

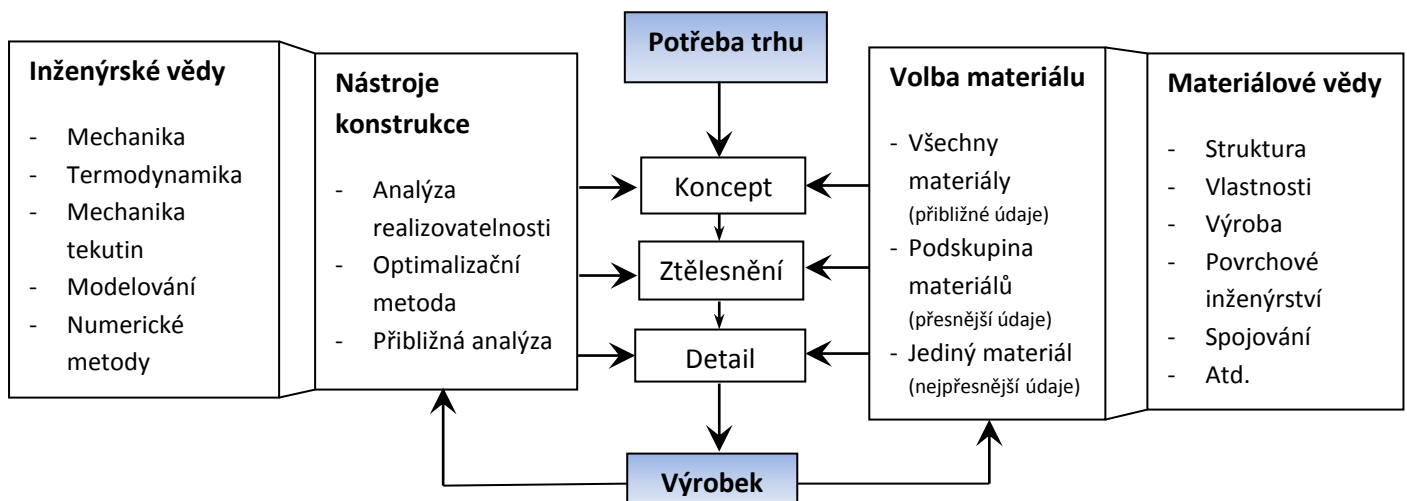
Nauka o materiálu
7. VOLBA MATERIÁLU

7. VOLBA MATERIÁLU

Zvolit z obrovské škály materiálů pro daný účel ten nejvhodnější je obtížná úloha - z celého procesu vývoje a výroby nového výrobku ta nejobtížnější. Budoucí materiáloví inženýři se všemi aspekty volby materiálu seznamují v dalších specifických materiálových předmětech. Následující podkapitoly jsou pouze stručnými úvodními kroky do této zajímavé problematiky.

7.1 Konstrukce a výběr materiálu

Návrh nového výrobku je interaktivní proces, který začíná nápadem (nebo potřebou trhu) a končí výrobkem, který naplňuje původní myšlenku nebo požadavek. Mezi počátkem a koncem tohoto procesu jsou tři stadia (obr. 7-1) - koncepční, ztělesňující a detailní návrh. V koncepčním návrhu konstruktér zvažuje všechny alternativní pracovní principy nebo schémata funkcí, které vytváří systém, jejich kombinaci či separaci apod. Ztělesňující návrh zkoumá funkční strukturu a zhruba analyzuje jednotlivé činnosti, včetně návrhu rozměru dílců. Tato etapa končí projektem (výkresem sestavy) jako podkladem pro detailní návrh. Levá strana vývojového diagramu na obr. 7-1 ukazuje nástroje a vědní disciplíny, které má konstruktér k dispozici. Do každé z uvedených etap vstupuje, jak je z pravé části obrázku patrné, výběr vhodného materiálu.



