APLIKACE MIKRORENTGENOGRAFIE V NĚKTERÝCH OBLASTECH EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZY NAPĚTÍ

Ivo Kraus, Rudolfa Králová

Jsou uvedeny nejdůležitější vlastnosti a možnosti rentgenové difrakční techniky při výzkumu svařovacích, tepelných, transformačních a deformačních zbytkových napětí a podána základní informace o difrakčním studiu jejich relaxace.

1. Výzkum svařovacích napětí

Mechanické metody dávají integrální hodnoty zbytkových napětí v relativně velkém objemu o rozměrech srovnatelných např. s tloušťkou svaru. Rentgenograficky lze naproti tomu určit nedestruktivně napětí působící v malé oblasti povrchové vrstvy.

Nezávislost na geometrii výrobku činí metodu vhodnou k měření na svarech součástek komplikovaných tvarů.

Nedestruktivní povaha metody má význam zvláště při určování zbytkových napětí na hotových součástkách nebo celých konstrukcích a zařízeních.

Podle potřeby se dají na svarech zařízení stanovit zbytková napětí v superpozici s provozním napětím.

Změny svařovacích napětí při statických nebo dynamických namáháních lze rentgenograficky měřit na jednom a témže vzorku libovolněkrát (případně průběžně) bez porušení.

Při namáhání svařovaných konstrukcí (např. kmitání nebo namáhání pod vlivem korozních prostředí) je často důležité znát velikost a znaménko zbytkových napětí povrchových vrstev - nezávisle na tom, zda napětí souvisejí bezprostředně se svařováním nebo zda vznikla dodatečným zpracováním. V takových případech je rentgenová tenzometrická metoda prakticky nezastupitelná.

Při vhodném vyclonění primárního svazku může být napětí určeno ve velmi malých vnějších oblastech vzorku, takže u úzkých svarů se nechají odlišit napětí ve svaru a v tepelně ovlivněné zóně; lze také stanovit průběhy napětí při strmých gradientech (nedifrakčními metodami bychom získali průměrné hodnoty z velkých objemů) a identifikovat lokální extrémy zbytkových napětí. Je tře-

ba si ovšem uvědomit, že místní odchylky napětí mohou být příčinou nereprezentativnosti naměřené hodnoty pro větší oblast povrchu.

Zřekneme-li se nedestruktivního charakteru metody, můžeme určit napětí i pod povrchem zkoumaného tělesa, případně sestrojit průběh napětí v celé tloušťce svaru nebo základního materiálu.

Měření svařovacích napětí není principiálně omezeno jen na jednu fázi (u většiny svařovatelných ocelí, které mají relativně nepatrný obsah uhlíku, je touto fází ferit).

Rentgenová tenzometrie byla aplikována např. na svarech získaných svařováním tavným, bodovým, explozivním, laserem nebo elektronovým paprskem.

Pevnostní chování součástek nebo svařovaných konstrukcí závisí v řadě významných případů namáhání na zbytkovém napětí v povrchových vrstvách materiálu. Proto je "povrchové omezení" rentgenové tenzometrie vlastně její výhodou. Informace, které touto metodou získáme, doplňují a zpřesňují výsledky výzkumu destruktivními způsoby experimentální analýzy napětí.

2. Studium tepelných a transformačních napětí

Tepelným napětím budeme rozumět zbytkové napětí, které je vyvoláno ochlazením tepelně zpracovaného tělesa. Příčinou vzniku těchto napětí jsou rozdílné deformace sousedních částí ochlazovaného objemu. Při rychlém ochlazení (např.zakalením ve vodě) dostatečně zahřátého vzorku se povrchové vrstvy ochlazují rychleji než vnitřek - odpovídající vzniklá zbytková napětí označujeme jako "čistá tepelná". Některé materiály mění při ochlazování svou modifikaci. Tato změna je doprovázena tepelným efektem (prodlevem na křivce chladnutí nebo ohřevu) a změnou měrného objemu.Probíhá-li změna modifikace (za současné změny měrného objemu) nesoučasně v různých částech tělesa, vzniká transformační zbytkové napětí. Čistá tepelná napětí i napětí transformační se navzájem kombinují.

Vzhledem k velkému počtu efektů, které se na vzniku tepelných napětí podílejí, je kvantitativní předpověď jejich konečného rozdělení v uvažovaném objektu velmi obtížná. Přestože v posledním desetiletí byla při analýze napětí v řadě případů úspěšně aplikována výpočtová metoda konečných prvků, je pokrok v oblasti výzkumu i využití zbytkových napětí dosud závislý především na výsledcích získaných experimentálními metodami.

