



MODELING OF FIRING PROCESS IN A SMALL FIREARM

H. Konečná*, I.Sedlák**

Summary: *The article deals with modeling of a firearm and its response to an intensive short-time excitation by firing process using standard FEM computational program. The paper treats the influence of inner barrel area nitridation on the value and distribution of the stress in the barrel as well as on barrel dynamic properties.*

1. Úvod

Kvalita zbraně je závislá mimo jiné na jejím konkrétním konstrukčním návrhu, materiálu zbraně a technologii její výroby. Přesnost výstřelu je ovlivněna dynamickými vlastnostmi zbraně. Proto je důležité řešit odezvu zbraně na výstřel. Mezi důležité úkoly technické praxe patří zvyšování životnosti zbraně nejen s ohledem na možnou mechanickou poruchu, ale v neposlední řadě i na udržení vysokých parametrů střelby. Významným způsobem, jak zvýšit kvalitu zbraně je využití nitridace jejích částí. V předloženém příspěvku je zkoumáno modelování nitridované vrstvy vnitřního povrchu hlavně a její vliv na na zvýšení životnosti zbraně a její dynamické vlastnosti. Pro tyto účely byly sestaveny korektní modely lehké ruční zbraně ráže 22 pro speciální účely pomocí metody konečných prvků. První model je bez nitridované vrstvy a druhý ji obsahuje. Na obou modelech byly provedeny výpočty odezvy na výstřel. Bylo na nich sledováno i to, do jaké hloubky ovlivní nitridace velikost a časový průběh napětí během výstřelu. Mimo to byl zkoumán vliv nitridace na vlastní frekvence hlavně.

2. Výpočtový model a postup analýzy

Z hlediska řešeného problému je proces výstřelu velmi rychlým dynamickým dějem, proto bylo nutné pro vlastní výpočet vytvořit sofistikovaný model lehké ruční zbraně, zahrnující všechny podstatné konstrukční detaily a podpůrné části ovlivňující její dynamické chování. Při modelování redukované konstrukce střelné zbraně (hlaveň, součástky mechanismu závěru atd.) musí být věnována pozornost modelování styků, spojovacích prvků a spojů obecně. Mimo konstrukční součásti přímo spojených s hlavní lze ostatní okolní části modelovat s využitím jejich prosté celkové hmoty. Pro řešení metodou konečných prvků byl použit nelineární modul programu COSMOS/M. Vytvořený model na obr. 1 obsahuje 34 867 prvků s 36 815 uzly. Pro jednotlivé části modelu zbraně byly použity objemové prvky Solid, které jsou vhodné pro řešení daného problému. Pro modelování nitridované vrstvy sahající do hloubky 0,15 mm byly testovány skořepinové prvky Shell a objemové prvky Solid. Pro lepší

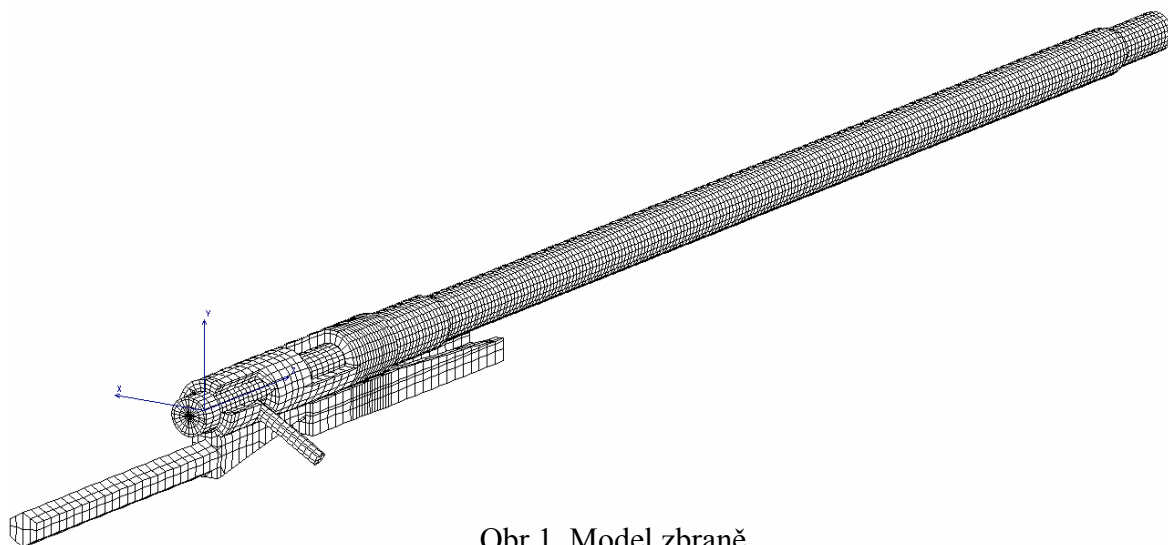
* Ing. Hana Konečná, Ph.D.: Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, Katedra strojírenství, Kounicova 65, 612 00 Brno; tel.: +420 973 442 489; E-Mail: hana.konecna2@unob.cz

