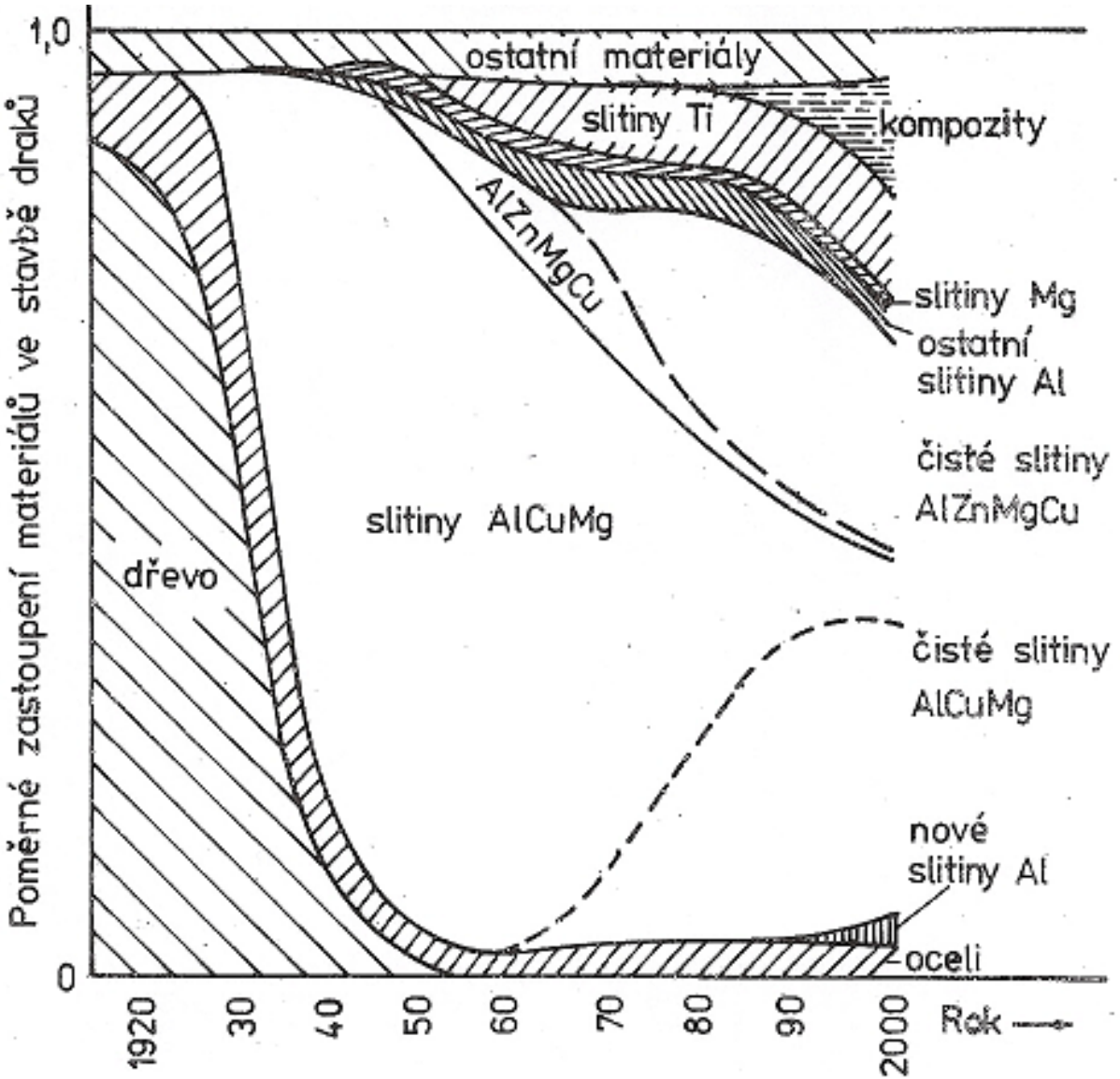
LETECKÉ MATERIÁLY

Úvod do předmětu

Historický vývoj leteckých konstrukčních materiálů



- Uplatnění konstrukčních materiálů souvisí s **pevnostními koncepcemi leteckých konstrukcí**

Pevnostní koncepce leteckých konstrukcí

- Počátky letectví – letadla považována za staticky namáhané konstrukce, hlavní materiál dřevo, součinitel bezpečnosti 5.

- Druhá polovina 20. let – začátek používání slitin hliníku (AlCu4Mg – dural), zavádění poloskořepinových konstrukcí, větší znalosti o zatížení a rozložení napětí, zlepšení kvality materiálů a technologie jejich výroby, možnost snížení součinitele bezpečnosti až na 2 (1,5)
- 50. léta – s rostoucím počtem nalétaných hodin se projevují únavové degradační procesy – letadla začínají být považována za dynamicky a únavově namáhané konstrukce – postupný vývoj čistých slitin, únavové a dynamické zkoušky částí konstrukce i celých letadel, postupné zvýšení životnosti letadel asi na dvojnásobek do r. 1980.

- Současné pevnostní koncepce - konstrukce s bezpečným životem (safe life)
  - konstrukce bezpečně snášející poškození (damage tolerant)

- Konstrukce „safe life“

- **V**ychází se ze znalosti provozního zatížení a z laboratorních zkoušek částí

- **U**rčují se bezpečné životy všech částí, tj. doby, během nichž nedojde ke vzniku žádných únavových trhlin

- **V**e vztazích pro výpočet bezpečného života je řada součinitelů uvedených v různých stavebních předpisech.

Součinitelé zahrnují vliv proměnlivého zatížení, rozptyl únavových vlastností vzorků, vliv odlišnosti podmínek zkoušení od skutečného zatížení atd.

