

Petr Stejskal
Modelklub Lipence
(Pokračování z RC revue 12/2002)

Spalovací turbíny v leteckém modelářství

Popis funkce modelářské axiální turbíny

Radiální turbína má pro amatérskou stavbu výhodu v tom, že jako kompresor i turbínové kolo lze použít opracované odlitky dílů turbodmychadla z auta. Rozvaděč turbínového kola je ale podstatně složitější, motor má menší účinnost i tah a vychází těžší. Přesto se tento typ turbín dosud vyrábí, nicméně převládají turbíny axiální, kterými se budeme dále zabývat.

Vzduch vstupuje nasávacím otvorem do jednostupňového odstředivého kompresoru. Po průchodu difuzorem se stlačí přibližně na 100 kPa a přichází do spalovací komory, kde se míchá s palivem. K hoření směsi za teploty až 2000 °C dochází v přední části komory, spaliny postupují dále dozadu, kde se mísí se

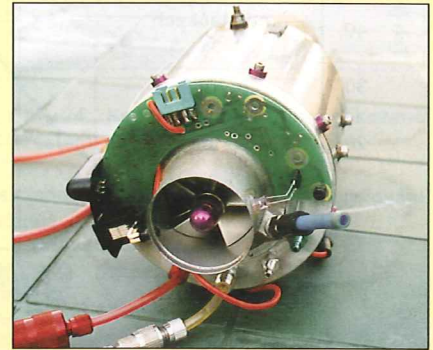
studeným vzduchem a dosahují teploty přibližně 600 °C.

Proudění vzduchu v komoře usměrňuje plamenec s mnoha otvory tak, aby se plamen o vysoké teplotě nedotýkal žádných kovových částí. Po průchodu pevným rozvaděcím stupněm turbíny dostávají horké plyny správný směr a rychlost ke vstupu na axiální turbínu. Ta přes hřídel pohání kompresor a zbylá energie horkých plynů slouží k pohonu letadla.

Palivo je do motoru dopravováno elektrickým čerpadlem. Před vstupem do spalovací komory se míchá se vzduchem ve speciálních tzv. odpařovacích trubicích, prochází odzadu proti postupujícímu plameni do přední části komory, kde odpařené hoří.

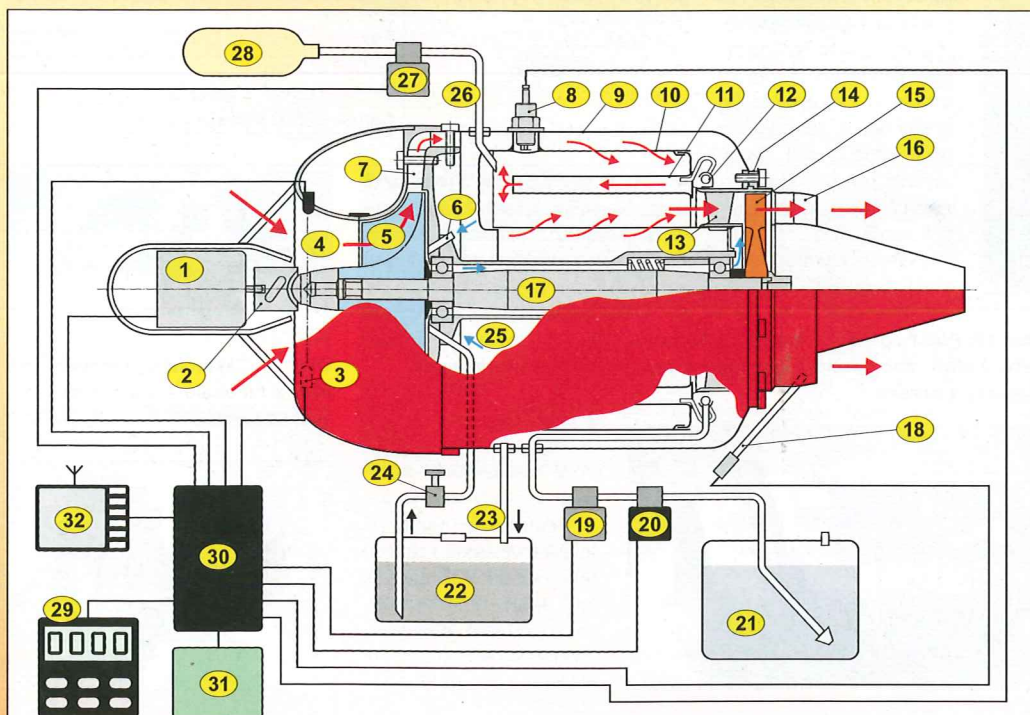
Výhodou tohoto způsobu rozptýlení paliva, který se ale u velkých motorů příliš nepoužívá, je dokonalé hoření při nízkém vstřikovacím tlaku, nevýhodou velké tepelné namáhání odpařovacích trubic, které, jsou-li z nevhodného materiálu, mají malou životnost.

