

PULZAČNÉ TVÁRNEŇIE – NOVÁ METÓDA OBJEMOVÝCH PLASTICKÝCH DEFORMÁCIÍ ZA TEPLA

Kvačkaj T.¹, Sokolová L.¹, Vlado M.¹, Mišičko R.¹, Vrchovinský V.¹, Nový Z.²

¹ *Technická univerzita Košice, Katedra tvárnenia kovov, Letná 9, 040 01 Košice, Slovensko*

² *Comtes FHT, Plzeň, Česká republika*

PULSATORY FORMING – NEW METHOD OF BULK HOT PLASTIC DEFORMATIONS

Kvačkaj T.¹, Sokolová L.¹, Vlado M.¹, Mišičko R.¹, Vrchovinský V.¹, Nový Z.²

¹ *Technical University in Košice, Department of Metal Forming, Letná 9, 040 01 Košice, Slovakia*

² *Comtes FHT, Plzeň, Czech Republic*

Abstract

Pulsatory forming of metal materials (stresscycling), as one of non – conventional bulk forming methods, can be classified as the category of technological processes where the energy of vibration systems with a frequency effect is utilized. The pulsation frequency and amplitudes during pulsatory forming are new technological parameters using which we can influence both important processes taking place in the formed metal (recrystallization, grain growth, transformation processes) and the contact area between the formed metal and the forming tool (the character of friction and related impacts on the deformation course and the formability). This paper presents the first results of pulsatory forming realized by pulsator at Department of Metal Forming, Metallurgical Faculty, Technical University in Košice. The basic mechanical characteristics and also geometrical and microstructural parameters after pulsatory forming for steel grade Cr18Ni10 were analyzed. The best mechanical properties (yield strength, tensile strength) and plastic properties (elongation, contraction) were achieved by pulsation frequency from 20 – 35 Hz. Highest hot plastic deformations were obtained with pulsation frequency 30 – 35 Hz. The most fine austenitic grain sizes were made with pulsation frequency from 25 – 35 Hz.

Key words: pulsator, pulsation forming, pulsation frequency, microstructure, geometrical characteristics, mechanical properties, plastic properties, formability

Abstrakt

Pulzačné tvárnenie kovových materiálov (stresscycling), ako jednu z nekonvenčných metód objemového tvárnenia možno zaradiť do kategórie technologických procesov pri ktorých sa využíva účinok energie kmitov s frekvenčným efektom. Frekvencia a amplitúda pulzov pri pulzačnom tvárnení sú technologické parametre, ktorými možno ovplyvňovať významné pochody prebiehajúce jednak v tvárnenom kove (rekryštalizácia, rast zrn, transformačné procesy), a tiež kontaktnú plochu medzi tvárneným kovom a tvárniacim nástrojom (charakter trenia a z neho vyplývajúce dopady na priebeh deformácie a tváriteľnosť). V príspevku sú publikované prvé výsledky dosiahnuté pulzačným tvárnením na pulzátore inštalovanom na Katedre tvárnenia kovov, Hutníckej fakulty, Technickej univerzity v Košiciach. Pre oceľ Cr18Ni10 boli po pulzačnom tvárnení analyzované a diskutované základné mechanické,

geometrické charakteristiky a mikroštruktúrne parametre. Najlepší kompromis pevnostných vlastností (medza sklzu, medza pevnosti) a plastických vlastností (ťažnosť, kontrakcia) bol dosiahnutý pri pulzačnej frekvencii 20 – 35 Hz. Najvyššie plastické deformácie za tepla boli pozorované pri frekvencii pulzov 30 – 35 Hz. Najjemnejšie austenitické zrno sa získalo pri pulzačnej frekvencii 25 – 35 Hz.

1. Úvod

Myšlienka realizovať objemové tvárnenie pomocou technológie pulzačného tvárnenia vznikla v roku 1999 v rámci medzinárodného projektu EUREKA E! 2336. Ide o proces, pri ktorom nástroj pôsobí na tvárnený materiál silou, ktorej okamžitá hodnota osciluje okolo strednej hodnoty, a tá môže byť počas procesu konštantná, alebo môže rásť, prípadne klesať. Pulzy môžu byť vyvolávané generátormi, pracujúcimi na hydraulickom, elektromagnetickom, alebo mechanickom princípe.