- **V** provozu je využita asi jen 1/5 průměrného únavového života

- **P**oužití – hlavně u lehkých letadel

- Konstrukce „damage tolerant“

- **K**oncepce předpokládá, že případná porucha konstrukce (trhlina) jejíž příčina je ve výrobě nebo v provozu letadla se bude šířit tak pomalu, že se bezpečně zjistí při pravidelných prohlídkách.

- **K**onstrukční řešení – na přenosu zatížení se podílí více prvků, než vyplývá z pevnostní analýzy, použití tzv. zastavovačů trhlin.

- **M**ateriálové řešení – použití konstrukčních materiálů s lepšími lomovými a únavovými vlastnostmi.

Čisté slitiny - mají menší rozptyl vlastností, nižší rychlost šíření trhliny a počet cyklů do lomu 1,5 x vyšší než původní slitiny.

- **P**oužití – u dopravních letadel

Letecké materiály – základní požadavky

1. Funkční požadavky

- Spolehlivost údajů o materiálových charakteristikách – dlouhý materiálový vývoj, řada zkoušek
- Vysoká pevnost a tuhost (modul pružnosti)
- Nízká hustota

  => vysoké specifické vlastnosti, t.j. ***Rm/ρ***, ***Rp0,2/ρ***, ***E/ρ***
- Vysoká korozní odolnost
- Odolnost proti tečení a tepelným napětím
- Únavová odolnost a vlastnosti „damage tolerance“ (lomová houževnatost)
- Rozměrová a tvarová přesnost polotovarů
- Speciální letecké normy a specifikace

2. **Technologické požadavky**

- Tvařitelnost, svařitelnost, obrobitelnost, slévatelnost
- Mají vliv na volbu materiálu a u daného materiálu určují způsob zpracování
- Použitá technologie má velký vliv na výsledné vlastnosti

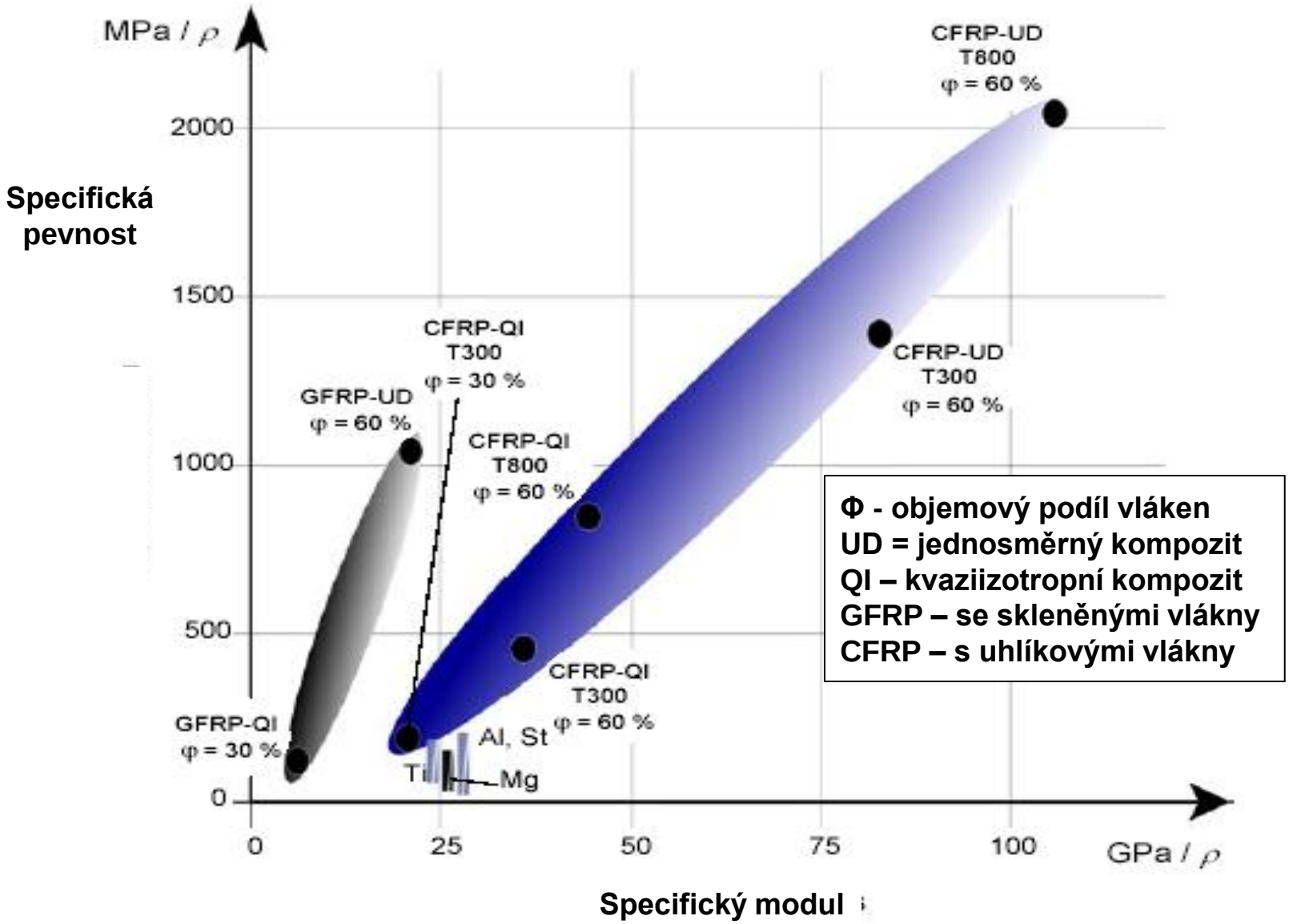
3. **Základní typy materiálů**

- Izotropní – většina kovových materiálů, vlastnosti stejné ve všech směrech (i zde jsou rozdíly např. podél a napříč deformace), disperzní kompozitní materiály.
- Anizotropní - kompozitní materiály vyztužené vlákny, vlastnosti jsou výrazně směrově závislé.

