EAN '96

34th Conference of Experimental Stress Analysis
34. konference o experimentální analýze napětí
3. - 6.6. 1996, Plzeň, Czech Republic

ON THE USE OF EXPERIMENTAL AND NUMERICAL METHODS FOR THE EVALUATION OF THE EXPLOSIVE WELDING OF GUIDE RINGS.

VYUŽITÍ EXPERIMENTÁLNÍCH A NUMERICKÝCH METOD PRO HODNOCENÍ VÝBUCHOVÉHO NAVAŘOVÁNÍ VODÍCÍCH KROUŽKŮ.

Buchar J.

The paper deals with the evaluation of the technology of the explosive welding of guide rings to the axisymmetric body. The experimental methods of the measurements of the loading stress pulses following from the detonation is discussed. The obtained pulses are used as input parameters for the numerical simulation of the behaviour axisymmetric body . The influence of the constitutive equations of the used materials is also described.

Úvod.

V předložené práci je řešena problematika navařování vodících kroužků na osově symetrická tělesa. Dosavadní zkušenosti ukázaly, že klasické navařování nevede k vytvoření dostatečně pevného spoje, zejména při dynamickém(rázovém) zatěžování. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto použít technologie výbuchového navařování. S použitím tohoto postupu jsou však spojeny určité problémy, neboť napěťový puls vznikající při detonaci může negativně ovlivnit vlastnosti materiálu. Jedná se zejména o možný vznik trhlin, resp. i lomu ve formě tzv. výtrží [1]. Ryze empirický přístup k řešení je značně nákladný a časově náročný. Z tohoto důvodu jsme přistoupili k numerické simulaci daného postupu. Pro úspěšné řešení je třeba stanovit tyto údaje :

1. Konstitutivní rovnice materiálů kroužků a tělesa. Tyto vztahy je třeba získat při rychlostech deformace shodných s rychlostmi v průběhu reálného děje.

2.Získat časové průběhy zatěžujících napěťových pulzů na rozhraní kroužek-těleso. Tyto údaje jsou nezbytné pro následné numerické řešení.

Na základě těchto skutečností byl zvolen následující postup:

- byly provedeny experimenty zaměřené na stanovení konstitutivních rovnic materiálů kroužků při rychlostech deformace, které odpovídají reálnému procesu [2].

-byly stanoveny časové průběhy zatěžujícího napěťového pulzu p(t).

- Byla provedena numerická simulace zaměřená na posouzení vlivu možného rozptylu parametrů napěťového pulzu, na základě experimentálních dat, na výslednou napjatost tělesa a na posouzení vlivu nehomogenit materiálu tělesa na výslednou napjatost. Jak ukazuje rozbor v [1], dochází při šíření napěťového pulzu k odlišné vývoji napjatosti ve srovnání s ekvivalentním statickým zatěžováním. V okolí nehomogenit může dojít , v důsledku rozdílné akustické impedance matrice a nehomogenity k vývoji tahového napětí a tím i ke vzniku trhlin.

2.Stanovení konstitutivních rovnic materiálů.

Pro stanovení konstitutivních rovnic materiálů kroužků a tělesa byla použit tzv. Taylorův test , který spočívá v nastřelování válečků zkoumaného materiálu na tuhou překážku. Po provedení je stanoven profil deformovaného vzorku a současně je tento profil počítán pro předpokládaný tvar konstitutivní rovnice. Vzájemným porovnáváním obou profilů jsou určeny parametry konstitutivní rovnice [2]. Z výsledků, viz [2], se ukazuje, že pro materiál tělesa je možné použít konstitutivní rovnici , která spojuje deformační napětí σ s deformací ε a s rychlostí deformace , ve tvaru :

(1)

$$\sigma = \left(R_{p02} + 4.5 \ln\left(\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon\right)\right)\left(1 + \left(451 - 46 \ln\left(\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon\right)\right)\varepsilon\right)^{\left(.055 + \frac{1}{50000}\left(\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon\right)\right)}$$

kde Rp02 je statická mez kluzu.

Pro materiály kroužků byly v [2] stanoveny konstitutivní rovnice v obecném tvaru :

(2)

$$\sigma = \sigma_o \left(1 + C_1 \varepsilon^n\right)\left(1 + C_2 \ln\left(\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon\right)\right)$$

kde odpovídající materiálové parametry jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Konstanty vystupující v rovnici (1).