Obr. 7-1 Etapy a komponenty procesu navrhování nového výrobku

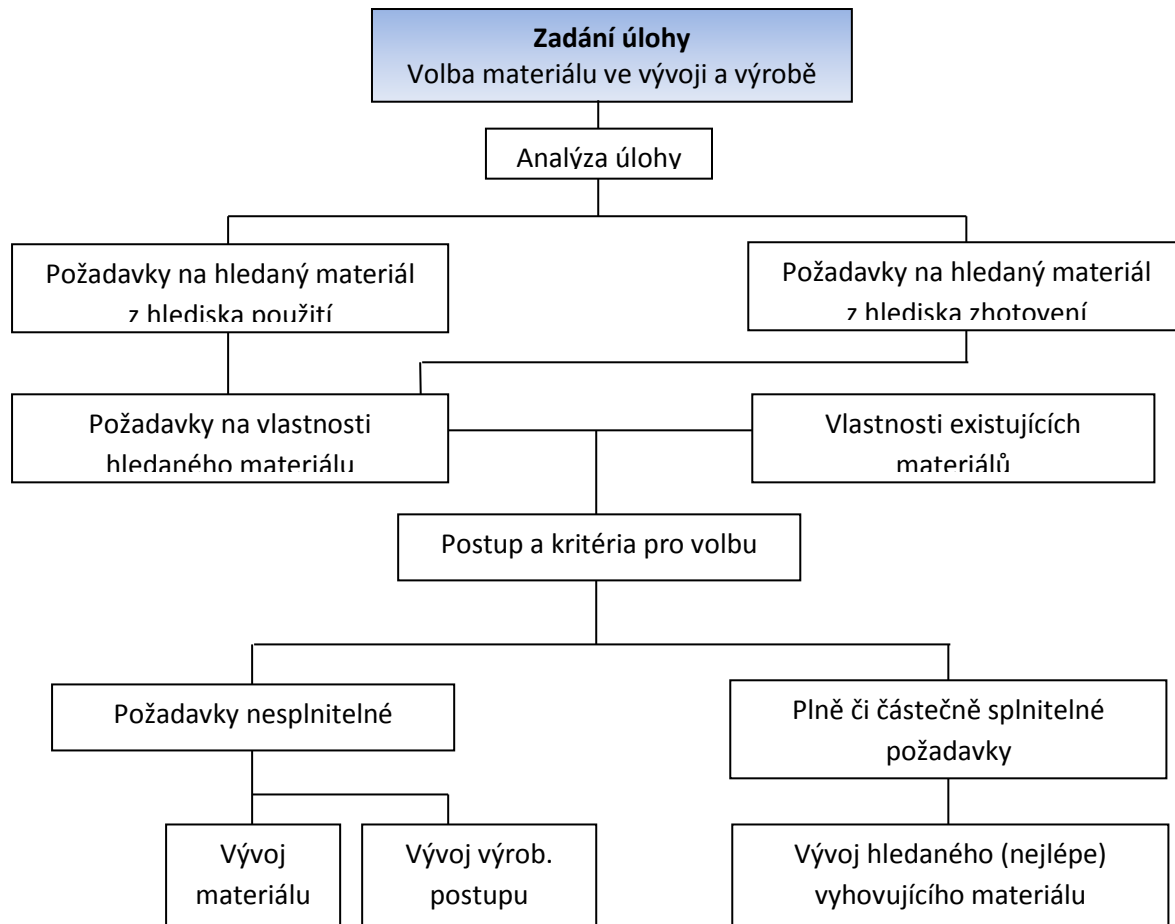
Správný přístup k volbě materiálu z tohoto hlediska naznačuje obr. 7-2. Pokud požadavky návrhu nespĺňuje žádný z dostupných materiálů, je třeba vyvinout materiál nový, případně parametry existujícího zlepšit úpravou výrobního postupu.