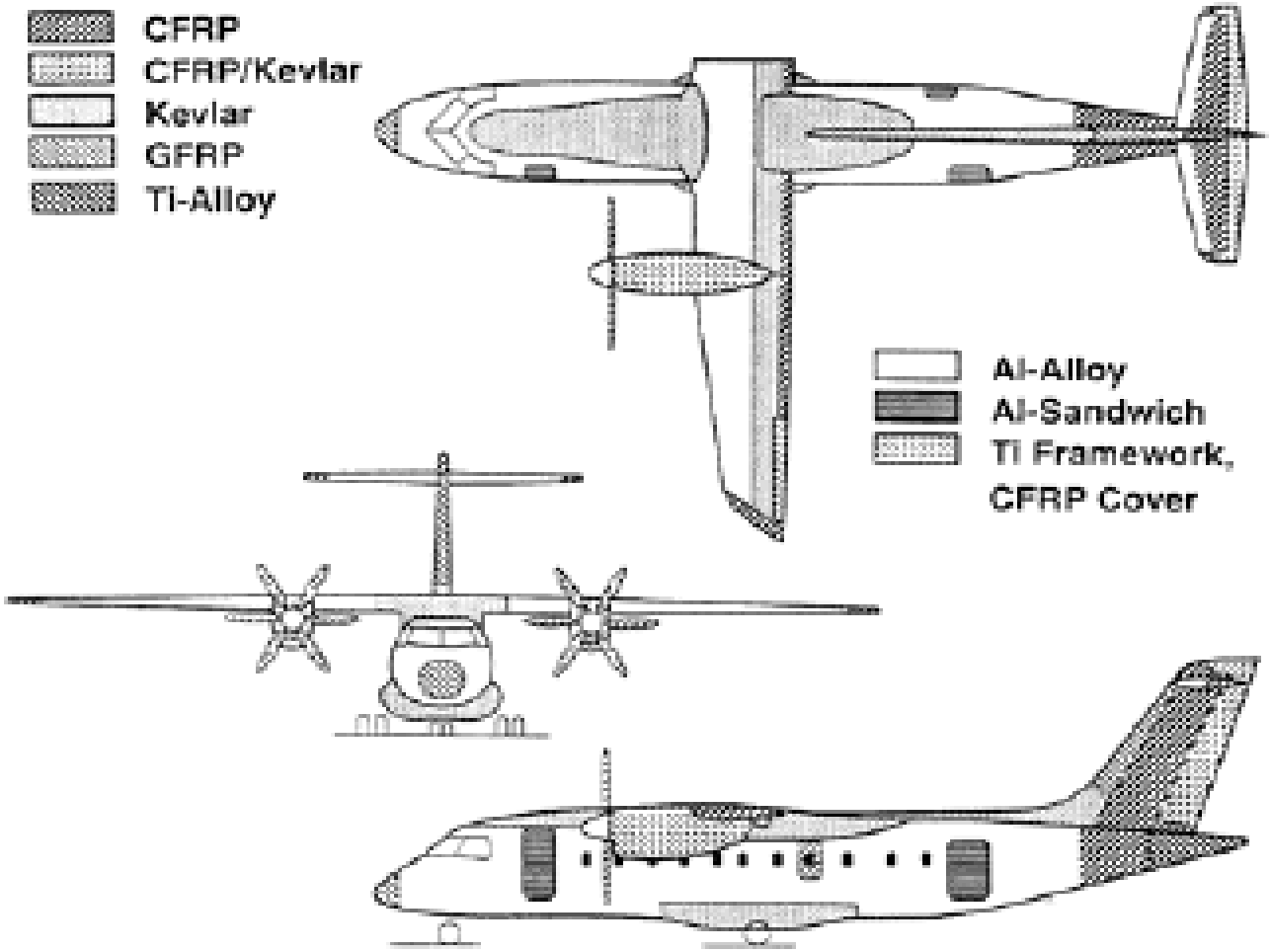
4. **Základní konstrukční materiály pro draky letadel**

- Slitiny hliníku
- Slitiny hořčíku
- Slitiny titanu
- Oceli
- Slitiny niklu a kobaltu (hlavně u motorů)
- Kompozitní materiály

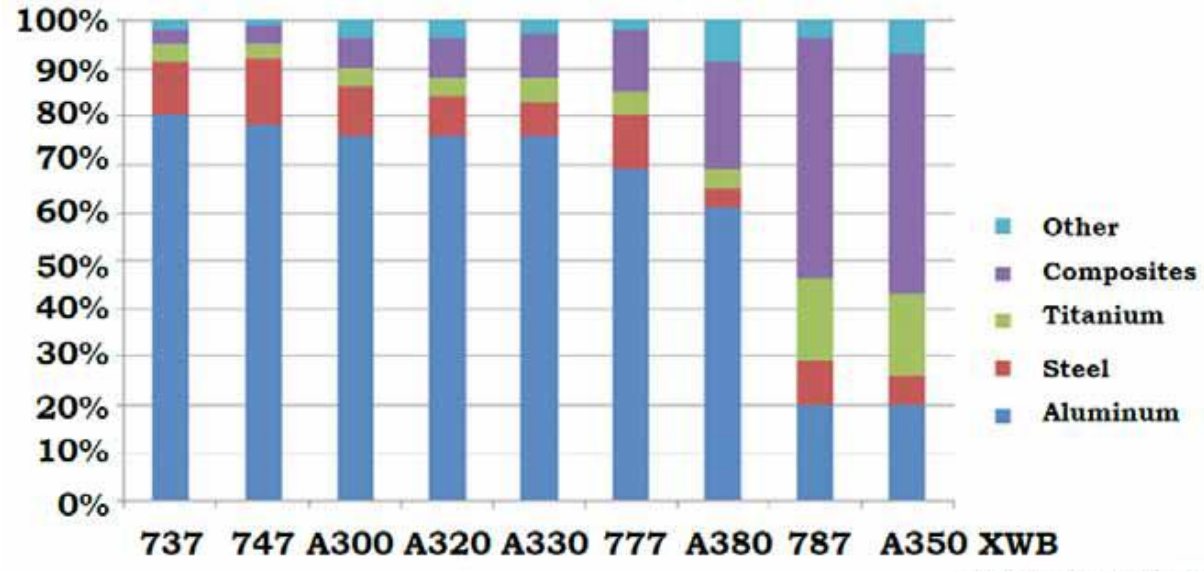
Porovnání specifických vlastností kompozitních materiálů a lehkých kovů