Použití rentgenové difrakční techniky má při výzkumu optimalizace technologie tepelného zpracování kovových materiálů vzhledem k mechanickým způsobům určování zbytkových napětí zejména tyto vlastnosti:

a) Metoda je nedestruktivní - lze jí měřit deformace na stejném místě povrchu daného tělesa v různých etapách jeho tepelného zpracování nebo relaxaci napětí při vyšších teplotách.

b) Při indukčním kalení, s nímž je spojena existence strmého gradientu napětí v povrchových vrstvách, se nedá hodnota zbytkových napětí na povrchu určit prakticky jinak než rentgenograficky.

c) Pokud dojde při tepelném zpracování k fázovým transformacím, dovoluje rentgenová metoda principiálně jako jediná stanovit zbytkové napětí v různých fázích.

Metodou konečných prvků a paralelně i rentgenograficky byly stanoveny např. závislosti mezi

- napětím vznikajícím v ocelových válcích různých rozměrů a některými režimy kalení nebo cementování;
- obvodovým napětím a rozměry válcových prstenců.

O výsledcích lze souhrnně konstatovat, že teoretické výpočty a rentgenografická měření se velmi efektivně doplňují.

Pro úplnost dodejme, že jako tepelná napětí jsou označována rovněž zbytková napětí vznikající v krystalcích složek heterogenních materiálů vlivem různých koeficientů tepelné roztažnosti jednotlivých fází. V jednofázové soustavě vyvolá stejný účinek anizotropie koeficientu tepelné roztažnosti.

3. Rentgenografická analýza deformačních napětí

Deformační zbytková napětí byla rentgenovou difrakční technikou zkoumána především na vzorcích homogenních a heterogenních materiálů plasticky deformovaných jednoosým tahem. Ostatní typy zkoušek (tlaková, ohybová, torzní) byly buď ojedinělé nebo měly jiný cíl než stanovit příčinu vzniku zbytkových napětí.

Všechny hypotézy usilující o vysvětlení fyzikálního smyslu experimentálních výsledků, ať zdůvodňují zbytkovou napjatost jako mikroskopickou nebo superpozici makroskopické napjatosti s mikroskopickou, vycházejí ze společné představy koexistence tzv. "tvrdých" a "měkkých" oblastí materiálu. "Tvrdými" oblastmi jsou např.

- krystalky orientované vzhledem k vnější síle tak, že v nich bude překročena mez kluzu později než v krystalcích jiných orientací,
- vnitřní vrstvy materiálu, které jsou vůči deformaci odolnější než "oslabený" povrch,
- hranice krystalků nebo jiné vysoce porušené oblasti.

Jejich rozdílné chování při deformaci je funkcí polohy ve vzorku a orientace vzhledem k působící vnější síle. Po odlehčení vzorku namáhaného tahem nad mezí pružnosti zůstanou "tvrdé" oblasti pod vlivem tahů, zatímco "měkké" oblasti budou stlačeny. V obecném případě je třeba vždy počítat se superpozicí několika příčin vzniku zbytkových mřížkových deformací (několika typů dvojic tvrdých a měkkých oblastí). Která z příčin se stane v určitém případě dominující, bude záviset na konkrétním materiálu, resp. na stupni jeho heterogenity.

4. Difrakční výzkum relaxace napětí

Otázka, do jaké míry se zbytková napětí při mechanickém namáhání odbourávají nebo zachovávají, je předmětem nejen základního, ale i aplikovaného tenzometrického výzkumu technických materiálů. Zbytková napětí mohou být snížena nebo zcela odstraněna cílevědomým dodáním tepelné nebo mechanické energie.

Běžné mechanické měřicí metody indikují změny vyvolané relaxací napětí v celém objemu zkoumaného vzorku. Kromě "makroskopické" povahy mají výsledky mechanických tenzometrických měření ještě další charakteristický rys - odpovídají superpozici deformací elastických a plastických.

Rentgenovou difrakcí detekujeme naproti tomu relaxační jevy jen ve velmi tenké povrchové vrstvě vzorku a registrované změny mřížkových deformací se týkají výhradně elastického chování materiálu.

Literatura:

Kraus I., Trofimov V.V.: Rentgenová tenzometrie, Academia (v tisku)