

5. Konstrukce základních skupin

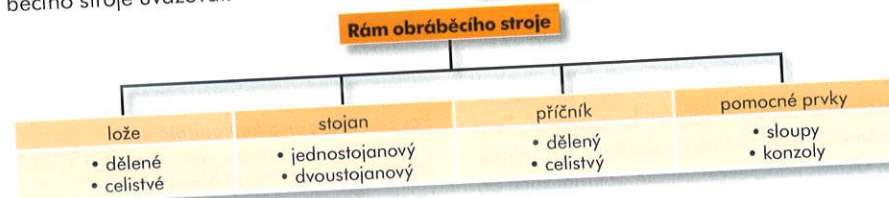
5.1 Rámy obráběcích strojů

V následujících dvanácti podkapitolách budou probrány základní stavební uzly CNC obráběcích strojů, které jsou společně všem typům. V hojně míře jsou zde použity a citovány teoretické základy a principy převzaté z [1], [2], [3] a firemní literatury a dále poznatky autora zejména v oblasti dimenzování servopohonů.

Lože i stojany, popřípadě příčníky, sloupce a konzoly jsou základní části rámu obráběcího stroje (obr. 5.1). Na jejich tuhosti, odolnosti proti opotřebení vodicích ploch, dynamické stabilitě a stálosti tvaru závisí v převážné míře přesnost obrábění [1]. Při návrhu těchto částí musí tedy konstruktor respektovat řadu hledisek, která lze shrnout v některé základní a všeobecně platné požadavky:

- kvalitní materiál rámu;
- dobrá statická tuhost;
- vyhovující dynamická a tepelná stabilita;
- umožnění dobrého odvodu třísek;
- jednoduchá a efektivní výroba;
- malá hmotnost;
- snadná manipulovatelnost;
- dobré uložení na základ.

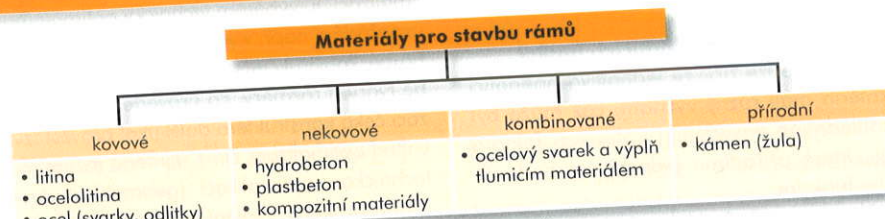
V dalším budou uvedeny některé základní otázky, které je nutno pro splnění uvedených požadavků při konstrukci rámu obráběcího stroje uvažovat.



Obr. 5.1. Morfologie rámu CNC obráběcího stroje

Pro konstrukci rámu obráběcího stroje lze využít různé materiály, nejčastěji pak šedou litinu, ocel i ocelolitinu, ale v poslední době ve stále větší míře i různé neželezné materiály, zejména beton a polymerbeton (obr. 5.2). Při volbě druhu materiálu je vždy nutno posuzovat zejména základní fyzikální vlastnosti daného materiálu, které přímo ovlivňují technické a provozní vlastnosti stroje [1]:

– pevnost (tah, tlak, ohyb, krut)	⇒	bezpečnost proti trvalé deformaci a zlomení
– specifická hmotnost	⇒	hmotnost, statické a dynamické vlastnosti
– modul pružnosti (v tahu, smyku)	⇒	statická a dynamická tuhost
– útlum chvění	⇒	dynamické vlastnosti
– kluzné vlastnosti, tvrdost	⇒	tření a opotřebení v kluzných zónách
– vnitřní pruž	⇒	trvalá přesnost (dlouhodobá)
– tepelná roztažnost, vodivost	⇒	tepelná stabilita



Obr. 5.2. Typy materiálů pro stavbu rámu

Tab. 5.1. Fyzikální vlastnosti materiálů rámu [1]

