

# Integrita povrchu a její význam v praktickém využití

Možnosti měření a měřicí metody

Jiří Šimeček

# Měření zbytkových napětí

- přímá
- nepřímá

Používají se metody:

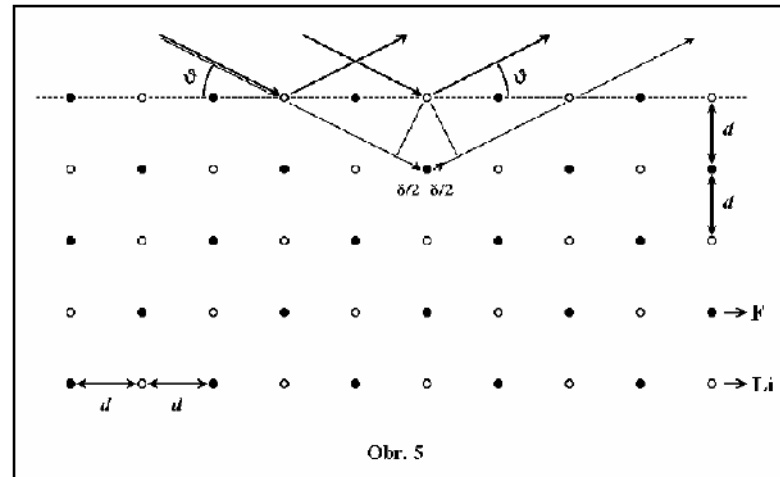
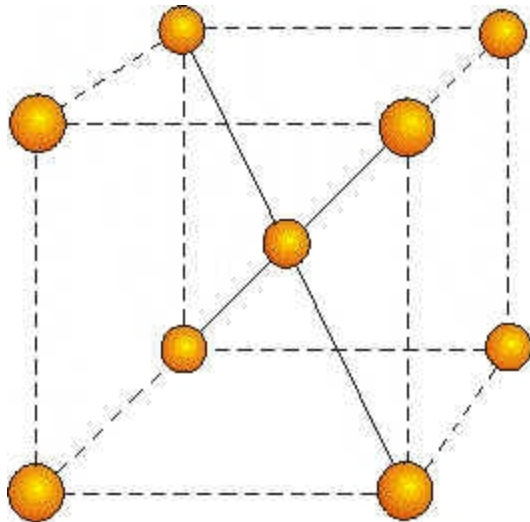
- mechanické (odleptávání) založené zejména na měření deformací po odleptání části vzorku
- optické
- magnetické (pomocí Barkhausenova šumu)
- ultrazvukové (princip: vztah mezi napětím a rychlostí ultrazvukových vln v materiálu)
- difrakce (využívající rozptyl buď rentgenového záření, nebo toku neutronů)

# Rentgenová difrakce

- princip využití: rozptyl rentgenových paprsků na krystalech materiálů, kterým měříme meziovinnou vzdálenost  $d$ , kterou porovnáme s meziovinnou vzdáleností nedeformované mřížky

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0}$$

Vycházíme přitom z vztahů z teorie elasticity. Při ozáření mřížky dojde při dosažení příznivého směru paprsků k rozptylu (difrakci) a ke vzniku interferenčního maxima ve směru  $\theta$ .



## Výhody:

- nedestruktivní
- možnost měřit distorzi z několika směrů
- možnost stanovit napětí na jednotlivých fázích
- měříme napětí I. II. i III druhu
- proměření velmi nehomogenních napěťových polí
- lze měřit z plošného obsahu v řádech  $\text{mm}^2$

## Nevýhody:

- měříme pouze ve velice tenkých vrstvách  $10^{-2} - 10^{-3} \text{mm}$
- mnohé materiály dávají velmi neostrá difrakční maxima
- nelze použít pro měření amorfních materiálů
- přesnost měření klesá se zvětšujícími se zrny materiálu
- měření pouze elastických deformací