** Ing. Ivan Sedlák, Ph.D.: Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, Katedra strojírenství, Kounicova 65, 612 00 Brno; tel.: +420 973 442 610; E-Mail: ivan.sedlak@unob.cz

použitelnost pro jednotlivé typy analýz byly pro finální model nitridové vrstvy použity objemové prvky. Jedním z důsledků nitridace je vznik tlakového napětí v povrchové vrstvě.

Hodnota tohoto tlakového předpětí byla určena na základě měření, provedených v rámci výzkumného úkolu [1]. Modelování časově závislého zatížení hlavně v průběhu palebného procesu v sobě zahrnuje některé vážné problémy. Nejdůležitější problémem řešené úlohy je modelování mechanických interakcí mezi pohybujícím se projektilem a kmitající hlavní. Analýza tohoto problému s využitím detailního modelu systému hlavně-projektil je poměrně časově náročný problém. Z tohoto důvodu bylo v první fázi zatížení hlavně vzniklé pohybem nevyváženého projektilu modelováno časově a polohově proměnnými silami, tlak v hlavni byl řízen funkcí závislou na čase a poloze. Tyto závislosti stejně jako tuhost uložení zbraně na zkušebním stavu byly převzaty z výsledků uveřejněných v článku [2]. Pro výpočet odezvy byla použita Newton-Raphsonova metoda přímé integrace pohybových rovnic. Proces výstřelu až do okamžiku, kdy projektil opustí hlavň trvá $2,1 \cdot 10^{-3}$ s. Pro vlastní výpočet bylo nutné použít dostatečně jemný časový krok. S ohledem na rozsah řešené úlohy byl volen proměnný interval ukládání výpočetních kroků.

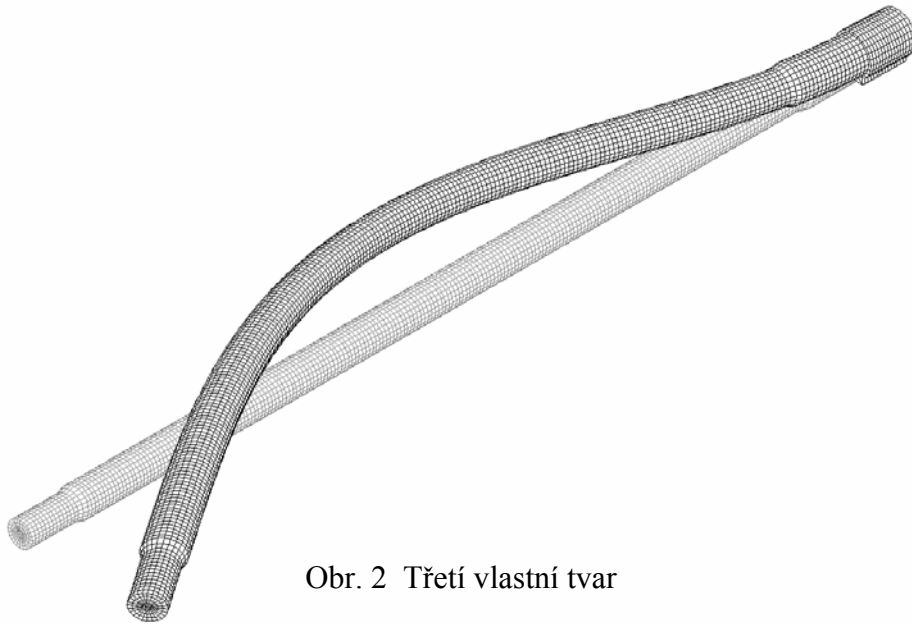
Nejdříve byl počítán model jako celek a to ve dvou variantách, bez nitridované vrstvy a s nitridovanou vrstvou. Dále, pro studii rozložení napětí po tloušťce hlavně, byl vytvořen jemně dělený detail nejvíce namáhané části hlavně. V tomto detailním modelu bylo použito 73 920 prvků s 80 704 uzly a řešení vedlo na soustavu 242 112 rovnic.