Turbína se při spuštění ohřívá plynem z nádrže. K zapálení plynu se používá žhavicí nebo jiskřivá svíčka. K roztočení může sloužit například elektrický spouštěč s volnoběžnou spojku.



Obr. 11: Profesionálně vyrobená radiální turbína Sophia (Japonsko)

Obr. 12: Schematický náčrt radiální turbíny



- | | |
|--|--|
| 1) spouštěcí elektromotor | 17) hřídel |
| 2) volnoběžná spojka | 18) termočlánek |
| 3) snímání otáček | 19) elektromagnetický palivový ventil |
| 4) nasávací otvor | 20) čerpadlo |
| 5) rotor kompresoru | 21) palivová nádrž |
| 6) vstup chladicího vzduchu k ložiskům | 22) olejová nádrž |
| 7) difuzor kompresoru | 23) tlakování olejové nádrže |
| 8) zapalovací svíčka | 24) regulace dodávky oleje |
| 9) plášť turbíny | 25) vstup oleje k ložiskům |
| 10) plamenec spalovací komory | 26) přívod startovacího plynu |
| 11) odpařovací trubice | 27) plynový ventil |
| 12) rozvod paliva | 28) plynová nádrž |
| 13) rozvaděč turbíny | 29) vnější jednotka s displejem a tlačítky |
| 14) plášť turbínového kola | 30) řídicí jednotka turbíny |
| 15) rotor turbíny | 31) akumulátory |
| 16) výstupní tryska | 32) přijímač |

Celý chod řídí elektronická jednotka s čidlem rychlosti otáčení a teploměrem ve výstupní trysce. Tato jednotka ovládá i motor palivového čerpadla a elektrické ventily plynu a paliva.

Rotor turbíny, jehož provozní otáčky jsou přes 100 000/min a konce lopatek se pohybují nadzvukovou rychlostí, je uložen ve dvou kuličkových ložiskách, která jsou chlazena vzduchem a mazána olejem ze zvláštní nádrže (nebo olejem obsaženým v palivu). Olejová nádrž je tlakována vzduchem z kompresoru.

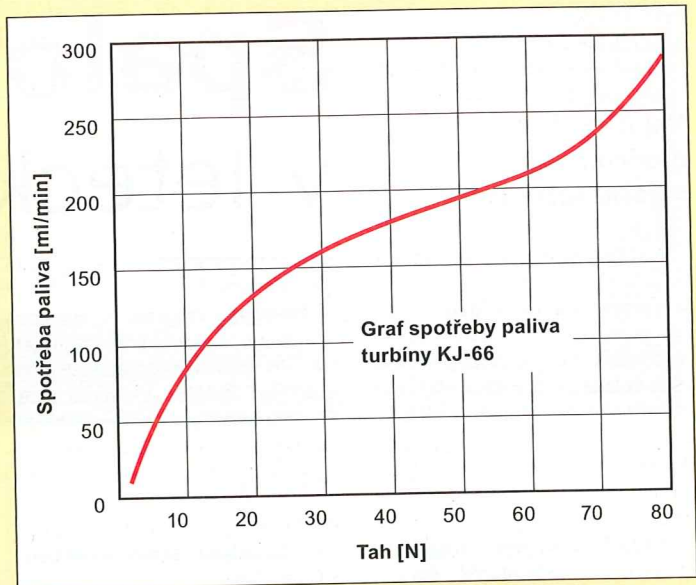
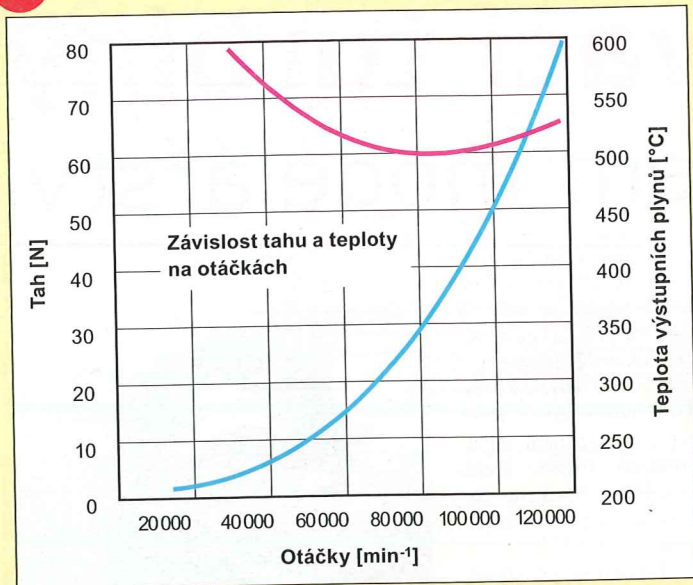
Konstrukce a materiály

