 min/ks

- MCV 1 000
- Sump
 - 164 min/ks

56,4
%

86,1
%

Výrobní náklady a provozní náklady

- Hledisko ceny výrobku na prvním místě stojí výrobní náklady
- Výrobní náklady srovnávat s budoucími náklady provozními (opravy, údržba, recyklovatelnost)
- Náklady provozní hodnotí především zákazník
- Ne vždy zákazníci touto zásadou reflektují – důsledkem je zvýšení nákladů výrobku v průběhu životnosti

Příklad:

Kolejové vozidlo se skříní z hliníkové slitiny, nebo nerezové oceli vede ke zvýšení výrobních nákladů a ceny strojírenského výrobku

Náklady na údržbu (povrchovou ochranu) za dobu životnosti výrobku prakticky odpadají a výsledné náklady na vozidlo za dobu jeho životnosti pak mohou být výrazně nižší, ve srovnání s vozidlem se skříní z ocelového nekorozičního plechu

Pracnost výroby

- Produkční čas výroby může být v souladu s požadavkem na minimální výrobní náklady.
- Nemusí to ale tak vždy být - jednotlivé strojírenské technologie jsou nákladově rozdílné a proto stojí význam tohoto kritéria až za kritériem výrobních nákladů
- Pracnost, která se někdy používá jako rozhodující kritérium posuzování technologičnosti konstrukce není tedy rozhodujícím kritériem
- Pracnost výroby je určena celou řadou faktorů
 - velikost, hmotností a tvar opracovaných ploch
 - kvalitativní požadavky na povrch součásti (drsnost, přesnost, průběhy zpevnění a zbytkových napětí v povrchové vrstvě apod.)
 - roste výrazně se složitostí konstrukce.
- Základní problém pracnosti výroby - předepisované kvalitativní požadavky.

Příklad:

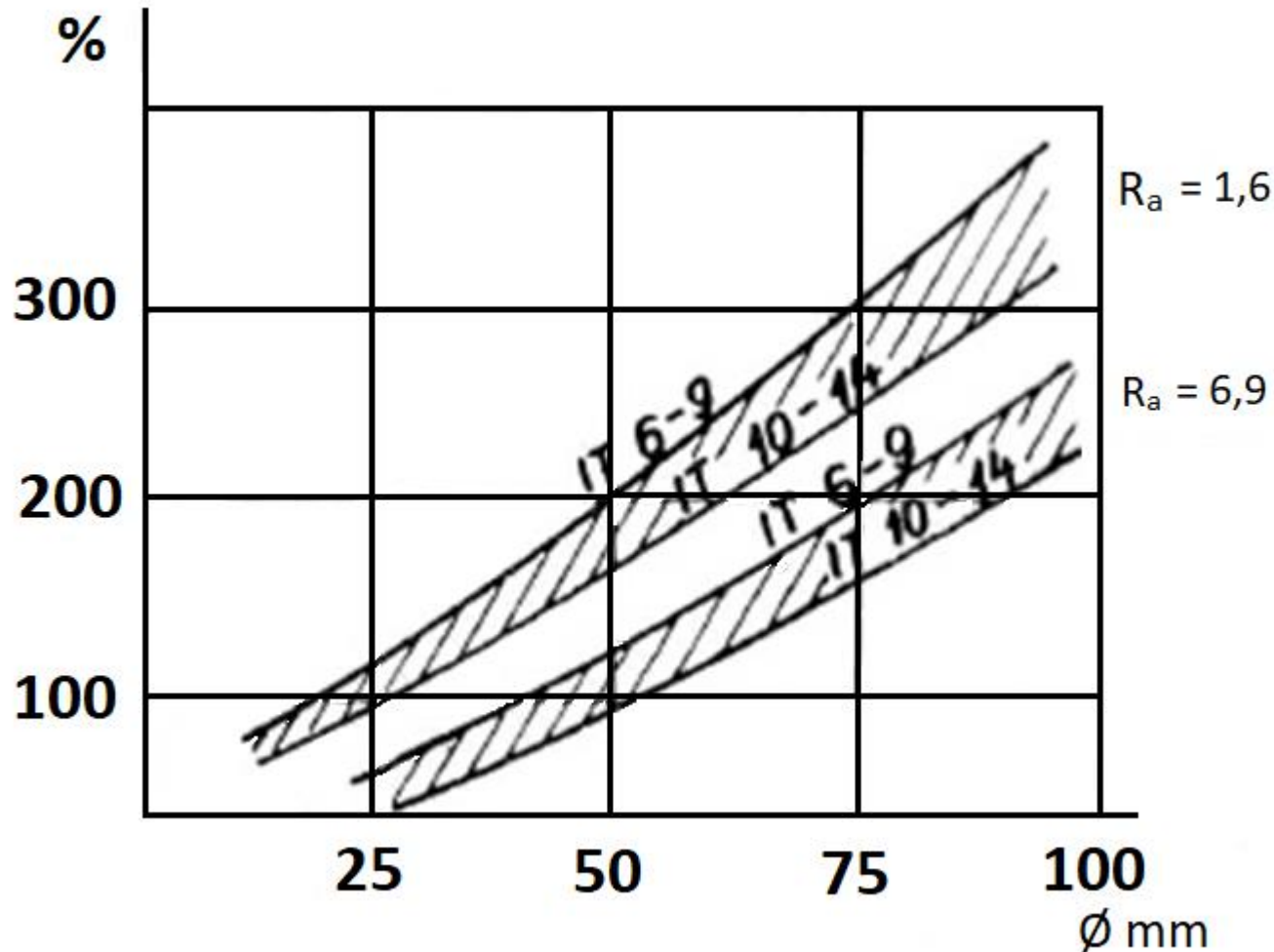
Nedostatečně kvalifikovaný požadavek na drsnost a přesnost

Požadavky neodpovídají funkci povrchu.

Snaha konstruktéra mít určitou rezervu z hlediska funkce povrchu součásti.

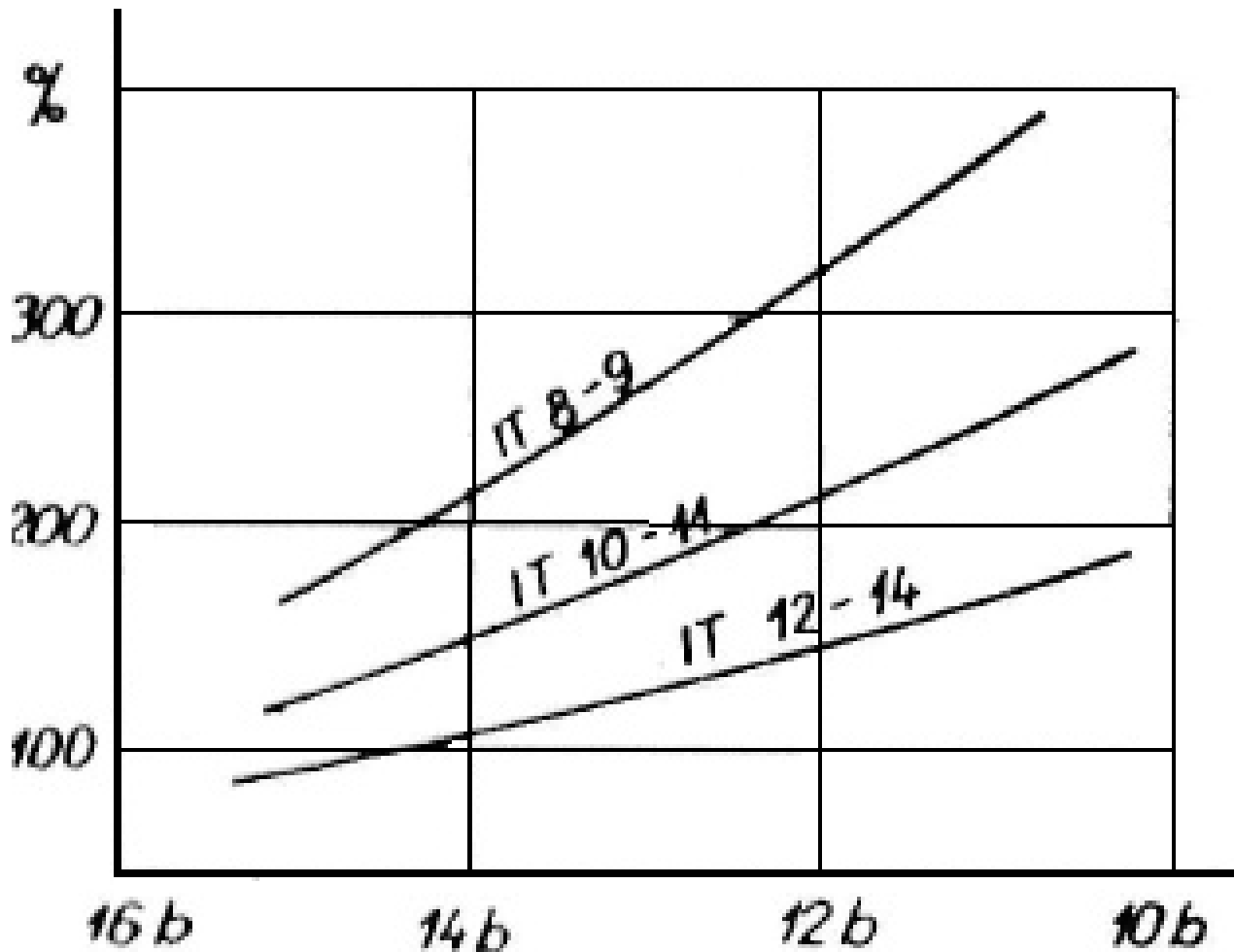
Výrobní náklady, resp. pracnost nerostou se zvyšujícími se kvalitativními požadavky lineárně, ale progresivně

Závislost relativní pracnosti



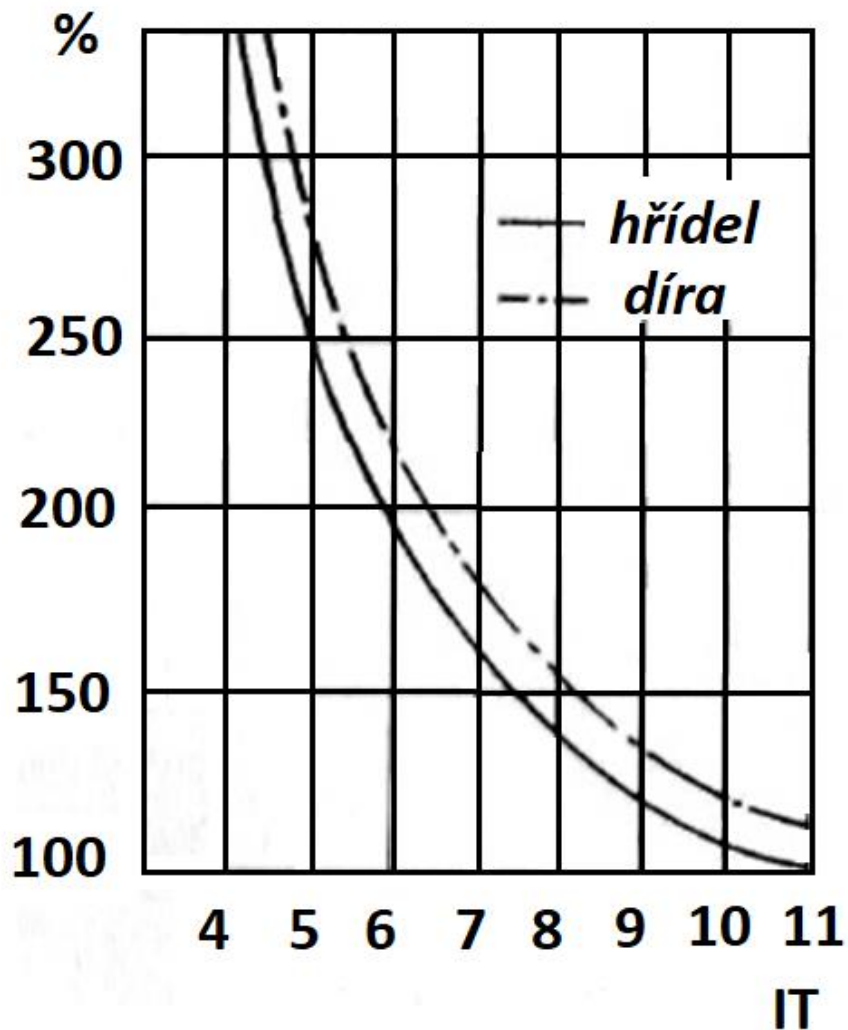
Soustružení
hřídelů 25 až
100 mm
Různé stupně
přesnosti a
drsnoti

Závislosti relativní pracnosti



Hoblování
plocha 100 x 1000 mm
Různé stupně
přesnosti
Různé třídy
obrobitelnosti

Závislost relativní pracnosti při obrábění hřídele a díry



Hřídel
průměr 24 mm
délka 120 mm

Díra
průměr 24 mm
délka 28 mm

Vliv materiálu součástí na technologičnost při obrábění

- Ve výrobním procesu je výchozí materiál zhodnocován a modifikován
Určení vhodného materiálu je jedním ze základních problémů při konstruování z hlediska technologičnosti konstrukce
- Jeho určení je kompromisem mezi více faktory ,
 - jako jsou např. cena materiálu,
 - vhodnost pro předpokládané technologické operace, pracnost, hmotnost, ekologické aspekty apod.
- Základním přístupem ke stanovení optimálního materiálu je aplikace takového výchozího materiálu, který povede k minimální ceně součásti včetně výrobních nákladů
- Konstruktor musí uvážit nejen objem a cenu výchozího materiálu pro danou součást, ale i následné technologické operace, jejich počet, cenu a pracnost, dále hmotnost a objem součásti, technologické vlastnosti (např. obrábitelnost), dostupnost apod.

Technická vhodnost materiálu

- Vhodnost materiálu je dána pevností v tahu, odolností proti opotřebení, korozi apod.
- Při konstrukčním návrhu součásti se obvykle nabízí více alternativních řešení
- Pokud není zřejmá jednoznačná výhodnost určitého konstrukčního návrhu, je nutné řešit návrh součástí alternativně a z výsledné kalkulace ceny pak stanovit optimální konstrukci
- Optimální výběr materiálu úzce souvisí s technologickými znalostmi konstruktéra
- Jen se znalostí technologie výroby lze optimálně a se zásadami technologičnosti konstrukce konstruovat.
- Klíčovým pravidlem je konzultace konstruktéra s technologem v případě, kdy si není jist vhodností konstrukce pro výrobu.
- Každý konstruktér je v podstatě „hlavním technologem“, protože použitím určitého materiálu určuje zásadní sled technologických operací.

Příklad: ozubené kolo, u kterého je požadována určitá tvrdost povrchu zubů, je možné navrhnout z materiálu, který jako celek vyhovuje konstrukčním požadavkům nebo je možné vhodný materiál zušlechtit nebo je možné použít cementační ocel, provést cementování povrchu zubů a následné tepelné zpracování.