Obr.1 Model zbraně

3. Analýza odezvy zbraně na výstřel

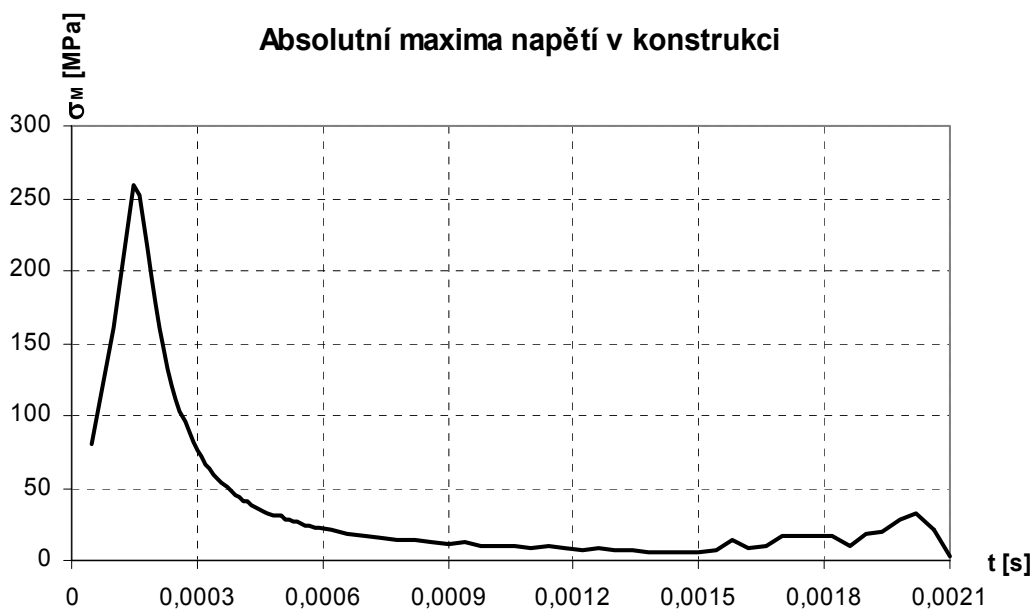
Před vlastním řešením odezvy hlavně na výstřel byl zkoumán vliv nitridované vrstvy na vlastní frekvence hlavně. Pro řešení této úlohy byl vytvořen zjednodušený model vlastní hlavně, který je na obr.2.