Parametr	Modul pružnosti [MPa]	Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	Součinitel teplotní roztažnosti [K ⁻¹]	Pevnost v tahu [MPa]
Materiál				
Ocel St 37	2,1 · 10 ⁵	7850	11,1 · 10 ⁻⁶	350 ... 470
Ocelolitina	1,7 · 10 ⁵	7400	9,5 · 10 ⁻⁶	400 ... 700
Šedá litina 20	0,8 – 1,1 · 10 ⁵	7200	9,0 · 10 ⁻⁶	100 ... 200
Měď	1,2 · 10 ⁵	8950	16,2 · 10 ⁻⁶	200 ... 400
Hliník	0,7 · 10 ⁵	2700	23,8 · 10 ⁻⁶	120 ... 400
Mosaz	0,9 · 10 ⁵	8500	19,0 · 10 ⁻⁶	300 ... 700
Titan	1,1 · 10 ⁵	4500	10,8 · 10 ⁻⁶	500 ... 1200
Beton	0,2 · 10 ⁵	2500	11,0 · 10 ⁻⁶	5 ... 10
Polymerbeton	0,4 – 0,6 · 10 ⁵	2300 – 2500	8,2 – 14,0 · 10 ⁻⁶	20 ... 40
Granit	0,9 · 10 ⁵	3000	8,0 · 10 ⁻⁶	50
Al. oxid – keramika	2,4 · 10 ⁵	3400	4,3 · 10 ⁻⁶	320

V tabulce 5.2 jsou uvedeny základní fyzikální a tepelné vlastnosti dvou druhů používaných a v praxi ověřeného polymerbetonu [Rhenocast fy Schneeberger], ve srovnání s vlastnostmi klasických materiálů (ocel St 37, litina GG 20).

Z porovnání údajů v tabulce 5.2 vyplývá, že pevnostní ukazatele polymerbetonu se blíží parametrům některých kovových materiálů, např. hliníkových slitin. Zavedeme-li pro srovnávání nový ukazatel tzv. měrné tuhosti (dané podílem modulu pružnosti), jsou výsledky ve prospěch polymerbetonu ještě příznivější – ukazují, že využitím polymerbetonu lze při stejné váze rámu stroje docílit vyšších parametrů tuhosti než při využití např. šedé litiny. Proti je ovšem postavena otázka ceny – alespoň prozatím. Využití polymerbetonu pro konstrukci rámu obráběcích strojů přináší některé další specifické vlastnosti a požadavky, z nichž lze uvést zejména tyto [1]:

- rám z polymerbetonu má podstatně lepší dynamické vlastnosti (koeficient tlumení je 5- až 12krát vyšší než u litiny či oceli);

Tab. 5.2. Mechanické a tepelné vlastnosti materiálů

Č.	Druh materiálu	Šedá litina s lam. grafit. GG 20	Ocel neleg. St 37	RHENOCAST
1.	Modul pružnosti E [kMPa]	88 ... 113	210	40 – 45
2.	Pevnost v tahu [MPa]	200 ... 300	350 ... 470	15 – 20
3.	Pevnost v tlaku [MPa]	720	–	100 – 120
4.	Pevnost v ohybu [MPa]	290	–	28 – 30
5.	Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	7150	7850	2350 – 2450
6.	Koeficient tlumení	0,0045	0,0023	0,03 – 0,1
7.	Měrná tuhost [–]	(12,3 – 15,8) · 10 ²	27,3 · 10 ²	–
8.	Koeficient tepelné roztažnosti [K ⁻¹]	10 · 10 ⁻⁶	12 · 10 ⁻⁶	11,5 – 14 · 10 ⁻⁶
9.	Tepelná vodivost [W.mK ⁻¹]	50	50	1,5 – 2
10.	Specifická tepelná kapacita [J.kgK ⁻¹]	500	450	1200

– rám z polymerbetonu je tepelně stabilní. Je to dáno výrazně lepšími parametry tepelných dilatací a tepelné vodivosti. Stojan či lože z polymerbetonu jsou prakticky „necitlivé“ na změny teploty okolí a rovněž velmi málo přenášejí teplo od zdrojů místního ohřevu (motory, pohony) na stroji;

– v praxi lze využít i princip „vytří“ vnitřního prostoru stávajícího ocelového nebo litinového dílu spodní stavby směsí polymerbetonu a tím výrazně zlepšit parametry tuhosti a stability;

– další možnosti využití dává princip „vytří“ tenkostěnné (ocelové) konstrukce rámu polymerbetonem – vnější tvar včetně připojovacích prvků nahrazuje formu – neprovádí se pracně a drahé žebrovaní a vnitřek se vyplní polymerbetonem. Přitom se musí respektovat některé zásady, jako například to, že minimální tloušťka stěny polymerbetonu má být 80 mm, všechny plochy ocelové konstrukce musejí být odmaštěné, čisté a suché, plnicí otvory mají být pokud možno z jedné strany atd.;

