

DETERMINATION OF SELECTED PROPERTIES OF NITRIDATED STEEL SAMPLES BY EXPERIMENT AND CALCULATION

H. Konečná^{*}, I.Sedlák[†], J.Veselý[‡]

Summary: The influence of surface layer nitridation of steel sample with rectangular cross-section on its behavior in the elastic and plastic region at bending has been investigated. Number of experiments has been executed where the bended samples were exposed to the loading with both static and dynamic character. Approximate values of modulus of elasticity, tangent modulus for bilinear elastoplastic models and yield stress have been determined by the combination of measurement results and finite element method calculations. COSMOS/M program has been used for the calculations.

1. Úvod

Nitridace povrchové vrstvy oceli se provádí zejména proto, že se docílí větší tvrdosti povrchu součástí. Zároveň se však mění i další materiálové vlastnosti v upravené vrstvě. Proto bylo zkoumáno, jak se projeví nitridace u vzorků, namáhaných na ohyb. Vzorky byly namáhány jednak staticky, jednak dynamicky – rázem. Byly provedeny experimenty, jejich výsledkem bylo srovnání chování ohýbaných vzorků bez nitridace se vzorky s jednou nebo se dvěma nitridovanými vrstvami. Dále byly vytvořeny modely vzorků pomocí MKP a to programem COSMOS/M. Ty byly podepřeny a zatěžovány souhlasně s experimenty a to nejdříve staticky. Byla ověřena korektnost modelu nelineárním statickým výpočtem neupraveného vzorku se známými vlastnostmi získanými tahovou zkouškou. U oboustranně nitridovaných vzorků pak bylo provedeno několik výpočtů. Pro první z nich byly na základě experimentu zadány materiálové vlastnosti nitridovaných vrstev a pro opakované výpočty byly hodnoty upřesňovány tak dlouho, až se výpočtem určená závislost poměrných deformací na velikosti zatížení shodovala s měřením. Dále byl vytvořen výpočtový model pro vzorky namáhané rázem. Pro nitridované vrstvy byly zadány materiálové vlastnosti stanovené statickým výpočtem. Byla prokázána dobrá shoda výsledků nelineárního dynamického výpočtu a experimentu.

2. Experimenty

Pro experimenty byl zvolen plochý tvar vzorků namáhaných čtyřbodovým ohybem při statickém zatěžování a tříbodovým při rázovém dynamickém zatěžování. Vzorky byly vyrobeny z ploché tyče průřezu 25x10 mm z dostupné oceli 14 220. Byl připraven soubor vzorků, které měly rozměry 7,0 x 22,8 x 200 mm.

^{*} Ing. Hana Konečná, Ph.D.: Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, Katedra strojírenství, Kounicova 65, 612 00 Brno; tel.: +420 973 443 583; 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.: +420 973 443 583; E-Mail: ivan.sedlak@unob.cz

[‡] Ing. Jiří Veselý: Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, Katedra strojírenství, Kounicova 65, 612 00 Brno; tel.: +420 973 443 583; E-Mail: jiri.vesely2@unob.cz

Všechny vzorky byly po ofrézování a broušení na finální rozměr normalizačně vyžíhány v ochranné atmosféře. Jejich povrch byl mechanicky očištěn. Soubor vzorků byl rozdělen do tří skupin, jedna skupina byla ponechána v tomto výchozím stavu (dále značeno **P**), druhá byla nitridována jednostranně (značeno **S**) a třetí nitridována oboustranně (značeno **D**). Měřením průběhu mikrotvrdosti na vybraných vzorcích byla určena hloubka zušlechtěné vrstvy 0,43 mm. Na vzorcích **S** a **D** bylo zároveň provedeno měření zbytkových pnutí, vnesených nitridačním procesem.

Nejdříve byly provedeny statické experimenty. Tahovou zkouškou pro vzorek **P** byly získány hodnoty modulů pružnosti a meze kluzu pro základní materiál: Modul pružnosti $E_x = 196 GPa$, mez kluzu $\sigma_y = 350 MPa$, a plastický modul $E_{tan} = 1 GPa$.

Pro zjištění změn chování prvků po nitridaci při statickém zatížení bylo zvoleno namáhání prvků na ohyb. Aby bylo namáhání vzorku jednoznačné a povrchové vrstvy byly po značné části vzorku vystaveny maximálnímu namáhání, byly vzorky zatěžovány ve speciálně vyrobeném přípravku čtyřbodovým ohybem. Uspořádání experimentu je patrné z obr. 1.

Všechny zkoušené vzorky byly osazeny ve střední části dvěma odporovými tenzometry 6/350 LY11 symetricky proti sobě. Během zkoušky bylo měřeno silové zatížení, stlačení sestavy a poměrné deformace na horní a spodní ploše vzorku. Měření a záznam veličin byl prováděn ústřednou MGC+ firmy HBM. Vzorky skupiny **S** byly zatěžovány v obou pozicích, nitridovanou vrstvou horní i dolní.