V současné době spolupráce s FJFI ČVUT Katedrou inženýrství pevných látek

Probíhá měření zbytkových napětí u následujících materiálů rentgenovou difrakcí

konstrukční ocel: 12 050

nástrojová ocel 19 436

šedá litina 42 2415

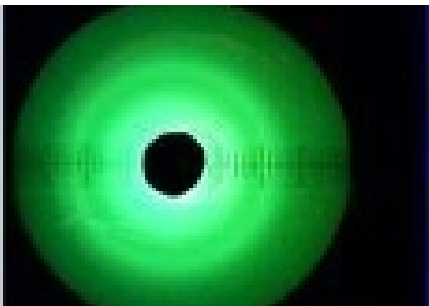
niklová superslitina: inconel 718

hliníková slitina: Al 6082

Prozatím zjištěno: ocel 12 050, 19436 a litina 42 2415 velmi ostrá a kvalitní difrakční maxima

hliníková slitina Al6082 přesnost uspokojivá

inconel 718 prakticky neměřitelné

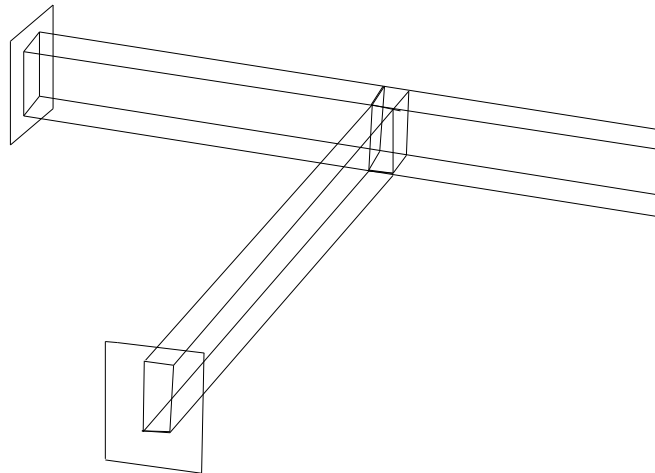


# Neutronová difrakce

Neutron je 2000x těžší než elektron, není elektricky nabitý . Proniká do velkých hloubek. Při dopadu neutronu na krystal dojde k difrakci.

Neutronový svazek proniká přes clony do materiálu, Při dopadu na krystalovou mřížku jsou ve vhodném směru detekovány odražené neutrony.

Zjišťujeme polohu lehkých jader a jelikož rozptyl na atomech ležících blízko u sebe v periodické soustavě prvků je značně rozdílný, umožňuje měřit poměry v slitinách např: FeCo.



## Výhody:

- Materiály lze zkoumat do velkých hloubek, běžně 15 mm pod povrchem, některé hliníkové slitiny až 50 mm pod povrchem
- možnost zkoumání velkých vzorků najednou  $>10\text{cm}^3$

## Nevýhody:

- dosud malé rozšíření z důvodu malé dostupnosti dostatečných zdrojů neutronů (jaderné reaktory)
- nízká přesnost z důvodu vysokého rozptylu záření
- obtížné získání výsledků z malých objemů materiálu

# Měření pomocí ultrazvuku

Princip: změny rychlosti ultrazvukových vln v prostředí s přítomností napětí odrazy od překážek

Pokud napětí působí ve směru pohybu vln, rychlost šíření se zvyšuje a naopak

Lze najít korelace mezi šířením vln v elastickém materiálu s vlastnostmi jako tvrdost, napětí, pórovitost, čistota apod.

Používáme i neelastické parametry šíření ultrazvuku v materiálu, jako je

- rozptyl

- adsorbce

rozptyl je ovlivňován především pomocí změn akustické impedance na hranicích zrn a fází