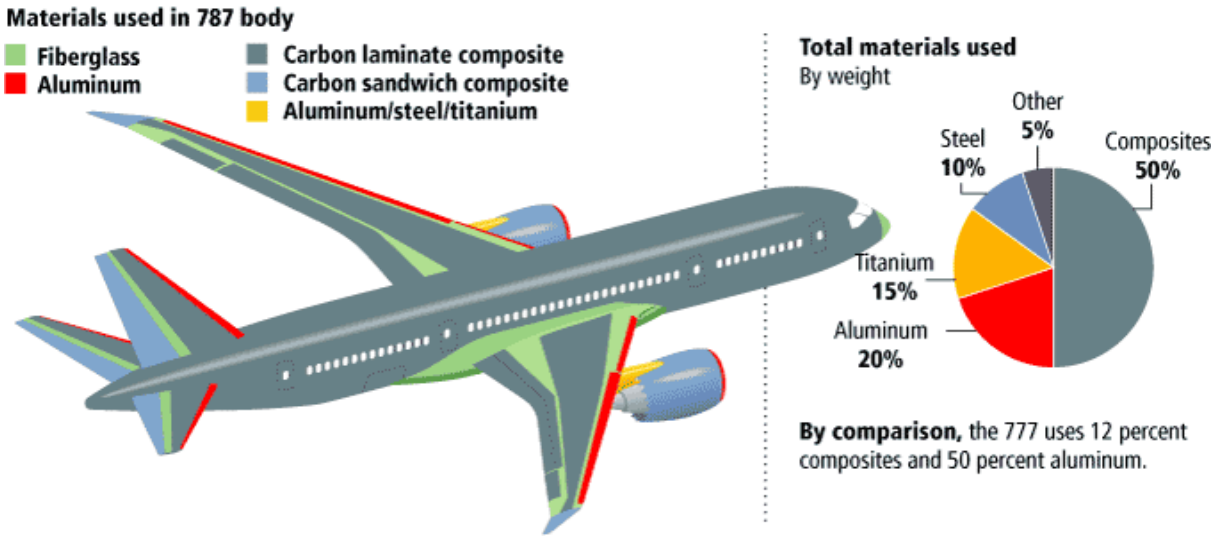


Konstrukční materiály na malém dopravním letounu Dornier 328

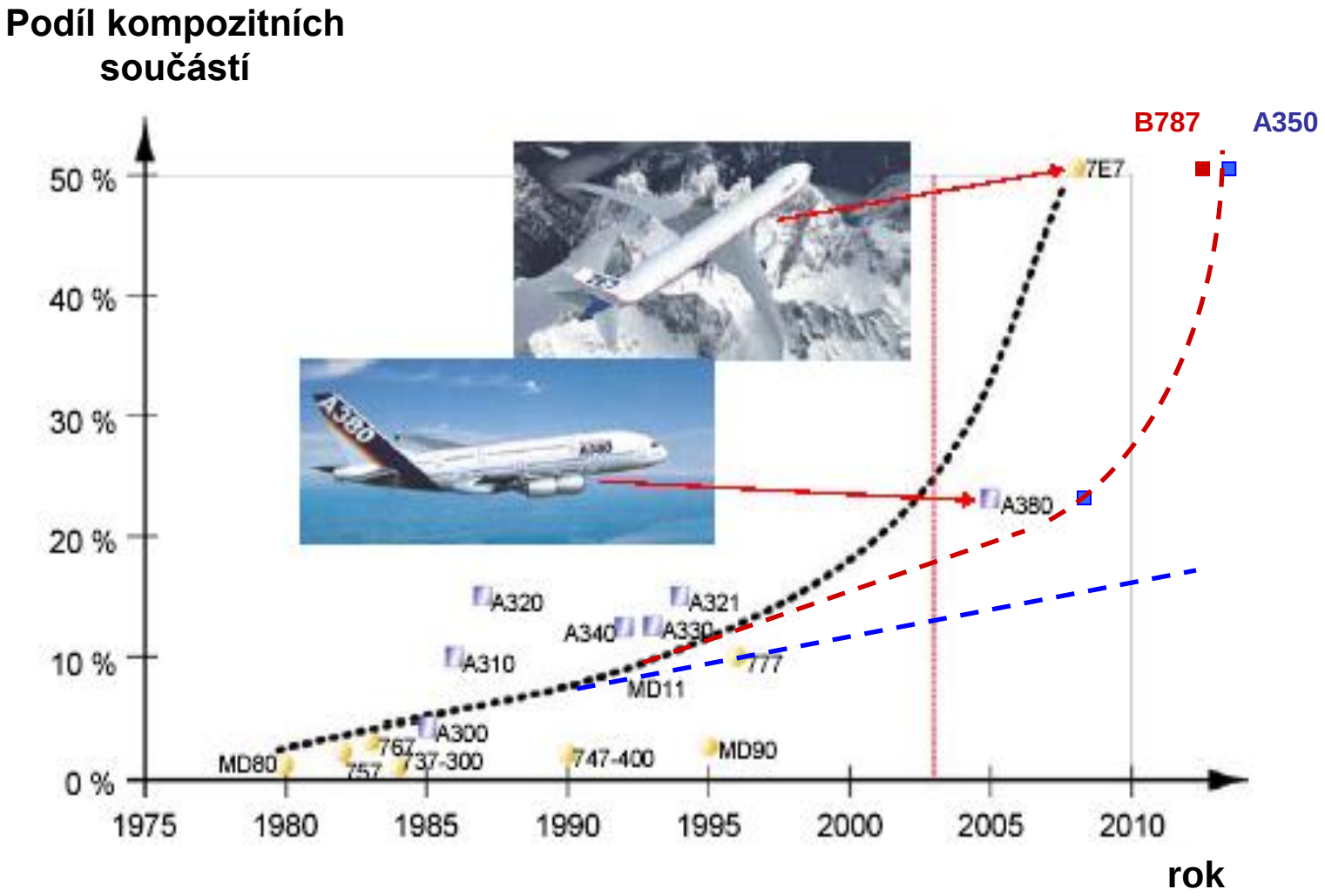


Materiálová skladba dopravních letadel



