

Aerodynamika a mechanika letu - 4. díl

V tomto díle pokračuje rozbor aerodynamických vlastností - vliv úhlu nájevu na součinitel odporu. V závěru tohoto dílu je uveden pář-klad praktického použití součinitele odporu.

Vliv úhlu nájevu na součinitel odporu

Profilované tělesa vykazují minimální součinitel odporu jen při obtěžení - z určitého, pro každé těleso pář-esně daného směru. Jakmile se směrem proudění - změně, součinitel odporu se začne zvyšovat. Z toho důvodu se hodnoty součinitele odporu (i dalších součinitelů) vždy vztahují ke konkrétnímu úhlu nájevu, což je úhel, který sváří podél pář-mka mezi nájevnou a odtokovou hranou profilu (tzv. tětíva) ke směru nabíhajícího proudu vzduchu.

Profilované tělesa souměrně podél tětívy budou mít zcela logicky nejníě součinitel odporu při obtěžení - pář-esně ve směru tětívy, tj. pář-nulovém úhlu nájevu. Na obrázku je zobrazen souměrně laminární profil (např. pro ocasní plochy letadel).

Pokud se podél osa od směru obtěžení - jedním nebo druhým směrem vychýlí, tj. zvýtí - se úhel nájevu, součinitel odporu se začne zvyšovat nejprve těmá - neznatelně (vlivem posunování bodu pář-echodu mezi laminárním a turbulentním prouděním - viz obrázek), později se zvyšující - se úhlem nájevu až do hodnoty tzv. kritického úhlu nájevu v jednotkách procent.

Přímý přímý ekroen - kritický hlu nájbhu, u souměrných profilů přímý hlu nájbhu cca 7° až 12° (záleží na tloušťce profilu a na jeho tvarování - přímédevám v oblasti nájbů strany), se proudění vzduchu na sací (zde horní) straně tělesa začne od odtokové hrany odtrhávat, což se projevuje zpětným pohybem vzduchu v mezní vrstvě v povrchu profilu. Přímý dalám zvětvování hlu nájbhu zpětně proudění postupuje směrem k nájbů strany až do úplného odtržení. Obecně: u tenkých profilů (ať souměrných nebo nesouměrných) s nevhodně tvarovanou nájbů stranou dojde zpravidla téměř okamžitě prudkému odtržení podél celého profilu (ve skydivingu se má tento jev vyskytovat u některých vrchlákových z nepropustných tkanin), u tlustších profilů - in - zpravidla rozdíl mezi počátkem odtržení a úplným odtržením nákolik hlových stupňů (platí - přímédevám pro přímésnostní a kolná vrchláky). Obecně je pravděpodobněm jevem zvětvování hlu nájbhu za tělesem a prudké nářst součinitele odporu.

Po úplném odtržení proudění odpovídajícímu přímému vrchláku je již součinitel odporu v přímědu odpovídajícímu neprofilovanému tělesu (cca 0,3 a více).

Bude-li proud vzduchu nabíhat kolmo na podélnou osu tělesa, bude těleso vykazovat prakticky shodný součinitel odporu jako desková těleso1).

Nesoumárné profily pro káždě

zpravidla vykazují nejníže součinitel odporu pTM jiným než nulovým úhlu náběhu. Je snaha, aby profil konkrétního letadla vykazoval nejníže součinitel odporu pTM takovým letovým režimem, pro který je dané letadlo primárně určeno. U motorových letounů je to pTM cestovní rychlosti, která zpravidla odpovídá názkřmu součiniteli vztlaku

(pTM Cl

cca 0,3) - viz profil na obrázku. U vrchlíků pro narychlení pTMistinné odpovídají hlavní pracovní oblasti také relativně nízkým součinitelům vztlaku (cca 0,4 až 0,6) - je to proto, aby tyto vrchlíky "žely"

rychlost jak v pTMechodovém oblouku, tak po velké výšce vodorovného letu ve výšce - viz úložek PTMistinné na sportovní padáku - 2. díl. PTM o něco vyšších součinitelů vztlaku pracují profily běžných vrchlíků pro skydiving, aťkoliv u nich často nepatří kritérium názkřho součinitele odporu k prioritám (pTMedevám u jakolich a pTMesnostních vrchlíků). Většinou ukončují profily určené pro letadla s vysokou klouzavostí (výtronů a vrchlíků pro paragliding), která musí vykazovat názkř součinitele odporu pTMedevám pTM vysokých součinitelů vztlaku (pTM Cl cca 0,7 až 0,9).