Materiál	σ_0 (MPa)	C_1 (MPa)	C_2 (Mpa)	n (1)
Cu	90	0.19	0.080	0.71
CuZn10	527	0.16	0.049	0.49
CuNi10Fe1Mn	530	0.09	0.042	0.10

3. Stanovení průběhu napěťového pulzu.

Napěťové pulzy na rozhraní kroužek těleso byly stanoveny pomocí manganinových snímačů.Z výsledků experimentů [3] vyplývá, že amplituda pulsu má hodnotu cca 2.25 GPa (průměr ze dvou měření) a dobu náběhu maxima cca 2 μs. Z rozboru provedeného v [3] vyplývá, že náběžná doba může být i kratší a maximální hodnota napětí i vyšší. Při analýze průběhu zatěžujícího napěťového pulzu p(t) se ukazuje, že relativně nejpřesněji je popsán funkcí :

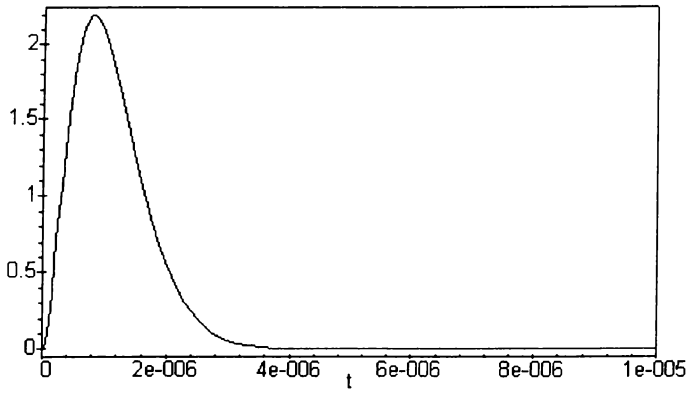
(3)

$$p := A\, e^{(-\alpha t)} \sin\left(2 \frac{\pi t}{\lambda}\right)^2$$

kde A a α jsou parametry související s maximálním napětím σ a dobou jeho dosažení t_0 a λ je doba trvání napěťového pulzu. Parametry A a α je možné stanovit z podmínek dosažení maxima ve tvaru:

$$\left\{ \alpha = 4 \frac{\cos\left(2 \frac{\pi t0}{\lambda}\right)\pi}{\sin\left(2 \frac{\pi t0}{\lambda}\right)\lambda}, A = \frac{\sigma\, e^{\left(4 \frac{\cos\left(2 \frac{\pi t0}{\lambda}\right)\pi t0}{\sin\left(2 \frac{\pi t0}{\lambda}\right)\lambda}\right)}}{\sin\left(2 \frac{\pi t0}{\lambda}\right)^2} \right\}$$

Na následujícím obrázku je vynesen průběh zatěžujícího napěťového pulzu určeného pomocí rovnice (3) pro maximální napětí 2.2 Gpa a dobu dosažení maxima 0.8μs.



Ukazuje se, že funkce (3) popisuje vcelku dobře náběžnou část pulzu, poněkud méně dobře sestupnou část. S ohledem na výsledky v [1] , je však vliv sestupné části méně výrazný.

Pro naše výpočty jsme použili dobu trvání napěťového pulzu 10 μs a maximální hodnota napětí a doba jeho dosažení byly voleny způsobem uvedeným v tabulce 2.

Tabulka 2. Parametry použitých napěťových pulzů.

OZNAČENÍ VÝPOČTU	t_0 (μs)	σ (Mpa)
A	0.8	2.2
B	0.8	2.4
C	0.8	2.6
D	1.4	2.2
E	1.4	2.4
F	1.4	2.6
G	1.6	2.2
H	1.6	2.4
I	1.6	2.6
J	2.0	2.2
K	2.0	2.4
L	2.0	2.6

Dané údaje jsou použity pro měděné kroužky, pro které byly příslušné experimenty v [3] provedeny.

4.Numerická simulace.

