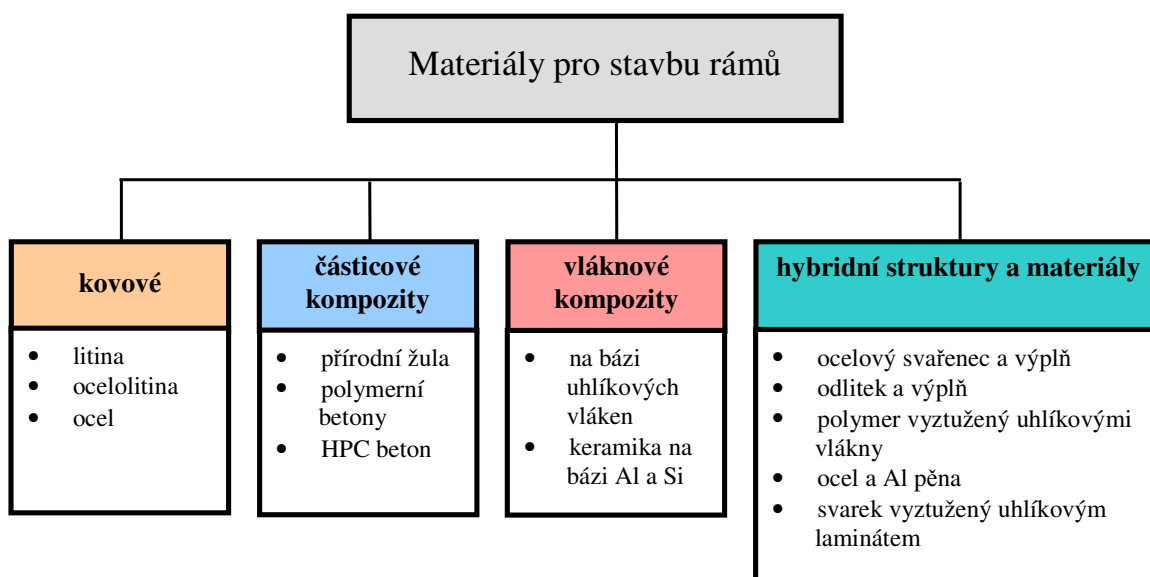


Materiály pro nosnou soustavu CNC obráběcího stroje

Pro konstrukci **rámu** (nosné soustavy) obráběcího stroje lze využít **různé materiály (obr.1)**. Při volbě druhu materiálu je vždy nutno posuzovat mimo jiné zejména **základní fyzikální vlastnosti daného materiálu**, které přímo ovlivňují technické a provozní vlastnosti stroje:

- | | | |
|-----------------------------------|---|---|
| ➤ 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 pnutí | ⇒ | trvalá přesnost (dlouhodobá) |
| ➤ tepelná roztažnost, vodivost | ⇒ | tepelná stabilita |



Obr. 1. Typy materiálů vhodné pro stavbu rámu obráběcího stroje

Vlastnosti nosné soustavy (dílců a skupin) CNC obráběcích strojů **jsou určeny** především:

- materiálem;**
- topologií** - tvarování, žebrování, tloušťky stěn, proporce dílců;
- spoji** - množstvím, polohou a provedením pevných i pohyblivých spojení.

Spektrum vhodných materiálů použitých ke stavbě CNC obráběcích strojů by mělo vykazovat zejména následující vlastnosti:

- vysoká **tuhost** a nízká hmotnost;
- vysoké **materiálové tlumení**.

Nejběžnějším materiálem užívaným pro rámy jsou **kovové materiály (slitiny železa)**. **Tvar odlitku** má být co nejjednodušší a téměř vždy je po konstrukčním návrhu upravován na technologické zvyklosti příslušné slévárny. Stává se pak běžně, že musí dojít ke **kompromisu mezi technologií a konstrukcí**.

