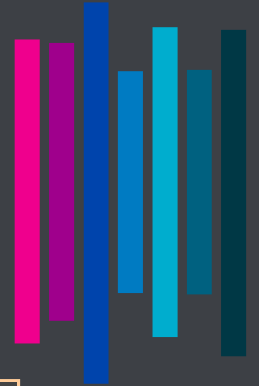


EXOVO



# Nové letecké materiály

Jiří Fidranský, 2011

# Obsah

- Současné tendence ve vývoji letadel
- Mění se požadavky na letecké materiály
- Kriteria výběru leteckých materiálů
- Nové konstrukční slitiny
- Nekovové materiály
- Příklad použití netradičního materiálového řešení

# 1. Současné tendence ve vývoji letadel

- Základní koncepční uspořádání pilotovaných vojenských i civilních letadel je posledních 30 - 40 let neměnné
- Bezpilotní prostředky se teprve rozvíjejí, ale nejsou principiálně odlišné od pilotovaných letounů



# 1. Současné tendence ve vývoji letadel

Lockheed Martin

F-22A Raptor



UAV RQ-1 Predator

**Exova**

# 1. Současné tendence ve vývoji letadel

Revoluční projekty se většinou neuskuteční – Boeing Sonic cruiser – odmítnut z důvodu nákladů, které nevyvážily možné výhody – tou byla vyšší cestovní rychlost  $M=0,95$



# 1. Současné tendence ve vývoji letadel

- Konkurenční prostředí přesto nutí výrobce k rozsáhlým inovacím
- Základní požadované změny jsou následující:
  - vyšší výkony, především dolet
  - vyšší únosnost
  - vyšší životnost a denní využití (spolehlivost)
  - snížené náklady na provoz, především na palivo
  - snížené náklady na údržbu
  - nižší ekologická zátěž

# 1. Současné tendence ve vývoji letadel

- Požadavky přeloženy do technické řeči znamenají lehčí a odolnější konstrukci
- S ohledem na zvýšené požadavky na vyšší životnost a spolehlivost nelze odolnější konstrukci vytvořit bez nových, či zlepšených materiálů

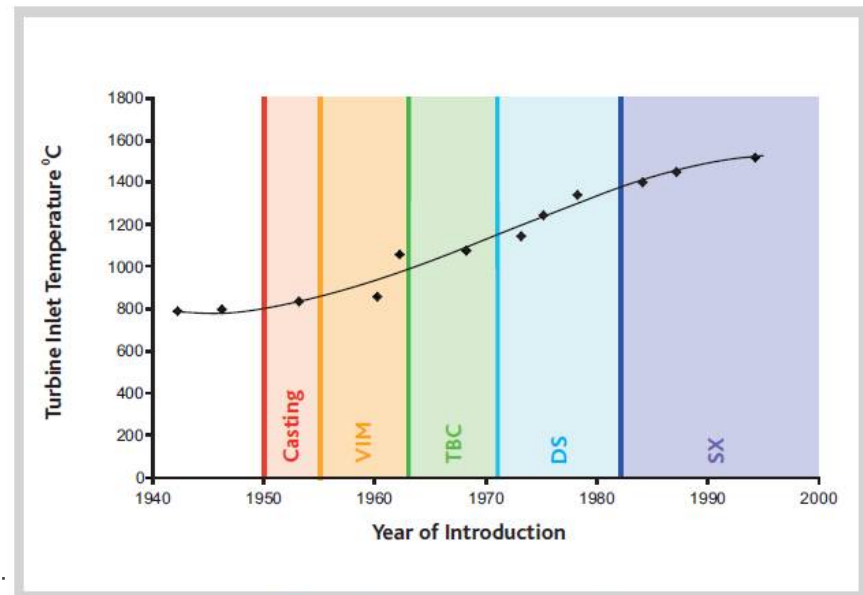


Figure 3. Turbine inlet temperature for a selection of Rolls-Royce turbines with major material developments indicated.

