
Barkhausenov šum po dynamickom guľôčkovaní duplexnej ocele AISi 318

Anna Mičietová, prof. Ing., PhD.

Katedra obrábania a výrobných techník, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: anna.micietova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2781

Juraj Uriček, doc. Ing., PhD.

Katedra automatizácie a výrobných systémov, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: juraj.uricek@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2813

Mária Čilliková, doc. Ing., PhD.

Katedra obrábania a výrobných techník, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: maria.cillikova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2784

Miroslav Neslušan, prof. Dr. Ing.*

Katedra obrábania a výrobných techník, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.neslusan@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2785

Barkhausen noise after shot-peening of duplex steel AISi 318

Abstract: This paper deals with surface integrity and the corresponding *Barkhausen noise* after shot peening of duplex steel AISi 318 under variable shot-peening conditions such as number of passes and applied air pressure. Surface state is investigated from the point of view of surface roughness and surface plastic deformation. *Barkhausen noise* is decreasing along with increasing surface coverage as well as increasing air pressure. The duplex matrix is considered being stable with respect of volume fraction between austenite and ferrite and the whole *Barkhausen noise* signal originates from ferromagnetic ferrite. Progressively developed plastic deformation increases dislocation density in the surface as a result of surface bombardment by shots which in turn shift Barkhausen envelopes into higher magnetic fields.

Keywords: *Barkhausen noise*, surface, sheet metal, shot peening.

ÚVOD

Cyklické premagnetovávanie feromagnetických materiálov inicializuje nevrátne a nekontinuálne pohyby *Blochových stien* (BW_s). Táto diskontinuita je spôsobená interferenciou BW_s s defektmi kryštalografickej mriežky, ako sú napr. precipitáty, dislokácie a iné. Tento jav sa nazýva *Barkhausenov šum* (MBN). MBN sa využíva v priemysle, predovšetkým pri monitorizácii komponentov po brúsení. MBN je citlivý na zmenu napätového stavu, zmeny štruktúry, distribúcie karbidov, dislokačnej hustoty a podobne. Pri brúsení sa využíva efekt tepelného popustenia povrchu, ktorý vedie v znižovaní dislokačnej hustoty a zmene stavu

karbidov čo sa následne premieta do nárastu MBN [1, 2].

Okrem iných aplikácií sa MBN využíva aj pri monitorovaní procesov, kedy je mikroštruktúra komplexná a okrem feromagnetických fáz obsahuje aj neferomagnetické fázy, ako je to pri austenite [3, 4]. MBN sa využíva na monitorovanie komponentov, pri ktorých dochádza vplyvom technologických procesov, alebo vplyvom ich dlhodobého používania k fázovým premenám, zmene dislokačnej hustoty, napätového stavu a podobne. Jednou z aplikácií, kedy dochádza práve k takejto zmene, je proces dynamického guľôčkovania povrchov (po *anglicky shot - peening*), kedy je povrch bombardovaný obvykle oceľovými

gulôčkami, ktorých vysoká kinetická energia sa premieňa na deformačný proces v povrchu, ktorý je vystavený tomuto procesu. Tento proces výrazne zvyšuje dislokačnú hustotu na povrchu, s tým súvisiacu jeho mikrotvrdosť, odolnosť voči cyklickému zaťažovaniu alebo koróznou odolnosť [5, 6]. V prípade dynamického gulôčkovania je taktiež charakteristickým javom pri niektorých duplexných oceliach aj premena austenitickej zložky na deformačný martenzit, ako aj výrazná zmena dislokačnej hustoty v oboch fázach [7]. Rozsah týchto zmien je primárne riadený energiou, ktorá je vložená do povrchu počas dynamického gulôčkovania. Táto energia je predovšetkým funkciou času, počas ktorého je povrch vystavený účinku gulôčok a tlaku média. Tento článok sa preto zaoberá práve touto problematikou a poukazuje na výrazný vplyv podmienok dynamického gulôčkovania na stav povrchu vyjadrenou jeho drsnosťou, zmenou dislokačnej hustoty vo feritickej fáze a s tým súvisiacou emisiou *MBN*.

1 PODMIENKY EXPERIMENTOV

Experimenty boli realizované na duplexnej oceli *AlSi 318*, ktorá bola dodaná vo forme plechu s hrúbkou 3 mm. Z tohto plechu boli narezané vzorky s dĺžkou 60 mm a šírkou 20 mm. Dlhšia strana bola rezaná v smere valcovania plechu.

