

Jak funguje model vícestupňové rakety I

23. Únor 2003 maňásek

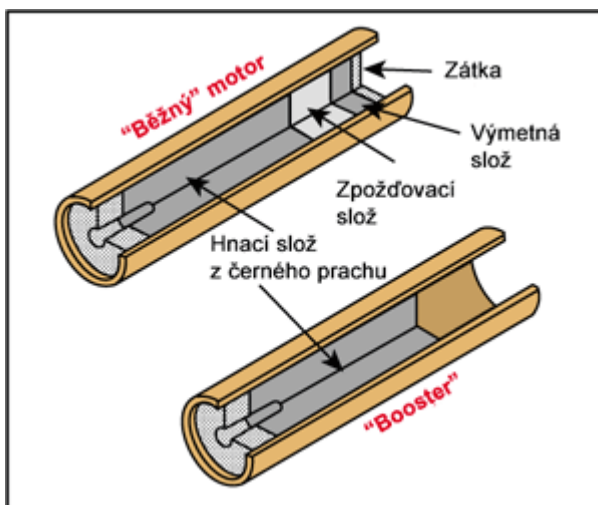
Tomu, kdo se raketovému modelářství věnuje již nějaký čas, se může tento článek zdát jako příliš základní. Myslím ale, že i takový modelář v článku objeví pár nových věcí. Článek se zabývá principy fungování modelu vícestupňové rakety a podává informace důležité pro návrh vlastního modelu vícestupňové rakety. Motivem k napsání tohoto článku byly prosby lidí, kteří mi tvrdili, že na Síti existuje jen málo informací k tomuto tématu. Doufám, že můj článek pomůže těm, kteří by rádi postavili vlastní model dvou (nebo tří) stupňové rakety.

V knize **Model Rocket Design & Construction** lze nalézt následující definici: „Raketa, která má dva nebo více motorů uspořádaných těsně za sebou a které jsou postupně zažehovány, se nazývá vícestupňová raketa“. Každá motorová jednotka, stupeň, je po úplném vyhoření oddělena od ostatních částí rakety. Hlavním důvodem, proč raketový modelář dělí raketu do více stupňů, je dosažení velmi vysoké výšky. Postupným redukováním váhy rakety během motorové fáze letu dosáhneme toho, že poslední stupeň rakety je velmi lehký a může proto vystoupat do značné výšky.

Přímé vs. nepřímé zažehování

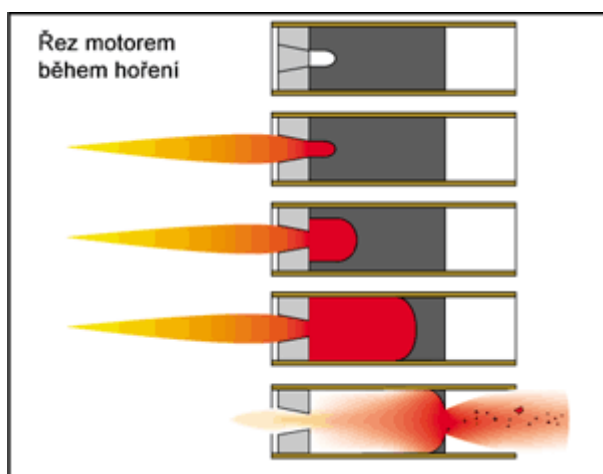
V podstatě existují dva způsoby postupného zažehování raketových motorů. U jednodušší metody, tzv. přímého zažehování, je motor horního stupně zažehován vlastním motorem stupně spodního. V tomto článku se budeme zabývat právě touto metodou. Druhý způsob se nazývá nepřímé zažehování. Motor horního stupně je zažehován samostatným zažehovacím zařízením, které je nezávislé na motoru spodního stupně. Tento způsob je popsán v bulletinu **Apogee e-zine newsletter 91**. Nepřímé zažehování se používá u modelů s větším průměrem trupu, protože výběr vhodných motorů pro první stupeň je omezen.