Pro numerické výpočty byl použit program AUTODYN 3D, který je založen na metodě konečných prvků. Numerické výpočty umožňují získat hodnoty složek napětí σ_{zz}, σ_{rr} a σ_{rz} v těžišti prvků a složky vektoru posunutí u_r a u_z v uzlových bodech prvků. Pro posouzení celkové napjatosti je vhodné použít redukovaného (ekvivalentního) napětí T, které je dáno vztahem :

$$T = \sqrt{\sigma_{rr}^2 + \sigma_{zz}^2 + 3\sigma_{zr}^2 - \sigma_{rr}\sigma_{zz}}$$

Tato veličina nám rovněž umožňuje hodnotit vývoj plastické zóny v zatěžovaném tělese.Z výsledků, které jsou shrnuty v [4], vyplývá, že vývoj napjatosti v tělese , na které je výbuchově připevňován kroužek, je nejvýrazněji ovlivněn strmostí čela pulzu, tzn. velikostí doby t_0, ve které je dosaženo maximální napětí pulzu p(t). Růst strmosti vede k růstu oblasti tělesa , která je plasticky deformována , k růstu velikosti plastické deformace a k vývoji tahových složek napětí, které mohou dosáhnout hodnot umožňujících vznik trhlin. Vzhledem k experimentálním výsledkům v [3] , je možné očekávat, že variace doby dosažení maxima nebude v rozmezí od 0.8 (nejméně příznivý případ) do 2 μs. V případě, že skutečně platí hodnota 2 μs, může dojít ke vzniku poškození pouze v případě existence nehomogenit materiálu tělesa .

Jak již bylo konstatováno, získané údaje byly stanoveny pro měděné kroužky. Zkusme nyní odhadnout velikosti napětí při upevňování kroužků z materiálů : CuZn10 a CuNi10Fe1Mn.

Uvážíme-li napěťovou vlnu vznikající při detonaci jako vlnu silné, pak pro pokles amplitudy této vlny ve směru šíření x platí [1] :

(4)

$$\frac{\partial}{\partial x}\sigma = -\frac{1}{2}\frac{E\left(\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon\right)}{c}$$

kde E je Youngův modul a c je rychlost podélné elastické vlny. Rychlost deformace stanovíme z rov.(2) pro nulovou hodnotu plastické deformace :

$$\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon = e^{\left(\frac{\sigma(x) - \sigma 0}{\sigma 0\, C_2}\right)}$$

Rovnici (4) řešíme pro počáteční podmínku

$$\sigma(0) = pm$$

kde pm je maximální tlak na povrchu kroužku. Řešení dostaneme ve tvaru :

(5)

$$\sigma(x) = -\sigma 0\, C_2 \left(\ln\left(\frac{1}{2} x\, E + \sigma 0\, C_2\, c\, e^{\left(\frac{\sigma 0 - pm}{\sigma 0\, C_2} \right)} \right) - \frac{1}{C_2} \right)$$

Protože známe hodnotu napětí v bodě x=3 mm, můžeme stanovit hodnotu pm. Pro měď dostaneme, že pm=2.21 GPa, což je jen nepatrně vyšší než je hodnota naměřená . Obdobné výsledky dostaneme pro oba zbývající materiály. Je tedy možné konstatovat, že výsledky stanovené pro měděné kroužky zůstávají, alespoň kvalitativně, v platnosti i pro kroužky zhotovené ze zbývajících dvou materiálů.

Práce vznikla za podpory GA ČR v rámci projektu „Lom kovových materiálů při rázovém zatěžování“ 106/94/0567

Literatura.[1].J.Buchar,J.Hřebíček : Strukturní změny při rázovém zatěžování a možnosti modelování výbuchového navařování kroužku. Výzkumná zpráva pro VTÚO Brno, 1994. [2]J.Buchar,J.Hřebíček Dynamické mechanické vlastnosti materiálů Cu, CuZn10 a CuNi10Fe1Mn. Výzkumná zpráva pro VTÚO Brno, 1995.[3].L.Chládek, J.Majzlík,J.Tesař,V.Sejkora :Měření tlakového namáhání při plátování měděného prstence na ocelové těleso. Výzkumná zpráva VÚPCH Semtín,1995. [4].J.Buchar,J.Hřebíček Modelování výbuchového navařování kroužku. Výzkumná zpráva pro VTÚO Brno, 1995.

Prof.Ing.Jaroslav Buchar,DrSc

Zaměstnavatel : Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, AF, Oddělení fyziky,

Zemědělská 1,613 00 Brno

Telefon: (05) 45132120, FAX : ((05) 45211128