

RENTGENOGRAFICKÁ ANALÝZA ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ V POVRCHOVĚ LEGOVANÉ OCELI 11373

RNDr. Rudolfa Králová, CSc., RNDr. Galina Gosmanová
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT Praha,
Katedra inženýrství pevných látek

V práci jsou uvedeny výsledky rentgenografické analýzy zbytkových napětí vzorků oceli 11373, které byly legovány chromem a niklem za pomoci záření laseru. Průběh zbytkových napětí byl měřen v závislosti na vzdálenosti od povrchu. Ze změřených křivek a ze změny charakteru difrakční linie lze rovněž odhadnout tloušťku legované vrstvy.

Úvod

Účelem legování je změnit vlastnosti nelegovaného materiálu buď v celém průřezu nebo ovlivnit vlastnosti jeho povrchu. V případě ovlivňování povrchových vlastností existují dlouhou dobu snahy o náhradu legovaných materiálů materiály nelegovanými, které jsou na povrchu opatřeny funkční vrstvou žádaných vlastností. K těmto vrstvám patří různé typy povlaků nanášených navařováním, nástřikem roz-taveného kovu, elektrolyzou, kondenzací z plynné fáze a vrstvy vzniklé difuzí různých prvků do povrchu kovů.

Mezi nové progresivní technologie patří legování povrchových vrstev kovů využívajících záření laseru. Záření generované laserem se vyznačuje velkou časovou a prostorovou koherencí umožňující dosáhnout optickými soustavami koncentrace energie nemožné u obvyklých nekoherentních zdrojů. Právě koncentrace energie na malé ploše činí celý proces silně lokálním a v důsledku rychlého ochlazování z taveniny může docházet ke vzniku napěťového pole, které je místně silně proměnné. Hloubkové koncentrační rozložení legujícího prvku může být podle volby teplotního režimu relativně velmi homogenní v celém nataveném objemu nebo naopak s hloubkou rychle klesat. Jedna z metod, která zde může sehrát důležitou úlohu je rentgenová difrakční technika, která umožňuje mapovat pole zbytkové napjatosti "bod po bodu".

Použité metody

Charakter a poloha difrakčních linií zkoumaných materiálů vyžadovala použití dvou modifikací metody " $\sin^2\psi$ ". První způsob využíval uspořádání Debyeovy-Scherrerovy metody na zpětný odraz s filmovou registrací difraktovaného záření, druhý pak difraktometrické Braggovo-Brentanovo uspořádání.

Rentgenografické určování napětí vychází z mřížkových deformací, které jsou definovány vztahem

$$\varepsilon_{\varphi\psi} = \frac{d_{\varphi\psi} - d_0}{d_0}, \quad (1)$$

kde $d_{\varphi\psi}$ je meziorovinná vzdálenost systému rovin (hkl) ve směru určeném úhly φ, ψ (obr.1), d_0 je meziorovinná vzdálenost téhož systému v nenapjaté mřížce. Deformacím $\varepsilon_{\varphi\psi}$, které jsou měřeny ve směru kolmém k difraktujícími rovinám, jsou přiřazena napětí pomocí vztahů plynoucích z teorie elasticity. V případě rovinného napěťového stavu máme

$$\varepsilon_{\varphi\psi} = \frac{1}{2} s_2 \sigma_{\varphi} \sin^2\psi + s_1 (\sigma_1 + \sigma_2), \quad (2)$$

kde složka napětí $\sigma_{\varphi} = \sigma_1 \cos^2\varphi + \sigma_2 \sin^2\varphi$ je dána směrnici závislosti (2)

$$\sigma_{\varphi} = \frac{1}{\frac{1}{2} s_2} \frac{\partial \varepsilon_{\varphi\psi}}{\partial \sin^2\psi}. \quad (3)$$

V difraktometrickém uspořádání je deformace (1) vyjádřena pomocí změny polohy difrakčního úhlu $\theta_{\varphi\psi}$. Vztah (3) má pak tvar

$$\sigma_{\varphi} = - \frac{\operatorname{ctg} \theta_0}{\frac{1}{2} s_2} \frac{\partial \theta_{\varphi\psi}}{\partial \sin^2\psi} \quad (4)$$

Konstanty

$$\frac{1}{2} s_2 = \left(\frac{1 + \nu}{E} \right) \operatorname{rtg}, \quad s_1 = \left(- \frac{\nu}{E} \right) \operatorname{rtg}$$

jsou rentgenografické elastické konstanty, které závisí na typu difraktujících rovin (hkl) a na faktorech charakterizujících stav materiálu. Jejich velikost je možno vypočítat pomocí elastických koeficientů a modulů monokrystalů příslušných kovů [1] nebo stanovit experimentálně [2]. Oba postupy, které u jednosložkových materiálů v principu nečiní potíže, jsou značně komplikované u vícesložkových soustav a problémy s tím spojené nejsou dosud vyřešeny.

