

---

# Analýza stavu povrchu po shot peenovaní duplexnej ocele AISi 318

---

**Miroslav Neslušan, prof. Dr. Ing.\***

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

**Zuzana Florková, Ing., PhD.**

Výskumné centrum,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: zuzana.florkova@uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 7632

## Analysis of surface state after shot peening duplex steel AISi 318

**Abstract:** This paper deals with surface integrity and the corresponding stress state as well as surface topography after shot peening of duplex steel AISi 318 under the variable shot-peening conditions such as number of passes and applied air pressure. It was found that the energy of shot impacts is consumed mainly by austenitic phase whereas the ferritic one is less affected. High magnitude of residual stresses is developed under the higher number of cycles as well as for the higher media pressure. Amplitude of compressive residual stresses in austenite is more as that for ferrite one. Surface roughness is decreasing along with the number of shot peening cycles and the typical crater-like surface is produced.

**Keywords:** duplex steel, residual stress, shot peening

---

## ÚVOD

*Shot - peening (SP)* je proces, kedy je povrch bombardovaný obvykle oceľovými guľôčkami, ktorých vysoká kinetická energia sa premieňa na deformačný proces v povrchu, ktorý je vystavený tomuto procesu. Energia, ktorá sa spotrebováva v takomto povrchu výrazne závisí od jeho mechanických vlastností, ako je medza klzu, medza pevnosti, ťažnosť a podobne. Veľkosť tejto energie je možné orientačne určiť z údajov získaných počas jednoduchého ťahu, avšak pri SP je napätový stav oveľa komplikovanejší, a preto skutočná energia spotrebovaná počas SP je reálne vyššia. Tento proces výrazne zvyšuje dislokačnú hustotu v povrchu, s tým súvisiacu jeho mikrotvrdosť, odolnosť voči cyklickému zaťažovaniu alebo koróznou odolnosť [1, 2]. V prípade dynamického guľôčkovania je taktiež charakteristickým javom u niektorých duplexných oceľí aj premena austenitickej zložky na deformačný martenzit, ako aj výrazná zmena dislokačnej hustoty v oboch fázach [3]. Rozsah týchto zmien je primárne riadený energiou (ako to už bolo vyššie uvedené), ktorá je vložená do povrchu počas dynamického guľôčkovania. Táto energia je predovšetkým funkciou času, počas ktorého je povrch vystavený účinku guľôčok a tlaku média.

Okrem toho dochádza k výraznej zmene stavu povrchu s ohľadom na veľkosť zvyškových napätí. Pre SP je charakteristické, že napätia sú tlakové a zasahujú do relatívne veľkej hĺbky (cca 0,2 mm) v závislosti od podmienok SP, čo má priaznivý vplyv na odolnosť povrchovej vrstvy, keď je tento vystavený dynamickému zaťaženiu [2, 4] alebo korózii [5]. Na druhej strane je pre proces SP charakteristický kráterovitý povrch ako výsledok impaktov guľôčok [6]. Preto sa obvykle zhoršuje drsnosť povrchov, čo sa môže negatívne prejaviť na funkčnosti povrchu.

Podmienky SP je potrebné optimalizovať, pretože intenzita plastickej deformácie v lokalizovaných oblastiach impaktov je veľmi vysoká a s narastajúcou energiou vloženou do povrchu môže dôjsť k delaminácii povrchu a inicializácii mikrotrhlín v povrchovej a aj podpovrchovej vrstve, ktoré môžu inicializovať predčasné poškodenie komponentov počas záťaže [7]. Tento článok sa preto zaoberá práve touto problematikou a poukazuje na výrazný vplyv podmienok dynamického guľôčkovania, na stav povrchu vyjadrenom v jeho topografii, napätovom stave ako aj dislokačnej hustote. Stav povrchu v tejto štúdii je analyzovaný ako funkcia tlaku média a aj počtu SP cyklov.