adsorbce především interakce ultrazvuku s dislokacemi a magnetickými doménami

Použití zejména pro identifikaci čistoty, plastické deformace či rozměru zrn



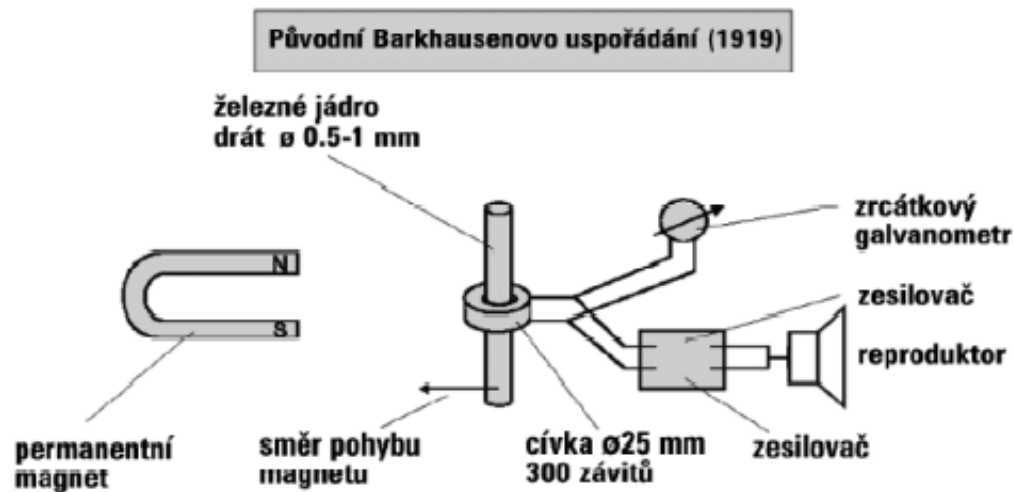
# Měření pomocí magnetického pole

Princip: pomocí tzv. Barkhausevova šumu

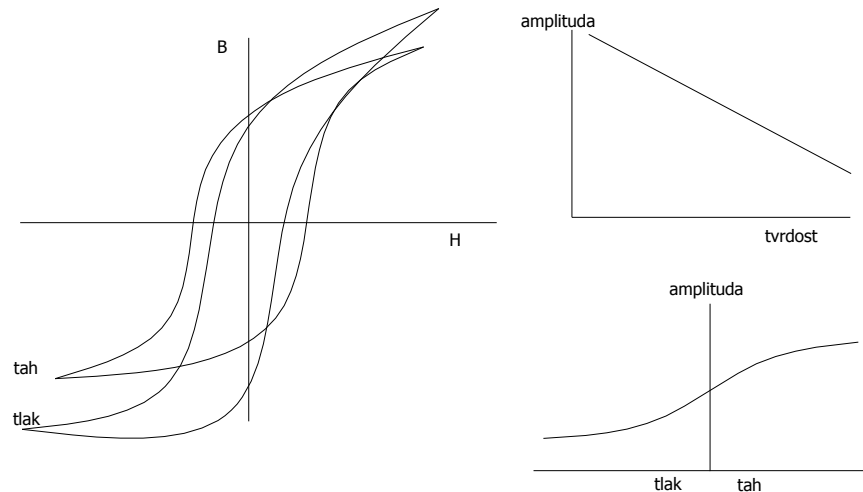
Přiblížíme či oddálíme magnet k jádru slyšíme v reproduktoru hlasité praskání. Souvisí to s nespojitostmi při magnetování feromagnetických materiálů.

Intenzita závisí na tvrdosti jádra s vyšší tvrdostí materiálu klesá.

Tahové napětí ve směru magnetizace stimuluje šum, tlakové napětí naopak



# Hysterezní křivka



Proměřujeme tzv hysterezní křivku materiálu a z její deformace vypočítáme velikost napětí v materiálu

Vlivem napětí v materiálu se tvar smyčky mění, amplituda šumu je závislá i na tvrdosti materiálu

Výhody: nedestruktivní, rychlá, operativní velmi přesná

Nevýhody: složitá kalibrace, použití pouze pro feromagnetické materiály

V současné době probíhá spolupráce s firmou Preditest s. r. o. kdy proměřujeme vzorky touto metodou

Při vyšším stupni magnetizace je možno použít měření pomocí Eddy vířivých proudů, kterými měříme změny v elektrické vodivosti, nebo magnetické permeability, která má souvislost se strukturními nehomogenitami v materiálech.

V materiálu dochází k rozptylu magnetického pole. Rozptyl způsoben stavem napjatosti strukturou apod.

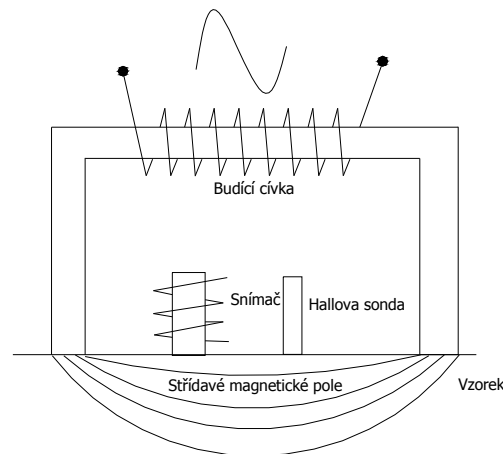
Umožňuje změřit lokální změny napětí, určit polohu např: nehomogenit.