Vliv obrobitelnosti materiálu

- Obrobitelnost se posuzuje z různých hledisek a není jednoznačně určena
- Na předním místě z hlediska obrobitelnosti materiálu stojí vliv materiálu na opotřebování nástroje
- Špatná obrobitelnost z tohoto hlediska vede na nižší řezné podmínky, především nižší řeznou rychlost
- Jsou však i další hlediska, např.:
 - velikost síly řezání, resp. měrného řezného odporu teploty řezání
 - utváření třísek
 - dosahovaná drsnost obrobené plochy
 - průběhy zbytkových napětí v povrchové vrstvě
 - průběhy zpevnění v povrchové vrstvě
 - tvorba nárůstku

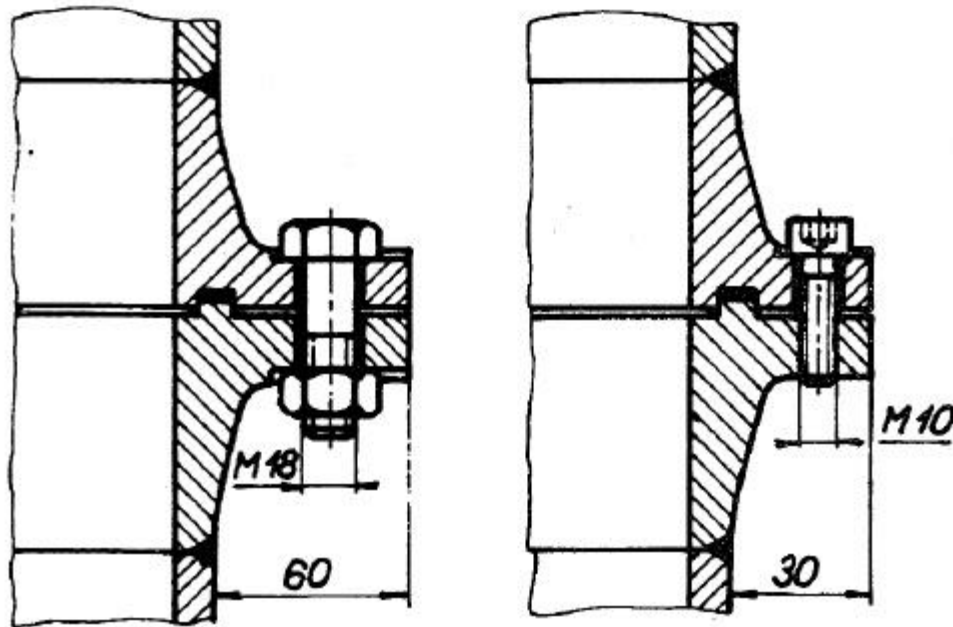
Vliv obrobitelnosti materiálu

- Obrobitelnost
 - Materiál s dobrou obrobitelností - zkrácení technologického cyklu a zvýšení produktivity při obrábění
- Základní ukazatele:
 - Trvanlivost břitu (nástroje)
 - Měrný řezný odpor (řezné síly)
 - Drsnost obrobeného povrchu
 - Tvar a druh třísek
- Kromě chemického složení ovlivňuje obrobitelnost makro a mikrostruktura
 - Málo uhlíku - nízká kvalita povrchu
 - Uhlík nad 0,3%- vyšší kvalita povrchu, ale roste řezný odpor
 - S nárůstem legur se zlepšuje kvalita a roste řezný odpor
 - Ni a Co slitiny, Austenitické oceli, zušlechtěné oceli,... - těžko obrobitelné materiály

Snížení nákladů změnou materiálu

- Snížení materiálových nákladů se docílí zúžením sortimentu používaných druhů materiálu, popř. i rozměrů polotovarů stejného materiálu
- Snížení nákladů s objemem objednávek jednotlivých druhů materiálů a tím se sníží nákupní cena
- Úspora materiálu se dosáhne i vhodnou volbou tvaru a rozměrů součásti tak, aby součást odpovídala co nejvíce polotovaru, ale také, aby úběr byl materiálu byl minimalizován
- Z hlediska spotřeby materiálu je obecně nejvýhodnější takový polotovar, jehož tvar a rozměr se co nejvíce blíží tvaru hotové součástky. Tato úspora materiálu však nemusí vést vždy k minimální výrobním nákladům.
- Počet různých materiálů v konstrukci je významný nejen z hlediska objednávání, dopravy, skladování, evidence apod., ale v současnosti i z hlediska recyklace výrobků po ukončení doby životnosti. S tím souvisí i rozebíratelnost.
- S rostoucími požadavky na recyklovatelnost výrobků roste význam menšího počtu různých materiálů v konstrukci a současně roste váha rozebíratelných spojů
- Pro snížení hmotnosti konstrukce se nabízí řada ocelí o vysoké pevnosti, je však možné použít slitiny hliníku, hořčíku nebo plasty, event. použít jiný přístup ke konstrukci (např. náhradou odlitku výliskem z plechu apod.).

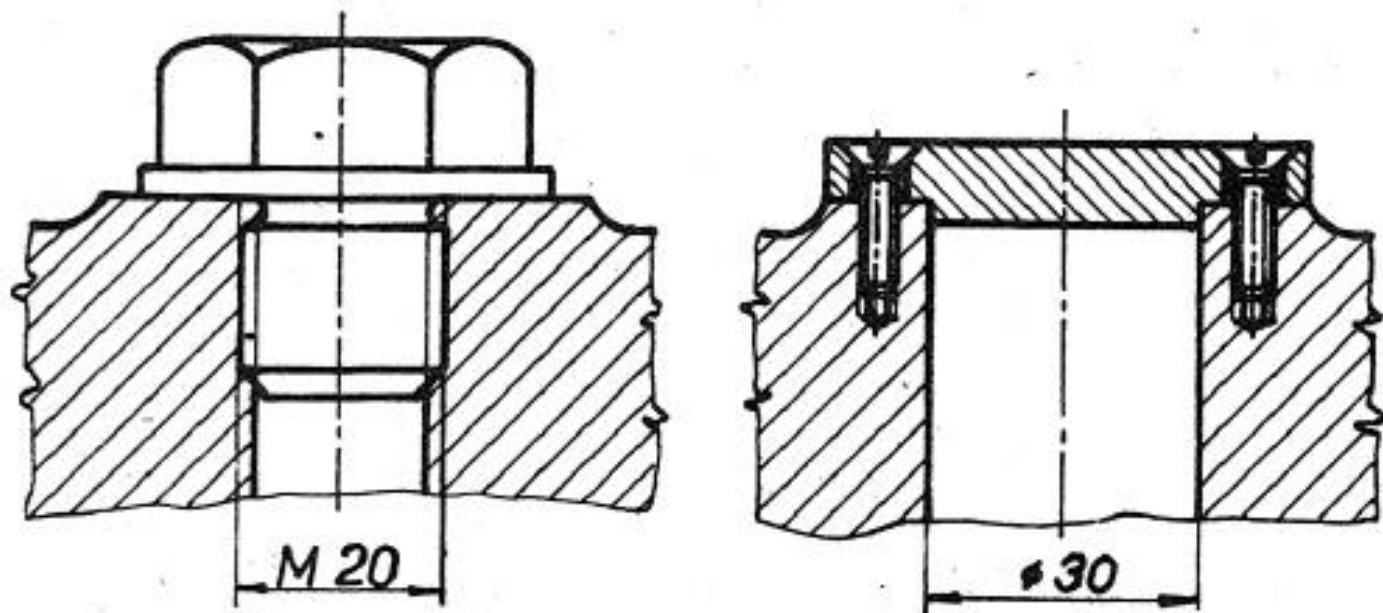
Příklad snížení nákladů změnou materiálu



- Z hlediska ceny materiálu není vždy nejvhodnější konstrukce, která používá nejlacinějšího materiálu
- Při použití materiálu o vyšší pevnosti v tahu výsledná konstrukce bude mít menší rozměry, menší hmotnost, menší spotřebu materiálu polotovaru a může vyvolat potřebu menších spojovacích elementů
- Snížení materiálových nákladů se docílí vhodnou volbou tvaru součástí, tak, aby obrábění bylo minimalizováno

Obr. Použití materiálů o pevnosti v tahu 600 a 1000 MPa

Příklad snížení nákladů změnou materiálu



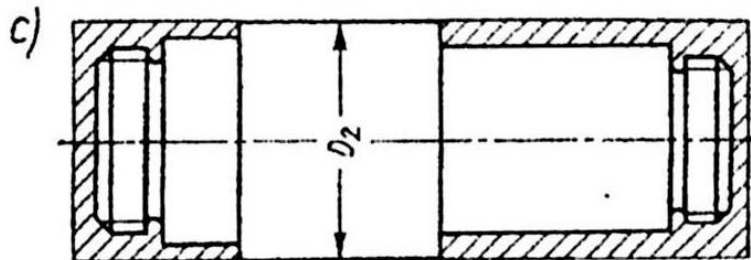
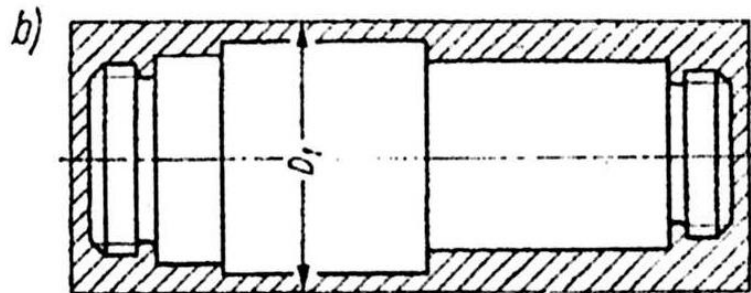
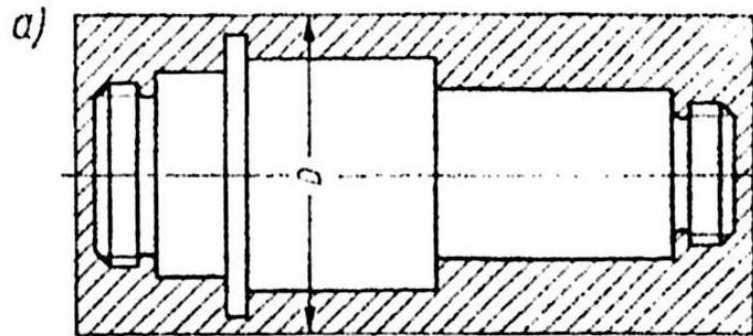
Polotovary a minimalizace obrábění

- Jako výchozí polotovary při výrobě strojírenských součástí přichází v úvahu především:
 - vývalek
 - odlitek,
 - výkovek, svařenec, výlisek
- Většinou druh polotovaru není jednoznačně dán a konstruktér může uvažovat alternativy polotovarů
- Platí zásada – optimální polotovary vedou k minimálním výrobním nákladům. Vzhledem k tomu, že není vždy možné předem odhadnout optimálnost určitého polotovaru, je nezbytné řešit alternativní konstrukce a teprve na základě vyčíslení nákladů na konstrukci určit optimální polotovary
- Z hlediska určení polotovaru je také nezbytné uvažovat stav výroby v podniku a koncipovat konstrukci na zavedené technologii. Je-li např. podnik orientován na výrobu hlavních rámců kolejových vozidel jako svařence, nelze bez značných obtíží koncipovat kolejové vozidlo s hlavním rámem jako odlitek
- Je vhodné se zásadně orientovat na stav výroby v daném podniku (dané výrobní zařízení, daný poměr technologických profesí apod.). Toto by však nemělo být na úkor současného světového stavu strojírenské technologie
- V odůvodněných případech může konstruktér koncipovat výrobek z hlediska stroje, který bude nakoupen. Toto ovšem předpokládá technicko-ekonomickou efektivnost výrobku.

Polotovar a minimalizace obrábění

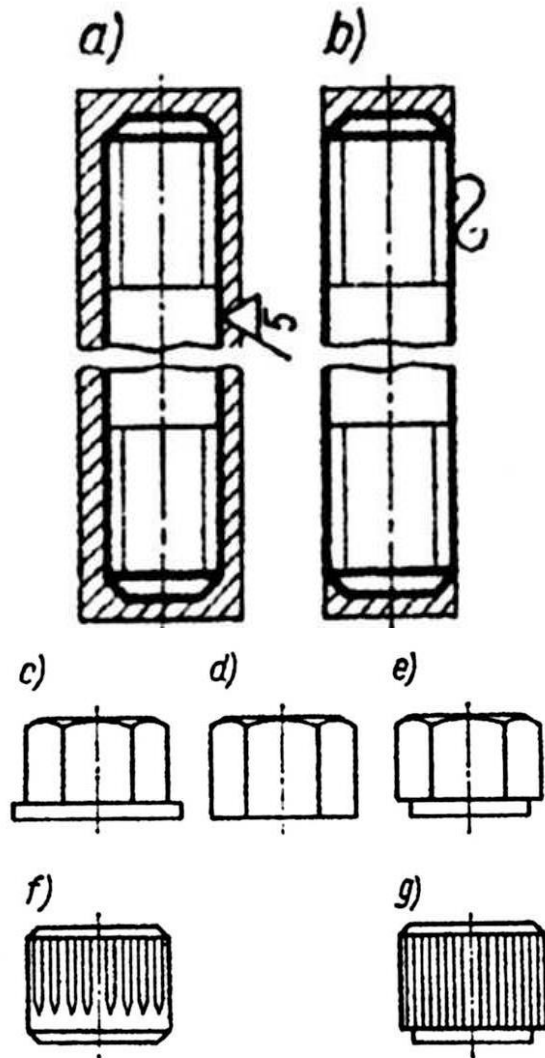
- Stupeň automatizace použitého výrobního zařízení ovlivňuje výběr vhodného polotovaru.
 - Příklad: CNC obráběcí centra jsou schopna hospodárně vyrábět velmi složité tvary z vývalků
- Nekonvenční metody obrábění (elektroerozivní obrábění, ultrazvukové obrábění apod.) umožňují efektivně obrábět materiály velmi obtížně a nákladně obrobitelné třískovými metodami obrábění
- Materiál pro danou konstrukci je třeba objednávat tak, aby úběr materiálu obráběním byl minimalizován
- Je proto třeba zvážit tvar výchozího polotovaru tak, aby přídavek na obrábění byl co nejmenší, se zřetelem na sériovost výroby, která zde hraje významnou úlohu.
- S volbou optimálního polotovaru souvisí návrh materiálu.
 - Příklad: pro menší ozubená kola lze použít jako polotovar výkovek, odlitek nebo tyčový materiál. Největší úběr materiálu obráběním bude z tyčového materiálu, zejména u složitějších tvarů těchto kol. Proto tato alternativa bude vhodná pro menší vyráběné série. Při větší sériovosti lze použít odlitky nebo výkovky, kdy se ekonomicky vyplatí výroba formy nebo zápustky. Odlitky nebo výkovky umožňují blízké přiblížení se ke konečnému tvaru součásti.
- Jde tedy o to, aby výchozí polotovar se co nejvíce blížil tvaru obrobku

Příklad snížení rozsahu obrábění řezáním



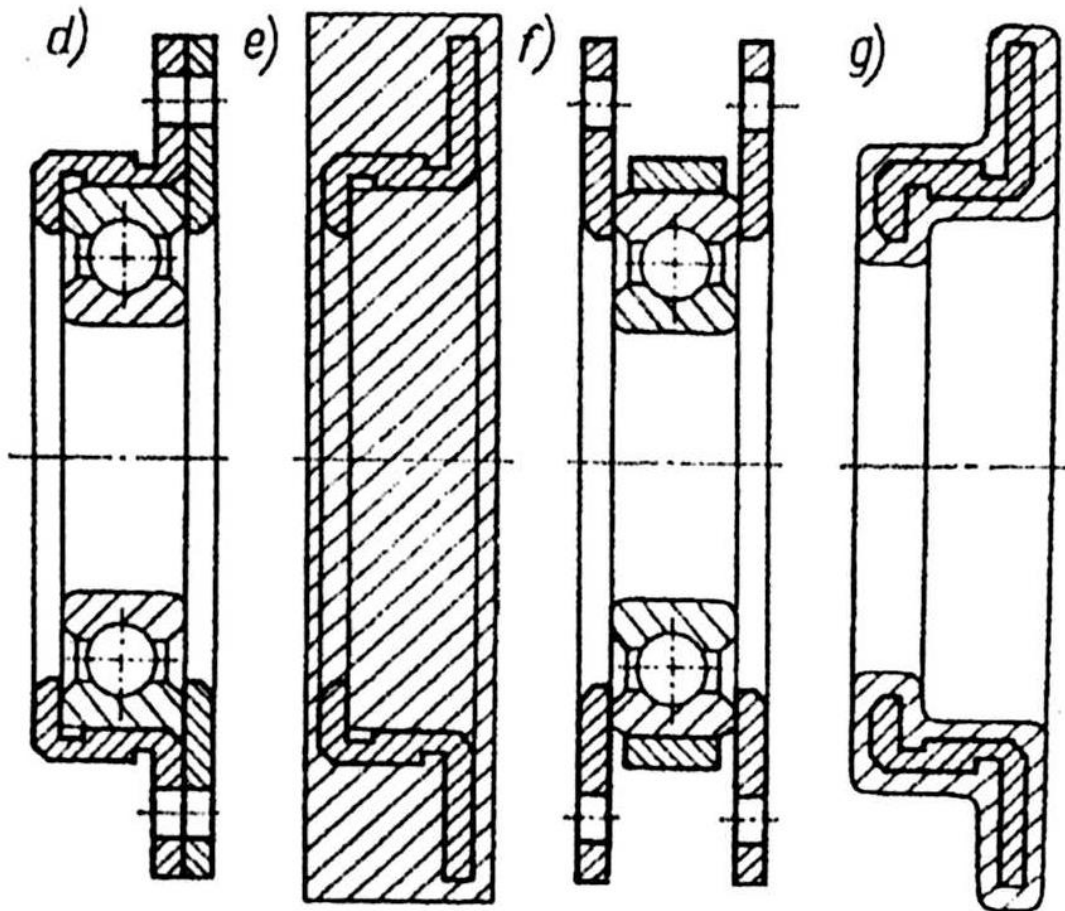
- Součást musí mít takový tvar, aby rozměry a hmotnost polotovary byly co nejmenší
 - a) využití materiálu 43 %
 - b) zrušení příruby zmenší výchozí polotovar, využití materiálu 70%
 - c) polotovar tažený kalibrováný profil, využití materiálu 80%