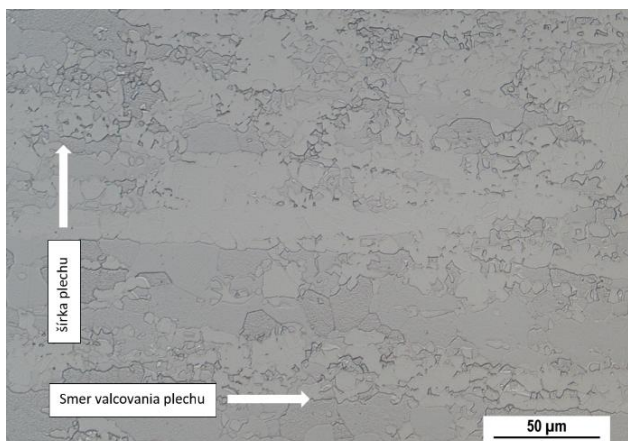
## 2 PODMIENKY EXPERIMENTOV

Experimenty boli realizované na duplexnej oceli *AISI* 318, ktorá bola dodaná vo forme plechu o hrúbke 3 mm. Z tohto plechu boli narezané vzorky o dĺžke 60 mm a šírke 20 mm. Dlhšia strana bola rezaná v smere valcovania plechu. Matrica po valcovaní vykazuje silnú štruktúrnú anizotropiu v smere valcovania ako to ukazujú obrázky 1 a 2.

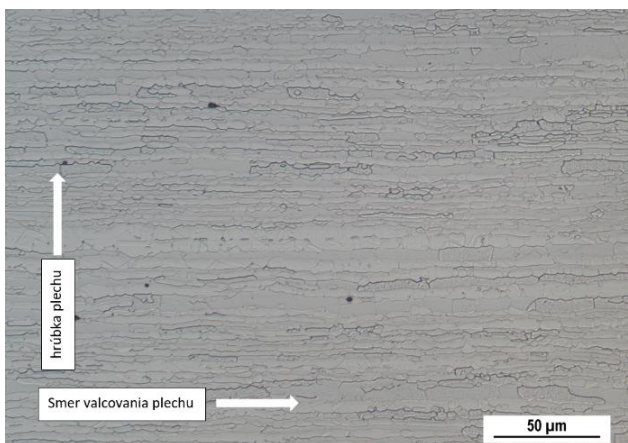
Dynamické guľôčkovanie bolo realizované na špeciálnom zariadení vyvinutom práve na tento účel. Podmienky guľôčkovania boli nasledovné:

- počet cyklov 1 až 10,
- guľôčky *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 guľôčkovaní bola meraná jeho *Almen* intenzita a to prostredníctvom *Almen* pásov o hrúbke 1,295 mm, ktorá kontinuálne rástla s počtom cyklov ako aj 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.



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



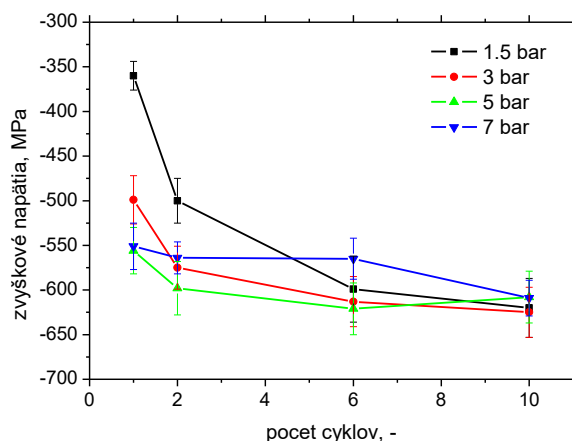
Obr. 2. Mikroštruktúra *AISI* 318 v priečnom reze

