

PODMÍNKY PROVOZNÍCH APLIKACÍ RENTGENOGRAFICKÉ TENZOMETRICKÉ METODY

Ing. Nikolaj Ganev, Doc. RNDr. Ivo Kraus, CSc.
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT Praha

Rentgenová tenzometrie je významnou aplikací difrakčních metod poskytující široké využití při řešení rozmanitých problémů průmyslové praxe. Dosavadní vývoj a možnosti praktického uplatnění této metodiky vždy úzce souvisely s pokrokem v oblasti detektorů rentgenového záření a výpočetní techniky. Svě pevné postavení mezi ostatními způsoby měření napětí získala rentgenová tenzometrie především pro svou schopnost poskytnout informace o vnitřní napjatosti zkoumaných objektů bez porušení jejich celistvosti. V řadě průmyslově vyspělých států představuje rentgenografické stanovení zbytkových deformací krystalové mřížky dnes již běžný prostředek finální kontroly technologie povrchového oprávcování strojírenských výrobků.

Měření napětí difrakční technikou je stejně jako jiné tenzometrické metody měřením deformace. Oprávněnost interpretace rentgenograficky zjištěných deformací pomocí napětí závisí obecně na tom, jak splňují zkoumané materiály základní předpoklady teorie elasticity.

Rentgenografická tenzometrická metoda se vyznačuje určitými specifickými vlastnostmi, které ji odlišují od ostatních metod využívajících mechanických, optických nebo odporových tenzometrů.

- Protože metoda vychází ze změn meziovinných vzdáleností atomové struktury, omezuje se její použití výhradně na krystalické (polykrystalické) materiály.

- Experimentální postupy vhodné pro provozní aplikace rentgenografické tenzometrie nevyžadují znalost výchozího (nenapjatého) stavu materiálu.

- Oblast měřeného vzorku zasaženou dopadajícím svaz-

kem lze učinit libovolně malou. Průběh napětí se dá sledovat prakticky "bod po bodu" - je tedy možné proměřovat i velmi nehomogenní napěťová pole.

- Vzhledem k selektivní vlastnosti rentgenové difrakční metody se na vzniku linie $\{hkl\}$ podílejí jen ty krystalky, v nichž má některý systém (hkl) příznivou orientaci vzhledem k dopadajícímu svazku. To znamená, že rentgenografická tenzometrická měření dávají informace pouze o stavu napjatosti zcela určitých krystalků.

- U heterogenních materiálů se stanovené deformace vztahují pouze k fázi, jejíž krystalky se podílejí na vzniku difrakčního obrazu. Interpretace těchto mřížkových deformací napětím je přirozeně obtížnější než u čistých kovů nebo homogenních slitin.

Rentgenovou difrakční techniku nelze aplikovat ke studiu zbytkové napjatosti bez ohledu na stav krystalové mřížky dané polykrystalické látky. Tuto metodiku je možno použít s dostatečnou přesností jen u polykrystalických materiálů, které dávají spojitě a dostatečně ostré difrakční linie. Určitá omezení jsou spojena i s požadavkem na dostupnost zkoumaných oblastí vzorku pro svazek rentgenových paprsků. Využití metody mohou bránit také ekonomická hlediska, a to zvláště při vybavení pracovišť difraktometry.

V současné době existuje několik experimentálních postupů rentgenové difrakční tenzometrické analýzy, které jsou vhodné pro využití v provozních podmínkách. Jsou to metody "klasické", vycházející z předpokladu o zanedbatelné hloubce vnikání rentgenových paprsků do zkoumaného materiálu ($\sigma_3 = 0$). Vývoj měřicí a vyhodnocovací techniky po roce 1970 si však vynucuje opravu tohoto předpokladu, a to především v případech, kdy se napětí směrem od povrchu rychle mění. Profil difrakční linie nebude pak obsahovat jednotnou informaci vztaženou k povrchu, ale představuje superpozici informací o napětích

v různých hloubkách ozářené vrstvy. Tato skutečnost vede v případě gradientů deformací větších než $10^{-4} / \mu\text{m}^{-1}$ k odchylkám od lineární závislosti $\epsilon_{\psi}(\sin^2\psi)$. V posledních letech byly vypracovány první metody pomocí nichž lze analýzou experimentálního průběhu ϵ_{ψ} na $\sin^2\psi$ stanovit nedestruktivně rozdělení napětí v povrchových vrstvách. Základní výzkum vlivu konečné hloubky vnikání rentgenových paprsků na rentgenografické tenzometrické měření, resp. stanovení průběhu napětí v rámci pronikavosti záření ($\approx 10 / \mu\text{m}$) pod povrchem probíhá v současnosti velmi intenzívně.

Zvláštnosti techniky měření zbytkových napětí v provozních podmínkách odrážejí skutečnost, že napětí dosahují rovnováhy v objemu celého vzorku. Proto lze na laboratorních goniometrech a klasických komorách zpětného odrazu s fotografickou registrací analyzovat napětí jen u vzorků, jejichž rozměry dovolují uchycení i předepsanou justaci. Konstrukce rentgenové aparatury pro měření napětí v průmyslové praxi musí však vyhovovat požadavku užití u výrobků libovolného tvaru a rozměru. V případě difraktometru to znamená zajištění takového pohybu goniometru k bodu povrchu zvolenému pro tenzometrickou analýzu, který dovoluje splnit geometrické schéma fokusační podmínky. Přizpůsobení musí mít i rentgenové komory s fotografickou registrací difraktovaného záření.

Nejméně náročné z hlediska realizace i finančních nákladů jsou rentgenografické tenzometrické metody s fotografickou registrací záření. Automatizace vyhodnocování získaných difrakčních diagramů (použitím mikroprocesorových systémů, které jsou v ČSSR již dostupné), umožňuje zavedení těchto metod do provozních podmínek československého průmyslu.