Konstruktor musí pamatovat při konstrukci odlitku na:

- jeho snadnou manipulaci (což je mnohdy problém);
- možnost čištění po vyjmutí z formy (často se zapomíná);
- přiměřenou hmotnost (zejména u velkých obráběcích strojů);
- přístup k opracovaným plochám (někdy není žádný);
- technologii lití (tentýž odlitek v jiné slévárně může vypadat jinak);
- tvarovou a funkční správnost odlitku (spíše rovné plochy pokud to jde);
- rovnoměrné tuhnutí ve všech částech odlitků;
- plynulé přechody stěn se zaoblením;
- polohu při odlévání, či přesnost odlévání (vůli 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;
- z důvodů **technologických** (se zřetelem na možnosti odlití) je nutno volit u odlitků **větší tloušťku**, než by bylo třeba podle požadované tuhosti.

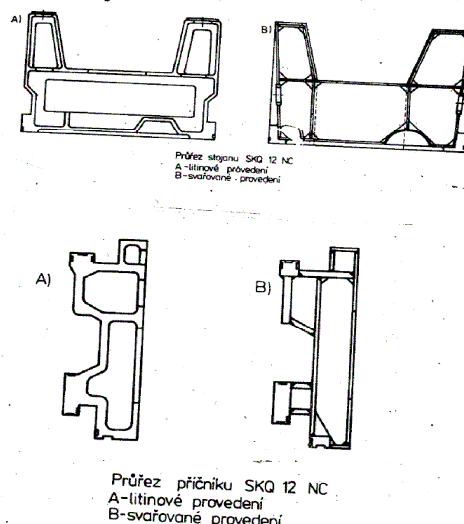
Pro kontrolu tvaru, rozměrů a hmotnosti odlitků ze slitin železa je směrodatný výkres odlitku nebo postupový výkres. Zbytky po nálitcích a vtcích musí být ve slévárně odstraněny jak na obráběných, tak i neobráběných plochách. Hrubé odlitky nesmějí mít povrchové vady, které by byly na závadu jednak při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

Svařované konstrukce rámu obráběcích strojů využívají ocelové profily nebo válcované plechy, u kterých je zaručena svařitelnost. Počet svarů, jejich směr a velikost musejí být voleny tak, aby nedocházelo k vzájemnému pnutí, které zhortí profil svarku. Z těchto důvodů jsou voleny průběžné svary malých velikostí.

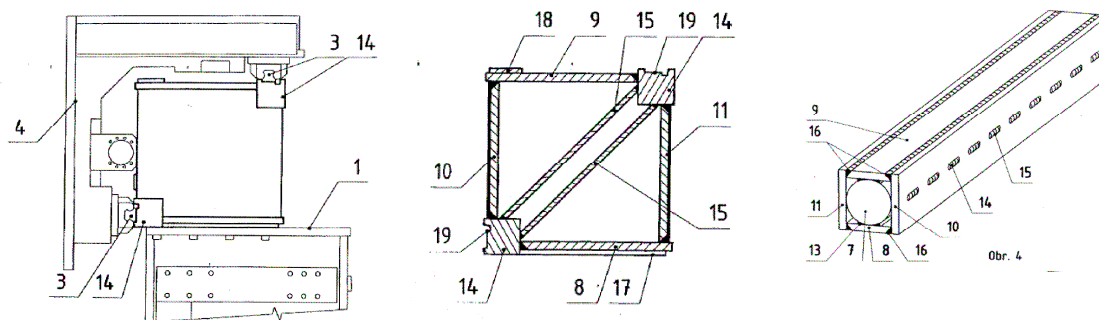
Použití svařenců místo odlitků **má** z technické a ekonomické stránky určité **výhody, ale i nevýhody**. Mezi přednosti svařovaných konstrukcí patří především snížení hmotnosti. Dosažené úspory materiálu snížením hmotnosti, při náhradě odlitku ze šedé litiny svařencem, jsou v průměru 30 %. Přitom tuhost svařence je stejná nebo i vyšší. Je závislá na celkových rozměrech rámu a na modulu pružnosti materiálu. Uzavřené skříňové konstrukce mají vyšší tuhost, zvláště při namáhání na ohyb a krut [4].