Výhody:

Velká citlivost na strukturu, ale nemožnost použití na určení směru napětí

Možnost použít na neferomagnetické materiály

Nevýhody: nákladná aparatura, ne vždy jednoznačné výsledky



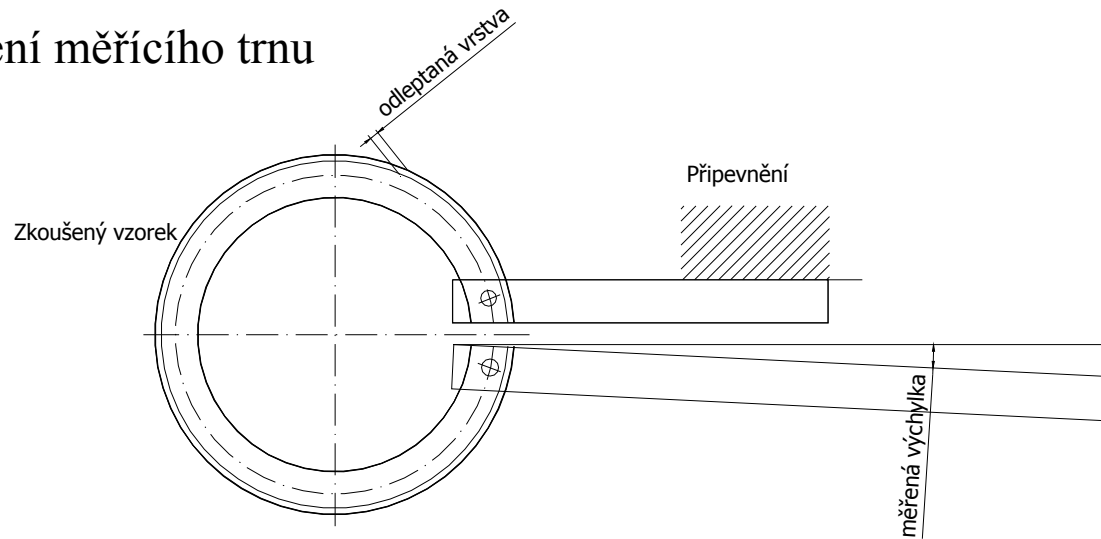
# Mechanické metody měření zbytkových napětí

Princip: měření deformace zkušebního tělesa při postupném odleptávání povrchových vrstev, měřený vzorek počítáme podle teorie pružnosti jako křivý prut

Při odleptávání se postupně odstraňují povrchové vrstvy materiálu a tím se uvolňuje i napětí v této vrstvě obsažené

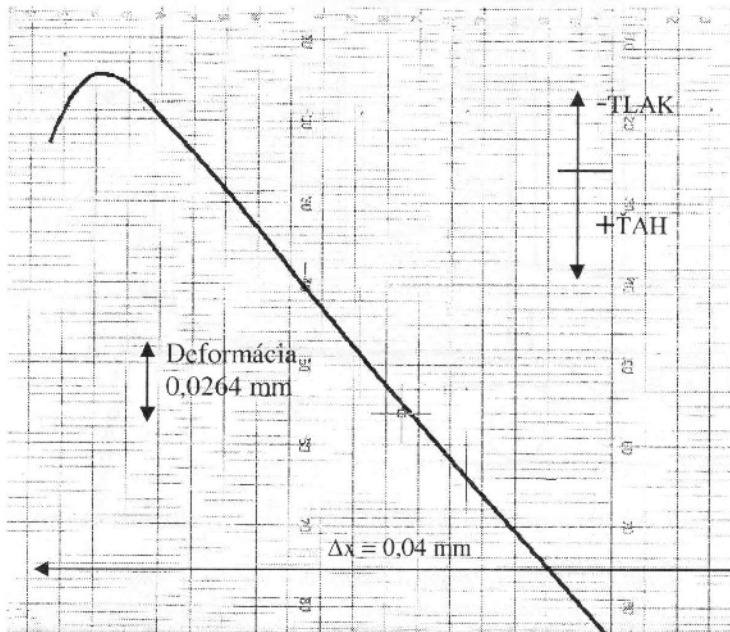
Deformace kroužku je součtem

- momentem zbytkového napětí
- prodloužení měřeného vzorku
- prodloužení měřícího trnu