*XRD* technika bola použitá na analýzu amplitúdy zvyškových napätí, ako aj dislokačnej hustoty oboch fáz a vyjadrená v parametri *FWHM* (*austenit* aj *ferit*). Zvyškové napätia vo ferite boli analyzované *X-ray diffraction* (*XRD*) technikou (*Proto iXRD Combo diffraktometer*,  $K_{\alpha 1}$  a  $K_{\alpha 2}$  v  $\{211\}$  rovine, *CrKa*, *Winholtz* a *Cohen* metóda,  $\frac{1}{2}S_2 = 5,75 \text{ TPa}^{-1}$ ,  $S_1 = -1,25 \text{ TPa}^{-1}$ ). Zvyškové napätia v *austenite* boli merané s použitím  $K_{\alpha 1}$  a  $K_{\alpha 2}$  v  $\{311\}$  rovine, *MnKa*, *Winholtz* a *Cohen* metóda,  $\frac{1}{2}S_2 = 7.8 \text{ TPa}^{-1}$ ,  $S_1 = -1,2 \text{ TPa}^{-1}$ ). Informácia ohľadne napätia a *FWHM* je z hĺbky cca 5  $\mu\text{m}$ .

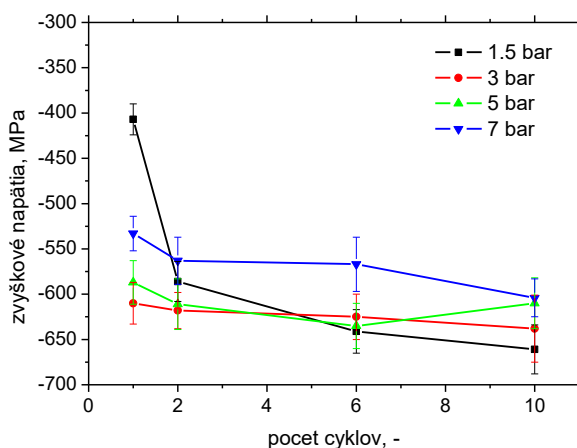
3D topografia povrchu bola analyzovaná prostredníctvom konfokálnej mikroskopie s použitím zariadenia *LSM 700* s vlnovou dĺžkou lasera 405 nm, v prostredí *Zen black software*, s použitím *Z stack* funkcie. Meraný profil získaný pri skenovaní bol následne filtrovaný, s cieľom odlišiť primárny profil povrchu od drsnosti a vlnitosti.

## 3 VÝSLEDKY EXPERIMENTOV

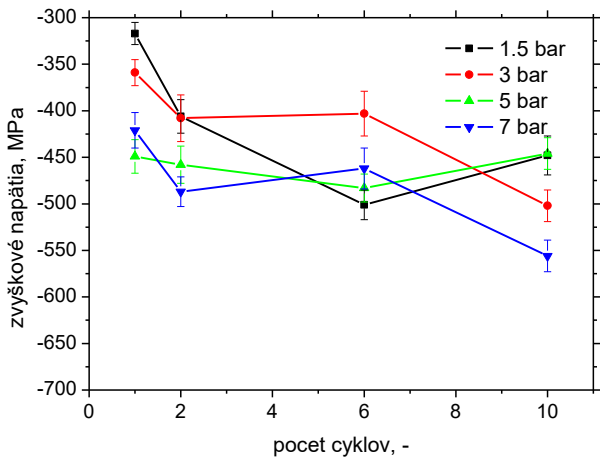
Obrázky 3 až 6 ukazujú, že amplitúda tlakových napätí rastie s veľkosťou tlaku, predovšetkým pre menší počet cyklov a postupne dochádza k saturácii, resp. tento pokles je menší.