Jak funguje přímé zažehování



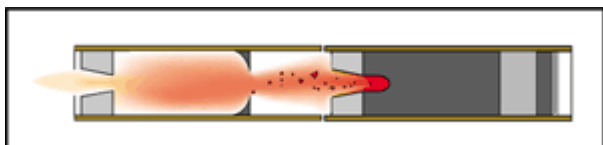
Při přímém zažehování motor spodního stupně, tzv. „booster“, přímo zažehuje motor v následujícím stupni. Z praktického hlediska je přímé zažehování jednoduché a levné. Není třeba používat žádné složité elektroniky ani jiná pomocná zařízení, protože o zážeh motoru v následujícím stupni se postará fyzika. Obrázek ukazuje řez typickým „prachovým“ raketovým motorem – hnací slož tvoří černý prach a motor je zakončen zpožd'ovací slož, která hoří pomalu a dovolí raketě stoupat do výšky předtím, než je zažehnuta výmetná slož. Zpožd'ovací slož také při svém hoření produkuje mnoho kouře, což usnadňuje sledování rakety ve výšce. Speciální „booster“ motory neobsahují žádnou zpožd'ovací ani výmetnou slož. Hnací slož odhořívá směrem k hornímu konci motoru a po jejím vyhoření vychrlí horní částí motoru množství tepla a hořících částic prachu (viz obr. 3). Horké plyny a hořící částice vniknou do trysky motoru následujícího stupně. Z „boosteru“ vychází takové množství tepla, že dojde k zážehu motoru následujícího stupně (viz obr. 4). Není třeba žádné roznětky, protože spodní motor sám dodá dostatečné množství energie k zážehu.

Jak se liší Booster od běžného motoru



Oba dva motory jsou až na jedinou věc identické – booster nemá zpožd'ovací slož. Podíváme-li se do horního konce boosteru, uvidíme tmavě černý povrch hnací slož. V porovnání s běžným raketovým motorem se zpožd'ovací slož nevidíme vrchní zátku z našedivělé hmoty. Tím, že v boosteru není zpožd'ovací slož, dojde k zážehu motoru následujícího stupně ihned po vyhoření hnací slož boosteru. Pokud by existovalo časové zpoždění od vyhoření boosteru k zážehu motoru následujícího stupně, raketa by mohla přejít do obloukové dráhy a horní stupeň by nebyl odpálen po vertikále. Takový stav představuje vážné bezpečnostní riziko a měli bychom se mu vyhnout.

Podmínky pro úspěšný zážeh dalšího stupně



Aby vše pracovalo perfektně, musí být splněno několik základních podmínek. Předně, oba dva motory musí mít hnací slož z černého prachu. Proč? Protože hoření prachového motoru probíhá lineárně od

trysky až k hornímu konci. To je důležitá skutečnost, zejména pro booster. Vlastní hnací slož sama tvoří zátka, která drží tlak uvnitř motoru. Bez vnitřního tlaku by nebylo dosaženo příslušného tahu. V boosteru slož, která ještě nevyhořela, tvoří zátka. Jak slož během letu odhořívá, zátka se postupně ztenčuje. Když se plamen přibližuje ke konci, zátka je již natolik tenká, že nemůže udržet tlak uvnitř motoru, praskne a horké plyny spolu s hořícími částicemi vyletí horním koncem motoru.

U motorů s kompozitní složí jsou vlastnosti samotné slože nepříznivé. Ta díky své měkkosti a elasticitě nedokáže sama udržet žádný vnitřní tlak. To znamená, že nemůže fungovat jako zátka pro udržení tlaku tak, jako tvrdé zrno prachového motoru. Motory s kompozitní složí musí být vždy opatřeny pevnou zátkou vyrobenou z odlišného materiálu než hnací slož. Jedině tak lze udržet tlak uvnitř motoru. Právě tato zátka znemožňuje motorům s kompozitní složí jejich použití jako boosteru při metodě přímého zažehování.

Jiným problémem je, že kompozitní motory potřebují vysoký vnitřní tlak, aby byly schopny udržet proces hoření. Možná jste viděli případ, kdy se kompozitní motor protrhl v momentě zážehu. Když se toto stane, motor „zhasne“ a zbývající slož nevyhoří. To znamená, že i kdyby samotná slož byla schopna fungovat jako zátka, jakmile by se plamen přiblížil k hornímu konci a zbývající složí prorazil, motor by okamžitě uhasl. Pravděpodobnost, že by byly horké plyny a hořící částice vymety z motoru je v takovém případě velmi nízká.

Proč prachový motor v horním stupni?