## 2. Kriteria výběru leteckých materiálů

### Pevnostní

- Měrná pevnost
- Měrná únavová pevnost
- Odolnost vůči poškození (slow crack growth, balistická odolnost)
- Měrná tuhost
- Popř. další

Ověřuje se mechanickými zkouškami, za normální i vyšších (nižších) teplot



## 2. Kriteria výběru leteckých materiálů

### Technologická

1. Tvařitelnost
2. Obrobitelnost
3. Svařitelnost
4. Schopnost lepení
5. Popř. další

Částečně se ověřuje mechanickými zkouškami, např. svary,  
kontrolovány metalograficky

## 2. Kriteria výběru leteckých materiálů

### Provozní

1. Odolnost vůči korozi
2. Opravitelnost
3. Popř. další

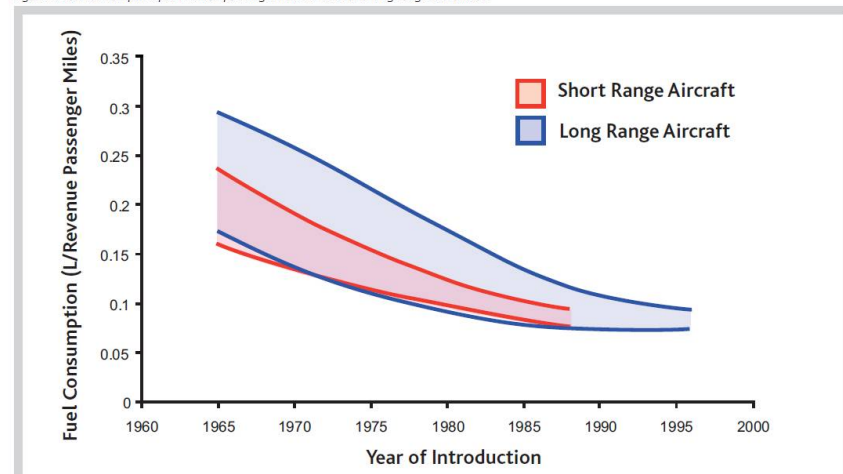
Částečně se ověřuje mechanickými zkouškami, popřípadě metalograficky

## 2. Kriteria výběru leteckých materiálů

### Ekonomická

1. Cena, rozhodující je cena výrobku, nikoli materiálu, dražší materiál může přinést úspory (uspořený 1kg konstrukce letounu A380 ušetří 50ml paliva za hodinu. Zdá se to málo, ale znamená to 3750 l za život letounu)
2. Provozní náklady (inspekce, opravy)
3. Náklady na likvidaci
4. Popř. další

Figure 2. Fuel consumption per revenue passenger mile of short and long range civil aircraft



### 3. Nové konstrukční slitiny

- Nejběžnějším konstrukčním materiálem v letectví jsou hliníkové slitiny
  - Nejrozšířenější je slitina s mědí (cca 4- 6%) hořčíkem a manganem (Dural) – vyvinuta v Německu cca 1904
  - První použití pro vzducholodě, od 30. let 20. století pro letouny (v roce 1927 vyřešena koroze)
  - Dural má mnohem větší pevnost a tvrdost (až 5x větší než Al) při zachování skoro stejné měrné hmotnosti
  - Použití – konstrukce letadel, automobilů, jízdních kol, žebříků atd.
-

### 3. Nové konstrukční slitiny

Označování hliníkových slitin:

1000 – čistý hliník

2000 – nesvařitelné, vytvrditelné za tepla, dobrá pevnost; použití na komponenty; duralové slitiny (AlCuMg), - **Dural**

3000 – slitiny AlMn,

5000 – svařitelné, nevytvrditelné,

6000 – svařitelné (musí se ještě ale tepelně upravit), vytvrditelné za tepla. Slitiny AlMgSi,

7000 – svařitelné, vytvrditelné za tepla; slitiny AlZnMg,

7075 – nejpevnější hliníková slitina legovaná zinkem

Nové perspektivní slitiny: Al – Li slitiny

### 3. Nové konstrukční slitiny

- Slitiny **Al-Li** jsou slitiny hliníku, legované lithiem, mědí a zirkonem.
- Protože Li je kov s nejnižší hustotou mezi kovy, tyto slitiny mají také nižší hustotu. Komerční Al-Li slitiny obsahují až 2, 45% Li
- Li snižuje hustotu 3-mi způsoby:
  1. Nahrazením, každý atom Li který v krystalové mřížce nahradí Al atom sníží hmotnost. Každé 1% Li ve slitině sníží hustotu slitiny o 3% a zvýší modul pružnosti o 5%. Limitem jsou 4,2 % Li, tj. míra nasycení.
  2. Deformačním zpevněním - vložením jiného atomu do krystalové mřížky blokuje vznik dislokací.