Obr.1 Zkušební sestava pro statické zatěžování čtyřbodovým ohybem

Srovnáním naměřených závislostí poměrného protažení na zatížení pro ohyb vzorků \mathbf{P} S a \mathbf{D} bylo zjištěno, že v pružné oblasti nemá nitridovaná vrstva žádný vliv, v plastické oblasti má naopak vliv značný. Zvětší se hodnota zatížení, při které dochází k plastizování a ke zpevnění v plastické oblasti, jak je vidět z grafů na obr. 2.



Další oblastí, kde bylo hledáno kvantitavní ovlivnění mechanických vlastností vzorků, byla oblast dynamického chování. Byla sledována odezva okrajově podepřených vzorků na rázové zatížení. Zatížení bylo provedeno dopadem beranidla o hmotnosti 5,69 kg a poloměru válcového čela 15 mm z předepsané výšky na střed vzorku. Pro tento účel byly vzorky



Obr. 3 Pohled na padostroj a měřící ústřednu MGC+

osazeny jedním odporovým tenzometrem 3/350 LY11 ve středu délky. Při zkoušce byly zaznamenávány průběhy zrychlení beranidla vestavěným piezoelektrickým akcelerometrem, dále průhyb vzorku. Ke zpracování signálů a záznamu dat byl opět použit systém MGC+, respektive DEWE 5000. Uspořádání pádových zkoušek je na fotografii na obr. 3.

Pro rázové zkoušky byl srovnán časový průběh průhybu v dolních vláknech uprostřed nosníku pro neupravené vzorky a vzorky s nitridací v dolní vrstvě a v obou vrstvách. Srovnání je vidět na obr. 4. Největší průhyb má neupravený vzorek, maximum je 11,2 mm. Vzorek s oboustrannou nitridací měl maximum průhybu dříve a tento extrém má hodnotu 8,5 mm, je tedy o 24 % menší.

průběh deformace při pádových zkouškách

Obr. 4 Srovnání časových průběhů průhybu nenitridovaných a nitridovaných

3. Statické výpočty

Model vzorku pro čtyřbodový ohyb byl vytvořen z 6 000 objemových prvků SOLID s 7 293 uzly. Materiál prvků byl nelineární. Aby byl výpočet co nejpřesnější, bylo dělení horní a dolní vrstvy, ve které může být vzorek nitridován zahuštěno, jak je vidět z obr. 5.



Obr. 5 Výpočtový model pro čtyřbodový ohyb.

4

Nejdříve byl proveden nelineární výpočet na modelu bez nitridace. Z vypočtených hodnot byl sestrojen graf závislosti poměrného protažení v bodě uprostřed spodní plochy vzorku na velikosti zatěžujících sil. Tento graf byl srovnán s grafem získaným měřením. Srovnání je patrné z obr. 6 (pro výpočet platí fialový graf).



Dále byl počítán vzorek s oboustrannou nitridací. Modul pružnosti se nitridací nemění, byly proto upřesněny dříve popsaným opakovaným postupem výpočtové hodnoty meze kluzu σ_y a plastického modulu E_{tan} . Poměrná shoda s měřením nastala při hodnotách $\sigma_y = 620 MPa$ a $E_{tan} = 90 GPa$. Shoda výpočtu s měřením byla ověřena i na vzorku s dolní nitridovanou vrstvou. Grafy závislostí poměrného protažení dolních vláken ve středu nosníku na velikosti zatěžujících sil získané výpočtem (fialově) a měřením jsou srovnány v obr. 7.



Obr. 7a) Srovnání měření a výpočtu vzorku D



Obr. 7b) Srovnání měření a výpočtu vzorku S

Je vidět, že dochází k dobré shodě výpočtu a měření.

4. Dynamický výpočet

Byl vytvořen model vzorku, odpovídající sestavě pro měření při namáhání rázem. Tento model je na obr. 8. Samotný vzorek i beranido jsou modelovány pomocí prvků SOLID, kontakt mezi beranidlem a nosníkem je modelován kontaktními prvky. Celkem je v modelu 19 651 prvků s 23 919 uzly. Řešení vede na soustavu 71 757 rovnic.

Beranidlo má shodně s experimentem hmotnost 5,69 kg a dopadá počáteční rychlostí, která byla naměřena 3,13 m/s.



Obr. 8 Výpočtový model pro ráz

Pro model byl proveden dynamický nelineární výpočet a bylo opět provedeno srovnání s měřením. Tentokrát byl měřen průhyb středu dolní vrstvy nosníku v závislosti na čase. Srovnání naměřených a výpočtem získaných grafů je na následujících obrázcích.





Obr.10 Srovnání časového průběhu průhybu pro vzorek D



5. Závěr

Výpočty pomocí metody konečných prvků podpořenými experimenty byl nalezen model pro ocelové vzorky s nitridovaným povrchem, který odpovídá realitě. Tento způsob modelování vyhovuje jak pro statické, tak pro dynamické úlohy.

6. Poděkování

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

7. Literatura

Manuál COSMOS/M 2.7, 2003, USA