Je zřejmé, že výběr materiálu probíhá v souladu s konstrukčním návrhem ve třech úrovních (obr. 7-1), s cílem vybrat materiál optimálně zabezpečující užité vlastnosti při vhodné cenové relaci. V etapě koncepčního návrhu je to široká skupina (případně skupiny) materiálů, splňující základní podmínky a omezení, např. pracovní teplotu, odolnost proti korozi v daném prostředí apod. V dalším kroku se



Nauka o materiálu
7. VOLBA MATERIÁLU

vybírání zúžená skupina materiálů, které nejlépe vyhoví požadavkům např. na nejlevnější technologii tváření, svařování, povrchovou úpravou, cenu atd. V rámci detailního návrhu pak se seznam kandidátů zúží na jeden, případně několik nejlépe vyhovujících materiálů. Každému z těchto kroků odpovídají jiné nároky na úroveň materiálových dat. V etapě koncepčního návrhu konstruktér požaduje přibližné údaje o co největším množství materiálů, zvažuje různé koncepční varianty (např. kov či polymer).



Obr. 7-2 Vzájemné vztahy mezi materiálem a technologií výrobku a jeho funkcí a tvarem

Ve druhé etapě pracuje s přesnějšími údaji, které poskytují materiálové databáze v počítačové nebo knižní podobě. Ve fázi detailního návrhu jsou zapotřebí co nejpřesnější údaje o jediném, případně několika materiálech.

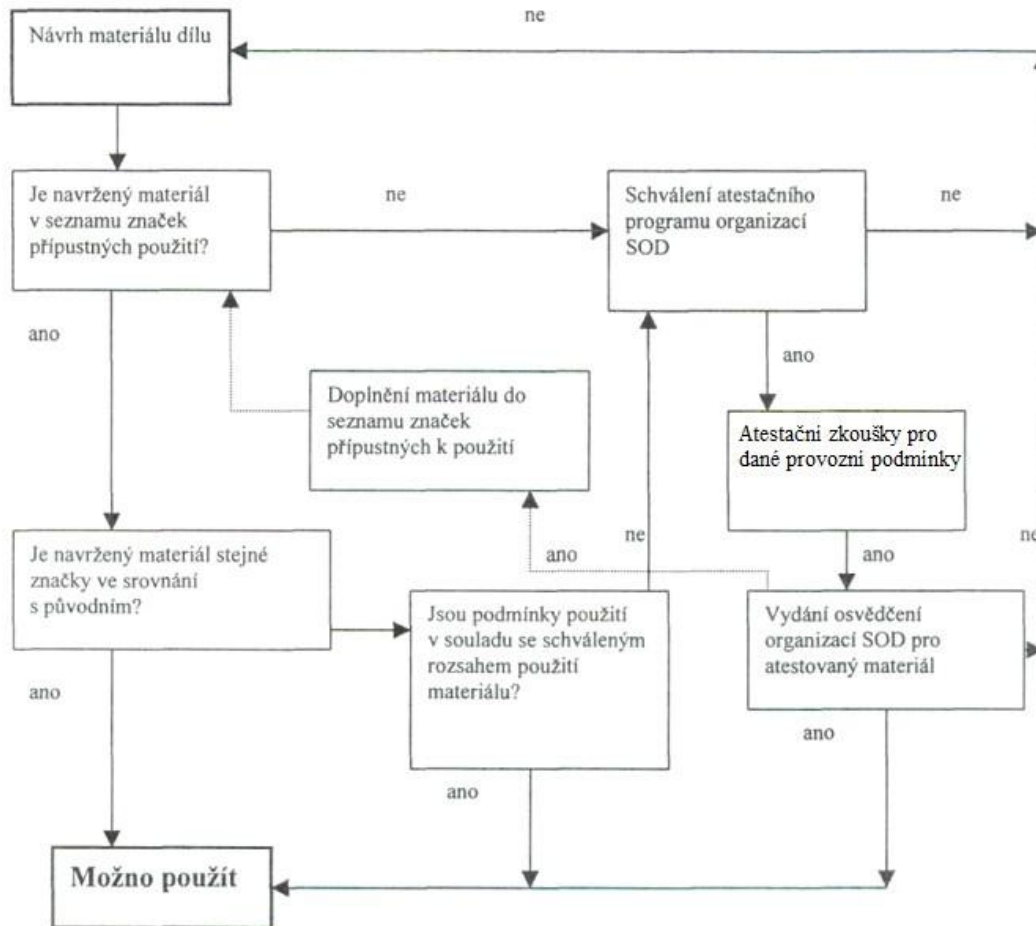
V některých případech nepostačí údaje z norem či od výrobce a je třeba informace doplnit např. vlastními laboratorními zkouškami. I tak se ovšem může stát, že výrobek v provozu nevyhoví funkčně nebo z důvodu nevhodného materiálu a celý proces návrhu se vrací s informacemi, které havárie poskytla, o jednu či více úrovní zpět.