Příklad snížení rozsahu obrábění řezáním



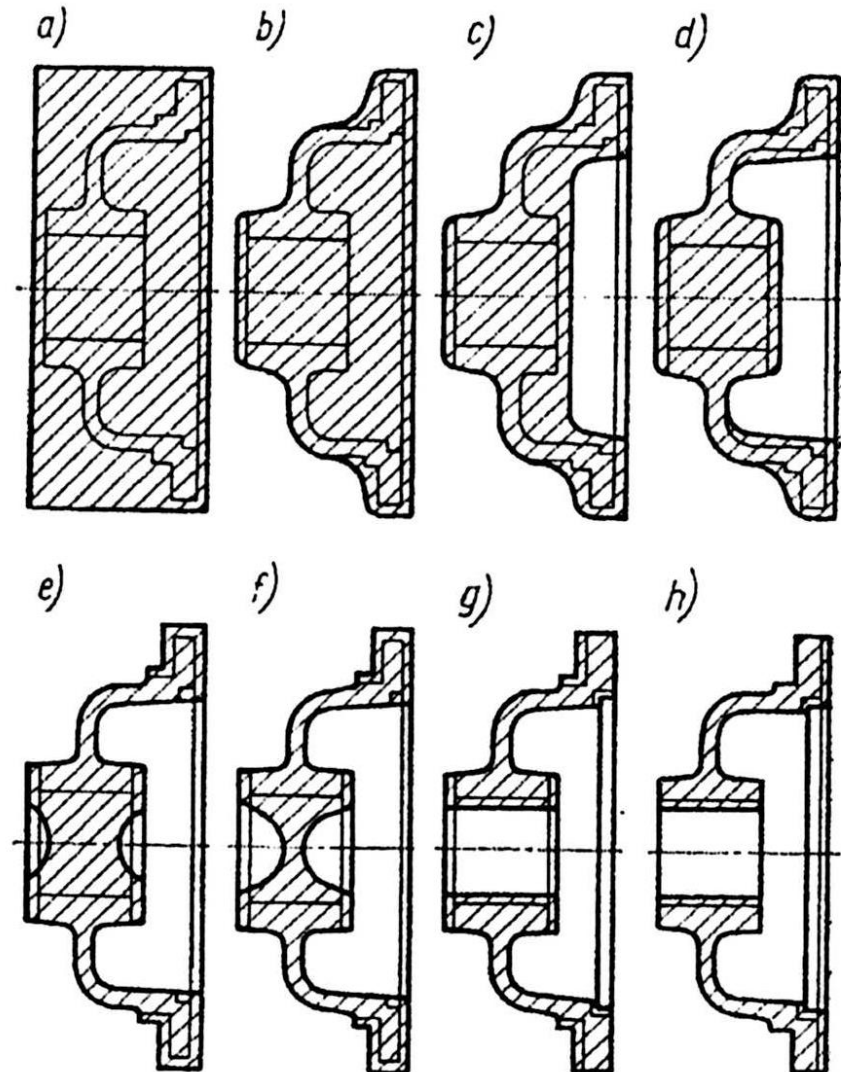
- Pro spojovací prvky volit tažené a kalibrované profily
 - a) velký přídavek na obrábění
 - b) kalibrovaný polotovar
 - c) frézování hlavy je netechnologické
 - d, e) technologické, kalibrovaný profil
 - f) matice s frézovanými drážkami po části výšky hlavy je netechnologické
 - g) odpovídá technologii protahování s tyče

Příklad snížení rozsahu obrábění řezáním



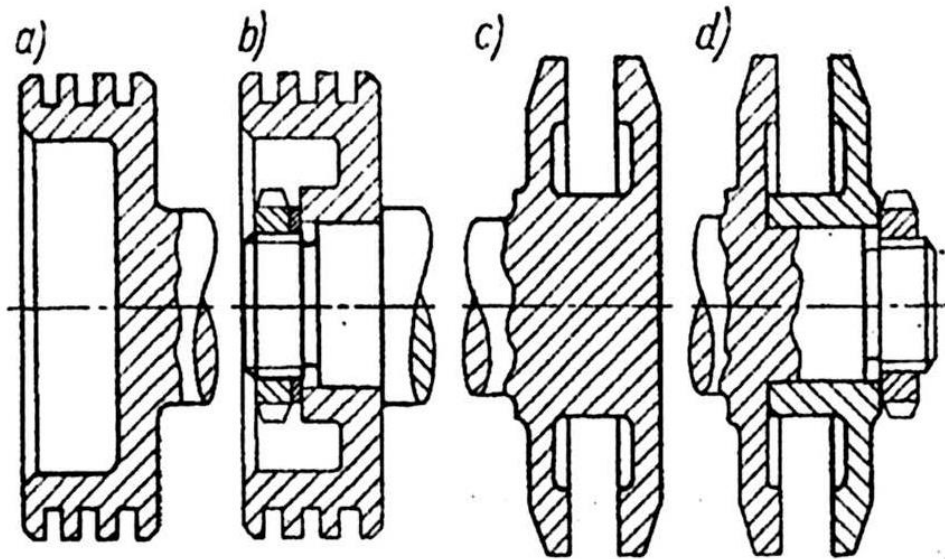
- Jako výchozí materiál volit v co největší míře normalizované válcované nebo tažené materiály
 - d) vysoká pracnost, lícování, montáž
 - e) vysoké náklady na opracování
 - f) problém s pevností a stabilitou
 - g) vhodné pro sériovou výrobu

Příklad snížení rozsahu obrábění řezáním

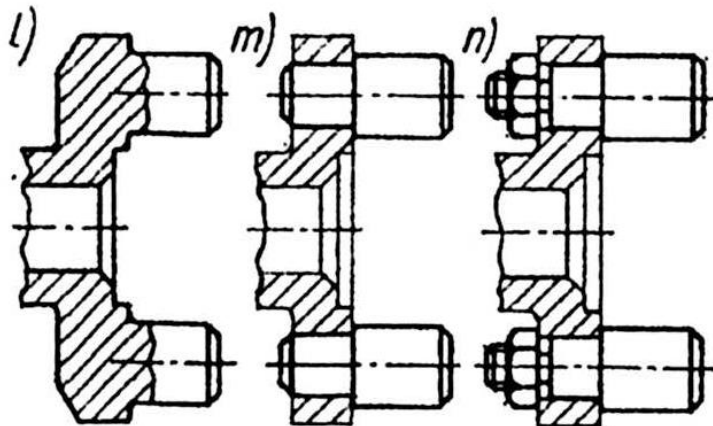


- Tvar a rozměry výchozího polotovaru mají být co nejbližší tvaru a rozměrům hotového výrobku

Příklad snížení rozsahu obrábění řezáním

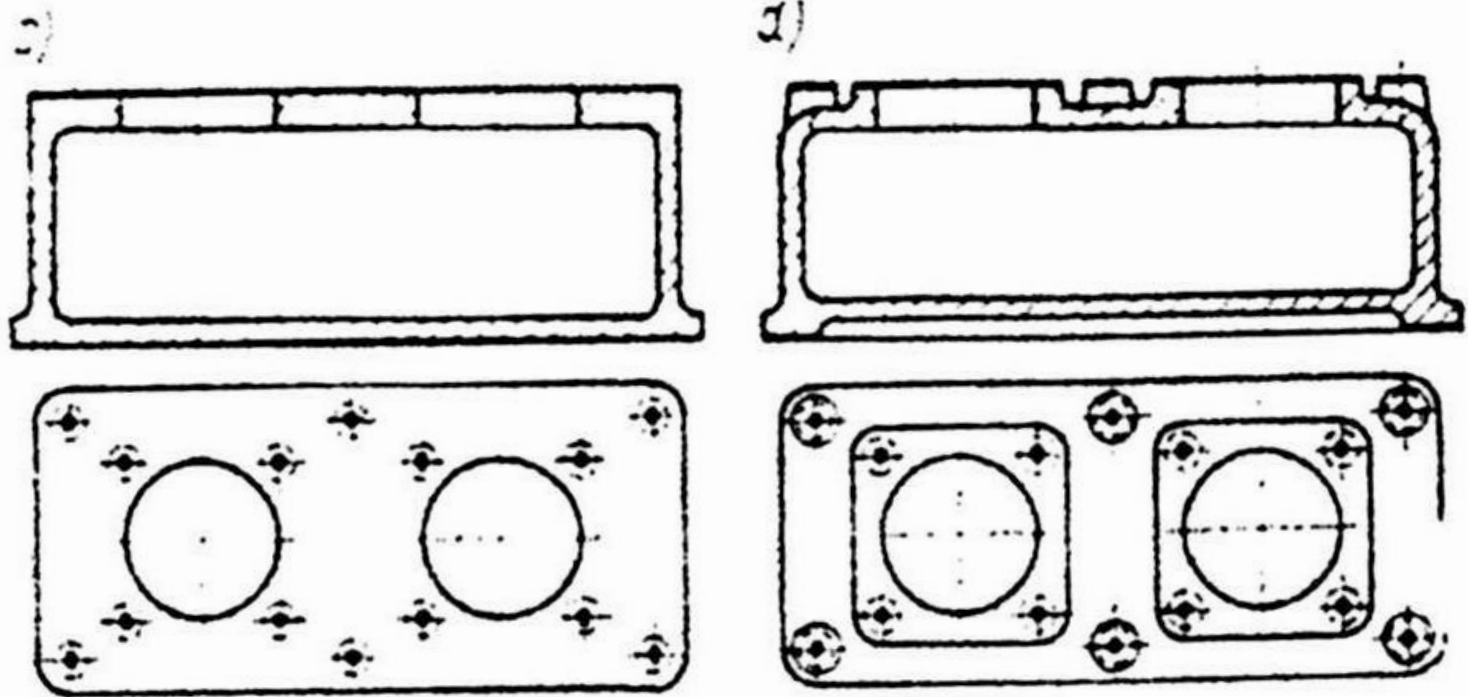


- Pokud se vyrábí součástky složitého tvaru, nutno zvážit, zda je nelze rozdělit na několik jednodušších

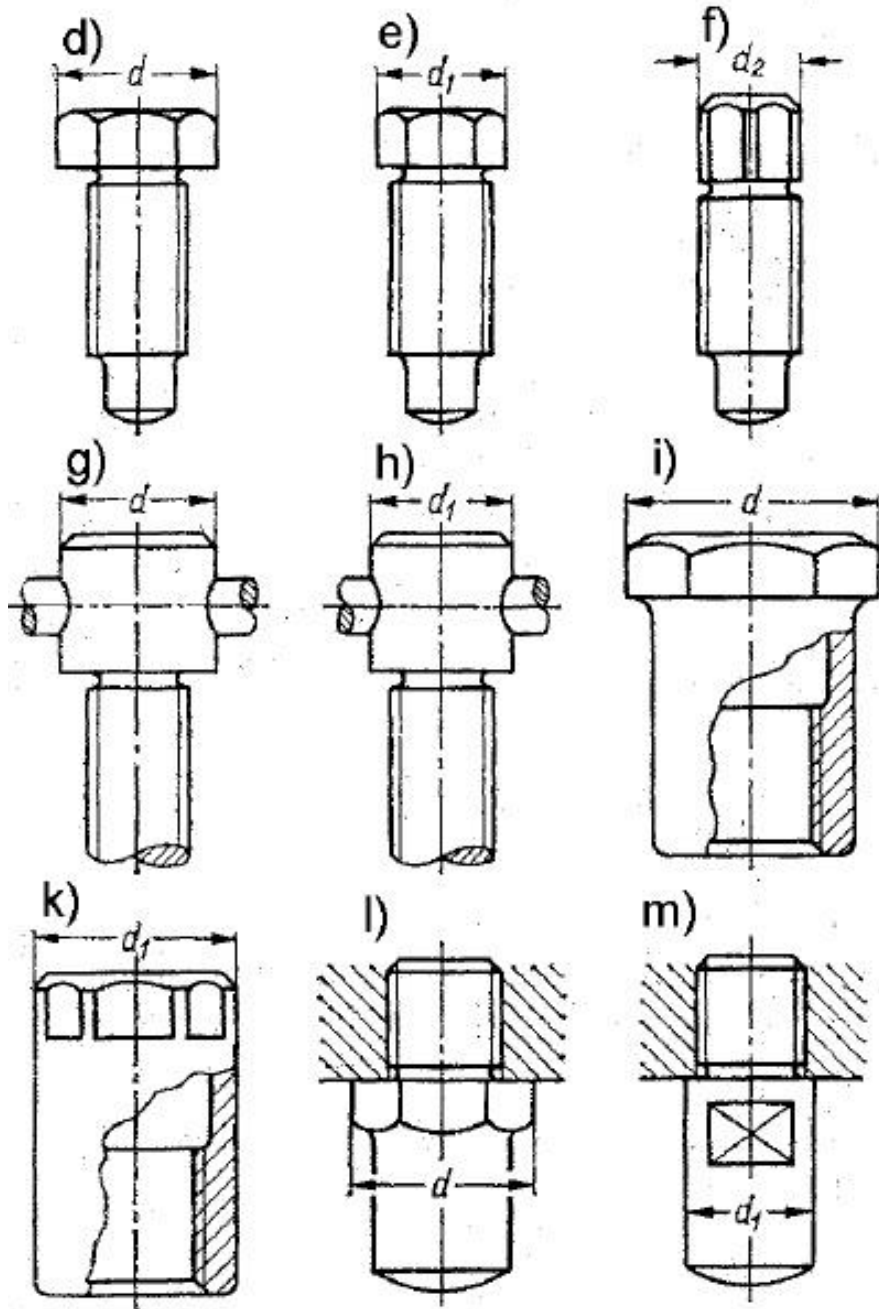


Příklad snížení rozsahu obrábění řezáním

- Rozsah obrábění se sníží, pokud eliminujeme obrábění některých ploch, zmenšíme rozměry obráběných ploch, spojíme několik oddělených povrchů



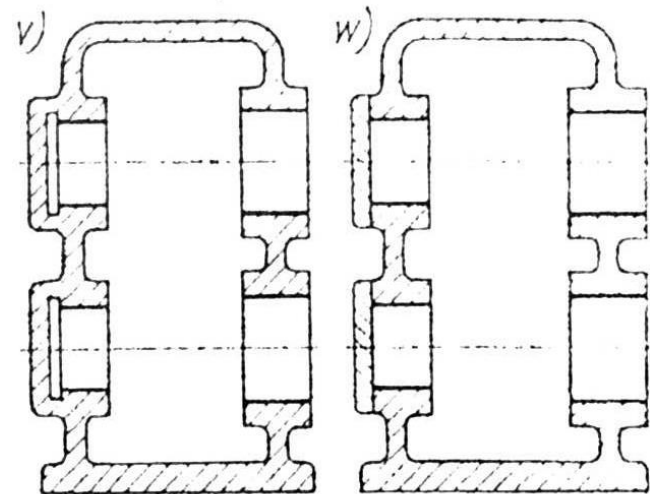
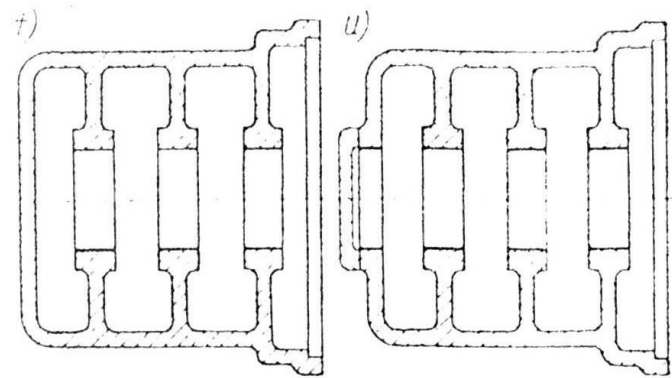
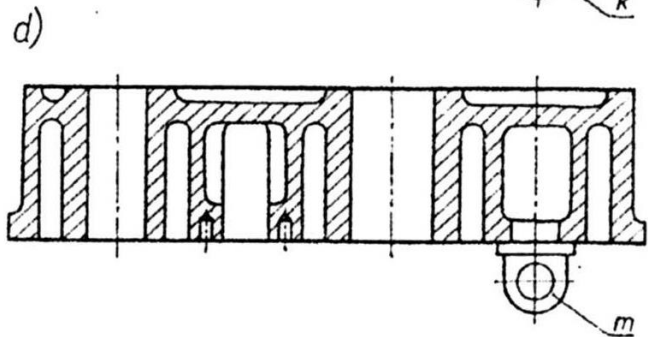
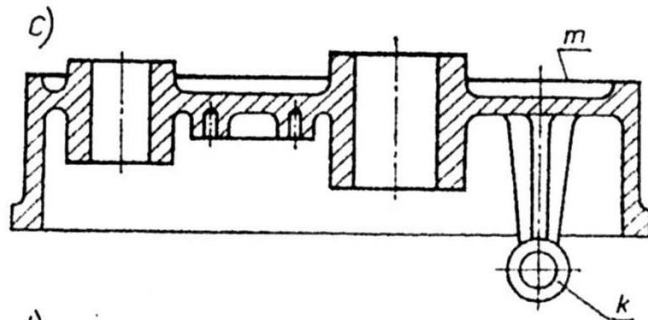
Příklad snížení rozsahu obrábění řezáním



