



DIFFRACTION RESIDUAL STRESS ANALYSIS OF ENGINEERING CERAMICS DIFRAKČNÍ ANALÝZA ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ V KONSTRUKČNÍ KERAMICE

Kraus Ivo, Ganev Nikolaj

Ceramics materials for machine building enable a series of new technological solutions. Residual stress determination in ceramics are gaining more and more importance. X-ray stress analysis has proved to be most reliable procedure for the determination of near surface residual stress states in ceramics. The principal problems of X-ray stress measurements of ceramics are described.

Keywords: engineering ceramics, residual stress, X-ray diffraction

Význam keramiky v technické, zvláště strojírenské, praxi během posledních dvou desetiletí neobyčejně vzrostl. Stále širší uplatnění nacházejí vedle "klasických" typů homogenní a heterogenní keramiky (Al_2O_3 , ZrO_2 , Sr_3N_4 , SiC) také soustavy "kov-keramika", u nichž se nechá efektivně využít spojení takových vlastností jako je vysoká teplotní stálost, odolnost vůči opotřebení a korozní stabilita keramiky s dobrou tvárností i obrobiteľností konvenčních kovových materiálů. I když bylo již v mnoha případech prokázáno, že keramika není jen účinnou náhradou kovů a slitin, ale umožňuje i zcela nová řešení technických problémů, zůstává k ní přesto v obecném povědomí určitá nedůvěra. Důvody jsou pochopitelné:

- ♦ nedostatečná schopnost keramických látek reagovat na vložená napětí plastickou deformací,

- ♦ současný stav technologie výroby keramických komponent není zárukou dostatečné reprodukovatelnosti jejich mechanických vlastností.

Neexistuje prakticky žádný krok výrobního procesu, kterým by nevznikaly v keramice stavy zbytkové napjatosti; ty se skládají jak mezi sebou, tak s napětím vloženým při provozním namáhání. Znalost distribuce zbytkových napětí bude proto hrát významnou roli mezi všemi předpoklady, které musí být brány v úvahu při projektování součástí strojů a zařízení obsahujících keramické díly.

Tenzometrické metody lze rozdělit na nedestruktivní, využívající rentgenové, synchrotronové nebo neutronové záření, případně ultrazvuk, a destruktivní, založené na indikaci změn vyvolaných porušením rovnováhy napětového stavu v uvažovaném objektu. Difrakční metody se liší především velikostí objemu, z něhož jsme schopni získat informaci; zatímco rentgenové nebo synchrotronové záření má účinnou hloubku vnikání v rozmezí jednotek až desítek mikrometrů, lze s neutrony proměřovat objemy o lineárních rozměrech až několik centimetrů.

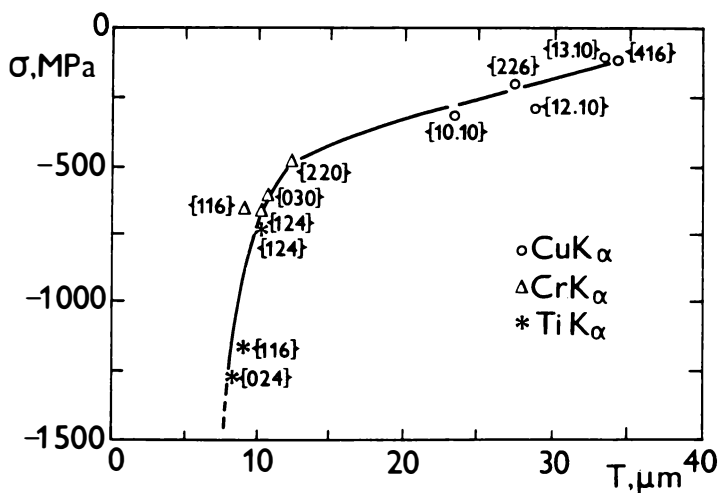
Pro nedestruktivní výzkum vložených i zbytkových napětí má tenzometrická diagnostika povrchových oblastí polykrystalických látek k dispozici rentgenovou difrakční metodu. Je-li aplikována na výrobky z kovů a slitin, představuje až na výjimky spolehlivý a metodicky velmi dobře propracovaný postup vycházející z měření deformací krystalové mřížky [1]. U keramiky je rentgenografické měření napětí charakterizováno některými specifickými rysy. Jejich příčina spočívá v komplikovanější struktuře, než s jakou se setkáváme u kovů, v chybějících údajích o rentgenografických elastických konstantách pro přepočet deformací na napětí a konečně i v relativně vysokých modulech elasticity, ovlivňujících nepříznivě dosahovanou přesnost měření meziatomových vzdáleností.