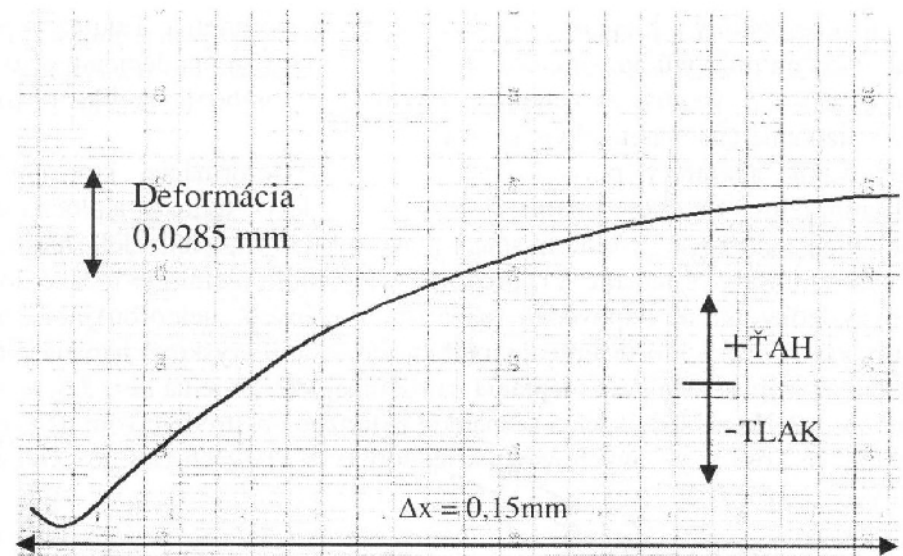


Výhody: nízká cena  
dostupnost

Nevýhody: nízká přesnost



Záznam při leptání broušené vrstvy struktura:  
martenzitická vc:30m/s f=5m/min



Bainit: vc30m/s f=8m/min

# Nepřímé metody měření zbytkových napětí

## Metoda křehkého nátěru

Zkoumaný povrch je potřen křehkým pryskyřičným nátěrem v poslední době i fólie s praskavou vrstvou

Po zaschnutí působením deformací popraská ve směru kolmém na maximální dilataci

Možnost zkoumání povrchových mikrotrhlin vodivým nátěrem po popraskání změna vodivosti nátěru, nebo folie

Výhody: rychlá, operativní metoda

Nevýhody: malá přesnost

velké ovlivnění okolními vlivy (teplota, vlhkost)

náročné na zkušenosti pracovníka

# Metoda odvrtávání

Princip: Do tělesa se zbytkovým napětím vyvrtáme otvory

Odvrtáním části tělesa dojde k uvolnění části napětí, těleso reaguje změnou

deformace, kterou měříme tenzometricky.

Podle směru deformace určíme směr a přibližně i velikost napětí

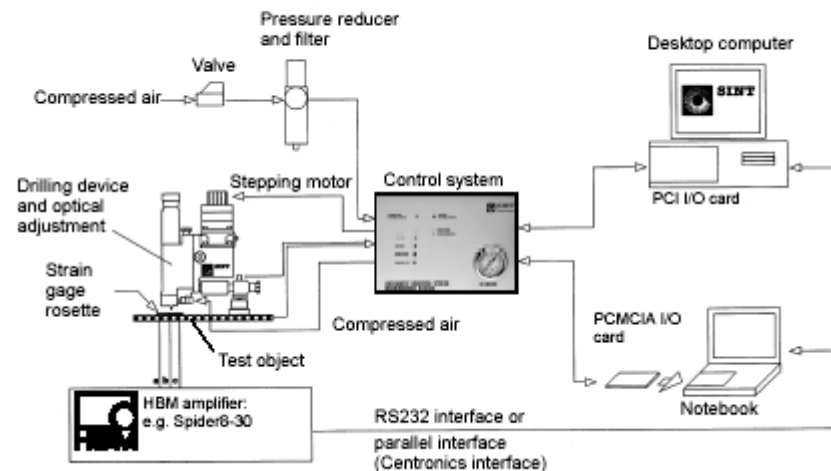
Umožňuje měření povrchových i objemových napětí v oblasti dané velikosti

tenzometru

Použití je limitováno teplotou, při které je schopen pracovat tenzometr



Block diagram of the MTS 3000 system



# Akustická emise

Jev který vzniká v materiálu v důsledku nevratných změn ve struktuře zkoumaného tělesa a šíří se materiálem v podobě tzv. napěťových vln.

K jejich vybuzení musíme dodat tělesu určitou energii (napjatost tělesa)

Energie se uvolňuje skokově např: při tvorbě mikrotrhliny. Tyto změny posléze detekujeme v podobě akustických vln.

Iniciátory akustické emise:

- vznikající a šířící se mikrodefekty
- fázové přeměny materiálu
- plastická deformace spolu s vznikem skluzových pásů
- u kompozitů přetrhávání vyztužujících vláken, odtrhávání od matrice apod.

V současné době spolupracujeme s firmou Preditest s. r. o. na měření odezvy v materiálu a máme od nich zapůjčenou aparaturu.



Zdroje:

Kraus, Ganev Technické aplikace difrakční analýzy

Neslušan a kol. Experimentálne metody v trieskovom obrábání

<http://www.techcorp.cz>

Děkuji za pozornost