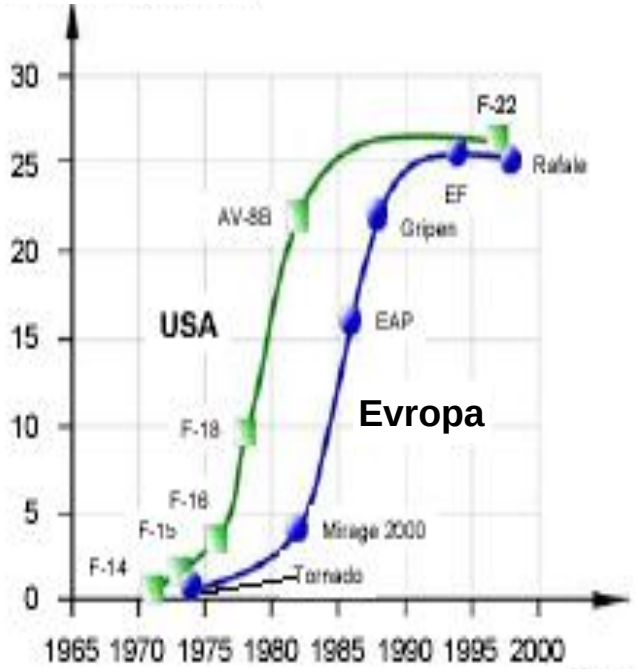


Vývoj aplikace kompozitních materiálů na velkých civilních dopravních letadlech



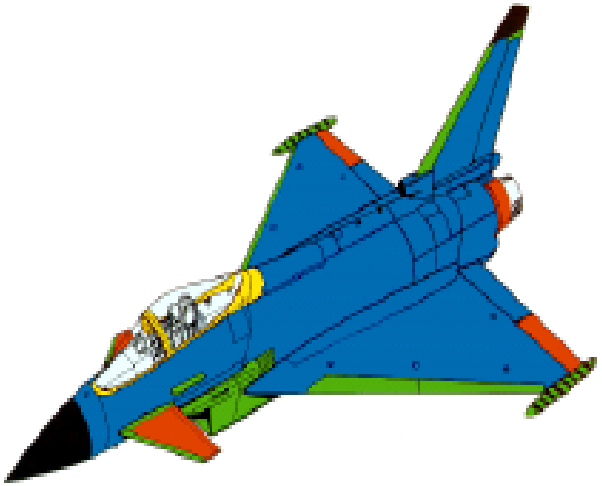
Vývoj podílu kompozitů na vojenských letounech v USA a v Evropě