- Na obr. jsou prezentovány tři konstrukční varianty matice
- Největší spotřeba materiálu i největší objem obrábění je u první varianty řešení, kdy se šestihran frézuje
- U druhé varianty je použit jako polotovár šestihránná tyč. Počítá se však s použitím podložky
- Třetí varianta je s obrobenou částí odpovídající podložce

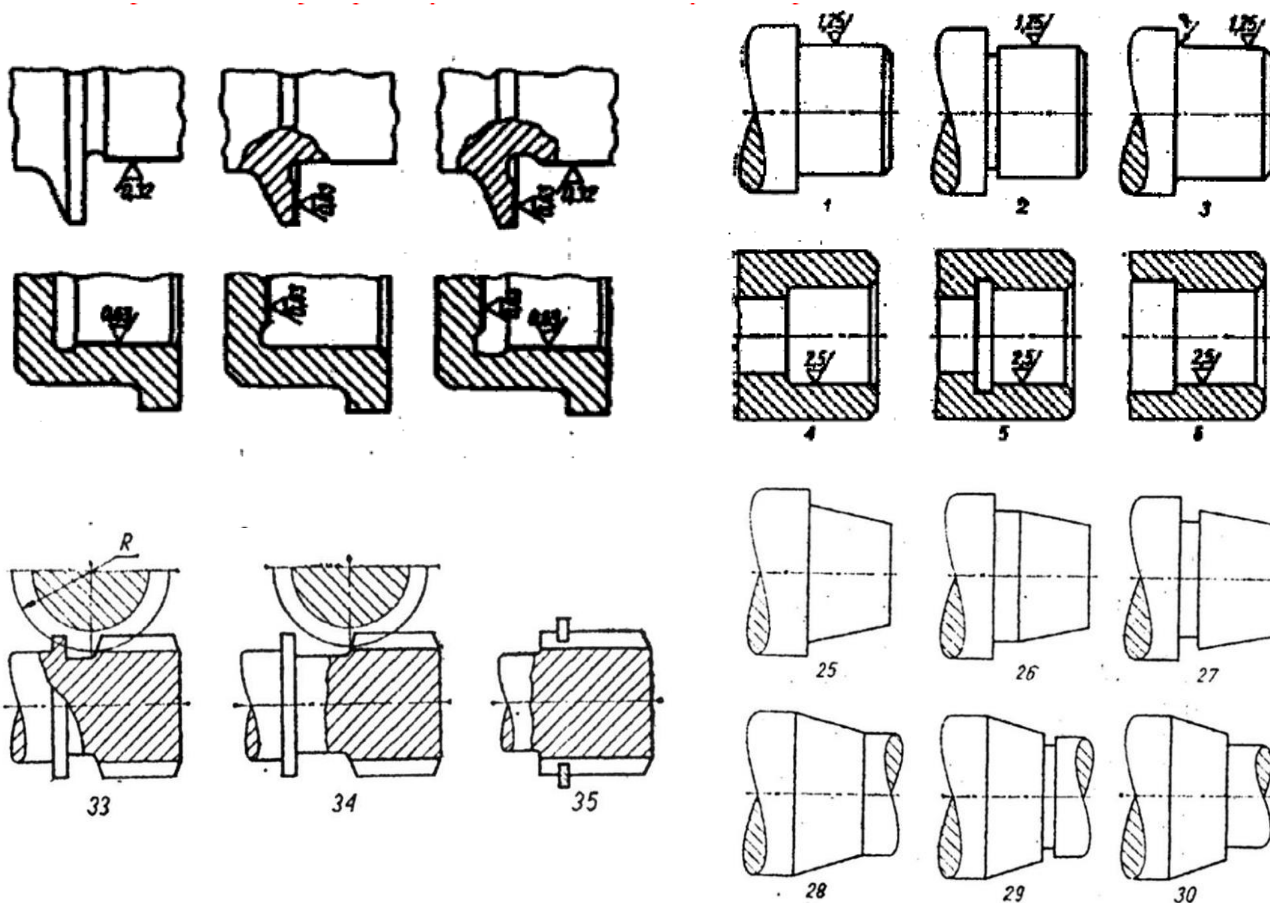
Manipulace a přístup nástrojů

- Nutno zabezpečit dobrý vstup a plynulý přechod nástroje při obrábění

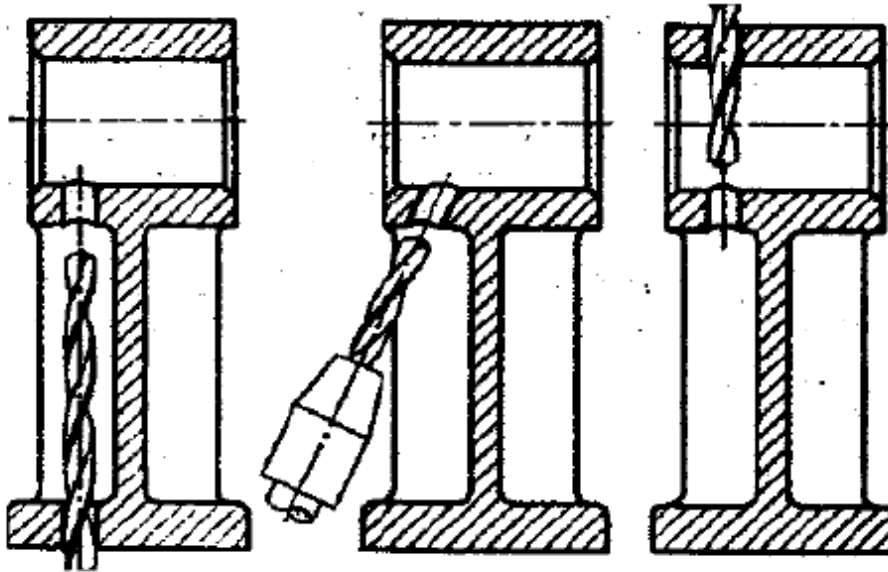


Manipulace a přístup nástrojů

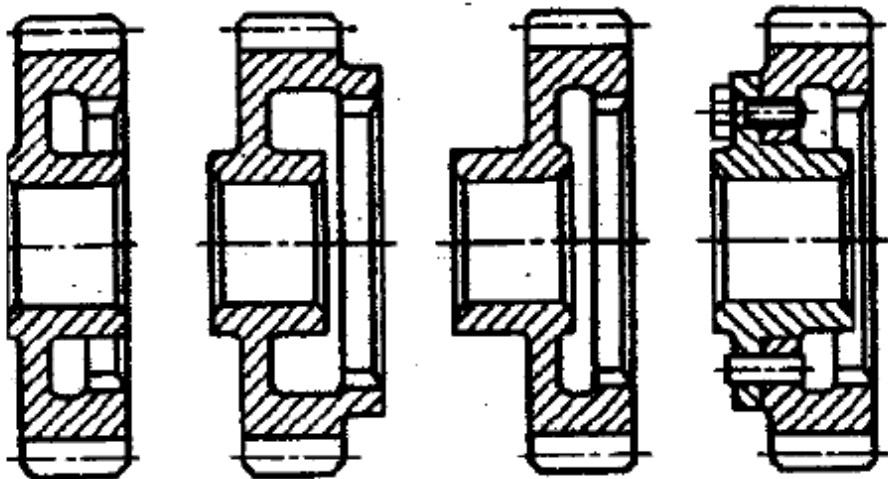
- Při obrábění otvorů nebo i hřídelí, kde nelze zabezpečit průběžnost, nutno zajistit volný výstup z obráběné plochy



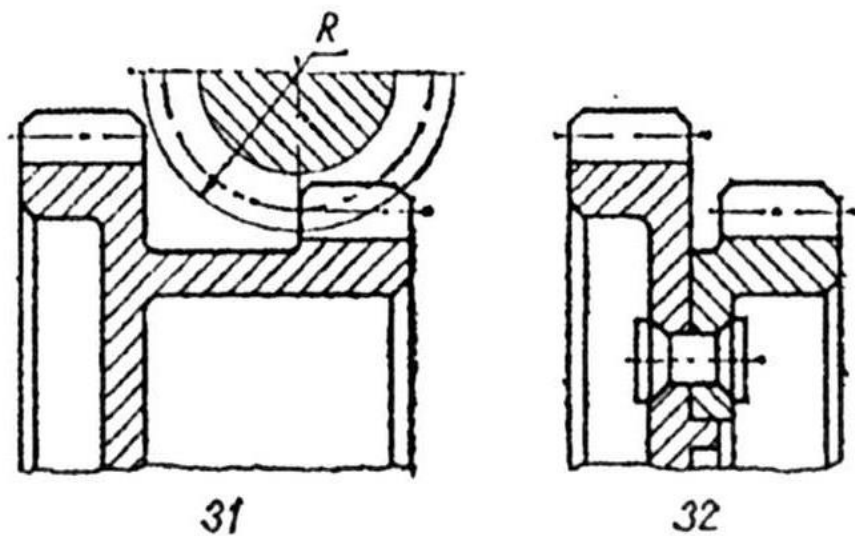
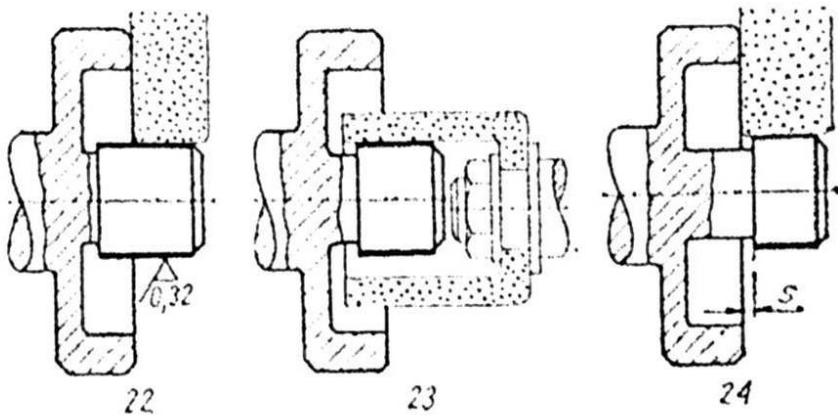
Manipulace a přístup nástrojů



