

MĚŘENÍ ZMĚN ELEKTRICKÉHO POTENCIÁLU PŘI JEDNOOOSÉ NAPJATOSTI

Ing. Václav Mentl, CSc.

Ústřední výzkumný ústav k.p. Škoda, Plzeň

Měření změn elektrického potenciálu jako důsledek změn elektrického odporu při zatěžování zkušebních těles doznalo poměrně širokého uplatnění především při zkouškách lomové houževnatosti konstrukčních materiálů, kdy jejich cílem je identifikace počátku stabilního rozvoje trhliny.

V poslední době je často používána potenciometrická metoda s buzením střídavým proudem. Jak ukázaly praktické aplikace této metody, jisté potíže vznikají při snaze nalézt obecně platnou korelaci mezi charakteristickými body závislosti změn elektrického potenciálu na deformaci zkušebního tělesa (potenciálové křivky) a současně snímané závislosti síla - deformace, a tím na ní identifikovat významné body lomového procesu, především počátek rozvoje trhliny, za který je považováno minimum na potenciálové křivce. V řadě prací, které se zabývají aplikací potenciometrické metody při měření parametrů lomové houževnatosti, je proto kladen důraz na identifikaci rozhodujících faktorů, které jak kvalitativně tak kvantitativně ovlivňují potenciálovou křivku. Jedná se zde o celý soubor problémů počínaje umístěním elektrod na zkušebním tělese a způsobem jejich upevnění až po odpověď na otázku, jakým způsobem a zda se superponují jednotlivé změny elektrického odporu v průběhu zatěžování tělesa s trhlinou.

V případě zatěžování těles s vruby nebo reálnými trhlinami je situace značně znesnadněna složitým napěťovým a formačním polem v těsném okolí kořene vrubu nebo trhliny. Proto jsme se pokusili nalézt nejprve odpověď na otázku, k jakým změnám potenciálu dochází na zkušebních tělesech při jednoduchých základních typech namáhání, které umožňují jednoznačně definovat napěťový stav, a to při namáhání zkušebních tyčí jednoosým tahem při jednorázovém i opakovaném zatěžování.

Měření změn elektrického potenciálu v průběhu tahového zatěžování bylo provedeno

a) na válcových zkušebních tyčích o průměru 4 mm z ocelí ČSN 11375, 11458, 12056, 14140, 14260, 15241, 15330, 16720 a so-

- větské oceli 55I podle GOST 398-71, a to při teplotě 20°C;
- b) na válcových zkušebních tyčích o průměru 4 mm pro šest variant tepelného zpracování oceli Poldi - AK1TD;
- c) na válcových zkušebních tyčích o průměru 10 mm z oceli ČSN 11458 v rozsahu teplot -196 až +100°C;
- d) na válcových tyčích průměru 10 mm z elektrovodné mědi ČSN 423001.21 a olovnaté mosazi ČSN 423223.21 při teplotě 20°C.

Některé z tyčí byly vyrobeny s mechanickým vrubem ve tvaru metrického závitu. Část zkušebních tyčí byla zatěžována opakovaným míjivým tahovým cyklem. Rychlost zatěžování byla ve všech případech 1-2 mm/min při konstantní rychlosti posuvu příčnicku na zkušebním stroji Instron 100 kN.

Podle tvaru potenciálových křivek získaných v rámci provedených zkoušek bylo možno zkoušené oceli rozdělit do dvou skupin: První skupinu, označme ji "A", tvoří oceli 14140, 14260, 15241, 15330, 16720 a Poldi-AK1TD. Dosažení meze kluzu je u těchto ocelí spojeno s výrazným lokálním minimem na potenciálové křivce. U druhé skupiny ("B"), a to u ocelí 11375, 11458, 12056 a 55I, nastává minimum na potenciálové křivce až při napětích nad mezi kluzu, přičemž dosažení meze kluzu je spojeno pouze s více či méně výraznou změnou sklonu křivky. Mezi hladkými a vrubovanými tyčemi nebyl pozorován žádný kvalitativní rozdíl.