Postup při volbě materiálu, pokud dojde ke změně výrobního sortimentu nebo při opravě či rekonstrukci zařízení v *jaderné energetice* ukazuje uvedený postup. Státní odborný dozor (SOD)



Nauka o materiálu
7. VOLBA MATERIÁLU

schvaluje původní projektovou dokumentaci a povoluje ekvivalentní nové materiály. **Celý postup je znázorněn na následujícím schématu:**



7.2 Základní úvahy při volbě materiálu

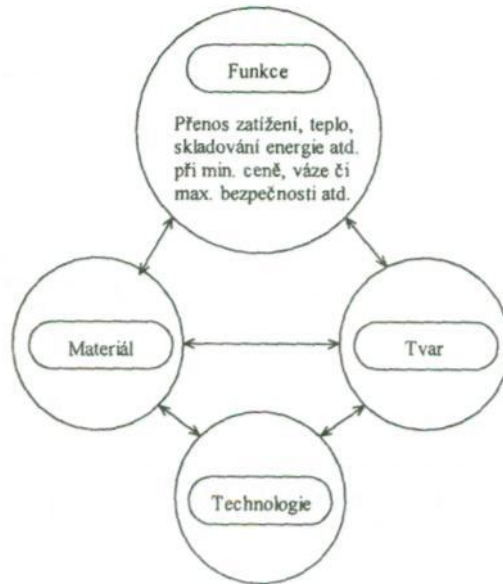
Optimální volba materiálu je problém široký, komplexní a závažný - na úspěšnosti volby materiálu do značné míry závisí užité vlastnosti budoucího výrobku. K řešení tohoto problému je nutno přistupovat z řady hledisek. Kromě samozřejmých úvah o vlastnostech, které by zvolený materiál ve vztahu k funkci navrhované součásti měl mít (např. pevnost, houževnatost, odolnost proti korozi, působení nízké či vysoké teploty, odolnost proti opotřebení apod.) jsou nezbytné i úvahy o ekonomičnosti dané volby materiálu, např. energetické a surovinové náročnosti, dopadu na životní prostředí atd.

Volba materiálu nemůže probíhat nezávisle na technologii jeho zpracování nutné k vytvoření finálního výrobku (jeho tvaru, povrchu, použité technologii spojování atd.).

Funkce součásti, její konstrukce (tvar), materiál a technologie vzájemně obousměrně interagují (obr. 7-3).