Hmotnostní podíl vláknových kompozitů



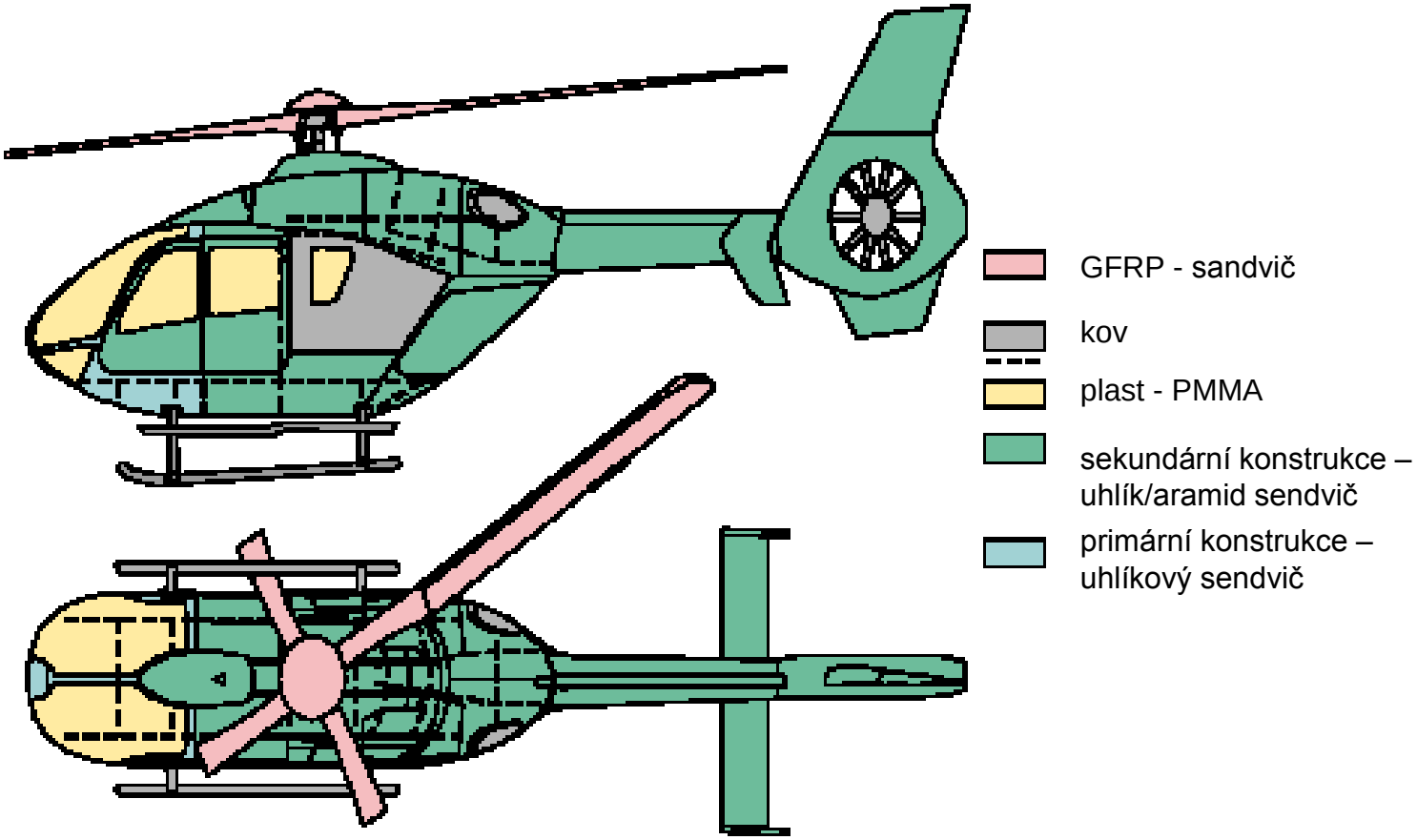
rok

- **uhlíkové KM**
- **hliník**
- **titan**
- **skleněné kompozity**
- **hliníkové odlitky**