Obr.1 Směr hlavních napětí a měřené deformace leží v povrchu vzorku

Charakteristika vzorků a experimentální podmínky

Typ použitého laseru: Controllaser Limitid CO₂, v kontinuálním režimu, maximální výkon 2,5kW, průměr svazku ~ 1 mm.

a) Charakteristika vzorků

Soustava Fe-Ni: vzorky oceli 11373 označené 1941-1943 legované žárově nastříkaným Ni, z tvaru vzorku na obr.2 byly vyříznuty destičky o rozměrech 10x12x5 mm, rychlosti řádkování činily 100, 75 a 60 mm s⁻¹, struktura legované vrstvy austenitická (Fm3m), Koncentrace Ni 98 váh% byla v celé vrstvě homogenní.

Soustava Fe-Cr: vzorek 1936 legovaný žárově nastříkaným Cr, tvar vzorku je na obr.2, rychlost řádkování činila 5 mm s⁻¹, struktura legované vrstvy ferritická (Im3m), koncentrace Cr 13,96 váh% byla v celé vrstvě homogenní.

b) Experimentální podmínky

Soustava Fe-Ni: metoda " $\sin^2\psi$ " v difraktometrickém uspo-

řádání, aparatura - počítačově řízený difraktometr DRON UM-I s goniometrem v Braggově-Brentanově uspořádání s automatickou registrací výsledků, záření - CoK_{α} , velikost osázeného objemu $\sim 0,4 \text{ mm}^3$, analyzovaná linie - $\{222\}$, difrakční úhel $\theta \pm 60^\circ$.

Soustava Fe-Cr: metoda jedné expozice bez referenční látky, aparatura - mikrostrukturní rentgen Kristalloflex 2H Siemens, záření - CrK_{α} , velikost osázeného objemu $0,022 \text{ mm}^3$, analyzovaná difrakční linie - $\{211\}$, difrakční úhel $\theta = 78,21^\circ$.

Ke sledování průběhu zbytkových napětí do hloubky vrstvy byla použita metoda postupného elektrolytického odleptávání ve speciálním přípravku, který umožňoval jednostranné odleptávání rovinného vzorku. Při tomto postupu jsou hodnoty zbytkových napětí měřené na ohražené vrstvě korigovány na přerozdělení napětí podle vztahu [3]:

$$\sigma_{\varphi}(a) = \sigma_{\varphi}^{\#}(a) - \frac{1}{1+\nu} \int_0^a \frac{4h + 2z - 6a}{(h-z)^2} \frac{z}{\sigma_{\varphi}^{\#}(z)} dz \quad (5)$$

kde $\sigma_{\varphi}(a)$ je skutečné napětí v hloubce a pod povrchem,

$\sigma_{\varphi}^{\#}(a)$ je napětí změřené v hloubce a pod povrchem,

h je tloušťka vzorku,

z je proměnná ve směru kolmém k povrchu.

Výsledky měření

Obr.2 Označení měřených míst a směr měřených napětí

Zbytková makroskopická napětí byla měřena ve dvou navzájem kolmých směrech (obr.2). Hlavní výsledky lze shrnout do následujících bodů:

Soustava Fe-Ni:

1. V povrchových vrstvách vzorků 1941, 1942 a 1943 zbytko-

vá makroskopická napětí na povrchu vrstev ani v jejich hloubce nebyla zjištěna (nulová směrnice závislosti $2\theta(\sin^2\psi)$).

2. Charakter difrakční linie {222} a malé hodnoty integrální šířky této linie nenasvědčují přítomnosti mikroskopických napětí.

3. Vrstvy jsou z hlediska rozložení velikosti krystalků nehomogenní. Rozptyl dosahuje až desítek mikronů.

4. Tloušťka legované vrstvy odhadnutá ze změny profilu difrakční linie {222} činila 200 μm .

Soustava Fe-Cr:

1. Průběh $\sigma_{L,T}(z)$, z je vzdálenost od původního povrchu, byl měřen na 5 místech vzorku označených na obr.2 a to od $z = 0$ do $z = 580 \mu\text{m}$. Chyba měření činila ± 50 MPa.

2. Zbytková napětí jsou ve všech pěti místech tlaková až do hloubky 450 μm , číselné hodnoty se pohybují od hodnot -400 MPa až do hodnot -1000 MPa. V místě 1 a 2 nabývají maximální hodnoty na povrchu, v místě 3,4 a 5 v hloubce cca 100 μm pod povrchem.

3. V rozmezí hloubek 450-580 μm přecházejí tlaková napětí v napětí tahová od hodnot +130 MPa do +300 MPa.

4. Zároveň se změnou znaménka zbytkových napětí dochází k poklesu integrální šířky difrakční linie {211}, která svým charakterem odpovídá difrakční linii původního nelegovaného materiálu. Na základě průběhu $\sigma_T(z)$ a na základě tohoto zjištění můžeme učinit závěr, že tloušťka legované vrstvy činí $\sim 500 \mu\text{m}$.

Literatura

- 1 Behnken H., Haul V.M.: Z.Metallkde, 77, 1986, 620
- 2 Králová R.: Čs.čas.fyz., A35, 1985, 375
- 3 René J.J.: Zavodskaja laboratorija, 43, 1977, 349