Odlitky ze šedé litiny jsou často z materiálového hlediska **neúsporné**. Svařování umožňuje **mechanizovat a automatizovat výrobu**, která je zcela nezávislá na drahém modelu. Zkracují se výrobní časy a svařování dovoluje vyšší variabilitu typových modifikací. Při dobrém zvládnutí technologie svařování se u svařenců nevyskytuje **zmetkovitost**, která je u odlitků ze šedé litiny mnohdy velká, zejména jedná-li se o prototyp [4].

V TOSHULIN, a.s. proběhly v osmdesátých letech pokusy o náhradu odlitků za svarky (**obr.2**). Důvodem byla zejména materiálová úspora. Stroj nebyl nakonec vyroben. První svislý soustruh kompletně vyrobený ze svařovaných dílů byl v novodobé historii TOSHULIN, a.s. postaven v roce 2003 (**obr.3**).



Obr. 2. Pokusy s náhradou odlitků za svarky v TOSHULIN, a.s. – 1980 [4]



Obr. 3. Svařované konstrukce strojů v TOSHULIN, a.s. (příčník a smykadlo) [patentová listina číslo:297120 a 297456]

U svařovaných konstrukcí existuje jedna bezesporná výhoda. Pokud je třeba rychle nahradit odlitek, je to možné za využití moderních výrobních technologií a sice laserové vypalovačky a ohraňovací lisu (**obr.4**).



Obr.4 Moderní technologie pro výrobu svarků v TOSHULIN, a.s.

Použití **částicových kompozitů (betonů)** ve stavbě strojů není myšlenka nová. Ve světě se objevily první pokusy již na začátku století. Beton byl tehdy použit na nosné a opěrné části, které byly namáhány nejen staticky, ale i dynamicky. Ve větším rozsahu byl použit cementový beton ve II. světové válce. V roce 1940 firma Gebr. Boehringer zhotovila betonové lože jednoúčelového kopírovacího soustruhu. Stroj se velmi osvědčil. V poválečných letech se výrobci vraceli opět ke kovovým materiálům, neboť hlavní motiv aplikace betonu – nedostatečná kapacita sléváren a oceláren, přestal být aktuální. Přibližně v polovině šedesátých let se přední evropští výrobci začali k použití betonu na lože strojů vracet [4].

V posledním desetiletí došlo ke značnému rozšíření uplatňování **polymerbetonu** jako materiálu nosných dílů brousících a frézovacích strojů, a to zejména u německých výrobců výrobní techniky. V Německu jsou také koncentrováni nejvýznamnější výrobci polymerbetonových dílců. Využití polymerbetonu pro konstrukci rámu obráběcích strojů přináší některé další specifické vlastnosti a požadavky, z nichž lze uvést zejména tyto:

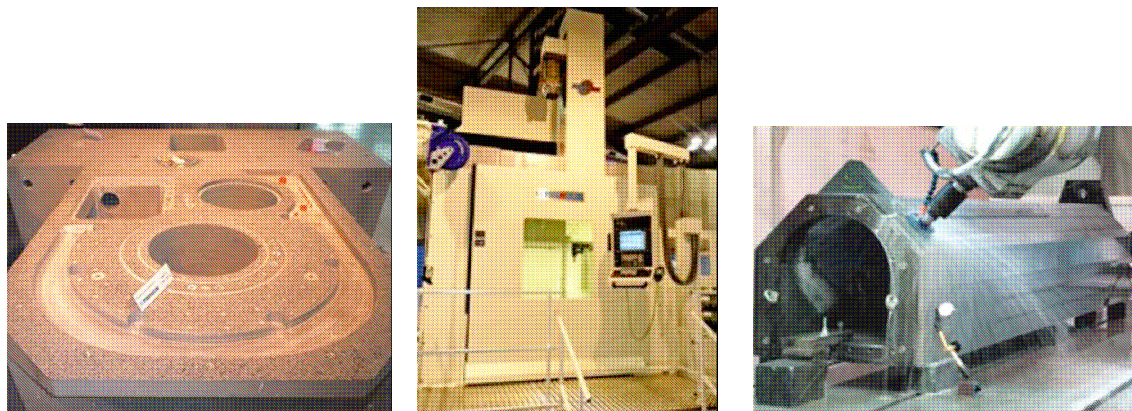
- v praxi lze využít i princip „**vylítí**“ **vnitřního prostoru** stávajícího ocelového nebo litinového dílu spodní stavby **směsí polymerbetonu** a tím výrazně zlepšit parametry tuhosti a stability;
- další možnosti využití dává princip „**vylítí**“ **tenkostěnné (ocelové) konstrukce** rámu **polymerbetonem** – vnější tvar včetně připojovacích prvků nahrazuje formu – neprovádí se pracné a drahé žebrování 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 technologií **odlívání 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 $\pm 0,05$ 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 přenášet. Proto musejí být pro všechny tyto případy vloženy a zality do základního tělesa vhodně 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, 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. Zvláště zvýšenou pozornost je nutno věnovat připojení vodičích 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.