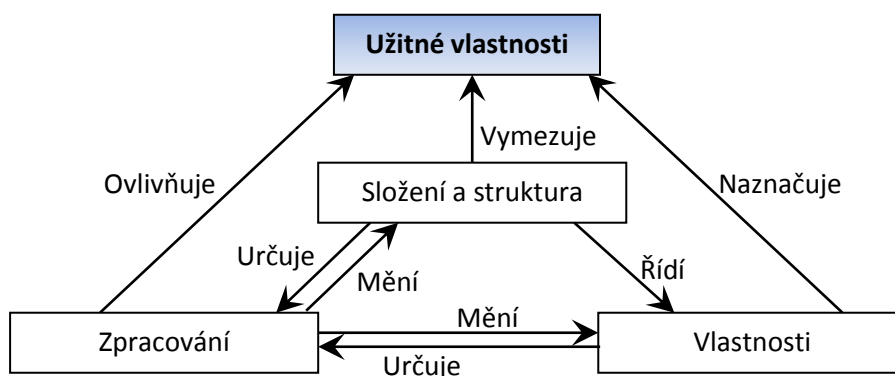


Nauka o materiálu
7. VOLBA MATERIÁLU



Obr. 7-3 Vývojový diagram pro volbu materiálu

Funkce diktuje výběr materiálu, který je schopen splnit požadované parametry. Technologie je ovlivněna materiálovými vlastnostmi (slévatelností, tvařitelností, obrobitelností, svařitelností, možností tepelného zpracování, atd.). Technologie ovlivňuje tvar součásti, dosažitelnou přesnost tvaru, kvalitu povrchu a samozřejmě cenu. Specifikace tvaru limituje výběr materiálu a použitelné technologie, čím je návrh komplikovanější, tím je specifikace užší a interakce větší. Interakce materiálu, konstrukce, technologie a funkce jsou srdcem celého procesu volby materiálu. Zejména v oblasti kovových materiálů a speciálně ocelí ovlivňuje technologie vlastnosti materiálu prostřednictvím vlivu na složení a strukturu, což se samozřejmě projeví podstatnou měrou i na užitných vlastnostech výrobku, jak je patrné z obr. 7-4. Pod pojmem *užitné vlastnosti* je třeba rozumět nejen jeho provozní parametry, funkci (např. přenos sil, tepla apod.) či životnost, ale také jeho celkové estetické vyznění (tvar, hladkost povrchu, barva), které u řady výrobků spolurozhodují o tržní úspěšnosti výrobku.



Obr. 7-4 Vzájemné vztahy mezi strukturou, složením, zpracováním a vlastnostmi výrobku



Jak obr. 7-4 naznačuje, vlastnosti materiálu jsou určeny složením a strukturou, mění se použitou technologií zpracování, naznačují užité vlastnosti výrobku a diktují výběr technologie. Technologie výroby je určena složením, strukturou a vlastnostmi materiálu (klasické příklady - svařitelnost, tvařitelnost za studena) a naopak sama tyto parametry materiálu může výrazně měnit (např. zpevnění při tváření za studena) a tím i výrazně ovlivňovat užité vlastnosti. Složení a struktura materiálu limitují dosažitelné užité vlastnosti výrobku, určují dosažitelné vlastnosti materiálu a použitelnou technologii zpracování. Jsou dány primárními a sekundárními technologiemi. Užité vlastnosti jsou naznačeny vlastnostmi materiálu, limitovány složením a strukturou materiálu a ovlivněny technologií jeho zpracování. Do celého systému interakcí užitečných vlastností technologie – složení, struktura a vlastnosti materiálu pak vstupují ekonomické parametry (cena materiálu, technologie) a samozřejmě dopad všech interagujících prvků na životní prostředí.

7.3 Hlediska pro volbu materiálu

Primárním požadavkem při volbě materiálu pro danou aplikaci je téměř vždy (s výjimkou dekorativních prvků) pevnost materiálu. Pro splnění tohoto požadavku má konstruktér k dispozici obrovskou paletu materiálu. Například hodnota meze kluzu u kovů se pohybuje v rozmezí přibližně 5 MPa (cín a jeho slitiny) až 2000 MPa (vysokopevné oceli, slitiny Co), u polymeru je pevnost v tahu v rozmezí cca 8 až 200 MPa.

Při výběru proto musí spolurozhodovat další kritéria a to především:

- *Materiálové charakteristiky.* K těm patří především houževnatost, odolnost proti opotřebení, působení teplot, únavové vlastnosti, odolnost proti korozi atd. Zvažování těchto charakteristik je podmíněno typem vyžití daného dílce (zatěžování statické, dynamické, cyklické, působení nízké i zvýšené teploty, korozní prostředí atd.). Dobrým vodítkem pro jejich zvažování mohou být různé materiálové databáze. Velmi dobrý přehled poskytuje literatura *Guide to Selecting Engineering Materials*.
- *Technologie výroby.* Kromě samozřejmě podmínky realizovatelnosti technologie pro daný výrobek by měly být při výběru materiálu uplatňovány zejména poznatky o vlivu technologie na složení, strukturu a mechanické vlastnosti. Přednost by měly dostávat - pokud to dovolí další kritéria - bezodpadové technologie, např. prášková metalurgie, přesné lití, umožňující maximálně využít materiálu a potlačit na minimum obrábění, tedy technologii spojenou s nejvyššími náklady.
- *Materiálové a výrobní náklady.* Ekonomičnost volby je komplexní problém a zdaleka se netýká jen ceny zvoleného materiálu a technologie jeho zpracování. I když se lze v literatuře setkat s pokusy o kvantifikaci tohoto procesu (např. použitím vzorců, na základě kterých lze rozhodnout, zda se vyplatí nahradit stávající materiál materiálem dražším), neexistuje obecný návod na jeho řešení. Uvažme alespoň dva příklady. Cena