- Nutno zabezpečit přístup v pracovním místě pro obrábění



Manipulace a přístup nástrojů

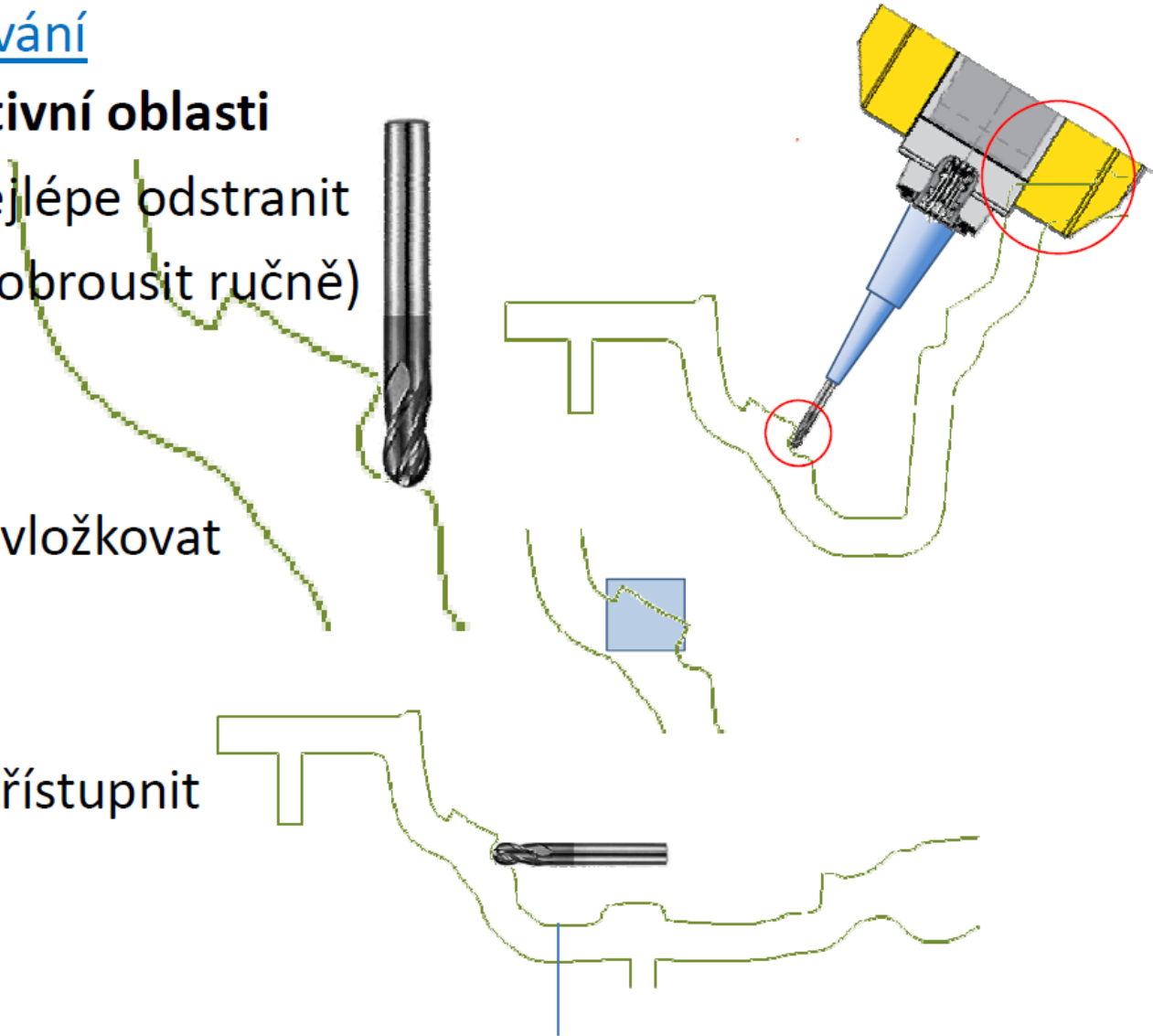


Manipulace a přístup nástrojů

Frézování

Negativní oblasti

- nejlépe odstranit
- (dobrousit ručně)
- vyvložkovat
- zpřístupnit

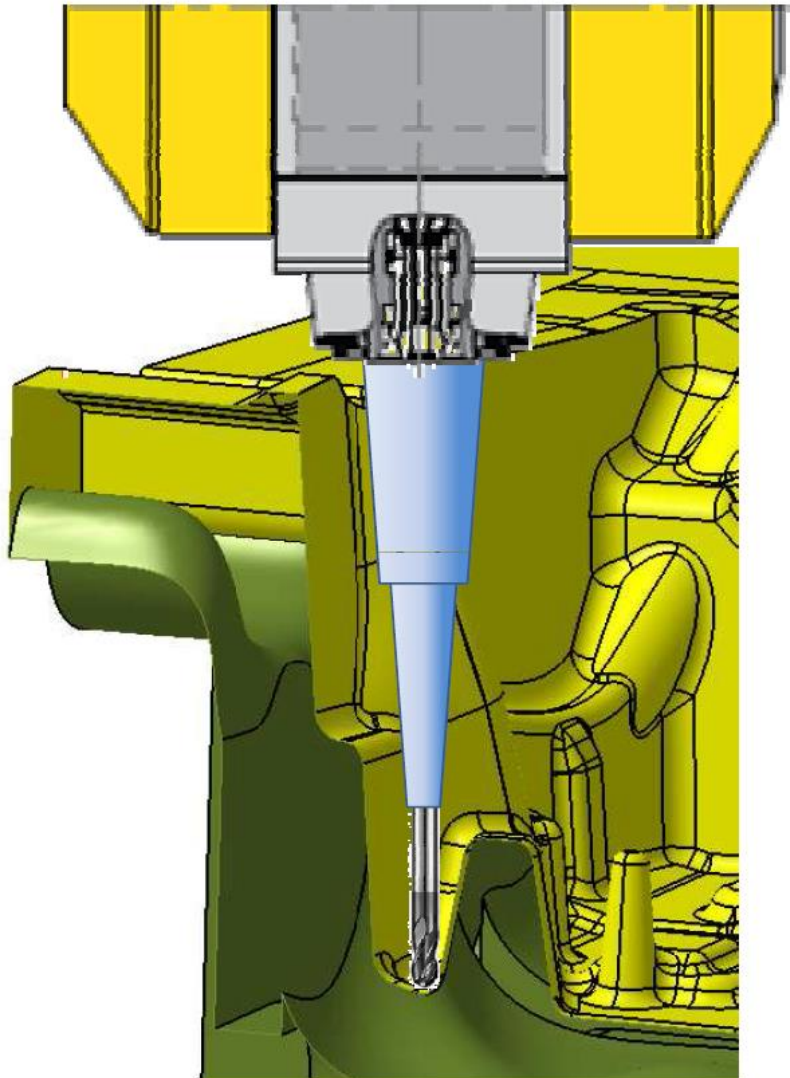


Manipulace a přístup nástrojů

Frézování

Vnitřní rádiusy

- co největší

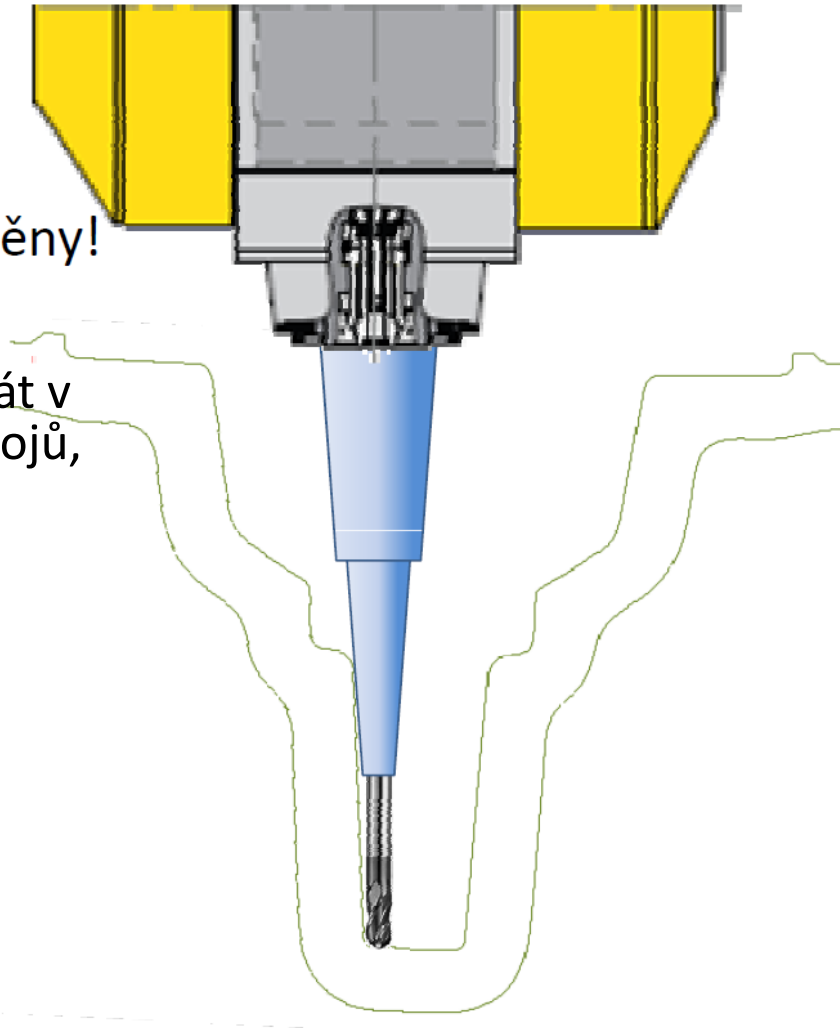


Manipulace a přístup nástrojů

Frézování

Vnitřní rádiusy

- Pozor na vysoké stěny!
- Při návrhu tvaru výrobku je nutné brát v úvahu i tuhost nástrojů, kterými se bude obrábět

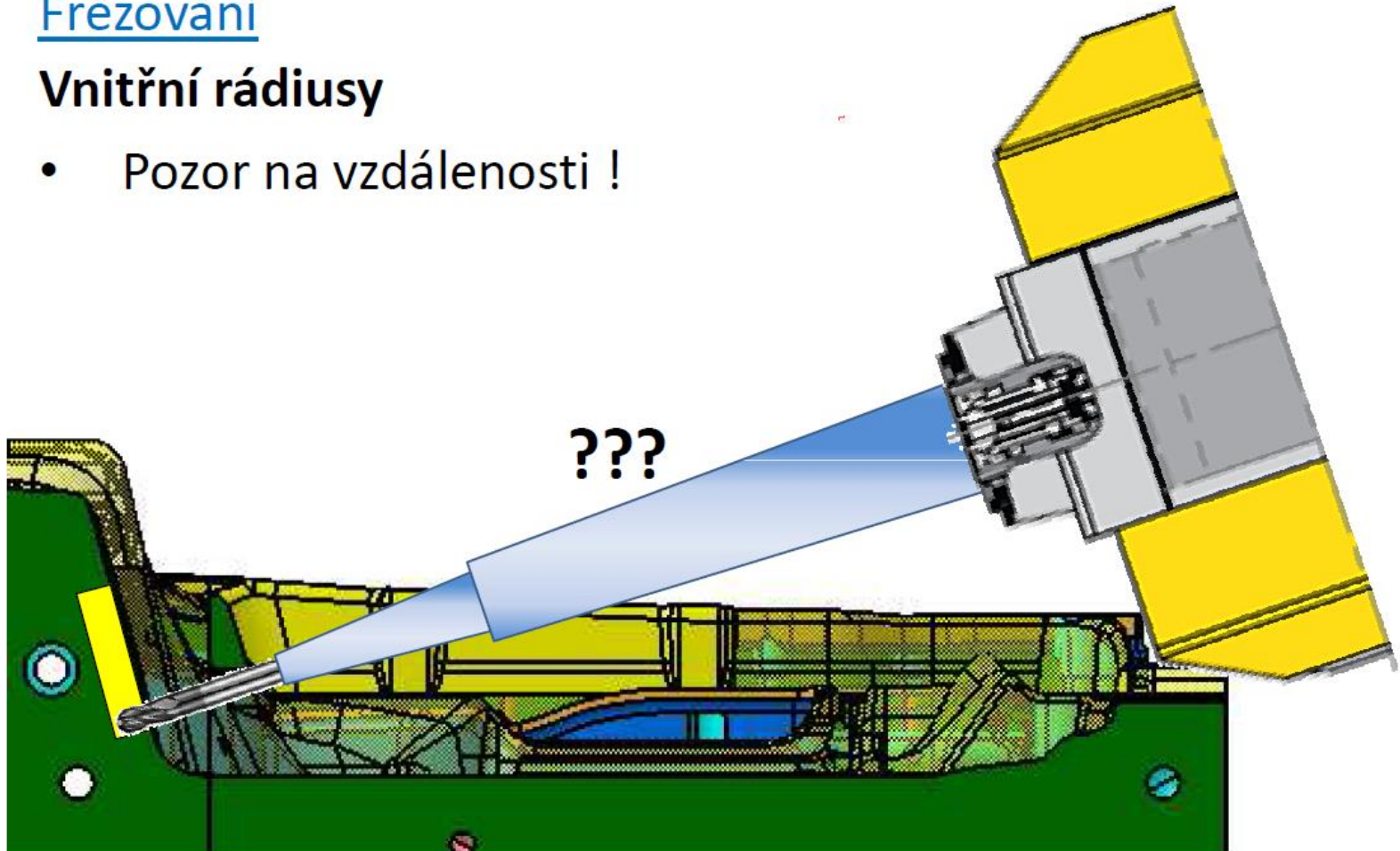


Manipulace a přístup nástrojů

Frézování

Vnitřní rádiusy

- Pozor na vzdálenosti !



Frézování

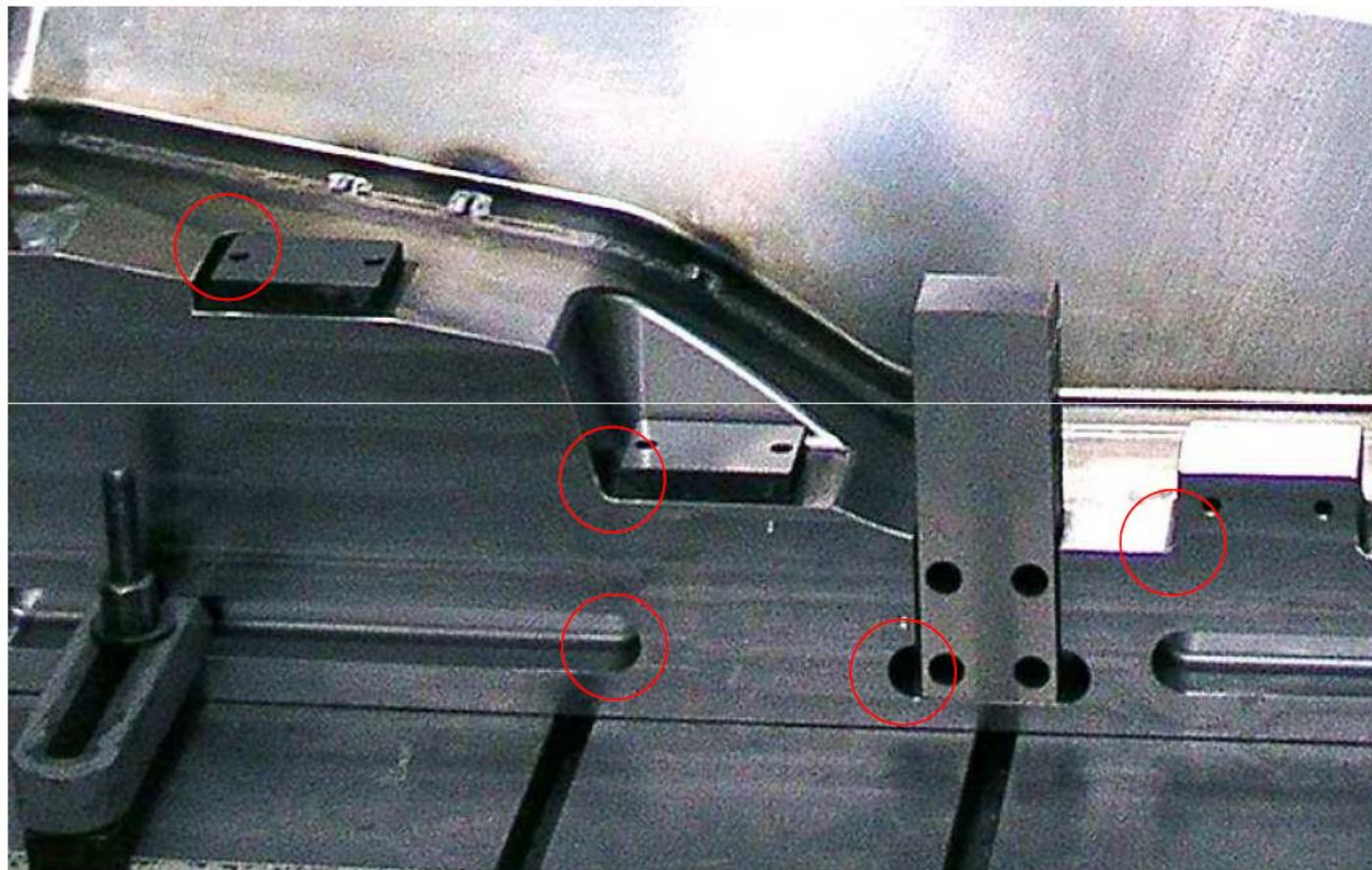
- produktivní vrtáky (s vnitřním chlazením) – výrazně šetří čas vrtání, je třeba s nimi počítat už v návrhu