Jako **alternativa k oceli, litině, nebo polymerovému betonu nebyl** ve strojírenství doposud ještě **masově** použit **vysokopevnostní beton (HPC)**. To spočívalo v první řadě v tom, že požadované přesnosti na betonový komponent nebylo možné dodržet i přes vysoce moderní systémy bednění. Na tuto problematiku narazili ve firmě **Bögl** poprvé během výroby FFB – pevné vozovky **Bögl** pro projekt ICE – novostavby dráhy Norimberk – Ingolstadt. Zde byl požadavek vyrobit velké množství nosných desek pro kolejnice s požadavkem na rovinnost až 1/10 mm – až do dnešního data téměř neřešitelný úkol.

Vysokopevnostní beton (HPC) také známý pod pojmem „vysokovýkonnostní beton“ **díky své nízké tepelné vodivosti** reaguje na teplotní výkyvy oproti kovovým materiálům **velmi pomalu**, což ve strojírenství znamená nezměněnou přesnost obrábění. Také vysoká **schopnost tlumení HPC** se výborně hodí k zachycování vibrací, způsobovaných dynamickým zatížením strojních komponentů. Další výhodou ve srovnání s ocelí nebo litinou a současně jednou ze skvělých vlastností je tekutá konzistence vysokopevnostního betonu. **Již při pokojové teplotě se dají vyrábět libovolné tvary**, aniž by se materiál musel za vysokých nákladů tavit. Přitom je možné do komponentů bezproblémově zalévat různé vestavné části ve formě dutých trubek nebo ocelových prvků. **Díky dodatečnému přidání předpětí** lze zabránit tvorbě trhlin, dodatečně korigovat deformace a minimalizovat průhyb – vlastnost, která je v tomto sektoru naprosto jedinečná.

Oproti „normálnímu betonu“ se vyznačuje HPC **hustější strukturou a vyšší pevností** v tlaku, což se dosahuje přidáním mikrosilikátu. Hlavní rozdíl od normálního betonu spočívá **v dodatečném tepelném zpracování a v přesně řízeném ochlazování**. Během tepelného zpracování vysokopevnostní beton **uměle zestárne** a přirozené smršťování při tuhnutí se minimalizuje téměř na nulu. V neposlední řadě díky své vysoké možnosti upotřebení, své variabilitě a svým technologickým vlastnostem **HPC je tou pravou alternativou** k strojním komponentům z kovu nebo z polymerového betonu. **HPC beton je novým inovativním materiálem** ve strojírenství.

Na **obr. 5** je znázorněno lože svislého soustruhu zhotovené z HPC betonu a jeho obrábění dílu u firmy **Max Bögl - Reitz**. Firma TOSHULIN, a.s. použila HPC beton pro stavbu obráběcích strojů jako první v České republice.



Obr.5 Pohled na lože a stroj TOSHULIN, a.s. s díly z HPC betonu a na obrábění dílu z HPC betonu u firmy Max Bögl - Reitz

Dalším z materiálů užívaných pro velmi přesné stroje pro mikrofrézování a broušení je **přírodní žula, resp. granit**. Důvodem je především dokonalá rozměrová stálost (bez vnitřních pnutí) a dobré materiálové tlumení.