### 3. Nové konstrukční slitiny

Třetí způsob:

- Precipitační vytvrzování – při správném stárnutí vzniknou fáze  $Al_3Li$ , které brání pohybu dislokací při deformaci. Tyto fáze nejsou stálé a je třeba zabránit vzniku stálejších fází  $AlLi$  ( $\beta$ ) při přestárnutí.
- Krystalická struktury  $Al_3Li$  a  $AlLi$  jsou velmi odlišné. Struktura  $Al_3Li$  vykazuje téměř stejnou krystalovou stavbu jako čisté  $Al$ , vyjma atomů  $Li$  v rozích mřížky. Její krystalový parametr je menší, než u  $AlLi$  struktury.

### 3. Nové konstrukční slitiny

- Al Li slitiny vykazují až o cca 10% nižší měrnou hmotnost a 15% vyšší tuhost, ve srovnání se slitinami Al Cu Mg, nebo Al Zn Mg.
- Principiálním problémem je doposud ne zcela zvládnutá odolnost proti únavovému porušení a šíření trhlin
- Použití u kosmické raketové techniky (omezené požadavky na životnost) a leteckých sekundárních konstrukcí
- Některé Al-Li slitiny, jako Weldalite 049 jsou svařitelné, svařitelnost je však za cenu vyšší hmotnosti (stejně jako u 2024)



### 3. Nové konstrukční slitiny

- Odpad z Al-Li slitin se musí oddělit od ostatních Al slitin, smícháním vzniká riziko požáru, či výbuchu
- Praktické použití je zatím omezené, jde však o materiál budoucnosti

AgustaWestland AW101  
z roku 2007 používá Al Li  
slitiny v konstrukci trupu



## 4. Nekomové materiály

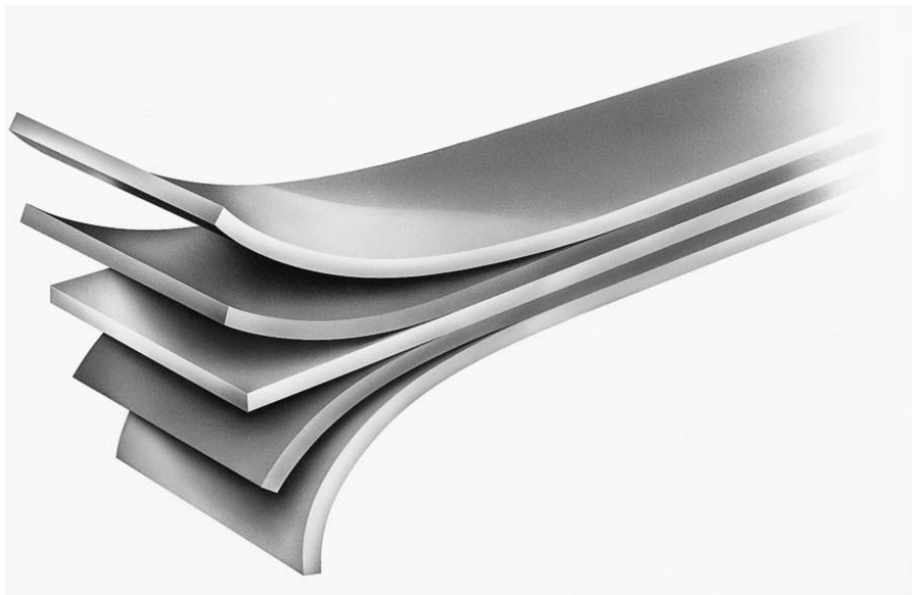
- Již 30 let se používají kompozitní materiály na bázi skelných, uhlíkových nebo aramidových vláken
- Jejich relativní zastoupení trvale roste a v současnosti poprvé představují převažující materiál v konstrukci nového letounu Boeing B787



## 4. Nekovové materiály

- Výhody kovových a nekovových materiálů slučuje hybridní materiál Glare ®

- GLARE znamená "Glass Laminate Aluminium Reinforced Epoxy", skládá se z několika tenkých vrstev kovové folie (cca 0,15 - 0,2 mm silné), obvykle z hliníkových slitin a vložených vrstev prepregu ze skelných vláken.