Dynamické gulôčkovanie bolo realizované na špeciálnom zariadení vyvinutom práve na tento účel. Podmienky gulôčkovania boli nasledovné:

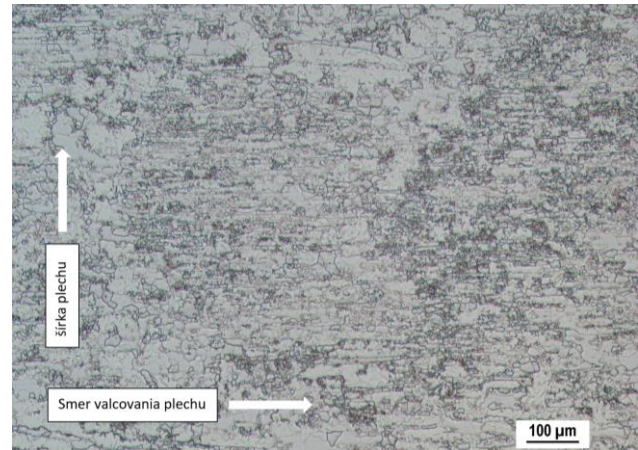
- počet cyklov 1 až 10,
- gulôčky *S170* (stredný priemer 0,43 mm),
- lineárna rýchlosť posuvu $23 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,
- vzdialenosť od povrchu 70 mm,
- tlak vzduchu 1,5 až 7 barov.

Po gulôčkovani bola meraná jeho *Almen* intenzita a to prostredníctvom *Almen* pásov s hrúbkou 1,295 mm, ktorá kontinuálne rástla s počtom cyklov a aj s tlakom média. Veľkosť *Almenov* sa menila, a to od 0,32 mm až do 1,5 mm pre počet cyklov 1 a meniaci sa tlak od 1,5 až do 7 barov. V prípade 10 cyklov sa *Almen* menil od 0,84 mm po 1 cykle až do 2,24 mm po 10 cykloch. Drsnosť povrchu bola meraná v smere kolmo na smer valcovania plechu na dĺžke 5 mm na zariadení *Hommel Tester T 2000*.

MBN merania boli realizované na prístroji *RollScan 350* v softvéri *MicroScan*. *MBN* pulzy boli merané vo frekvenčnej oblasti od 10 kHz do 1000 kHz (magnetizačná frekvencia 225 Hz, magnetizačné napätie 5 V, vzorkovacia frekvencia 6,7 MHz). *MBN* signál bol meraný v smere valcovania plechu aj v smere kolmo naň. *MBN* predstavuje efektívnu hodnotu signálu.

2 VÝSLEDKY EXPERIMENTOV

Obrázok 1 a obr. 2 ukazujú východiskový stav štruktúry materiálu, kde je vidieť jednak feritickú fázu (tmavšiu) a aj austenitickú fázu (svetlejšiu). Okrem toho je možné vidieť, že matrica z hľadiska oboch fáz je preferenčne orientovaná do smeru valcovania, teda po dĺžke valcovaného plechu. Drsnosť povrchu po valcovaní je pomerne veľká (obr. 3) a s počtom cyklov ako aj tlakom dochádza k postupnému poklesu výšky nerovnosti (obr. 4).



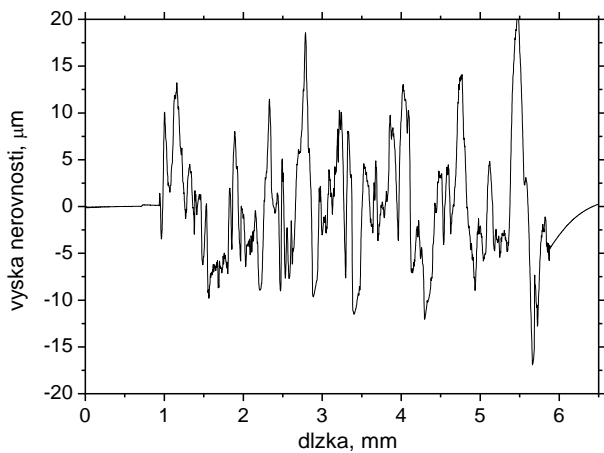
Obr. 1. Preferenčne usmernená matrica *AlSi 318* v smere po dĺžke plechu