- používané frézy – mají určitý průměr příp. rohový rádius

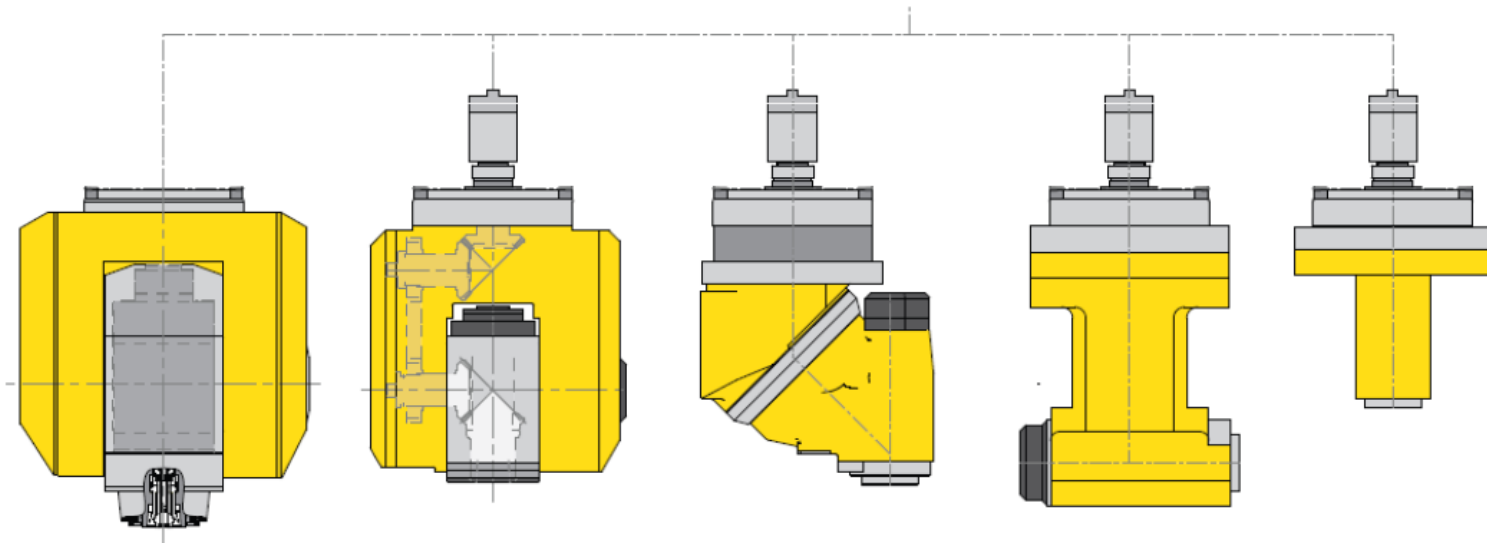


Obrábění a budoucí montáž



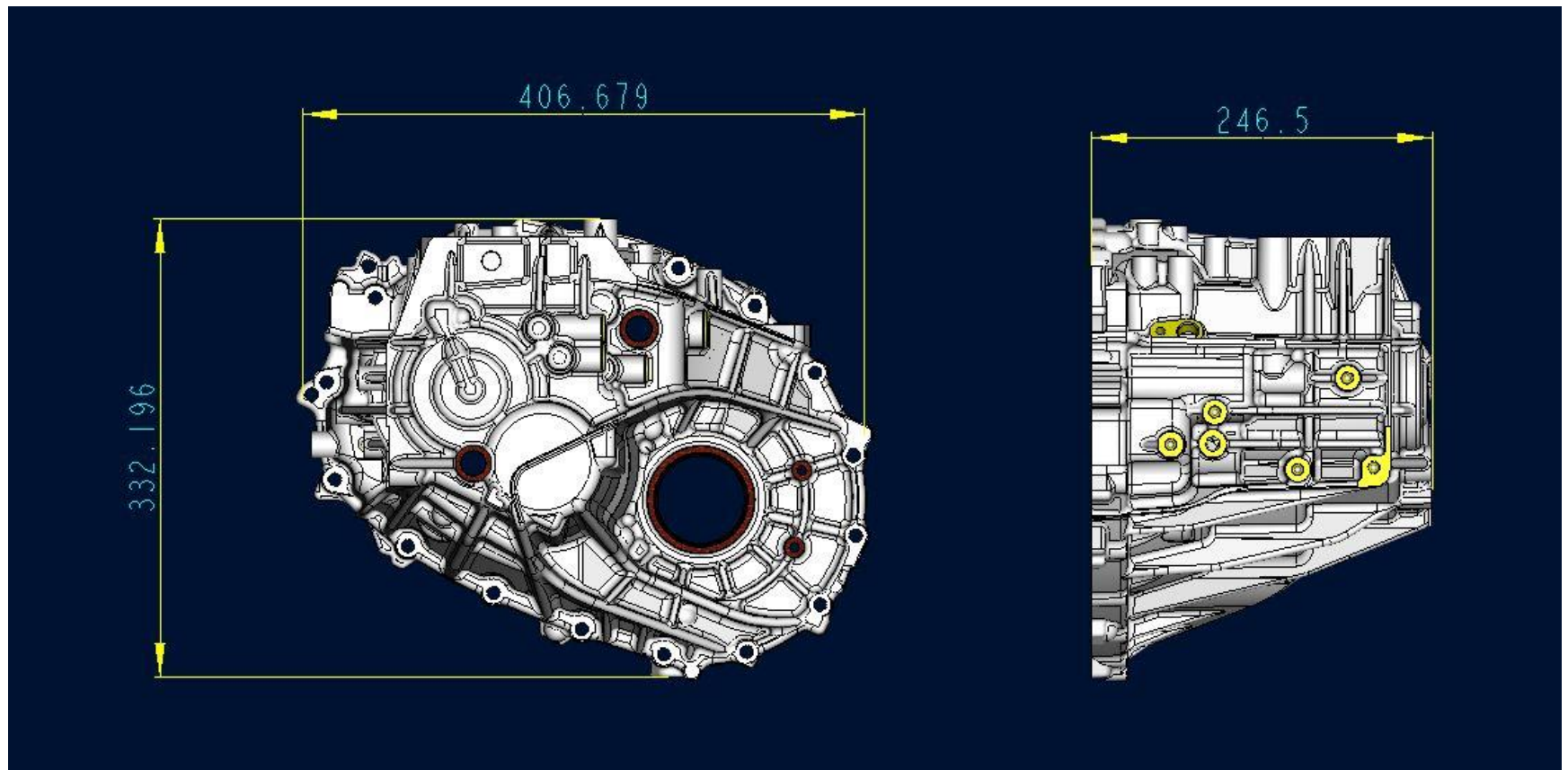
Vybavení dílny

Konstruktér by měl znát vybavení dílny, používané nástroje a technologie, možnosti strojů a přizpůsobit jim konstrukci.

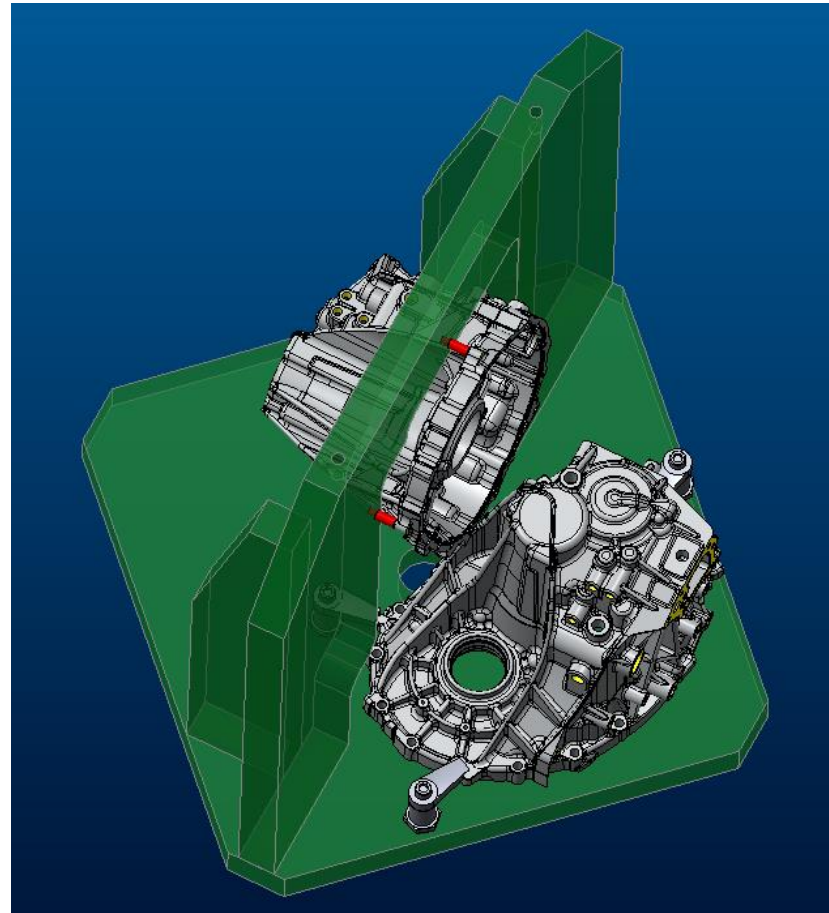
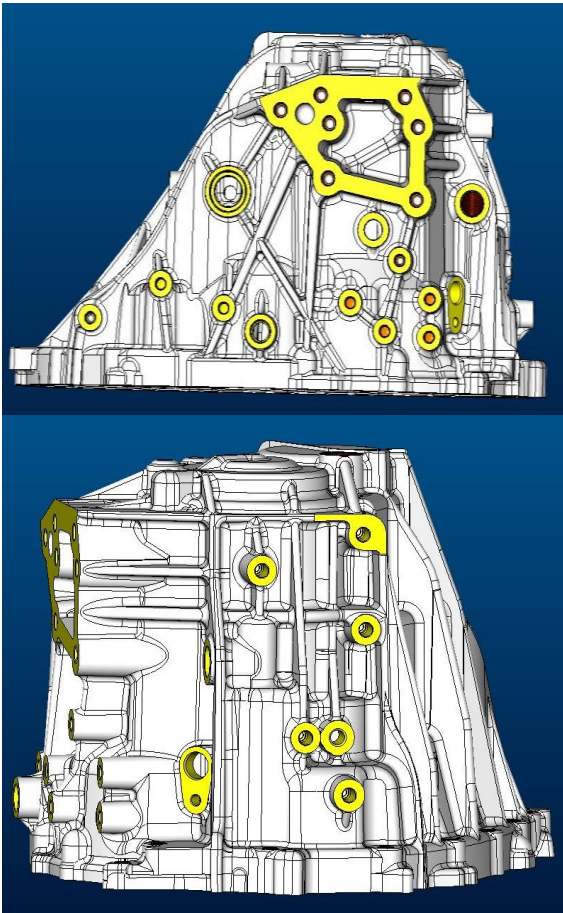


Příklad - obrábění převodové skříně proběhne na stroji OKK HM 600

- OKK HM 600 je portálový stroj, který disponuje vyměnitelnými paletami
- Jedna paleta se nachází uvnitř stroje a probíhá na ní obrábění. Druhá paleta je situována mimo pracovní prostor stroje a slouží pro přípravu dílů k následnému obrábění
- Stroj disponuje 4 osami



Upnutí do přípravku a plochy k obrábění



Materiál
hliník ADT4,
chemické složení:

(Al)
80,8% – 87,9%

(Si)
9,6% – 12%

(Fe)
0,6% – 1,1%

(Cu)
1,7% – 2,1%

(Mn) (Mg) (Zn)

(Ni) (Cr) (Pb)

(Sn) (Ti) (Ca)

Každý stroj má své maximální limity pro stanovení nástrojů

Limity pro stroj OKK HM600

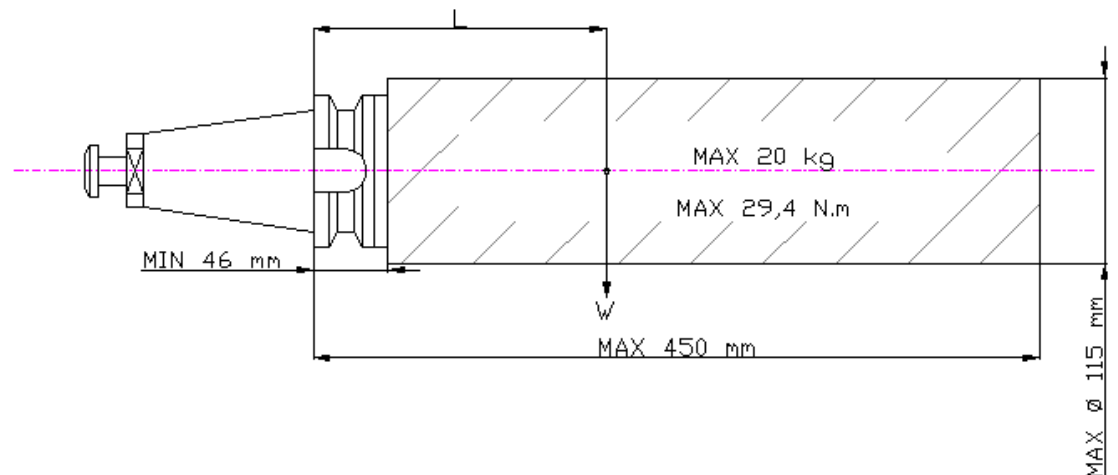
- **Hmotnost** Maximální hmotnost nástroje pro plně automatickou výměnu je 20 kg včetně držáku nástroje.
- **Nástrojový moment** Maximální nástrojový moment je 29,4 N-m a je vypočítán

Nástrojový moment = $9,8 \times W \times L$ [N-m],

W – celková hmotnost nástroje [kg]

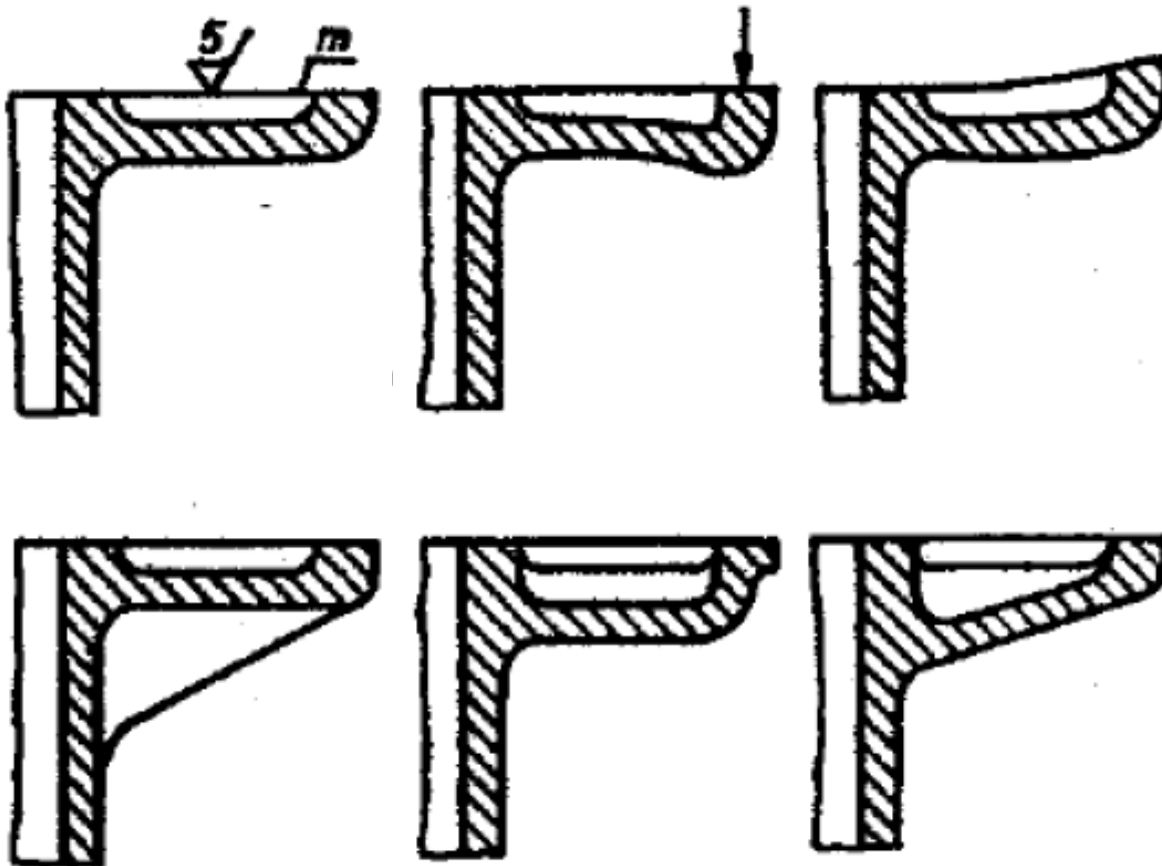
L – Vzdálenost od špičky nástroje po těžiště nástroje [m]

- **Délka** - Maximální délka nástroje je 450mm a je počítána od vřetene stroje.
- **Průměr** - Standardní nástroj zobrazen na obrázku, Maximální průměr 115 mm, nástroje o průměru do 250 mm nesmí být řazeny v zásobníku vedle sebe, ale musí mít jednu pozici volnou.