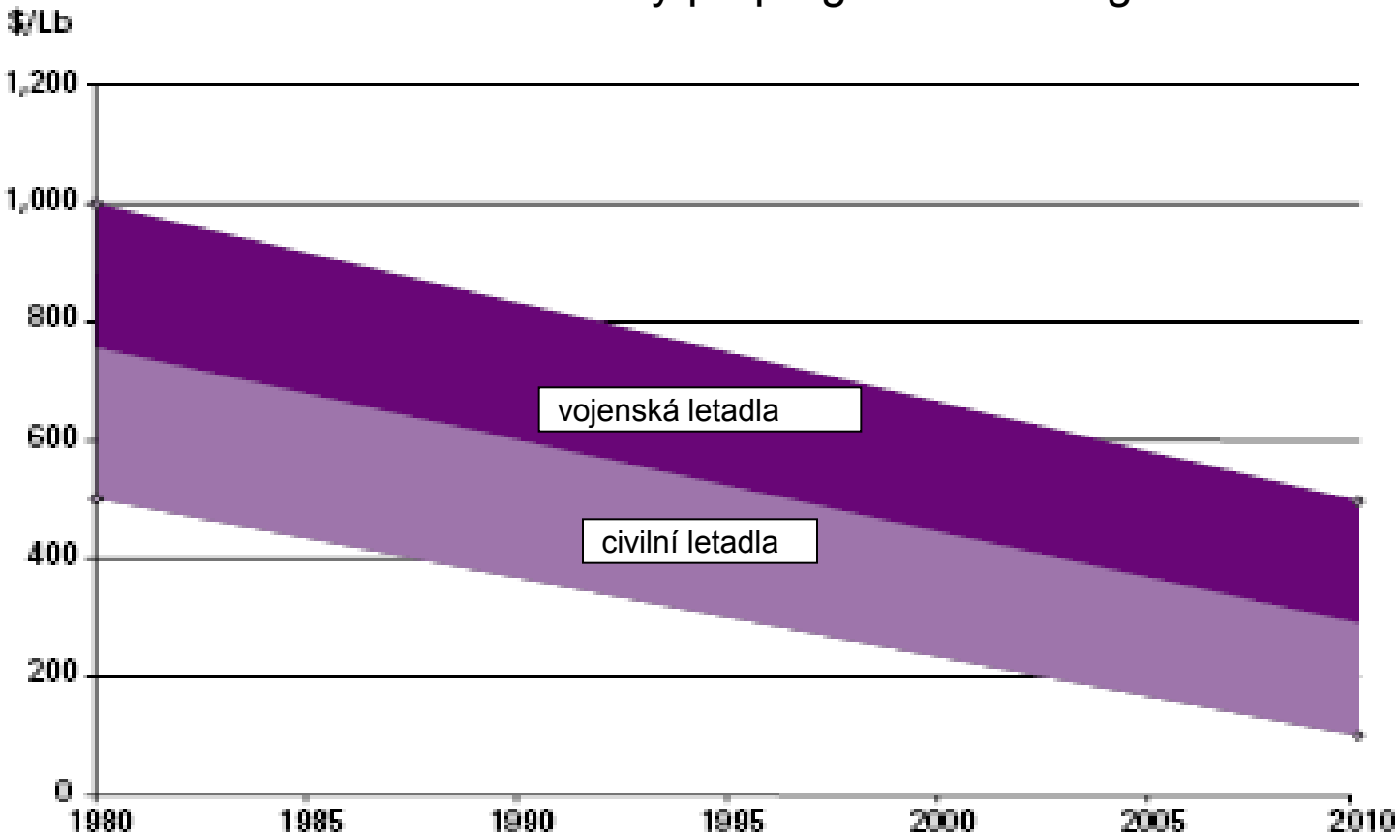
Kompozitní materiály na Eurofighteru

Konstrukční materiály na vrtulníku Eurocopter



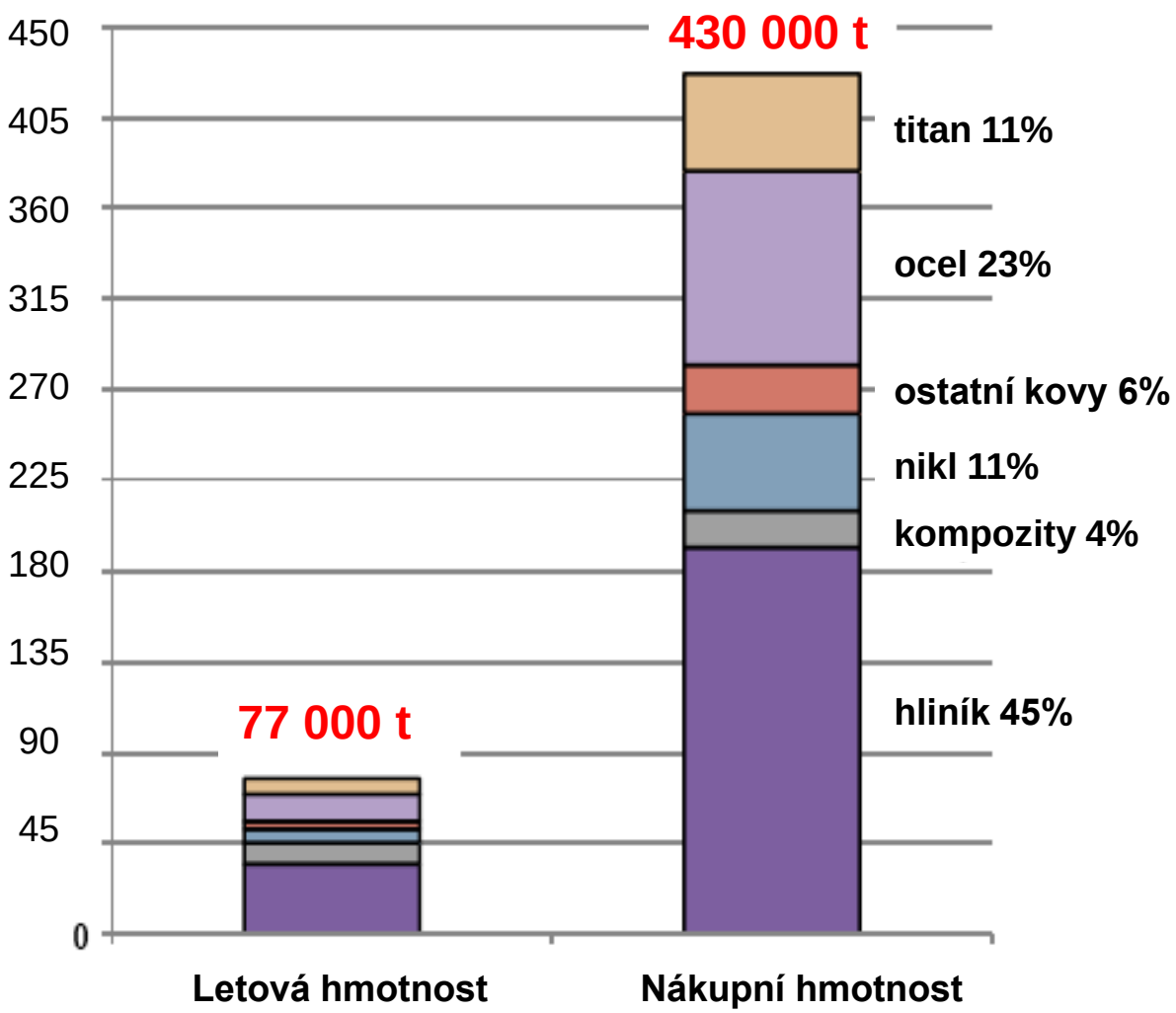
Vývoj ceny leteckých kompozitních výrobků

Cena výrobku:1 $/Lb ~ 43 Kč/kg, tj. 200 $/Lb = 8600 Kč/kg
Cena materiálu: Uhlíkový prepreg ~ 5000 Kč/kg
Skleněný prepreg ~ 1000 Kč/kg



Source: AeroStrategy, Composite Market Reports

Požadavky na letecké materiály v r. 2008 ($10^6\ kg$)