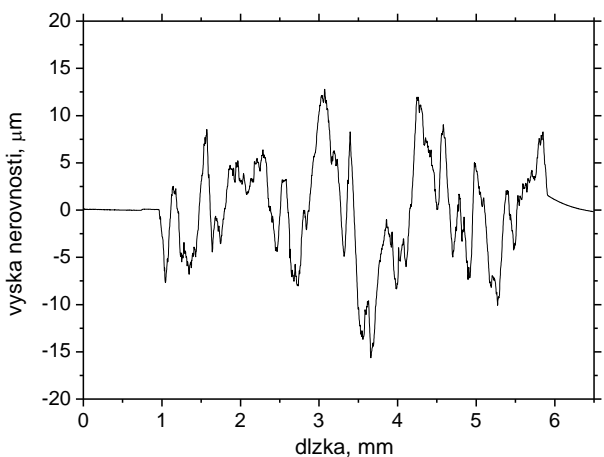
Obr. 2. Mikroštruktúra *AlSi 318* v priečnom reze

Obrázok 5 taktiež demonštruje, že v prípade tlaku 1,5 baru sa drsnosť povrchu vyjadrená v hodnotách *Ra* a *Rz* v podstate nemení a výraznejší pokles drsnosti povrchu je možné vidieť až pri vyšších tlakoch a hlavne väčšom počte cyklov dynamického gulôčkovania. Obrázky 5 a 6 ukazujú, že parameter *Ra* a *Rz* v podstate monotónne klesá tak s počtom cyklov, ako aj s tlakom média.

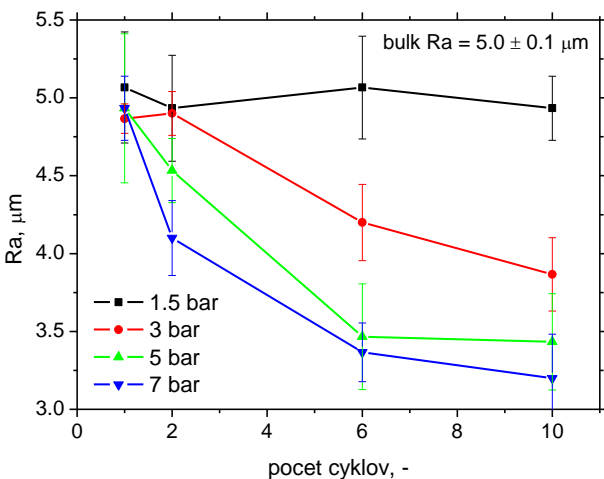
V podstate celý *MBN* signál pochádza z feritickej fázy a *XRD* merania ukázali, že z hľadiska fázového zloženia je podiel oboch fáz viac menej stabilný (1:1). *MBN* je teda predovšetkým funkciou nárastu dislokačnej hustoty vo feritickej fáze. Táto dislokačná hustota postupne rastie s počtom cyklov, ako aj tlakom počas gulôčkovania.



Obr. 3. Záznam drsnosti povrchu pred guľôčkovaním



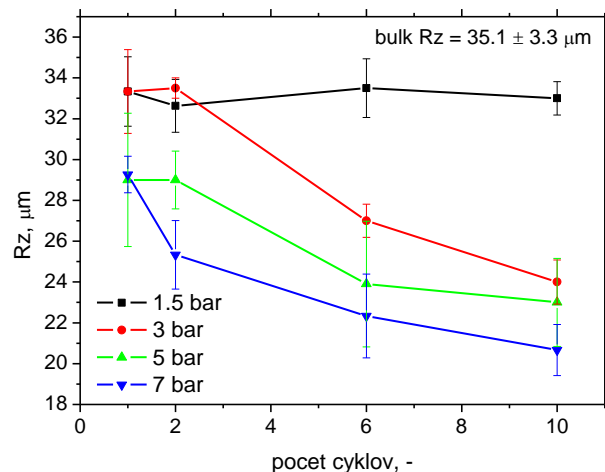
Obr. 4. Záznam drsnosti povrchu po 10. cykloch guľôčkovania a tlaku 7 barov



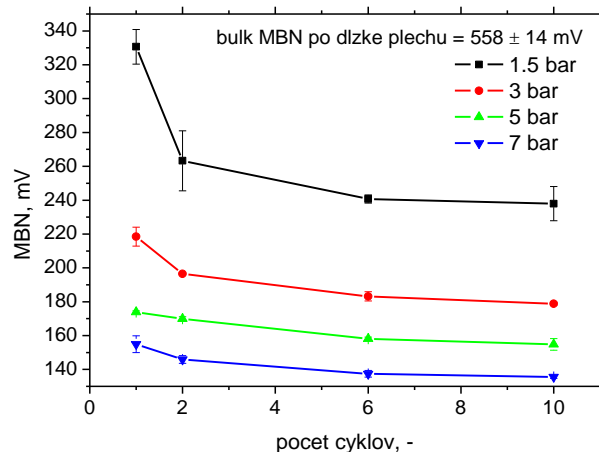
Obr. 5. Zmena R_a s počtom cyklov guľôčkovania a zmenou tlaku