Přední nasávací část a plášť kompresoru bývají z duralu nebo z plastu; zde je teplota nejvýše 80 °C. Stojící část je výhodně zhotovit ze silonu. Když turbína stojí, může se otáčet zcela volně, ale za chodu kvůli vibracím a odstředivým silám potřebuje nepatrně větší prostor; při záběhu turbíny se silon vybrousí a výborně těsní. Stejně řešení je používáno i na velkých turbínách. Na plášť spalovací komory se používá tenkostěnná nevrtnatá ocelová nádoba na plyn do kempinkových vaříčů.

Kompresorové kolo je bez úprav použito z automobilového turbodmychadla, difuzor je obroben z duralu nebo odlit z hliníkové slitiny. Plamenec je tepelně silně namáhán, proto se dělá ze žárupevného nebo nerezového plechu. Odpařovací trubice jsou nejlepší z chromniklové slitiny Inconel nebo z nerezové oceli stejně jako rozvaděcí kolo před turbínou.

Vlastní turbínové kolo je nejvíce namáhanou částí motoru, působí na

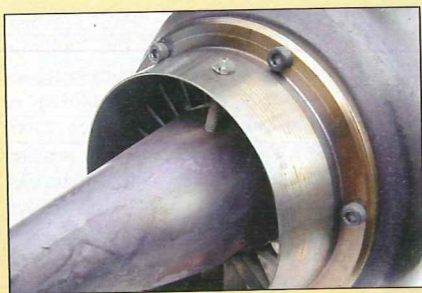
(Pokračování na straně 42)



(Pokračování ze strany 41)

ně vysoká teplota (při startování jde do červeného žáru, za provozu 600 °C) a současně značná odstředivá síla. Jednogramová lopatka

Obr. 13: Výstupní tryska motoru



lotně odolné oceli. Hřídel je z vysokopevnostní oceli, ložiska jsou uložena v duralovém tunelu a o vymezení jejich axiální vůle se stará pružina.

Palivo

V počátcích historie modelářských turbín se používal kapalný propan-butan. Plyn se vedl nejprve do výměníku tepla ve výstupní trysce, kde se předeřhál, a následně se přes škrťací ventil řízený servem přiváděl do palivových trysek ve spalovací komoře.

Nebylo zapotřebí palivové čerpadlo, plyn se

Parametry turbíny KJ-66

Vnější průměr	111 mm
Délka	240 mm
Hmotnost bez spouštěče	1050 g
Maximální tah	90 N při 125 000 ot./min
Stlačení vzduchu	2,2:1
Spotřeba vzduchu	0,22 kg/s
Výstupní teplota	592 °C
Spotřeba paliva	300 ml/min
Spotřeba oleje	5 ml/min
Minimální tah	7 N
Volnoběžné otáčky	36 000 ot./min
Palivo	Jet A1, Kerosin, Diesel/Unleaded mix.
Olej	Aeroshell 500 nebo podobný

malá hořlavost kerosinu a jeho nízká cena. Na velkých letištích není problém získat tzv. odkalený kerosin, který se před každým letem vypouští z palivové soustavy letadel. Jako náhradní palivo dobře funguje nafta s asi 20% automobilového benzínu.