– při výrobě rámu stroje z polymerbetonu je nutno použít technologii odlévání do forem, které mohou být dřevěné nebo kovové. Dřevěné formy mají menší životnost (cca 20 odlití) a přesnost (cca ±1 mm), ale jsou levné. Pro sériovou výrobu jsou vhodnější formy kovové (hliník, litina, ocel) s vysokou životností (až 1000 odlití) a přesností (cca ±0,05 mm);

– některé funkční a připojovací plochy (vedení, závitové otvory, plochy pro manipulaci a polohování) musejí být do rámu z polymerbetonu vhodně zality s potřebnou pevností spojení. Je to dáno nižšími parametry pevnosti, tzn. že síly musí přenášet tento materiál jen v relativně velké ploše. Síly koncentrované na malé plochy (závitový otvor) nemůže pře-

nášet. Proto musejí být pro všechny tyto případy vloženy a zality do základního tělesa vhodné tvarované konstrukční prvky kovové (ocel, litina). Dimenze a tvar vestavných prvků je nutno volit tak, aby byla zvětšena styková plocha s polymerbetonem pro přenos daného zatížení a aby byl vytvořen vhodný „zámek“ (bajonet,

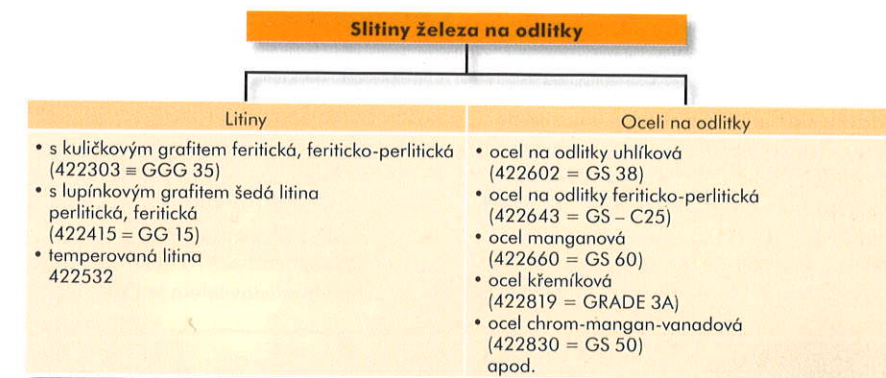
je nutno věnovat připojení vodicích ploch s ohledem na zajištění vysoké a dlouhodobé přesnosti, např. 0,005/2000 mm. Doporučuje se dimenzovat vestavné prvky vedení tak, aby měrné tlaky působící na styčnou plochu v polymerbetonu nepřesáhly hodnotu 0,5 N.mm⁻².

Uvedené vlastnosti těchto nových materiálů přinášejí zřejmě a perspektivní možnosti využití ve stavbě obráběcích strojů. Nejběžnějším materiálem užívaným pro rámy jsou kovové materiály (slitiny železa) (obr. 5.3).

Pro konstrukci odlitků, zejména pak pro návaznost žebířů a protiploch, platí zásady, které jsou uvedeny na obr. 5.4 [4].

Předběžné určení tloušťky stěny se provádí dle charakteristického rozměru:

$$N = \frac{2 \cdot l + b + h}{3}$$

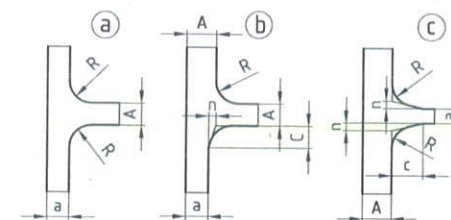


Obr. 5.3. Slitiny železa užívané pro stavbu rámu obráběcích strojů

T-drážka, spirála apod.). Rozměry vestavného prvku se volí tak, aby se např. dříve porušil závit ve vložce, než aby došlo k uvolnění celé vložky. S postupným vývojem polymerbetonových materiálů se požadavky na rozměry vestavných prvků snižují. Zvlášť zvýšenou pozornost

kde l, b, h je délka, šířka a výška odlévané součásti. Tomuto číslu je přiřazena tloušťka stěny (viz obr. 5.5).