Obr. 2 Třetí vlastní tvar

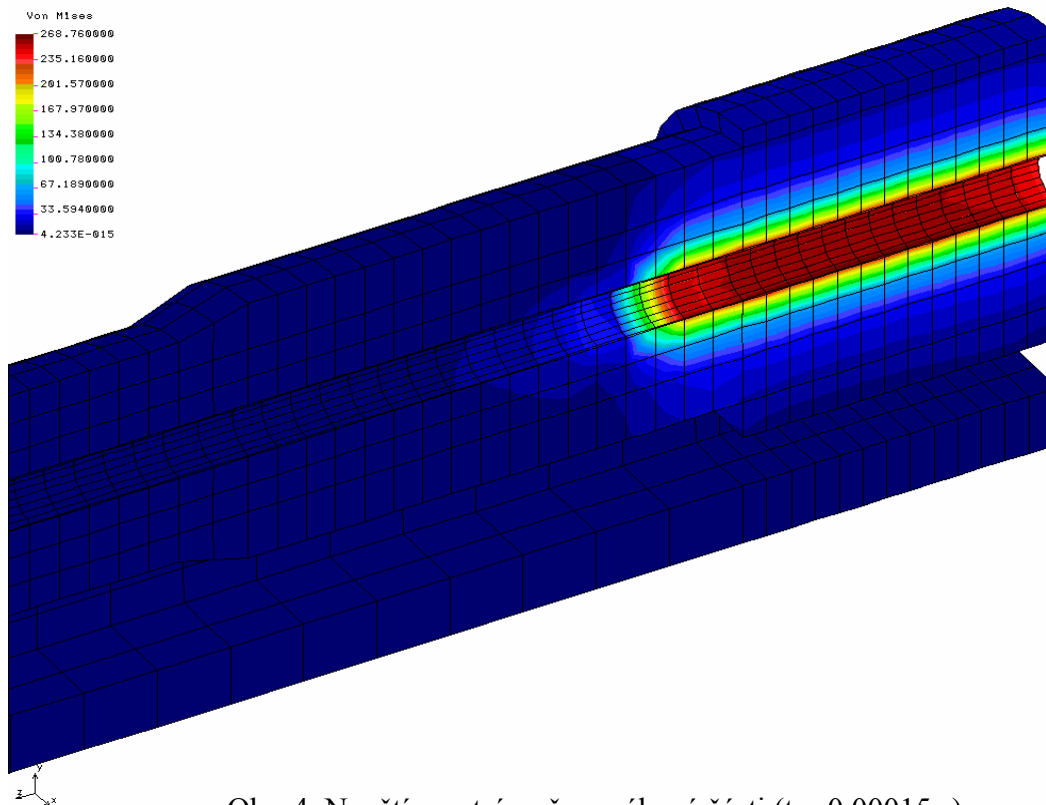
Pro obě varianty modelu s a bez nitrídané vrstvy bylo spočítáno 20 vlastních frekvencí odpovídajících podstatným tvarům kmitů hlavně. U zkoumaného případu bylo prokázáno, že nitrídaná vrstva neměla prakticky žádný vliv na změnu vlastních frekvencí hlavně.

Jako první varianta odezvy hlavně na výstřel byl řešen model bez nitrídané vrstvy. Výpočtem bylo prokázáno, že nejvíce namáhaná část hlavně je v blízkosti nábojové komory. Průběh absolutních extrémů napětí v hlavni je v grafu na obr. 3. Maxima napětí je dosaženo v čase 0,00015 s. Detail rozložení napětí v čase 0,00015 s v nejvíce zatížené části je na obr. 4.