Situace pTM dotrhání u profilu

nesoumárného je stejná jako u profilu soumárného, pouze s tím rozdílem, že k odtržení za ná; pTM v různých výškách úhlu náběhu.

PTM zřporným úhlu náběhu u

nesoumárných profilů zpravidla dojde k odtržení proudů vzduchu již pTM malým úhlu náběhu.

Záporný hel je samozřejmě v praxi možný jen u tuhých káblů letadel a také u polotuhých káblů z tvárných kluzáků (rogal) a koliv i zde je záporný hel nejdouc. U měkkých káblů del vrchláku pro skydiving a paragliding pochopitelně záporný hel nijak hu znamenají "žlet" za hranic letových oběky a kolaps vrchláku s možnými katastrofickými následky, minimálně hrozí zaklapnutí nebo hrany.

Poznámka na závěr této kapitoly: Informace o profilech dodnes používaných pářích nřivru letadel a/nebo modelů letadel se dají celkem bez obtěží získat v odborné literatuře i na webu. U profilů používaných pro vrchláky pro skydiving a paragliding je bohužel situace poněkud složitější, data jsou většinou pářím nezveřejňovaného know-how jednotlivých výrobců. Z čeho dále je potřeba konkrétní hodnoty součinitele vztahující se k vrchláku pro skydiving a paragliding brát s určitou rezervou, nicméně obecně závislosti zde uváděná, platná jsou. Navíc u měkkých vrchláku hrají podstatnější roli pářím v pářím profilu poněkud jiná kritéria než u tuhých nosných ploch (káblů del). Jde například o naprostou jednoduchost požadavky na zachování letuschopného tvaru vrchláku pářím v pářím letových režimech včetně narychlení a pářím průletu turbulencí, na které má zvolený profil v pářím vliv. Navíc vlastnosti vrchláku jsou v pářím ovlivněny použitým materiálem, potem a tvarem komor apod.

3.1.2 SOUČINITELE INDUKOVANÉHO ODPORU

Indukovaný odpor vzniká pouze na tělesech vykazujících vztlak v dšledku trojrozměrného obtěků (v našem pářím pářím vzniká v pářím hradně na vrchláku). Jelikož hodnota součinitele indukovaného odporu ázce souvisí s hodnotou součinitele vztlaku, bude o tomto součiniteli pojednáno v kapitole o součiniteli vztlaku v pářím z dalších pokračování.

3.1.3 PRAKTICKÉ POUŽITÍ SOUČINITELE TVAROVÉHO ODPORU

Praktický užití tvarového součinitele odporu si ukážeme na praktickém postupu při ověření vlastností konkrétního vztažného padáku z polopropustné tkaniny. Celý postup sestává ze dvou částí:

a)
z vztažného při předpokládání odporového síly Dp na základě předpokládání součinitele odporu c_d při předpokládání vztažného padáku.

b)
následného ziskání skutečného součinitele odporu c_d skut. praktickou zkouškou měřením tahové síly padáku.

Část A - předvedení vztažného

Předpokládáme, že vztažný padáček má při velmi vysokém součiniteli odporu $c_d = 1,3$. Je však třeba zahrnout vliv polopropustné tkaniny, takže ne zcela ideální tvar padáku a zároveň musíme zohlednit vliv šířky na spodní straně padáku, která způsobí, že část nabíhacího proudu vzduchu padáček obteče. Z čehož vyplývá předpokládání součinitele odporu o něco snáze na c_d při předpokládání = 1,0.

Jako vztažná plocha S se uvažuje přibližně plocha padáku při nafouknutí, která bude dleky zaoblená - o cca 30% menší - než plocha rozvinutá, násobíme tedy ve vztažném rozvinutou plochu koeficientem 0,7.