Tvar odlitku má být co nejjednodušší a téměř vždy je po konstrukčním návrhu upravován na technologické zvyklosti příslušné slévárny. Stává se pak běžné, že

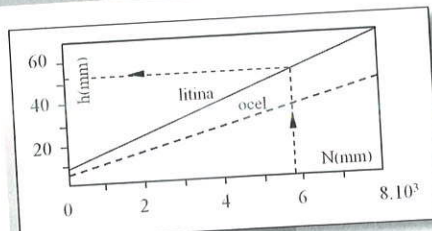


Obr. 5.4. Zásady pro konstrukci odlitků u slitin železa [4]

Druh spojení	A/a		R		c		n
	litina	ocel	litina	ocel	litina	ocel	
a	2	1,25	$\frac{A}{4}$	$\frac{A}{2}$	–	–	–
b	2	1,25	4	2	10 n	12 n	$\frac{A}{2} - a$
c	2	1,50	–	–	–	–	4

Obr. 5.4. Zásady pro konstrukci odlitků u slitin železa [4]

5.1 Rámy obráběcích strojů



Obr. 5.5. Tloušťka stěny odlitků ze slitin železa [4]

musí dojít ke kompromisu mezi technologií a konstrukcí. Konstruktor musí pamatovat na snadnou manipulaci, možnost čištění po vyjmutí z formy, přiměřenou hmotnost, přístup k opracovaným plochám, technologii lití, tvarovou a funkční správnost odlitku (spíše rovné plochy), rovnoměrné tuhnutí ve všech částech odlitků, plynulé přechody stěn se zaoblením, polohu při odlévání či přesnost odlévání (vůči mezi navazujícími odlitky).

Odlité lože nebo stojan jsou zpravidla těžší než svařované, a to z těchto důvodů:

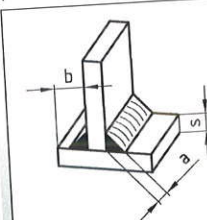
- litina má menší modul pružnosti v tahu i ve smyku, proto je nutno volit při požadavku stejné tuhosti u odlitku tlustší stěny než u součásti svařované z ocelového plechu;
- průřezy namáhané v kroucení se u odlitků nedají vytvořit zcela uzavřené, proto je nutno volit tlustší stěny a hustší vyžebravání;



Obr. 5.6. Struktura Dem-Tec [Demmeler]

– z důvodů technologických (se zřetelem na možnosti odlití) je nutno volit u odlitků větší tloušťku, než by bylo třeba podle požadované tuhosti [1].

Pro kontrolu tvaru, rozměrů a hmotnosti odlitků ze slitin železa je směrodatný výkres odlitku nebo postupový výkres. Zbytky po nalitích a vtocích musí být ve slévárně odstraněny jak na obráběných, tak i neobráběných plochách. Hrubé odlitky nesmějí mít povrchové vady, které by byly na závadu jednak při obrábění – jednak funkční závady (nena-

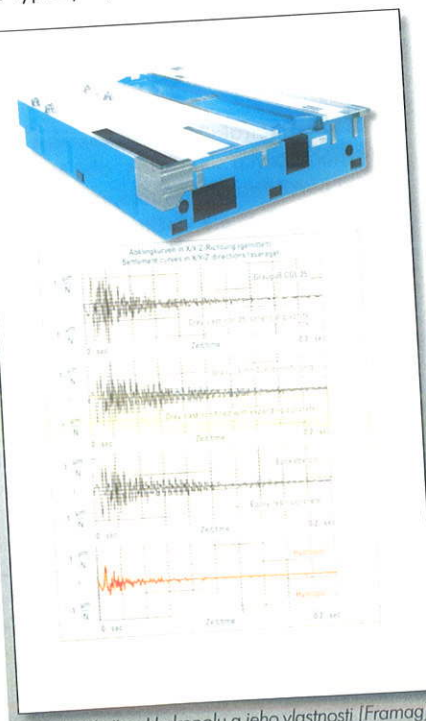


Obr. 5.8. Rozměry svarů [4]

Rozměr svaru a [mm]	3	4	5	6	8	10	12	14
Přesazení b [mm]	6	10	10	12	15	18	20	25

lité žebra apod.), jednak vycezeniny či jiné vnitřní vady. Dále se prověřují mechanické vlastnosti materiálu odlitku a jeho chemické složení. Mohou být předepsány i mechanické zkoušky (tah, tlak, tvrdost apod.).

Stále častěji jsou využívány i tzv. kombinované materiály pro stavbu rámu obráběcích strojů, zejména ocel a nekovová hmota. Typickým představitelem je Dem-Tec (fa



Obr. 5.7. Lože z Hydropolu a jeho vlastnosti [Framag]

Demmeler – obr. 5.6) nebo DUO-COM (fa Waldrich Coburg). Jako výhody jsou uváděny vysoká tuhost, výrazná redukce kmitů při obrábění, geometrická stabilita dílů, velmi dobré tlumení, minimální teplotní roztažnost či snadná výroba.