Potenciálová křivka vykazuje v některých případech výrazné lokální maximum v lineární oblasti zatěžování, při silách o velikosti 30-60% síly na mezi kluzu. Toto maximum bylo pozorováno především u ocelí typu "A". Změna potenciálu na počátku zkoušky až do dosažení lokálního maxima je stejného smyslu jako v oblasti za lokálním minimem, tedy již nad mezi kluzu v oblasti výrazného zmenšování příčného průřezu tyče.

Za povšimnutí stojí, že potenciálová křivka má v tomto případě kvalitativně shodný průběh s případem zatěžování tělesa s trhlinou při namáhání v ohybu nebo kombinaci tahu a ohybu. Přitom se jedná o dva odlišné případy namáhání a nevysvětlenou otázkou zůstává příčina tvorby maxima na křivce potenciálu v lineární oblasti zatěžování při tahové zkoušce. Změny průřezu jsou v této oblasti zanedbatelné a síly již natolik velké, že se nemůže jednat o vliv nesouososti působící síly nebo vůlí v upínacím systému. Navíc nebyly tyto jevy pozorovány u všech zkoušených materiálů, ale pokud se v někte-

rém případě maximum vytvořilo, bylo pozorováno u všech ostatních tyčích z téhož materiálu, a to i u tyčí s vrubem.

Zkoušenou mosaz ani měď nebylo možno přiřadit ani k jednomu ze dvou typů záznamů pozorovaných u ocelí. V případě mědi i mosazi potenciál monotónně a prakticky lineárně vzrůstá od počátku zatěžování a v oblasti meze kluzu byl pozorován poměrně výrazný zlom směrnice potenciálové křivky.

Kvalitativní změny potenciálové křivky v závislosti na teplotě zkoušky, viz bod b), nebyly pozorovány. S rostoucí teplotou se změny potenciálu zvětšují a minimum na křivce potenciálu (jednalo se o ocel typu "B") se posouvá blíže k mezi kluzu, což pravděpodobně souvisí s teplotně závislými fyzikálními procesy probíhajícími v zatěžovaném tělese.

Opakované tahové zatěžování v elastické oblasti ukázalo, že změny potenciálu v této oblasti jsou plně vratné v tom smyslu, že potenciálová křivka následujícího cyklu je opakováním křivky cyklu předcházejícího. Při opakovaném zatěžování v elasto-plastické oblasti potenciálová křivka přibližně navazuje na průběh z předchozího zatěžování podobně jako křivka deformační. Při opakovaném zatěžování měděných tyčí v elasto-plastické oblasti se při každém dosažení meze kluzu projevil výrazný zákmit na křivce potenciálu.

Pozorované závislosti změn elektrického potenciálu na působícím mechanickém zatížení obsahují některé zajímavé skutečnosti, jejichž vysvětlení bude vyžadovat hlubší studium fyzikální podstaty celé problematiky. Nejzajímavějším a nesporně překvapivým zjištěním je fakt, že již při jednoosém namáhání má potenciálová křivka poměrně složitý tvar, který je navíc v mnoha případech podobný potenciálové křivce snímané na tělese s trhlinou. Jak vyplývá z porovnání chemického složení, struktury a základních mechanických vlastností zkoušených ocelí, typ potenciálové křivky se zdá být vázán na strukturu ocelí: feriticko-perlitické oceli vykazují při tahovém zatěžování potenciálovou křivku typu "B", zatímco typ "A" byl pozorován u ocelí v zušlechťeném (sorbitickém nebo bainitickém) stavu. Zda se jedná o obecně platné pravidlo, popřípadě jaké jsou vztahy mezi oběma typy křivek, tedy zda je u jedné oceli možno získat oba typy záznamů, a také zda pozorované typy potenciálových křivek jsou u ocelí jediné možné atd., bude předmětem dalšího studia.