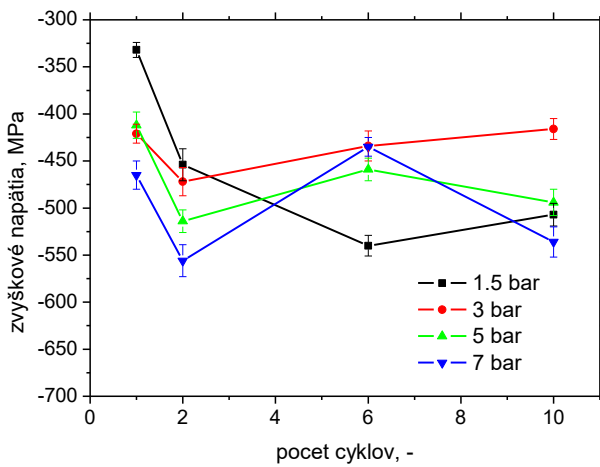
Obr. 3. Zvyškové napätia ako funkcia počtu *SP* cyklov a tlaku média v smere valcovania plechu - *austenit*



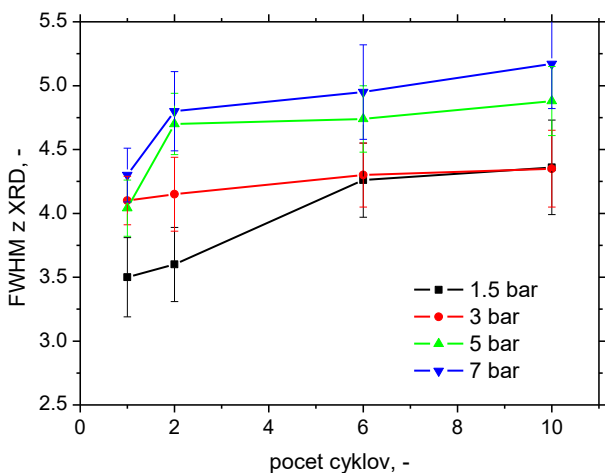
Obr. 4. Zvyškové napätia ako funkcia počtu *SP* cyklov a tlaku média v smere kolmom na smer valcovania plechu - *austenit*



Obr. 5. Zvyškové napätia ako funkcia počtu SP cyklov a tlaku média v smere valcovania plechu - ferit



Obr. 6. Zvyškové napätia ako funkcia počtu SP cyklov a tlaku média v smere kolmom na smer valcovania plechu - ferit.

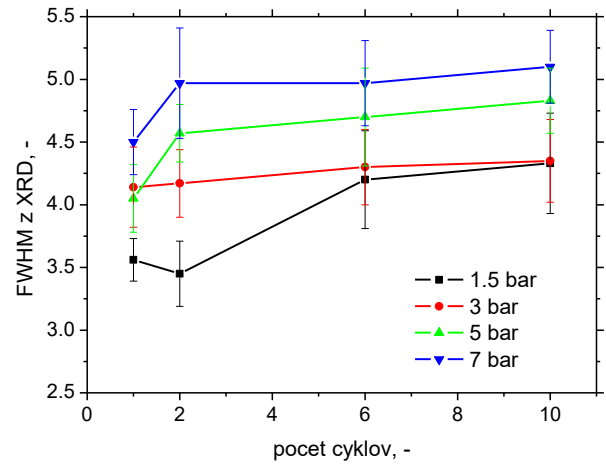


Obr. 7. FWHM z XRD ako funkcia počtu SP cyklov a tlaku média v smere valcovania plechu - austenit