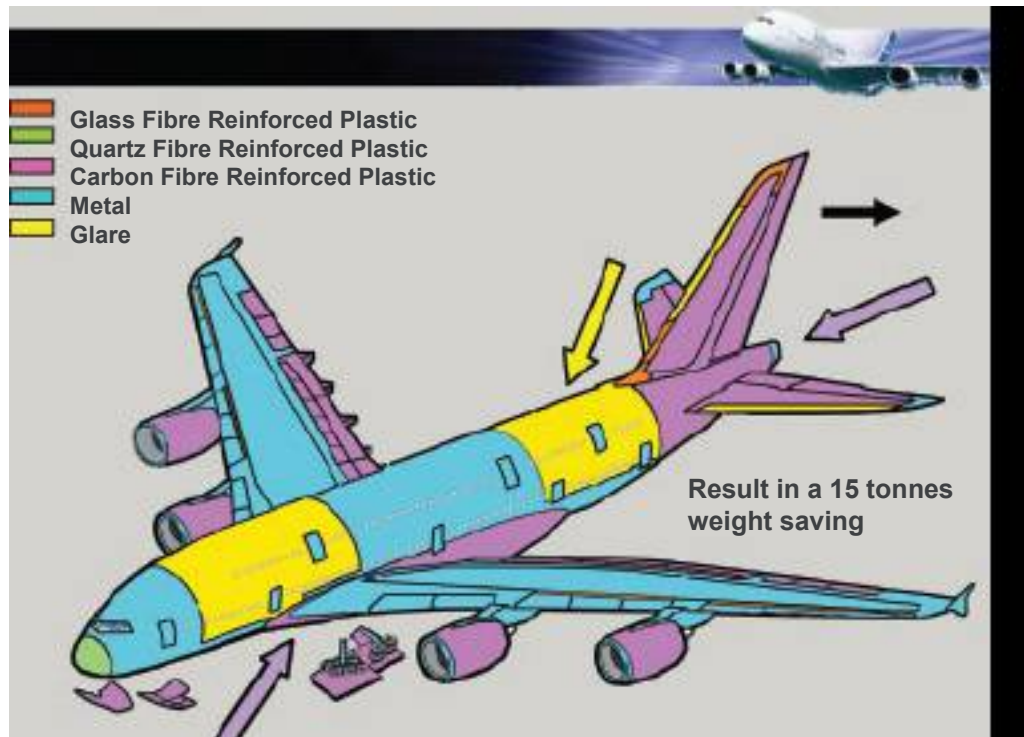
## 4. Nekomové materiály

- Vlákna jsou v epoxidové matrici, která je také spojuje s Al folií.
- Ačkoliv jde o složený materiál jeho vlastnosti a výroba jsou blízké zpracování hliníkových plechů
- Materiál byl původně vyvinut na univerzitě v Delft (Holandsko) a patentován v roce 1987 společností [Akzo Nobel](#)
- První praktické využití je pro letoun A380, materiál vyrábí [Cytac Engineered Materials](#) ve Wrexham, UK

## 4. Nekovové materiály

- Hlavní výhody Glare:
  - lepší odolnost proti porušení, především odolnost proti nárazu a šíření únavových trhlin
  - vyšší odolnost proti korozi
  - vyšší odolnost proti prohoření
  - nižší měrná hmotnost
- Zásadní nevýhoda je - cena
- První praktické využití je pro letoun A380, materiál vyrábí [Cytac Engineered Materials](#) ve Wrexham, UK

## 4. Nekovové materiály



Airbus A380 – nejnovější výrobek společnosti Airbus

## 5. Příklad použití netradičního materiálového řešení

- Vzduchovod letounu L59



## Vzduchovod L59- popis problému

- Konstrukce z Al, Mg,Cu slitiny, plech tl. 2mm
- Instalace motoru DV 2 s vyšším tahem a bez rozváděcího kola kompresoru
- Akusticky zatíženo 140dB
- Dynamické zatížení, rezonanční i vynucené kmitání
- Trhliny vznikaly už po 10-ti hodinách provozu



# Vzduchovod L59- neúspěšná řešení

- Změna materiálu za jinou slitinu
- Zesilování
- Konstrukční úpravy, výztuhy

**Hrozilo stažení letounů z provozu**

# Vzduchovod L59- úspěšné řešení

- Hybridní konstrukce kov – kompozit
- Konstrukce v principu sendvičová, Al, G/E, C/E
- Plech vzduchovodu jednou částí sendviče
- G/E jádro zajišťuje disipaci energie
- C/E potah zajišťuje tuhost

**Řešení úspěšně funguje více než 15 let**

**Patentováno**

**Několik let po aplikaci v ČR použito i v USA**

---

**EXOVA**

Vaše otázky, ptejte  
se na cokoli chcete



Testing  
Advising  
Assuring

[www.exova.com](http://www.exova.com)