Příklad 2:

Jak velkou tahovou sílu předpokládáme u vztažného padáku o rozvinutém průměru 70cm při rychlosti pádu 200km/h ve vztažné 2000m.n.m (v tzv. mezinárodní standardní atmosféře MSA uvažované v letectví) při uvažované součiniteli odporu c_d při předpokládání = 1,0?

Průměr rozvinutí d 0,7m

Rychlost proudu vzduchu v
200km/h = 55,55m/s

Objemová hmotnost vzduchu ρ (MSA)..... 1,001kg/m³

Součinitel odporu c_d p_{medp} .
..... 1,0

Dynamický tlak:
 $q = \frac{1}{2} \rho v^2$
 $= \frac{1}{2} * 1,001 * 55,55^2 = 1544\text{Pa}$
(3)

Plocha vztažení:
 $S =$
 $0,7 * \pi d^2 / 4 = 0,27\text{m}^2$

Odporová síla:
 Dp_{medp} .
 $= c_d p_{medp} * q * S$
 $=$
 $1,0 * 1544 * 0,27 = 417\text{N}$
(5)

Závěr: Váha odpovídá síle odporu, avšak změny o tahu padáku (cca 2N), kterou tlumočíme o velikosti cca 415N (pro lepadáku - stavu: těleso o hmotnosti cca 42kg).

Část B - měření tahové síly padáku

Praktickou zkouškou seskokem z letadla).

Zkoušku lze provést např.

s pomocí

padákové soupravy pro

seskoky na stabilizaci volného pádu. Spojovací lemovku vybavíme siloměrem

se znamovými a parašutistu páš- strojem obsahujícím komár a rychloměr se znamovými zaš-zenám (páš- pokládejme, že taková zaš-zenám- existují).

Parašutista provede standardní seskok na stabilizaci např. ze 4000m (váha/stabilizační páš- je vytažen lanem za letadlem) a páš- otevře v hmotnosti váš- jce např. 1200m nad zemí.

Po provedení seskoku (páš- padá-

několi skoků pro zkušební páš- sledků) se ze znamových zaš-zenám- odečtou hodnoty rychlosti pádu a tahové síly padáku ve výšce 2000m.n.m.

(páš- taná na podmínce standardní atmosféry). Váš- sledných hodnoty se zprá- rují.

Páš- pokládejme, že byly naměřeny tyto zprá- rované hodnoty:

-
rychlost $v = 167 \text{ km/h} = 46,39 \text{ m/s}$

-
tahová síla
317N

-
hustota vzduchu ve výšce 2000m.n.m. $1,001 \text{ kg/m}^3$

Příklad 3

Kolik skutečně součinitel odporu c_d skutkového padáku dle naměřených hodnot?

Dynamický tlak z naměřené rychlosti:
 $q = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} * 1,001 * 46,39^2 = 1077 \text{ Pa}$
(3)

Plocha vztažená (z Příkladu 2):
S
=
 $0,7 * \sqrt{2/4} = 0,27 \text{ m}^2$

Odporová síla:

$$D = \text{tahová síla} + \text{táhla padáku} = 317 + 2 = 319\text{N}$$

Součinitel

$$\text{odporu skutečně: } cd_{\text{skut}} = D / (qS) = 319 / (1077 \cdot 0,27) = 1,097 \hat{=} 1,1 \text{ (5 upraveně)}$$

Závěr: Skutečná hodnota součinitele odporu je téměř přesně 1,1

1) To je například

situace, která nastává bezprostředně po otevření padáku káždě, nebo se dostane zbrzdě rychlost volného pádu nebo situace, která by nastala po dlouho trvající - m - eta - vrchlíku.

2) Upozornění:

v praxi neprovádět, jde pouze o modelové případ, pro podobné zkoušky je mj. potřeba zřetelovat povolení dle příslušných zákonů a předpisů!

Pokračování - pokračování

Ivan Kraus krausivan@yahoo.com

Další články autora:

Aerodynamika a Mechanika letu - MANTA nebo BOX?

Aerodynamika a Mechanika letu - Trekování

Aerodynamika a Mechanika letu - 7. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 6. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 5. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 3. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 2. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 1. díl

Přítelna na sportovní padělku - 2. díl

Přítelna na sportovní padělku - 1. díl