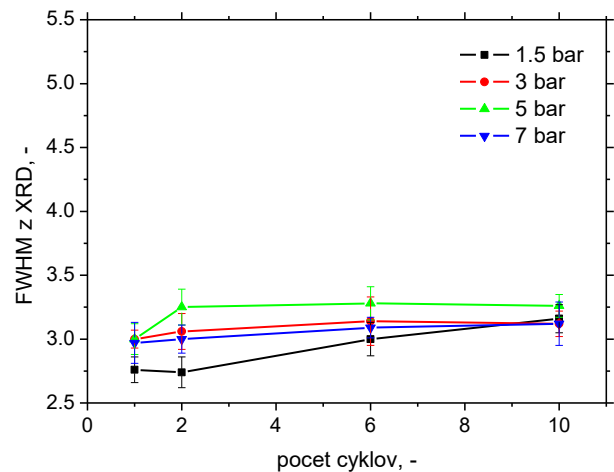
Veľkosť tlakových napätí v austenite je väčšia ako vo ferite čo indikuje, že energia impaktov je spotrebovaná predovšetkým v austenitickej fáze. Tento aspekt potvrdzuje aj *FWHM* z XRD ako ich ukazujú obr. 7 až 10. *FWHM* v austenite a s tým súvisiaca dislokačná hustota sa zvyšuje predovšetkým ako funkcia tlaku média, pričom počet SP cyklov má

menší vplyv. *FWHM* vo ferite je menšie a hodnoty sú veľmi porovnateľné pre oba smery. S počtom cyklov, ako aj tlakom média sa už výraznejšie *FWHM* nemení.

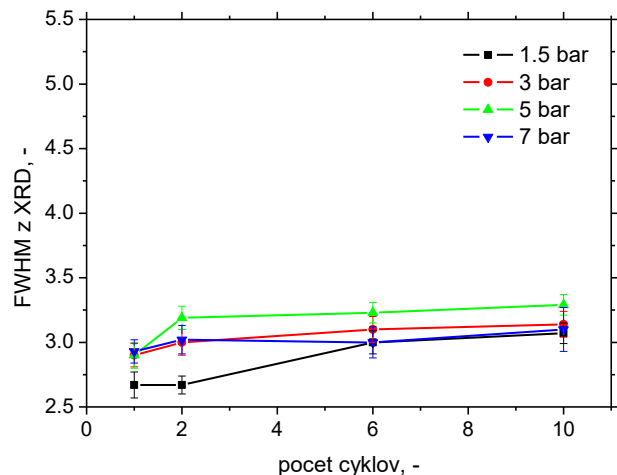
Drsnosť povrchu sa pre tlak 1,5 barov v podstate nemení a klesá až pre tlaky 3 bary a viac (obr. 11 a 12).



Obr. 8. FWHM z XRD ako funkcia počtu SP cyklov a tlaku média v smere kolmom na smer valcovania plechu - austenit.



Obr. 9. FWHM z XRD ako funkcia počtu SP cyklov a tlaku média v smere valcovania plechu - ferit.



Obr. 10. FWHM z XRD ako funkcia počtu SP cyklov a tlaku média v smere kolmom na smer valcovania plechu - ferit.

proces delaminácie povrchu, ktorá sa lokalizuje do oblastí rozhrania fáz.