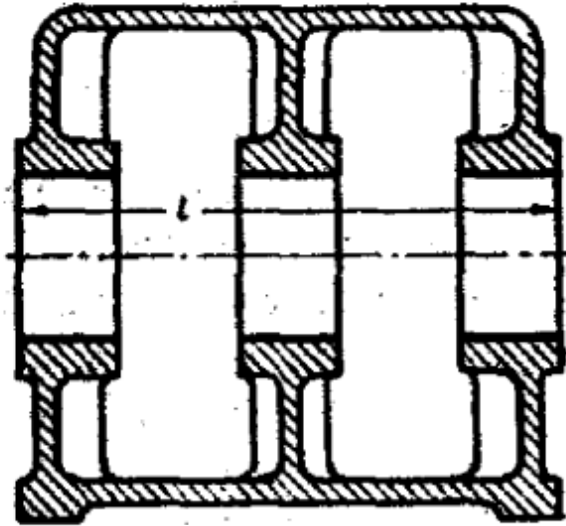


Pružné deformace obrobků a nástrojů

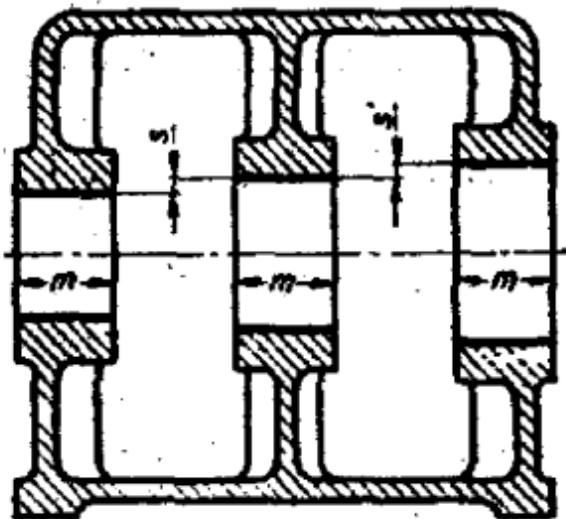
- Konstrukčním prvkům výrobku je nutné zajistit dostatečnou a rovnoměrnou tuhost



Obrábění na jedno upnutí

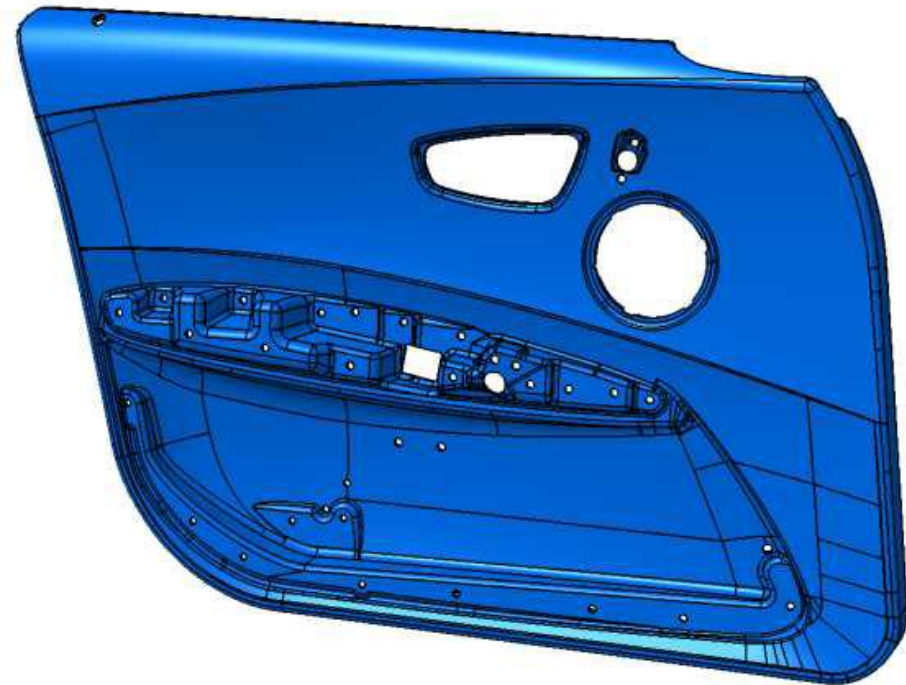
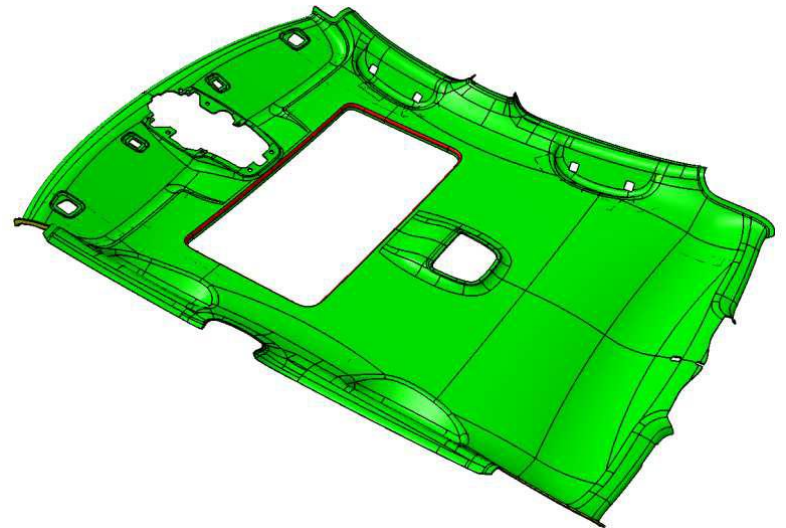
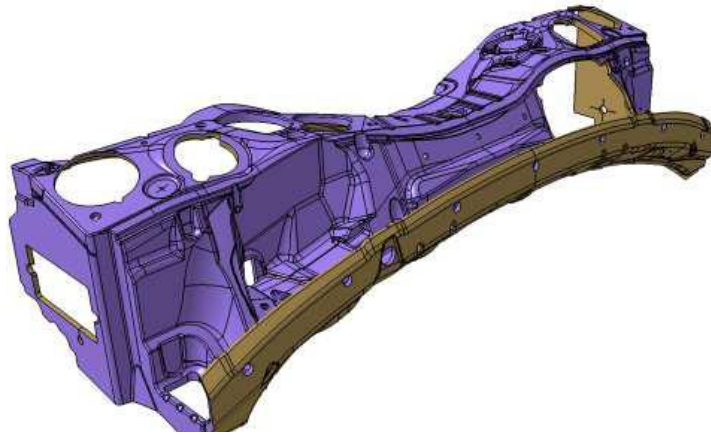


- Povrchy, jejichž vzájemný styk a polohu nutno vyrobit velmi přesně obrábět při jednom upnutí



Příklad obrábění

- tvarově složité nástroje



Design

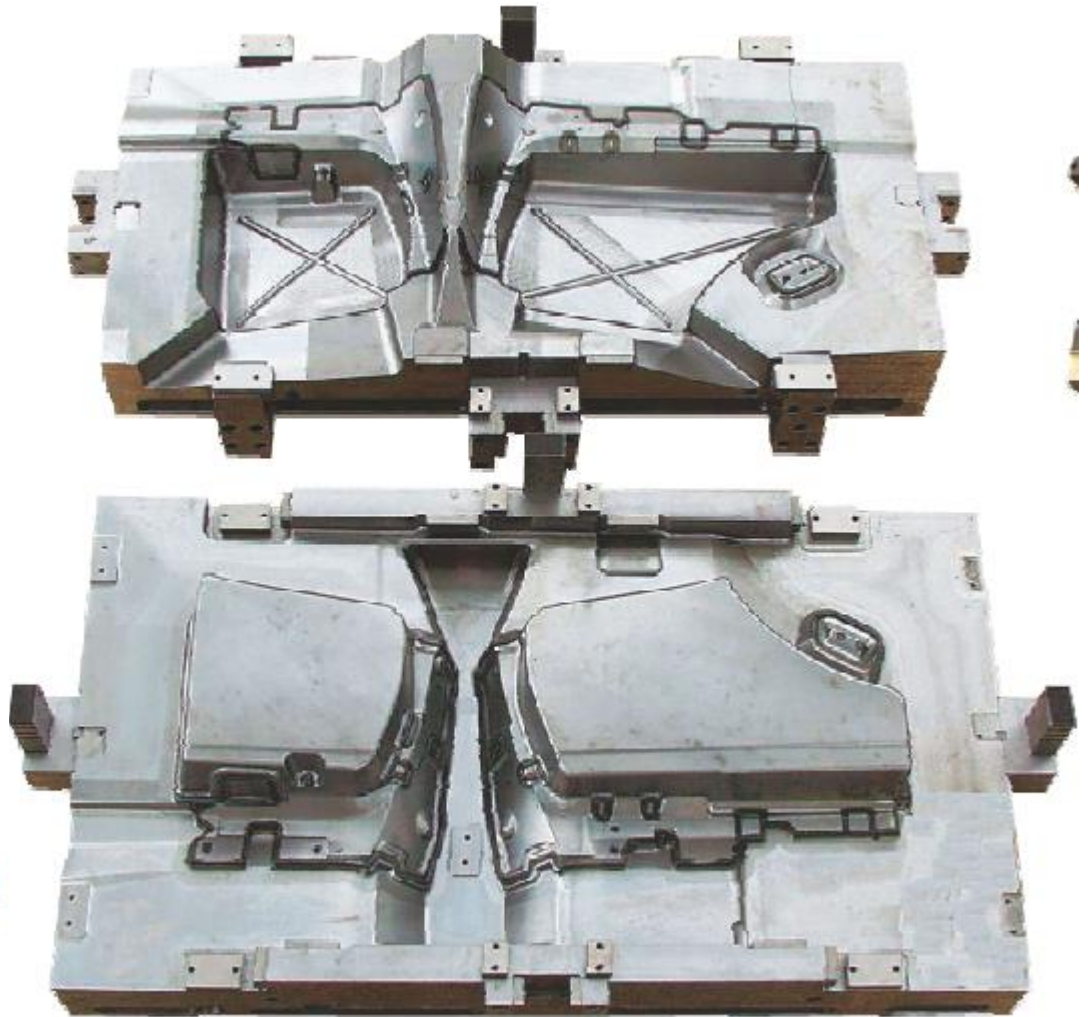
- Design v nejobecnějším pojetí jen synonymem pro návrh, ale zabývá také širším pohledem na estetiku tvarem jednotlivých detailů a v této souvislosti je produkt nositelem uměleckého pojetí či názoru a odkazuje na estetické uvažování doby svého vzniku.
- Názor vyjadřuje umělecké ztvárnění produktu, jejich styl a způsob, jakým byly navrženy. Design je tak chápána jako umělecké dílo, které je zároveň kulturním symbolem doby, připomíná prosperitu historických epoch a stává se časovým svědkem změn společnosti.
- Designér je umělec a kreativec
- Designér má absolutní volnost v hledání a tvoření nových řešení a návrhů.

Produkty



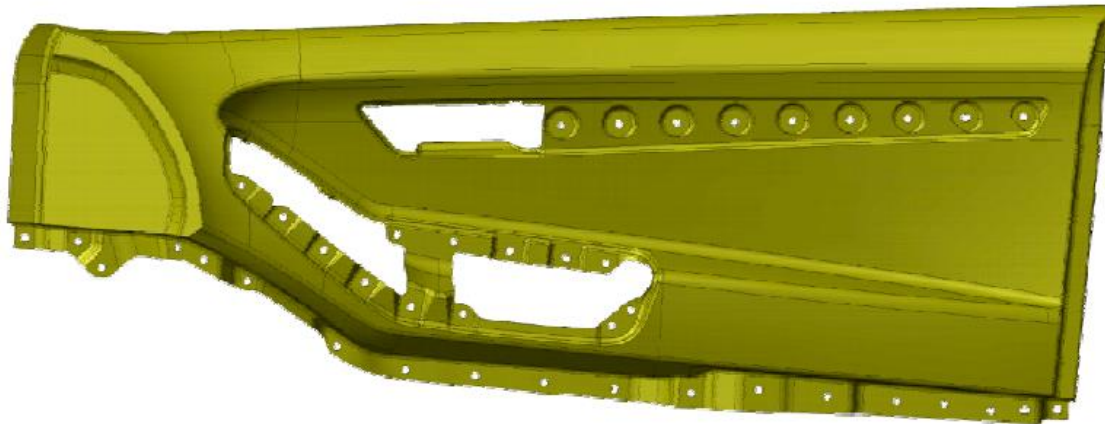
Tvarově složité nástroje

- Formy
 - Lisovací
 - Vypěňovací
 - Kaširovací
- Vystřihovací nástroje



Technologičnost při výrobě tvarově složitých nástrojů

Vždy musíme respektovat tvar vyráběného dílu, pro který se nástroj staví.



Technologičnost konstrukce je u některých dílů z velké části ovlivněna geometrií a tvarem požadovaného dílu.

Souvislost s návrhem designu

Hospodárná výroba

Konstrukce nástroje vychází z :

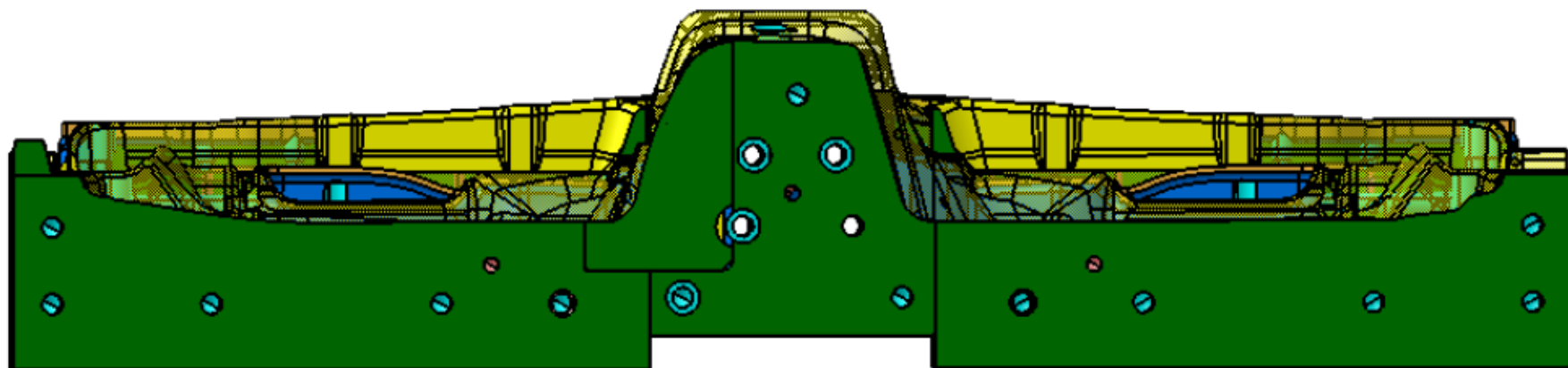
- tvaru a materiálu výsledného dílu
- požadované technologie (lisování, vypěňování, ...)
- požadovaných funkcí (stříhy, chlazení, varianty)
- obchodních požadavků (provedení, termín, cena)
- speciálních požadavků (výrobce komponent)

Volba polotovaru

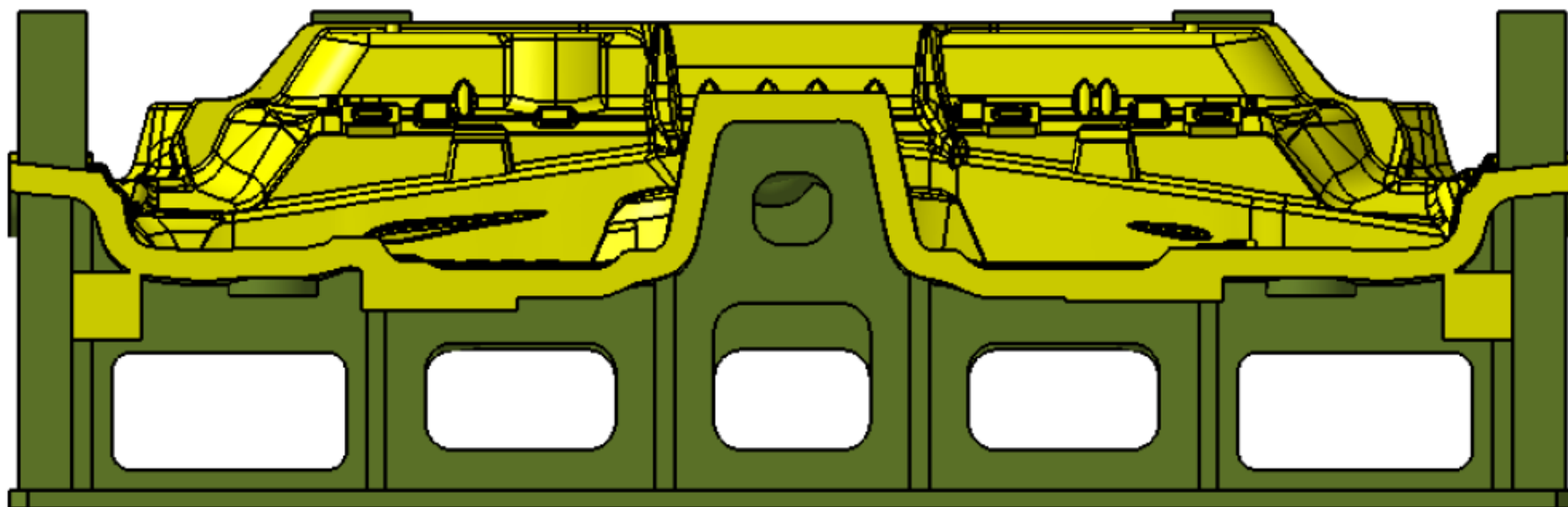
	BLOK	ODLITEK
• čas dodání	+	-
• množství odpadu	-	+
• díry pro topení	±	±
• použití el.patron	+	-
• vytápění topnou deskou	+	-
• polotovar pro obrábění	+	-
• cena/kg	+	-
• hmotnost	-	+
• střížné hrany	±	±
• navařování	±	±