Obr.3 Časový průběh maxima napětí v hlavni von Mises

NLin STRESS Step:7 =0.00015

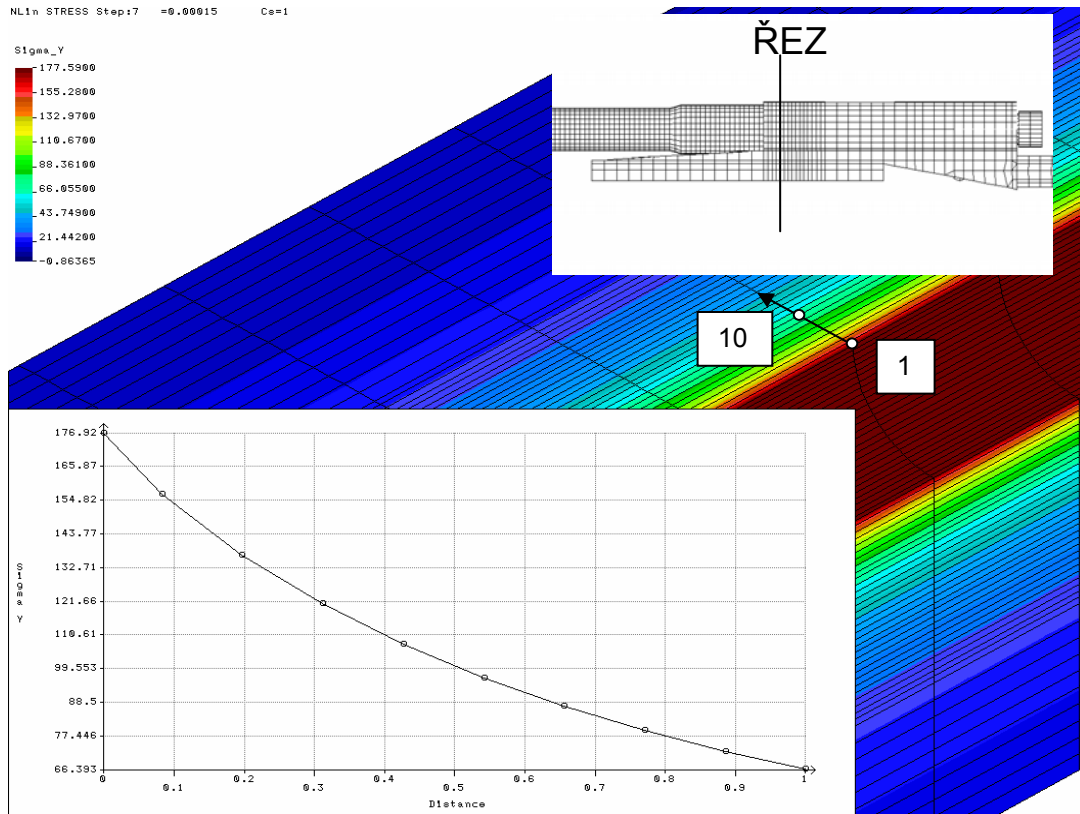


Obr. 4 Napětí v extrémně namáhané části (t = 0,00015 s)

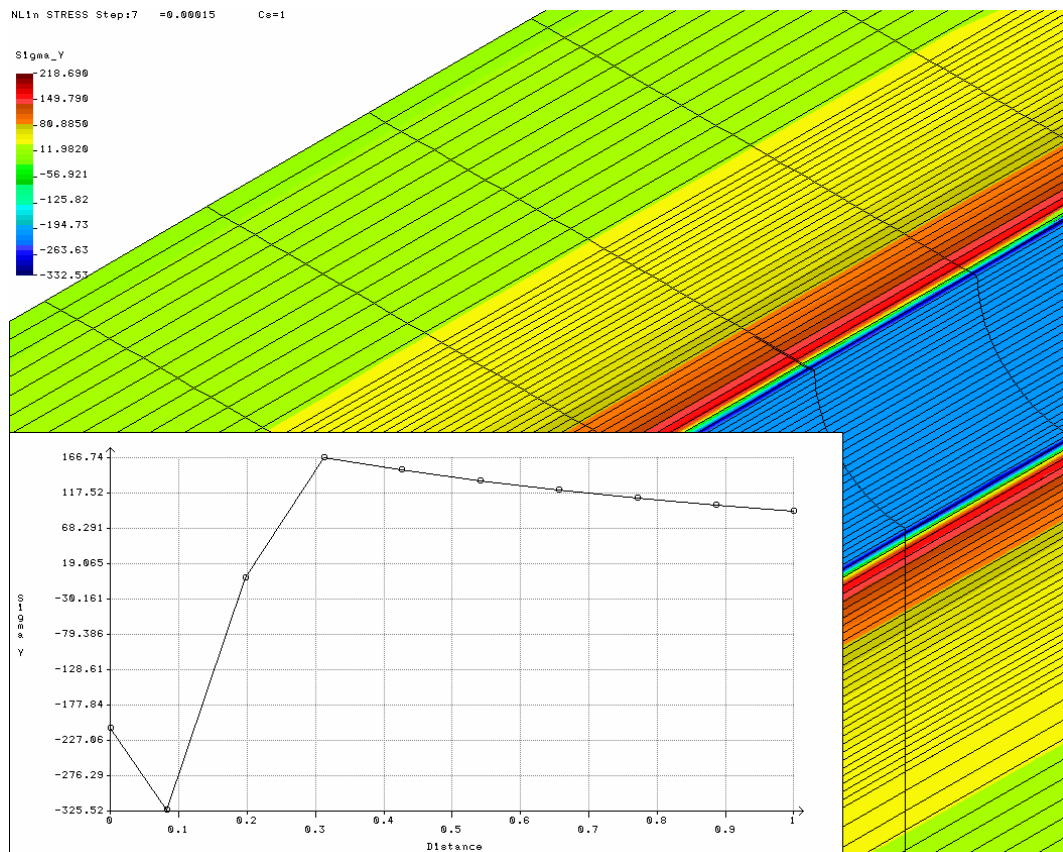
V čase 0,00015 s byl zkoumán průběh *tečného* napětí v průřezu, které má vliv na tvorbu a šíření trhlin v hlavni . Pro tento účel byl vytvořen zjemněný model části hlavně v okolí řezu, naznačeném vpravo nahoře na obr. 5. Do hloubky 1.8 mm byl sledován průběh tečného napětí pro model s nitridovanou vrstvou i bez ní. V grafech na obr. 5 a 6. je na vodorovné ose poměrná vzdálenost v řezu od bodu 1 do bodu 10, nakkreslených na obr. 5.