Poslední práce z této oblasti experimentální fyziky jsou orientovány dvěma směry:

- ♦ zdokonalování metodiky analýzy zbytkových napětí v keramických látkách,
- ♦ hodnocení významu tenzometrické diagnostiky jak ze strany výrobců tak uživatelů keramiky.

Experimentální studium napětí, která vznikají slinováním keramických prášků, opracováním povrchu keramiky nebo jejím spojováním s kovem, se dnes stalo předmětem široce koncipovaných výzkumných programů. Nejvýznamnějšími technologiemi povrchového opracování technické keramiky je broušení diamantovým kotoučem a ultrazvukové obrábění.

Stavy napjatosti, které vznikají např. při broušení, jsou důsledkem povrchové plastické deformace a tepelných vlivů doprovázejících vysoké lokální mechanické namáhání materiálu jednotlivými brusnými zrnny. Opracováním může dojít i k fázovým transformacím spojeným se změnou měrného objemu. Rentgenografická analýza takových stavů napjatosti je obtížná, protože vrstva, v níž zbytková napětí působí, má jen nepatrnou tloušťku - srovnatelnou s hloubkou vnikání používaného rentgenového záření. "Klasickými" měřicími postupy lze tedy zjišťovat jen vážené střední hodnoty existujících průběhů napětí. Hloubkový profil může být získán kombinací měření a postupného odleptávání tenkých povrchových vrstev. U keramiky se osvědčuje postupné odnímání materiálu opatrným lapováním vzorku nebo iontovým leptáním. Obě technologie jsou však časově velmi náročné. Bez porušení celistvosti zkoumaného vzorku lze gradient zbytkových napětí stanovit v povrchové vrstvě pomocí rentgenových paprsků různé pronikavosti [2]. Příklad výsledků získaných touto metodou je na obr. 1. Proměřovány byly vzorky z $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ (5% obj.), a to zářením CuK_α (0.1542 nm),



Obr. 1 Závislost zbytkových napětí $\sigma(T)$ vyvolaných broušením vzorku $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ (5% obj.).

U každé experimentálně stanovené hodnoty jsou uvedeny indexy reflektujících mřížkových rovin krystalů Al_2O_3 [3]

CrK_α (0.2291 nm), TiK_α (0.2751 nm). Tímto způsobem se podařilo získat informace z povrchových vrstev odpovídajících střední hloubce vnikání rentgenových paprsků v rozmezí od 8 μm do 35 μm . Hodnoty zbytkových napětí, stanovené ve směru broušení, jsou funkcí střední hloubky vnikání T.

Při porovnávání předností a nedostatků jednotlivých tenzometrických metod je třeba vždy brát ohled na charakter řešeného problému. Destruktivní odvrtávací metody mohou být např. východiskem, bude-li spolehlivé interpretaci výsledků difrakčních měření bránit přednostní orientace krystallků, nedostatečná homogenita fázového složení, absence údajů o teplotní závislosti elastických konstant apod. V praxi je při volbě metody často rozhodující také časová a finanční náročnost měření.

V nejbližším období by se měla experimentální analýza napětí keramických materiálů zaměřit zejména na

- ◆ kritické posouzení fyzikálně technických hranic možností dosavadních metod,
- ◆ objasnění podstaty difference výsledků různých metod měření daného stavu napjatosti,
- ◆ sestavení uceleného přehledu současného stavu našich znalostí o distribuci zbytkových deformací v keramice po různých způsobech její výroby i mechanického a tepelného zpracování.

Literatura

- [1] Kraus I. - Trofimov V.V.: Rentgenová tenzometrie, Academia, Praha 1988
- [2] Kraus I.: Rentgenografie nehomogenních napěťových polí, Academia, Praha 1990
- [3] Eigenmann B. - Scholtes B. - Macherauch E.: Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 21, 1990, 257-265

Prof. RNDr. Ivo Kraus, DrSc., Ing. Nikolaj Ganeev, CSc.

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze,

V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, tel.849951