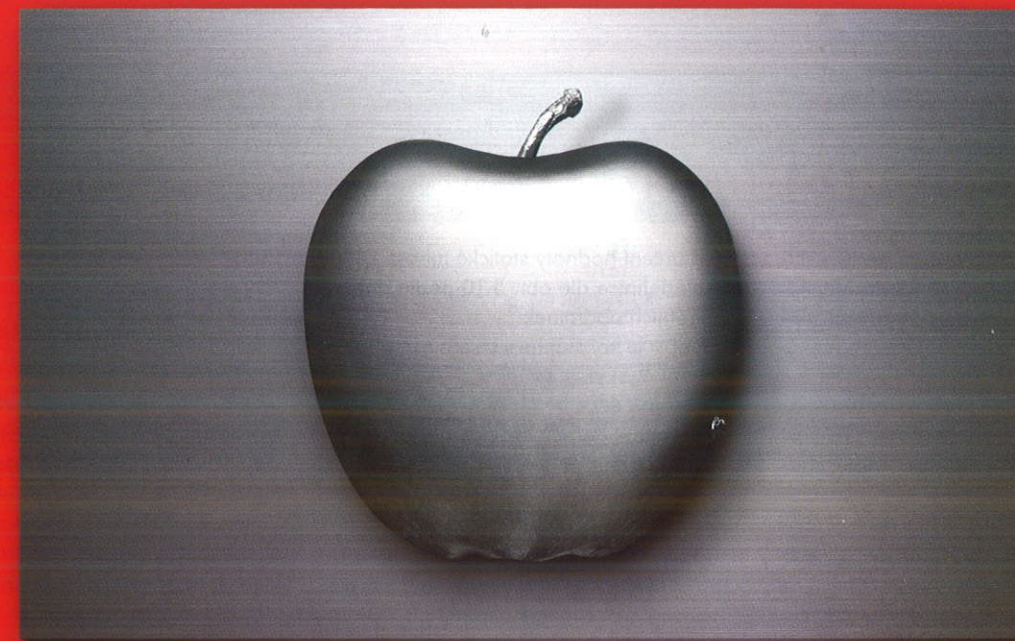
Jiným typem kombinovaného materiálu je Hydropol (fa Framag). Na obr. 5.7 je uveden příklad lože a jsou dokumentovány vlastnosti z měření.

Svařované konstrukce rámu obráběcích strojů využívají ocelové profily nebo válcové

vané plechy, u kterých je zaručena svařitelnost. Počet svarů, jejich směr a velikost musí být voleny tak, aby nedocházelo k vzájemnému pnutí, které ztíží profil svaru. Z těchto důvodů jsou voleny průběžné svary malých velikostí. Doporučenou velikost udává obr. 5.8.

Nepočítáme-li cenu modelu, bývají obvykle náklady na odlití nižší než na svařování. Proto je výhodné volit svařované díly u strojů vyráběných buď jednotlivě, nebo v malých počtech kusů. Panoval názor (podložený zkouškami s jednoduchými tyčemi), že litinové díly lépe tlumí kmitání než svařované. Podrobnější a hlubší pokusy a zkoušky však dokazují, že tento názor není zcela správný. Spoje v místech svarů působí tlumivě, neboť se v nich těsně stýkají části, které se při kmitání vzájemně pohybují. Přesto, že jsou to pohyby nepatrné, přispívá tření při nich vzniklé k tlumení chvění. K tlumení chvění dále přispívá možnost provedení nepravidelného vyztužení profilu [1].

Nevýhodou svařovaných loží a stojanů je prakticky nemožnost použít základní materiál, z něhož jsou vyrobeny, pro výrobu vodicích ploch. Proto musejí být vodicí plochy vytvořeny na lištách z vhodného materiálu a přišroubovány a přikolíkované (ve výjimečných případech i přivařeny) k tělesu lože nebo stojanu. V takových případech mohou být vodicí plochy litinové nebo ocelové, s kalenými činnými povrchy, popřípadě u saní obložené barevným kovem nebo umělou



Dokonalá kopie

Hermle – frézovat lépe



www.hermle.de

Pro vytvoření dokonalé kopie by se mělo pracovat s **originálem**. Stroje naší konstrukční řady C představují již mnoho let standard v **5-osém obrábění**. Hermle – to je originál.

HERMLE
Česká Republika

Maschinenfabrik Berthold Hermle AG, Gosheim/Německo, tel. +49 7426/95-0, info@hermle.de