7. VOLBA MATERIÁLU

vysoce legovaného materiálu (např. oceli maraging) může být velmi významná při výrobě rozměrného, hmotného výrobku a zcela zanedbatelná u výrobku malého, u kterého se např. navíc projeví pozitivní aspekty volby (vyšší životnost, zejména jde-li o součásti, jejichž výměna je spojena s odstávkou výroby, prostoji pro seřízení stroje, snadné dosažení komplikovaného tvaru objemovým tvářením, odpadnutí tepelného zpracování apod.). Náhrada oceli slitinou hliníku nebo polymerním materiálem se na prvý pohled může jevit nepříliš cenově výhodná. Do výpočtu ekonomičnosti volby je nutné zahrnout ale i např. náklady na dopravu, povrchovou úpravu, obrábění (např. i z titulu použití bezodpadové technologie vstřikováním).

- *Ekologičnost použití zvoleného materiálu.* Opět se jedná o mnohostranný problém. Dopad zvoleného materiálu na životní prostředí (přímý nebo nepřímý) má mnoho aspektů a je obtížně kvantifikovatelný.
- *Jiná kritéria.* Dále je třeba zvážit sortiment polotovarů, omezení daného výrobního zařízení, věrohodnost vstupních dat tj. do jaké míry zkouška definuje vlastnosti materiálu, jak dobře vzorek simuluje poměry v reálné součásti, znalost zatížení a prostředí atd.

7.4 Nástroje pro volbu materiálu

Při obrovském a stále rostoucím sortimentu materiálů má i ten nejzkušenější odborník problém zvolit správný materiál při zvážení všech kritérií a optimálním využití vlastností materiálu. Naštěstí existují určité cesty k usnadnění toho problému.

První pomůcka vychází z mnohaletých zkušeností konstruktérů a materiálových odborníků v různých oblastech výrobních činností. Ve výrobě existují různé formy kategorizace konstrukčních materiálů naznačující prioritní oblasti jejich použití. Materiály jsou členěny podle průmyslových odvětví, třeba materiály pro energetiku, pro chemický průmysl, elektroniku, letectví, atd. nebo podle vlastností (vysokopevné, otěruvzdorné, žárovevné, korozivzdorné atd.). Takto uspořádané je nalezneme v různých příručkách, knižních či počítačových databázích apod. Taková kategorizace v sobě skrývá i velká nebezpečí, jsou to v podstatě jakési klapky na očích, které mohou způsobit přehlédnutí materiálu pro daný účel vhodnějšího.

Již zmíněné knižní a zejména počítačové databáze jsou dalším z nástrojů pro volbu materiálu. Nejjednodušší, pasivní databáze jsou v podstatě poněkud pohodlnější formou „listování“ v příručce - umožňují získat údaje o vybraných materiálech (obvykle řazených podle určité kategorizace, např. některé z výše uvedených) a provádět převody z ČSN na normy zahraniční. Vyšší formou jsou databáze, které můžeme označit jako aktivní, dovolující provádět průnik vybraných parametrů, tj. hledat vhodný materiál na základě zadané množiny vlastností (např. vyhledat ocel o mezi kluzu 900 MPa, svařitelnou a odolnou proti působení vodního prostředí). Nejvyšší, bohužel zatím vzácnou, formou databáze jsou inteligentní databázové systémy, specializované na určitou problematiku (např. jadernou energetiku), obsahující obvykle několik typů databází (např. materiálovou databanku, výsledky zkoušek oceli pro jaderné reaktory, korozní databázi apod.) a také expertní systém. Takový