## ZÁVER

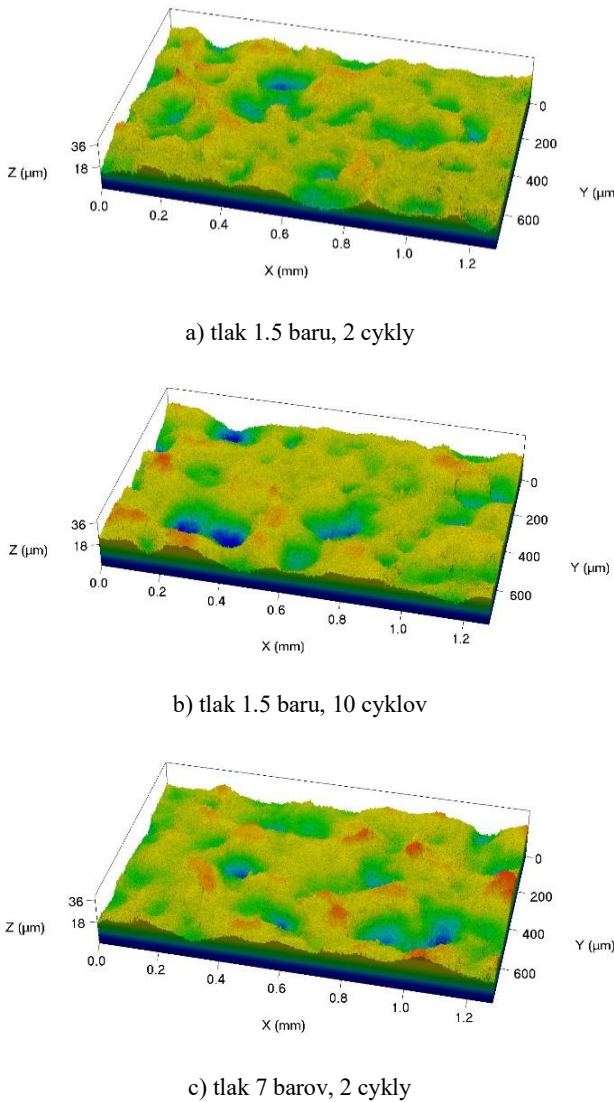
Dynamické guľôčkovanie v prípade duplexných ocelí je potenciálne dôležitou technologickou operáciou, vzhľadom na to, že na rozhraní fáz ferit/austenit sa môžu počas technologických procesov, alebo počas dlhodobého používania komponentov vyrobených z týchto materiálov inicializovať mikrotrhliny. Dynamické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

## Pod'akovanie

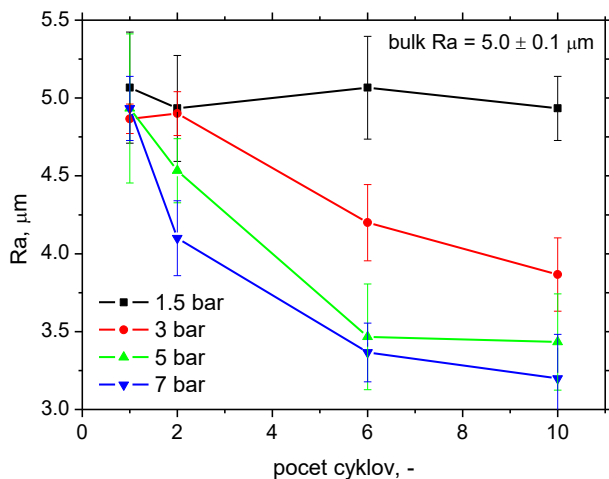
*This work was financially funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I03-03-V04-00313.*

## LITERATÚRA

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] NESLUŠAN, M. et al. (2018): *Non-destructive evaluation of steel surface after severe plastic deformation via Barkhausen noise technique.* In: Met., Vol. 8, 1029.
- [5] PEYRE, P. et al. (2000): *Surface modifications induced in 316L steel by laser peening and shot-peening. Influence on pitting corrosion resistance.* In: Mater. Sci. Eng., A, Vol. 280, p. 294-302.
- [6] UNAL, O. - VAROL, R. (2015): *Surface severe plastic deformation of AISI 304 via conventional shot peening, severe shot peening and re-peening.* In: Appl. Surface Sci., Vol. 351, p. 289-295.
- [7] NESLUSAN, M. et al. (2022): *Barkhausen noise emission of AISI 304 stainless steel originating from strain induced martensite by shot peening.* In: J. Mater. Res. Technol., Vol. 20, p. 748-762.



Obr. 11. Kráterovitý charakter povrchu po SP.



Obr. 12. Zmena Ra s počtom cyklov guľôčkovania a tlakom.

Obrázok 11 taktiež ukazuje, že povrch po SP má typický kráterovitý charakter, kedy materiál matrice v mieste impaktu je extrudovaný do strán procesom intenzívnej plastickej deformácie. S rastúcim počtom cyklov, ako aj tlakom sa postupne zintenzívňuje