Rastúca dislokačná hustota zväčšuje opozíciu štruktúry voči pohybom doménových stien, čo vedie k poklesu MBN , ako to ukazuje obr. 7. V zásade rovnaký vplyv je možné okrem MBN meraného v smere preferenčného usmernenia zaznamenať aj v priečnom smere (obr. 8), avšak MBN v tomto smere je oveľa menšia a aj miera poklesu je výrazne menšia. Tento smer je teda menej citlivý na veľkosť energie, ktorá je vložená do povrchu počas

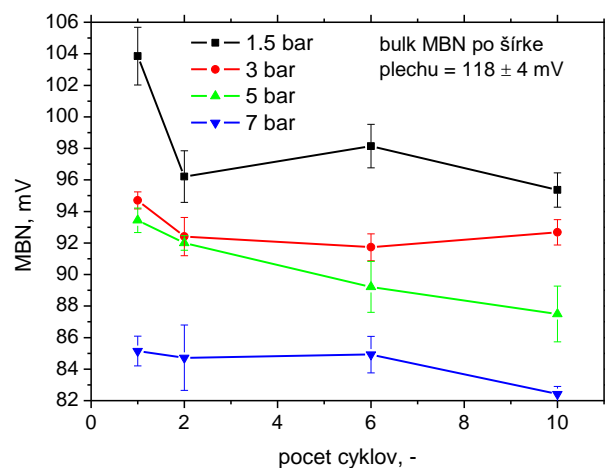
dynamického guľôčkovania v súvislosti s tým, že doménové steny sú preferenčne usmernené po dĺžke plechu.



Obr. 6. Zmena R_z s počtom cyklov guľôčkovania a zmenou tlaku



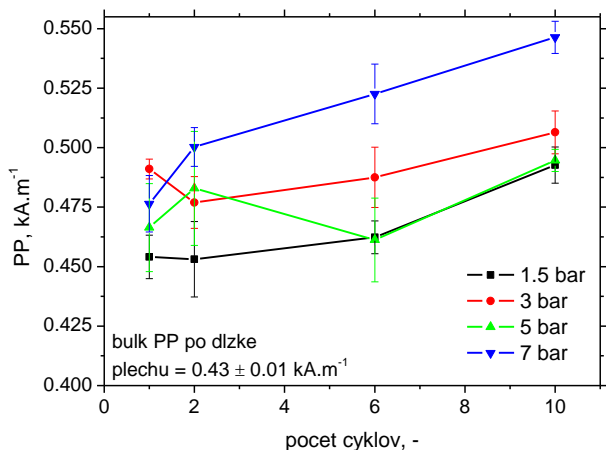
Obr. 7. Vplyv počtu cyklov a tlaku na MBN v smere po dĺžke plechu



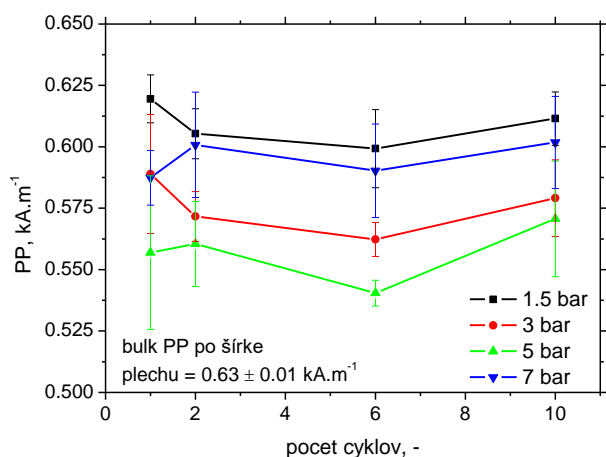
Obr. 8. Vplyv počtu cyklov a tlaku na MBN v smere po šírke plechu

Nárast dislokačnej hustoty spôsobuje, že na pohyb doménových stien je potrebné silnejšie magnetické pole, čo sa prejavuje tým, že PP hodnoty (pozícia maxima MBN obálky v magnetickom poli) rastú