Volba polotovaru

BLOK

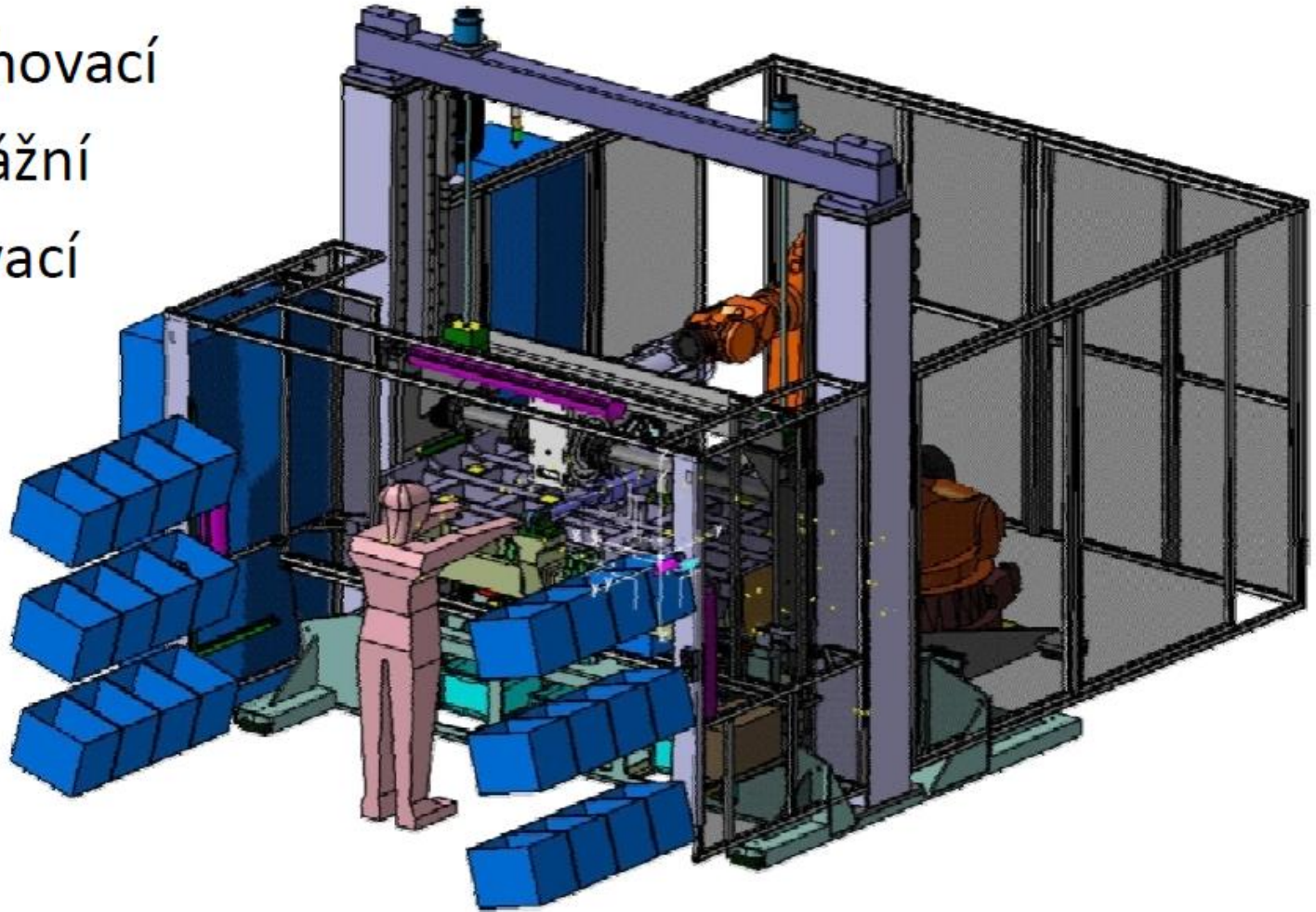


ODLITEK



Stroje a zařízení

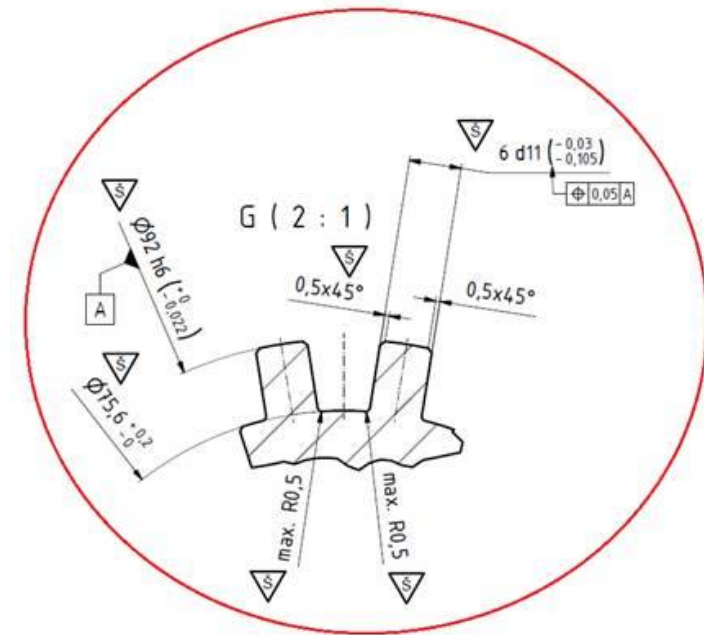
- vystřihovací
- montážní
- testovací
- atd.



Příklad posouzení technologičnosti konstrukce

Relevantní informace

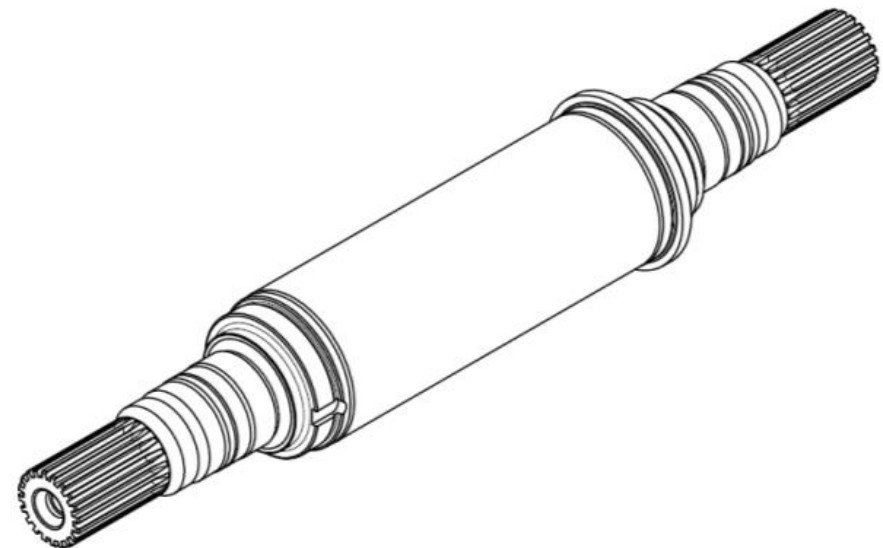
- Pro výrobu použít materiál 34CrNiMo6+QT
- Zákazníkem je požadována nitridace do hloubky 0,5 mm – 0,7 mm, tvrdost 45 – 50 HRC
- Zušlechtnění bylo provedeno dle výkresu: pevnost v tahu $R_m = 1000 - 1200$ MPa
- Hřídele dopraveny subdodavateli, který provedl nitridaci, ale dosažená tvrdost byla 55 HRC
- Aplikace – rotor elektromotoru, předpoklad nízkých teplot během zimního období (až -40°C)



Na ozubení jsou u celkem 6 kusů naměřeny odchylky $D=92\text{h6}-0,022$, Před nitridací byly rozměry v toleranci.

- 1017 – levá strana 91,975; pravá strana 91,965
- 1021 – levá strana 91,950; pravá strana 91,975
- 1013 – levá strana 91,970
- 1015 – levá strana 91,970
- 1016 – levá strana 91,965
- 1014 – levá strana 91,965

Požadavek: Najít způsob jak rozměr ozubení nepatrně (v setinách zvětšit)





HODNOTY KONEČNÉ ÚPRAVY MATERIÁLU:

VALUES OF FINAL MATERIAL:

ЗНАЧЕНИЯ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛА:

PEVNOST V TAHU $R_m = 1000 - 1200 \text{ MPa}$

TENSILE STRENGTH $R_m = 1000 - 1200 \text{ MPa}$

ПРОЧНОСТЬ НА РАСТЯЖЕНИЕ

NEJNIŽŠÍ MEZ KLUZU $R_p > 950 \text{ MPa}$

LOWEST YIELD STRENGTH $R_p > 950 \text{ MPa}$

NEJNIŽŠÍ TAŽNOST $A_5 > 8\%$

LOWEST TENSIBILITY $A_5 > 8\%$

НИЖНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ

NEJNIŽŠÍ VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST $KCU_2 > 29 \text{ Jcm}^{-2}$

LOWEST IMPACT VALUE $KCU_2 > 29 \text{ Jcm}^{-2}$

НИЖНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ

Průměr 205 mm
Délka 1206 mm



HŘÍDEL NITRIDOVAT DO HLOUBKY 0,5-0,7 mm, TVRDNOST 45-50 HRC

SHAFT TO NITRIDE - DEPTH 0,5-0,7 mm, SURFACE HARDNESS 45-50 HRC

ВАЛ АЗОТИРОВАТЬ НА ГЛУБИНУ 0,5-0,7 мм, ТВЕРДОСТЬ 45-50 HRC

MECHANICKÉ VLASTNOSTI A CHEMICKÉ SLOŽENÍ DEKLAROVAT 3.1 DLE EN10204

MECHANICAL PROPERTIES AND CHEMICAL COMPOSITION DECLARE 3.1 ACC EN10204

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ УКАЗАТЬ 3.1 СОГЛАСНО EN10204

HŘÍDEL NESMÍ BÝT OHNUTÝ ANI JINAK POŠKOZENÝ

SHAFT MUST NOT EXIST INFLEXED NOT EVEN OTHERWISE DAMAGE

ВАЛ НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ИЗОГНУТЫЙ ИЛИ ИНЫМ ОБРАЗОМ ПОВРЕЖДЕН

HÁZENÍ OBVODOVÝCH PLOCH MAX.0,1mm

RUNOUT OF CIRCULAR SURFACES MAX. 0,1mm

БИЕНИЕ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАКС. 0,1mm.

STŘEDICÍ DŮLKY NESMÍ BÝT POŠKOZENY!!

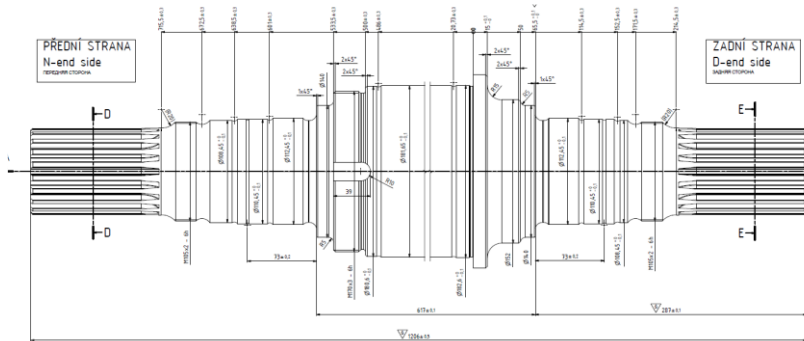
CENTRING HOLE MUST NOT BE DAMAGE !!

ЦЕНТРОВОЧНЫЕ УГЛУБЛЕНИЯ НЕ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ПОВРЕЖДЕНЫ!!

KONTROLA PRŮCHODNOSTI VRTÁNÍ PRO HYDRAULIKU

CHECK CLEARNESS OF HYDRAULIC BORES

ПРОВЕРКА ПРОХОДИМОСТИ СВЕРЛЕНИЯ ДЛЯ ГИДРАВЛИКИ



Ind.	Popis změny / Description of change	Provedl/Issued	Schválil/Appr.	Dat./Date
Norma Standard	DIN 1013/EN10060			Čistá hm. 154,385 kg Mass netto
Položtovar Raw Product	KR 210			Hrubá hm. 0 kg Mass brutto
Materiál výchozí Default material			Materiál konečný Final material	34CrNiMo6+QT
TDP Tech.Detiv.Cond.	EN 10083-3			Sestava/Assembly
	Tolerance/Tolerance ISO 8015 SN 01 4240-m ISO 2768 mK EN ISO 13920 BF	Neoznačené hrany Unmarked edges ISO 13715		Drsnost/Roughness ISO 1302:1978 Ra

Hodnocení technologičnosti konstrukce – tepelné zpracování

- a) na výkrese není zohledněna **technologičnost konstrukce** z pohledu procesu CHTZ (nitridace), s nevhodným předpisem tvrdosti (HRC); (předepsaná hodnota platí pro objemové TZ s popouštěním dle diagramu); navíc vysoké zatížení a hluboký vpich od dia indentoru - 120° kuželu, způsobí iniciaci mikrotrhlin!
- b) požadavek NHD = 0,5 - 0,7 mm je silně nadhodnocen, (standardně NHD=0,3mm) a de facto působí kontraproduktivně ve vazbě nejen na mech. hodnoty zušlechťeného stavu jakosti 16 343.6, (pokles vrubové houževnatosti), ale i na adhezivně-kohezní chování povrchové vrstvy, (nebezpečí vzniku silně přesycené křehké sloučeninové vrstvy, fází $\epsilon + \gamma'$), se současným skokovým poklesem tvrdosti a to v režimu nestacionární řízené difuze, tzn. kdy se v procesu měnila koncentrace N₂ (nitridační potenciál KN) a teplota v závislosti na čase
- c) určitě pozitivní je, že výsledné napětí po nitridaci má průběh tlakového pnutí v povrchové vrstvě, tudíž zvětšuje se odolnost mat. proti únavě σ_c , (pomeme-li otěruvzdornost, antioxidační vlastnosti)
- d) Za předpokladu, že byla aplikována řízená plynová nitridace, tzn. zdrojem dusíku byl čpavek, pak caa platí, že sycení 0,1 mm /12h při teplotě ca 530°C, tzn. pro NHD=0,5 by hřídele musely být na teplotě min. 50 a více hod. (mj. jakost 16 343 je primárně určena k zušlechťování a zcela není ideální pro proces nitridace, obsahuje jen % Cr, který má vyšší elektronovou afinitu k atomárnímu N₂)
- e) Předepsaná tl. vrstvy by odpovídala spíše procesu nitrocementace a i ta bývá jen do 0,5mm

Hodnocení technologičnosti konstrukce – tepelné zpracování

- f) vlivem dlouhodobého teplotního zatížení při nitridaci, došlo pravděpodobně k dalšímu popuštění základné martenzitické (či bainitické) struktury, tzn. snížení metastabilního přesycení C u kubické prostorově středěné mřížky α' , k postupné transformaci α' na $\alpha + \text{Fe}_3\text{C} + \text{perlit}$, což mělo za následek zmenšení objemu tělesa, a proto místo zákonitého nárůstu průměru po nitridaci, došlo ke zmenšení objemu (průměru)
POZN: bylo by vhodné proměřit celý průřez nitridační vrstvy na vzorku dané šarže
- g) není definován režim zušlechťování včetně popouštění a pokud kalírna chtěla dodržet požadavek hodnoty NHD, pak to řešila vyšší teplotou difuze při vyšší koncentračním potenciálu KN, gradientu N₂; (velký vliv měl právě rozdíl mezi teplotami T_{dif.} a T_{pop.})
- h) kinetika difuze je ovlivňována řadou faktorů, především teplotou, krystalickou mřížkou, (rozpuštěností v Fe α'), vazbami mezi atomy a také mřížkovými poruchami; pro jakost 16 343 probíhá téměř výhradně mechanismem intersticiální difuze;
- i) pro uvedenou rozměrovou přesnost (h6), je nezbytné po CHTZ (nitridaci), průměry brousit vhodným br. kotoučem !!!;

Doporučené řešení

Varianta A

- nejsnazší, ale určitě ne jednoduché, bylo by se domluvit se zákazníkem a upravit protikus (náboj) na stanovený průměr, např. na $\varnothing 91,5\text{mm}$ a naměřené hodnoty sjednotit na požadované uložení, (lícování na X/h6)
- POZN: - otázkou je, zde stupeň přesnosti IT6 je funkčně a technicky zdůvodnitelný

Varianta B

- za dané konstalace metalograficky nevyvážených struktur na hřídelích
- aplikovat PVD povlak na inkriminované neshodné průměry s tím, že by se musela nejdříve aplikovat mezivrstva čistého kovu, např. zakotvení čistého Cr ve fázích $\epsilon + \gamma'$ a poté standardně deponovat vrstvu CrNx
- dále přebrousit na požadovaný rozměr - toleranční pole je velmi úzké
- s ohledem na rozměrovou i technickou náročnost řešení, existuje málododvatelů na trhu, např. HVM Plasma, Praha