Obr. 17: Částečně opracované odlitky z Inconelu – vlevo rozvaděč, vpravo turbína

turbínového kola je při plných otáčkách vytahována ze středu silou odpovídající váze 2000 N! Z těchto důvodů jde většinou o odlitek z Inconelu nebo obrobek z obdobné slitiny Nimonic. Pokusy s nerezovým kolem končily vždy roztažením disku odstředivou silou a zadřením. Inconelové kolo je ale schopné se po překročení provozních otáček roztrhnout na části a proletět pláštěm turbíny s energií vystřelené kulky.

Výstupní části turbíny jsou z tep-

Obr. 15: Plášť spalovací komory a turbínového kola – zhotoveno z bomby na plyn, doplňky z nerez



Ložiska

V současných turbínách se používají výhradně kuličková nezakrytá ložiska, většinou velikosti 608 (průměr 8/22 mm, šířka 7 mm). Ty se vyrábějí ve speciálním provedení s keramickými kuličkami většinou jako bezklecové,



Obr. 18: Netočící se součásti – vpravo hliníkový difuzor kompresoru, ložiskový tunel, inconelový rozvaděč turbíny

Obr. 14: Nasávací hrdlo z duralu a silonu, vývodky jsou na přívod paliva a oleje, přední kryt vytlačený z hliníkového plechu



dobře míchal se vzduchem. Problémové a drahé byly tlakové nádrže obvykle svařené z nerezového plechu. Kapalný plyn potřebuje proti kerosinu pro stejnou dobu chodu motoru přibližně dvojnásobný objem nádrží.

Přibližně před deseti léty převládá pohon kerosinem, ten se do motoru dopravuje elektrickým čerpadlem, jehož otáčkami je ovládán výkon turbíny. Výhodou je poměrně



Obr. 16: Modely pro odlitky turbínového kola. Červené jsou pro lití horkých částí metodou ztraceného vosku z Inconelu, průsvitné slouží k výrobě sádrových forem pro části kompresoru z hliníku

Obr. 19: Kompletní rotor, vpravo kompresor





Obr. 20: Pohled odzadu do spalovací komory na odpařovací trubice – tam, kde směs paliva hoří, je povrch kovu čistý, kolem je pokrytý sazemi

uvolnění kuliček a následné zadření rotoru.

Rozhodující negativní vliv na opotřebení ložisek má prach nasávaný turbínou, proto se začínají používat filtry chladicího vzduchu uvnitř turbíny. Proto je dobré po létání zakrývat otvory turbíny krytkami jako u skutečných letadel. Uvidíme-li fotografii makety stojící na ploše s nasazenými kryty, není to jen „parádička“!

čena nevývaha je v jednotkách miligramů na poloměru 30 mm.

Řada turbínářů si rotory vyvažuje sama amatérsky. Statické vyvážení na hrotech, jaké se používá u vrtulí, naprosto nestačí. Dříve se používalo statické vyvážení rotoru, kdy byla hřídel uložena v ložiskách upevněna na vibrační holicí strojek, jehož kmity snižují tření v ložiskách. Těžší část rotoru se



Obr. 24: Kompresorové kolo poškozené nasátými nečistotami

vydrží až 180 000 ot./min při současně teplotě 250 až 300 °C. Jejich životnost v provozu je asi 25 až 50 h, cena se pohybuje okolo 50 € za kus.

Pokud si stavíme turbínu sami, na první pokusy a občasné létání stačí běžná ložiska s ocelovými kuličkami, plechovou klec a se zvětšenou vůlí (označení C4 až C5) v ceně do 30 Kč. Jejich maximální dovolené otáčky jsou sice jen 38 000/min, ale při dobrém mazání a dobře vyváženém rotoru vydrží i 2 h provozu, pokud nepřekročí 100 000 ot./min.