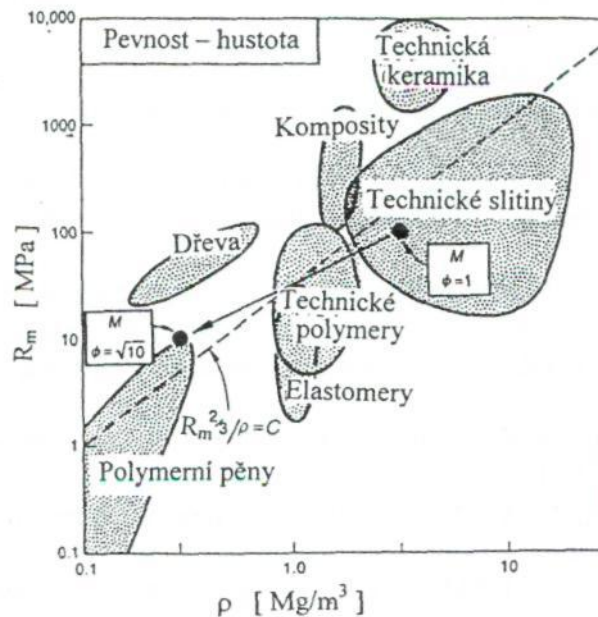
Nauka o materiálu
7. VOLBA MATERIÁLU

databázový systém dovolí, byť jen pro určitou specifickou oblast, optimální volbu materiálu při zvažování téměř všech hledisek.

Problém volby enormně zjednoduší **ukazatel užitečných vlastností** (M. F. Ashby). Tak např. při volbě materiálu pro *lehký, tuhý nosník na dvou podpěrách*, zatížený silou uprostřed, lze z rovnic pro hmotnost nosníku a jeho průhyb lehce odvodit, že jeho hmotnost bude minimální (a užité vlastnosti maximální) pro nejvyšší hodnotu:

$$M_1 = \frac{\sqrt{E}}{\rho}. \quad (7.1)$$

Užité vlastnosti obvykle závisí na dvou či více materiálových vlastnostech a ukazuje se výhodné zvýrazňovat jednu vůči druhé, např. poměr pevnosti k hustotě R_m/ρ nebo tuhost vůči relativní ceně na jednotku objemu apod. Vyneseme-li tyto vlastnosti v logaritmických souřadnicích, pak přes jejich velký (často řádový) rozdíl v rámci jedné materiálové skupiny, dostáváme mapu, na které jednotlivé skupiny tvoří uzavřená pole. Obr. 7-5 ukazuje jednu z takových možných závislostí. V Ashbyho publikacích nalezneme desítky podobných map (např. lomová houževnatost vůči hustotě, E vůči pevnosti, koeficient lineární tepelné roztažnosti vůči tepelné vodivosti, tvrdost vůči teplotě tavení či toleranční rozsah vůči drsnosti povrchu). Ashby tyto mapy sestavil i pro volbu optimální technologie či optimální konstrukci kompozitního materiálu. Obr. 7-5 ukazuje zjednodušenou mapu. Skutečné diagramy umožňují i poměrně detailní informace o umístění jednotlivých typů materiálů v rámci pole. Takto je možné např. vybrat materiály o určité hodnotě R_m při požadované hustotě ρ .



Obr. 7-5 Příklad Ashbyho materiálové mapy



Nauka o materiálu

7. VOLBA MATERIÁLU

Tvarový faktor φ dovoluje upřesnit volbu pro případ, kdy bude výhodné místo plného profilu (kruhového, obdélníkového apod.) s hodnotou tvarového faktoru $\varphi = 1$, použít např. I profil nebo trubku, s výrazně vyšší hodnotou tvarového faktoru ($\varphi = \sqrt{10}$). Výše uvedený vztah (7.1) pak nabývá hodnoty

$$M = \frac{(\varphi \cdot R_m)^{2/3}}{\rho}, \quad (7.2)$$

což výrazně mění volbu použitého materiálu. Např. pro lehký a pevný nosník obdélníkového plného profilu vychází jako optimální materiál polymerní pěna případně dřevo, použití I profilu posouvá optimální volbu do skupiny kovů.