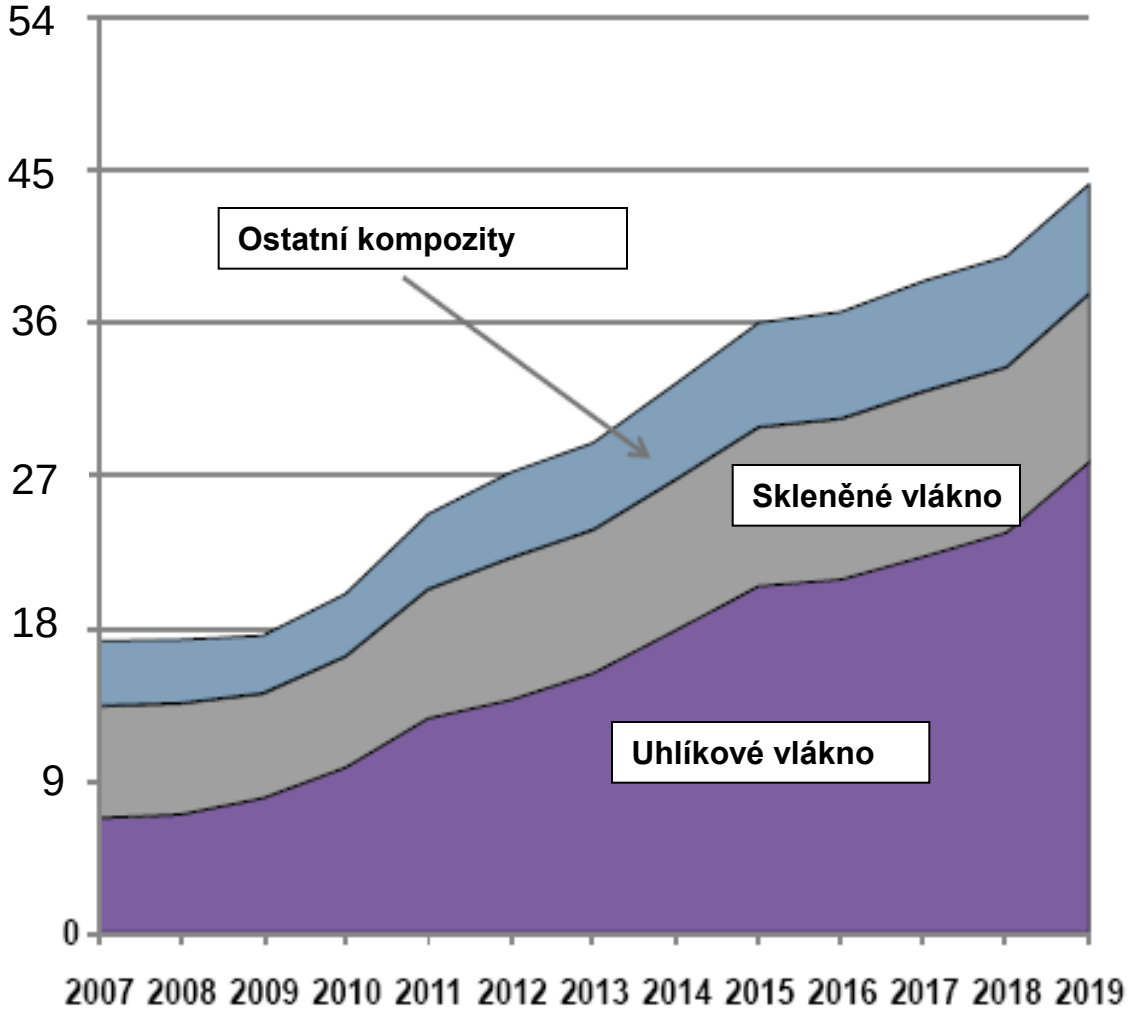


Celkový nákup 430 000 tun při letové hmotnosti 77 000 tun

Podíl hliníku je 45%, následuje ocel (23%), titan (11%) a nikl (11%)

Podíl kompozitních materiálů je pouze 4%
- **velmi malý odpad**
- **v letové hmotnosti 14%**

Výhled nákupu kompozitních materiálů, 10^6 kg



Současná celková potřeba je 25 milionů kg

Zvýšení požadavků po r. 2010
- **B 787 do sériové výroby.**

Další nárůst po r. 2013
- **Airbus A 350**

Do r. 2020 se očekává nárůst na dvojnásobek
- hlavně uhlíkové kompozity

Mechanizmy zpevňování a odpevňování kovových materiálů

Všechny kovové letecké materiály se používají ve zpevněném stavu, odpevnění je často nutné pro různé technologické operace, např. tváření

1. Zpevňování homogenních materiálů

- Homogenní materiál – tvořený jedinou fází (čistý kov, tuhý roztok)
- Možnosti zpevňování
  - Zjemnění zrna – dislokace nemůže překročit hranice zrn, zpevnění bez zhoršení tvárnosti a houževnatosti
  - Deformační zpevnění při tváření za studena – při tvárné deformaci roste hustota dislokací a dochází k jejich vzájemnému působení, velké zpevnění při zhoršené tvárnosti a houževnatosti
  - Legování atomy přísad – rozdílná velikost atomů vede k deformaci krystalické mřížky tuhého roztoku a vzniklé pole napětí brání pohybu dislokací

    Příklad: Kalená ocel – přesycený intersticiální tuhý roztok uhlíku v železe α

2. Zpevňování heterogenních materiálů

- Heterogenní materiál – tvořený více fázemi (většina slitin)
- Možnosti zpevňování

  - Zpevnění zrny druhé fáze

  - Precipitační zpevnění – podmínkou je změna rozpustnosti přísady s teplotou, možnost vytvoření přesyceného tuhého roztoku a jeho následný precipitační rozpad, tj. stárnutí.

    Produkty stárnutí, tj. mikrooblasti obohacené atomy přísady, G-P zóny, koherentní nebo nekoherentní precipitáty brání pohybu dislokací.

    Precipitační zpevnění má velký význam u slitin Al, slitin Ti a u některých ocelí.

  - Deformační stárnutí – před stárnutím je slitina deformována, stárnutí se urychluje, probíhá při nižší teplotě, vzniká velké množství jemných precipitátů a dosahuje se vysokých hodnot pevnosti

  - Disperzní zpevnění – zpevnění částicemi cizího původu, např. při výrobě součástí práškovou metalurgií (částicové kompozitní materiály s kovovou matricí)

3. Odpevňování homogenních a heterogenních materiálů

- Má difúzní povahu a je tepelně aktivované
- Je způsobeno novým rozdělením a snížením hustoty dislokací a bodových poruch (vakancí)
- Postupy odpevňování

Zotavení a rekrystalizace deformačně zpevněného materiálu.

- Zotavení – předchází rekrystalizaci, klesá hustota vakancí, nemá vliv na mechanické vlastnosti
- Rekrystalizace – při ohřevu nad rekrystalizační teplotu se difúzním pohybem atomů postupně nahrazují deformovaná zrna s vysokou hustotou dislokací rovnoosými zrny s nízkou hustotou dislokací a dobrou tvárností (odstranění deformačního zpevnění)
- Průběh rekrystalizace silně závisí na předchozí deformaci – kritická deformace (obvykle 2 – 6%) vede ke vzniku hrubozrnné struktury se špatnými mechanickými vlastnostmi). Jemnozrnná struktura vyžaduje před rekrystalizací intenzivní tváření za studena.

Koagulace a zpětné rozpouštění precipitátů

- Týká se precipitačně zpevněných slitin
- Probíhá při ohřevu – při nižší teplotě se precipitáty shlukují (koagulace) a dochází k přestárnutí slitiny. Při vyšší teplotě se precipitáty rozpouštějí v kovové matrici.
- Mizí překážky proti pohybu dislokací, dochází k odpevnění slitiny