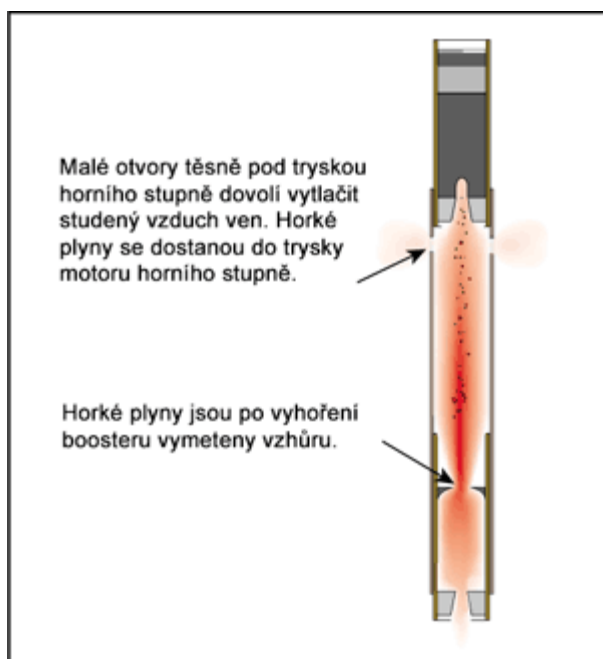
Důvodem, proč se také v horním stupni používá při metodě přímého zažehování prachového motoru je skutečnost, že vznětlivá slož uvnitř motoru horního stupně musí být co nejbližší jeho trysce. Horké plyny a hořící částice emitované boosterem musí přijít do kontaktu s hnací složí motoru následujícího stupně. U prachového motoru se čelo hnací slože nachází přímo u trysky. Naproti tomu u kompozitního motoru má slož kanálek po celé délce motoru – od trysky až po zátka. Toto uspořádání snižuje pravděpodobnost zážehu horkými plyny a hořícími částicemi. Je to stejné, jako když se budeme snažit foukat z určité vzdálenosti vzduch do obyčejného brčka. Při nezaslepeném konci je snadné brčko

profouknout. V okamžiku, kdy jeho konec zaslepíme, nemáme šanci do něho vehnat žádný nový vzduch. Proto horké plyny vycházející z boosteru nemají šanci dostat se dále než do poloviny motoru. Prachové motory mají hnací slož velmi blízko hrdla trysky, takže pravděpodobnost vniknutí horkých plynů a hořících částic do motoru následujícího stupně a jejich kontaktu s hnací složí je velmi vysoká.

Další podmínkou, která musí být při metodě přímého zažehování splněna, je krátká vzdálenost mezi oběma motory. Horké plyny vycházející z boosteru musí zůstat horké až do chvíle, kdy vniknou do trysky motoru následujícího stupně. Pokud bude vzdálenost mezi motory příliš velká, horké plyny se mohou ochladit do takové míry, že nebudou schopny zažehnout slož v horním motoru. Čím blíže jsou motory k sobě, tím spolehlivěji dosáhneme zážehu horního stupně.

Pokud jsou motory v přímém kontaktu tak, jak ukazuje obr. 4, bývá běžnou praxí konce motorů spojit omotáním celofánovou páskou. To zabrání mžikovému oddělení (oddálení) motorů a horké plyny mají dostatečný čas na zážeh motoru dalšího stupně. Po úspěšném zážehu se páska jednoduše roztaví a dojde k oddělení stupňů.

Zažehování na vzdálenost



Přímé zažehování funguje dobře i když budou motory od sebe vzdáleny až 25 cm. Jen je třeba ošetřit, aby vzduch hnaný od spodního boosteru mohl uniknout ven do okolí. Pokud bychom tak neučinili, došlo by k oddělení stupňů bez zážehu motoru horního stupně. Horké plyny vycházející z horního konce boosteru před sebou tlačí studený vzduch, který se nachází mezi oběma motory. Pokud studený vzduch nemá kudy uniknout, zabrání vniknutí horkých plynů do trysky motoru horního stupně. Opět zde platí analogie s foukáním vzduchu do zaslepeného brčka (obr. 6). Problém vyřeší ventilační otvor o průměru 6,35 mm, nebo i méně, v případě použití více ventilačních otvorů. Ventilační otvor se umísťuje co

nejblíže spodnímu konci horního stupně. To dovolí horkým plynům vytlačit veškerý studený vzduch, který se nachází v trubce spojující stupně.

V příštím vydání e-zinu budu hovořit a poněkud důležitějších tématech spojených s vícestupňovými modely. Mezi tato témata patří: bezpečnost, výběr motorů, způsoby spojení stupňů a strategie létání.

Překlad: Roman Maňásek

Napsal: Tim Van Milligan, [Apogeerockets](#)