Přestože mají **kompozitní materiály** (částicové i kompozitní) a dílce z nich vyrobené **velký potenciál pro stavbu výrobních strojů**, k jejich masovému uplatnění zatím vzhledem k cenovým a technologickým nárokům **nedochází**. Jednou z významných překážek jejich uplatňování v běžném strojírenském průmyslu je také **neznalost techniků a inženýrů**, jak z těchto materiálů navrhovat dílce, jak je spojovat, jak provádět optimalizace a výpočty. I v oboru výrobních strojů si však časem nepochybně vláknové kompozity naleznou své místo a oborová inženýři se s nimi naučí pracovat.

Uvedme na závěr tabulku s mechanickými vlastnostmi materiálů používaných ve stavbě nosných dílů (**Tab.1**).

	Kovové materiály		Částicové kompozity		Vláknové kompozity s epoxidovou pryskyřicí					
	ocel	litina	polymerbeton	HPC beton	uhlíkové vlákno HM vyztužení	uhlíkové vlákno HM vyztužení #	uhlíkové vlákno HT vyztužení	uhlíkové vlákno HT vyztužení #	aramidové vlákno vyztužení	vlákno z E-styru vyztužení
Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	7 850	7 200	2 300–2 500	2 200–2 500	1 600	1 600	1 600	1 600	1 400	2 000
Poissonova konstanta [-]	0,3	0,2 – 0,3	0,25–0,3	0,2–0,3	–	–	–	–	–	–
E-modul [GPa]	210	70–10	30–44	50 – 60	360	120	144	48	50	40
Pevnost v tahu [MPa]	400–1 600	150–400	10–40	8–10	1 200	400	2 400	800	200	1 100
Pevnost v tlaku [MPa]	250–1 200	700–1 200	140–160	100–200	–	–	–	–	–	–
Pevnost v ohybu [MPa]	150–600	100–300	15–50	3 – 8	–	–	–	–	–	–
Dekrement útlumu [-]	0,002	0,003	0,02–0,03	0,02–0,03	–	–	–	–	–	–
Součinitel délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ /K]	11–18	10	9–18	10,6	-0,5	-1	0	0,5	-3,5	5
Tepelná vodivost [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	47–	50	1–3	1,7	50	1	10	1	0,1	0,6
Měrná tepelná kapacita [KJkg ⁻¹ K ⁻¹]	0,49	0,45	0,7–1,3	0,9	1	1	1	1	1,5	1,1

Tab.1. Fyzikální vlastnosti materiálů nosných struktur

Pro mne osobně je pořadí materiálů následující:

1. HPC beton;
2. ocel (svarky) a litina;
3. vláknové kompozity
4. přírodní žula a hybridní materiály;
5. polymer beton.

Nicméně **důležitější než osobní názor a touha je přání zákazníka**. Také je potřeba brát v úvahu následující aspekty:

- Jedno z hlavních hledisek **je akceptování provedení rámu stroje zákazníkem**. Ten je v mnoha případech spoluvůrcem konstrukčního provedení vlastního obráběcího stroje;
- Kromě základních mechanických vlastností materiálů uvedených v **Tab. 1** je nutné při volbě uvažovat ještě **výrobně-technická a ekonomická hlediska**, a to zejména **cenu materiálu, hospodárnost ve výrobě, obrobitelnost**;
- K těmto vlastnostem přistupuje ještě **čas dodávky**.

Literatura

- [1] MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů. MM Speciál. Praha: MM publishing, s.r.o, 2010. 420 s. 2. upravené a doplněné vydání. ISBN: 978-80-254-7980- 3.
- [2] MRÁZ,P.-TALÁCKO,J. *Konstrukce strojů s kompozitními materiály*. 1st ed. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2006. 226 p. ISBN 80-01-03540-9.
- [3] BORSKÝ, V. *Základy stavby obráběcích strojů*. 2st ed. Brno : VUT Brno - FS, 1991. 214 p. ISBN 80-214-0361-6.
- [4] BRYNDA, L. : Použití netradičních materiálů pro lože a stojany. In: Novinky ve výzkumu a vývoji obráběcích strojů : *sborník přednášek kurzu*. Valašské Meziříčí, 2.6-3.6.1981. Praha : TST pobočka ČSVTS VUOSO, 1981, p. V/1-V/11. bez ISBN.