Na obr.5 je znázorněn průběh *tečného* napětí σ_y v rovině řezu u modelu bez nitridované vrstvy . Maximální hodnota napětí je v oblasti obsahující koncentrátoři napětí (drážkování hlavně), navíc vystavené účinkům chemické a mechanické koroze a zároveň je tento extrém tahový. Tato skutečnost je zjevně nežádoucí.

Na obr.6 je znázorněn nejnepříznivější průběh napětí tentokráte u modelu s nitridovanou vrstvou. Je zde dobře patrný vliv tlakového předpětí vzniklého nitridačním procesem v povrchové vrstvě.



Obr. 5 Průběh tečného napětí po tloušťce ($t = 0,00015$ s, bez nitridace)



Obr. 5 Průběh tečného napětí po tloušťce ($t = 0,00015$ s, s nitridací)

4. Závěr

Pomocí metody konečných prvků podpořenými experimenty byl vytvořen model palebné zbraně s nitridovaným povrchem. Z výsledků výpočtů je patrné, že v průběhu celého palebného procesu zůstává tečné napětí v určité oblasti od povrchu vývrtu tlakové. Z toho plyne, že nitridace vnitřního povrchu hlavně má pozitivní význam nejenom s ohledem na korozi, ale omezuje i tvorbu a šíření trhlin uvnitř hlavně. Dále bylo prokázáno, že nitridací nedochází ke změně vlastní frekvence zbraně a tudíž i naladění zbraně ovlivňující přesnost střelby.

5. Poděkování

Příspěvek byl podpořen výzkumným záměrem MO0FVT0000404 Výzkum a vývoj moderních materiálů a technologií pro aplikace ve vojenské technice.

6. Literatura

- [1] SEDLÁK, Ivan, KONEČNÁ, Hana, VESELÝ, Jiří. *Výzkum a vývoj moderních materiálů a technologií pro aplikace ve vojenské technice*. [Zpráva za rok 2005]. Brno : Univerzita obrany, Katedra strojírenství, 2005, 67 s.
- [2] SEDLÁK, Ivan, KONEČNÁ, Hana, KANICKÝ, Viktor: *Vibration of a Small Arm Barrel During the Firing Process*, Vth Conference on Weapo systems, Brno, 2001
- [3] Structural Research & Analysis Corp.: *COSMOS/M User's Guide*, Los Angeles, 2003