Nebezpečí při používání náhradních ložisek skýtá klec, která se při vyšších otáčkách otevírá a hrozí



Obr. 21: Znečištění vnitřní části pláště kompresoru prachem po třech hodinách provozu

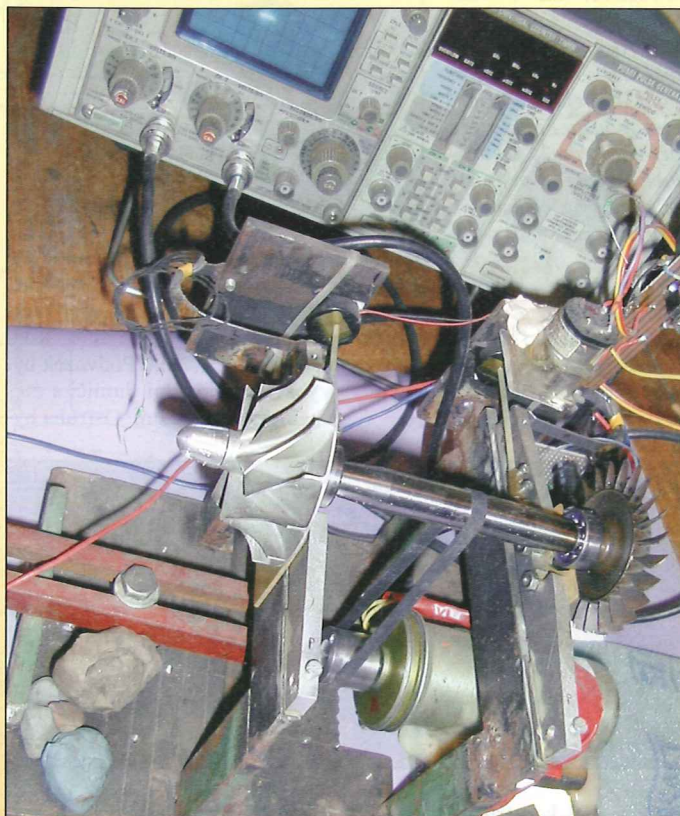


Obr. 22: Turbinové kolo a zadní ložisko

Obr. 23: Porovnání velikosti turbíny KJ-66 s turbínou MW54 Tomáše Mráze používanou ve spojení s volnou turbínou k pohonu vrtulníků nebo turbovrtulových modelů. Výkon MW54 je až 5 kW.



Obr. 26: Amatérská dynamická vyvažovačka, v popředí rotor na stojanu z masivního ocelového plechu, vzadu osciloskop k vyhodnocení vibrací



Větší nečistoty, třeba kamínky, dokážou hravě poškodit kompresor. Je třeba dávat pozor i na nasátí měkkých materiálů: sena, papíru, kousků látky. Například při neopatrné manipulaci s vysílačem se stalo, že kompresor nasál a rozcupoval stuhu z antény. Její zbytky okamžitě ucpaly vzduchové kanály a z „přidušeného“ motoru začaly šlehat výstupní tryskou plameny.

Vyvažování rotoru

Přesné vyvážení rotoru je podmínkou klidné a bezpečné funkce turbíny i dlouhé životnosti ložisek. Nejlepší je světit tuto činnost odborníkům (například firmě opravující turbodmychadla), doporu-

Obr. 25: Statické vyvažování s pomocí vibrací



otočí dolů – tam se potom ubrušuje materiál. Je to velmi jednoduché, ale takto lze vyvažovat pouze pro první zkoušky při nízkých otáčkách!

Pro dosažení slušných parametrů je nezbytné pracovat na dynamické vyvažovačce a snímat chvění. Cena profesionálního zařízení se sice píše se šesti nulami, ale chceme-li si turbínu vyvážit sami, je možné i amatérské zhotovení (například podle www.technologie-entwicklung.de).

Vyvažovaný rotor je roztáčen elektromotorem, kmity nevyváženosti jsou snímány piezoelementy a zobrazeny na osciloskopu – vlastní vyvážení se provádí opět ubrušováním materiálu kol. Problémem je jednak přenos chvění od motoru na rotor turbíny, jednak zašumění snímaných signálů z piezoelementů.

(Pokračování)

Obr. 27: Díly turbíny MW54. Zajímavostí je uvnitř umístěný filtr vzduchu do ložisek – šedé mezikruží ve spodní části. (Podle www.wren-turbines.com).