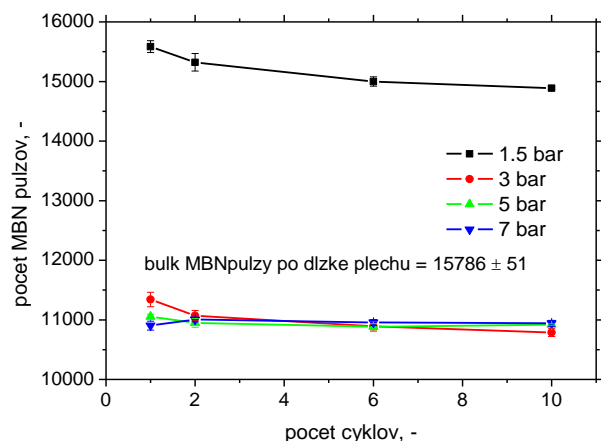
(obr. 9). Avšak tento nárast nie je možné pozorovať v pričnom smere (obr. 10) vzhľadom na vyššiu magnetickú tvrdosť v tomto smere.



Obr. 9. Vplyv počtu cyklov a tlaku na PP v smere po dĺžke plechu



Obr. 10. Vplyv počtu cyklov a tlaku na PP v smere po šírke plechu



Obr. 11. Vplyv počtu cyklov a tlaku na počet MBN pulzov v smere po dĺžke plechu

Z hľadiska počtu detegovaných MBN pulzov (obr. 11) je možné vidieť, že sa ich počet v zásade nemení s počtom cyklov. Pre tlak 1,5 baru je možné pozorovať mierny pokles počtu MBN pulzov s počtom cyklov. Pre tlak 3 bary počet MBN pulzov prudko klesne a v podstate zostáva nemenný tak

s počtom cyklov, ako aj s ďalším narastajúcim tlakom. Výrazný pokles počtu detegovaných pulzov indikuje, že niektoré doménové steny zostávajú ukotvené vo svojich pozíciách v dôsledku vyššej dislokačnej hustoty a teda neprispievajú k MBN .

ZÁVER

Dynamické guľôčkovanie v prípade duplexných ocelí je potenciálne dôležitou technologickou operáciou, vzhľadom na to, že na rozhraní fáz ferit/austenit sa môžu počas technologických procesov, alebo počas dlhodobého používania komponentov vyrobených z týchto materiálov inicializovať mikrotrhliny. Dynamické guľôčkovanie by potenciálne mohlo viesť k uzavretiu týchto trhlín a zlepšiť odolnosť povrchu predovšetkým voči cyklickému zaťažovaniu v reálnej praxi.

Pod'akovanie

Táto štúdia vznikla s finančnou podporou VEGA projektu č. 1/0052/22.

LITERATÚRA

- [1] MIČÚCH, M. et al. (2014): *Micro magnetic study of cutting conditions and grinding wheel wear influence on surface integrity*. In: Manufacturing Technology, Vol. 14, p. 66-71.
- [2] NESLUŠAN, M. et al. (2017): *Monitoring of grinding burn via Barkhausen noise emission in case-hardened steel in large-bearing production*. In: J. Mater. Proc. Technol., Vol. 240, p.104-117.
- [3] KLEBER, X. - BARROSO, S. P. (2010): *Investigation of shot-peened austenitic stainless steel 304L by means of magnetic Barkhausen noise*, In: Mater. Sci. Eng. A., Vol. 527, p. 6046-6052.
- [4] HAUŠILD, P. et al. (2013): *Characterization of strain-induced martensitic transformation in A301 stainless steel by Barkhausen noise measurement*. In: Mater. Design, Vol. 44, p. 548-554.
- [5] SEGURADO, E. et al. (2018): *Effect of low intensity shot peening treatments applied with different types of shots on the fatigue performance of a high-strength steel*. In: Surf. Coat. Technol., Vol. 340, p. 25-35.
- [6] TRŠKO, L. et al. (2017): *Influence of Severe Shot Peening on the Surface State and Ultra-High-Cycle Fatigue Behavior of an AW 7075 Aluminum Alloy*. In: J. Mater. Eng. Perform., Vol. 26, p. 2784-2797.
- [7] CHEN, M. et al. (2018): *Evaluation of the residual stress and microstructure character in SAF 2507 duplex stainless steel after multiple shot peening process*. In: Surf. Coat. Technol., Vol. 344, p. 132-140.