Aplikácia pulzačného tvárnenia bola iniciovaná hľadaním nového spôsobu objemového tvárnenia s cieľom zvýšiť technologickú tvárniteľnosť materiálu, ktorá je bežnými postupmi tvárnenia limitovaná konvenčnými podmienkami technológie. Vychádzalo sa z všeobecne prijateľných technicko – technologicko – ekonomických kritérií technológie, t.j. docielenia potrebnej deformácie minimálnym počtom úberov, optimalizácie tvárniacich teplôt a znižovania tvárniacich síl z hľadiska úspory energie a menšieho opotrebenia nástrojov. Pri klasických spôsoboch tvárnenia je priebeh dynamickej rekryštalizácie riadený veľkosťou deformácie, teplotným režimom a stavom napätosti. Riadenie veľkosti síl pri pulzačnom tvárnení (poklesy a opätovné nárasty) môžu priebeh dynamickej rekryštalizácie podporiť a urýchliť [1]. Veľkosť zrna – najvýznamnejší štruktúrny činiteľ, môže byť pulzačným tvárnením tak isto modifikovaná, a to v zmysle dosahovania jemnozrnných mikroštruktúr, pričom kinetika rekryštalizácie (jej vyššia intenzita) a zjemnenie zrna majú priaznivý vplyv na plasticitu a tvárniteľnosť materiálu [1, 2]. Cyklické znižovanie a zvyšovanie napätosti na kontaktných plochách medzi tvárneným kovom a tvárniacim nástrojom zlepšuje podmienky pre elementárne sklzy, ku ktorým musí pri toku materiálu žiadaným smerom dochádzať [3]. Pri poklese sily dochádza k uvoľňovaniu materiálu priľnutému do mikronerovností na tvárniacom nástroji, pri opätovnom zvýšení sily, keď je tvárnený kov pritlačený k nástroju, je už nepatrne posunutý vzhľadom k polohe pri predchádzajúcej amplitúde sily. Mikronerovnosti na povrchu nástroja sú týmto spôsobom prekonávané ľahšie než pri tečení materiálu, ktorý je tvárnený stálym tlakom. Takéto ovplyvnenie trenia znižuje nerovnomernosť deformácie s priaznivým efektom na tvárniteľnosť kovu. Z hľadiska finálnych štruktúr a mechanických vlastností tvárneného produktu sú významné transformačné procesy ovplyvnené hustotou nukleácií, frekvenciou vzniku nadkritických zárodkov a kinetikou premeny. Pri pulzačnom tvárnení sa na jednej strane podporuje priebeh rekryštalizačných procesov, na druhej strane však vzhľadom na opakujúce sa „píkové“ napätia v procese sa podporuje vysoká hustota vysokospevnených mikrooblastí. To má vplyv na priebeh transformácie, napr. v prípade ocelí, kedy austenit transformuje sa na feriticko – karbidické mikroštruktúry. Podľa [4] charakter spevňovania uhlíkových ocelí pri pulzačnom tvárnení zvyšuje stabilitu austenitu vzhľadom k jeho rozpadu na bainit, alebo martenzit, na druhej strane urýchľuje tvorbu proeutektoidného feritu. Vo výslednej štruktúre sa teda podporuje podiel feritu a zvyškového austenitu na úkor bainitických, resp. martenzitických mikroštruktúrnych podielov, čo je faktor významný z hľadiska plasticity a tvárniteľnosti materiálu.

Je treba poznamenať, že dostupnosť literárnych údajov o diskutovanej problematike je obmedzená. Dostupné sú iba informácie, často súvisiace s inými technológiami, ktoré však je možné čiastočne transponovať na proces pulzačného tvárnenia a na základe takto spracovaných informácií je možné predikovať a definovať okruhy problémov, ktoré sú predmetom výskumného záujmu.

Príspevok prezentuje prvé výsledky výskumu realizovaného na inštalovanom pulzátore, ktorého schéma je uvedená na **Fig.1**. Experimentálny materiál bol podrobený pulzačnému tvárneniu pri konštantnom teplotnom režime (teplota ohrevu, teplota deformácie) a pri rôznej frekvencii pulzov. Hodnotenie výsledkov pulzačného tvárnenia bolo zamerané na získané základné pevnostné a plastické charakteristiky materiálu. Tieto sú doplnené o vyhodnotenie geometrických a štruktúrnych parametrov tvárnených vzoriek.

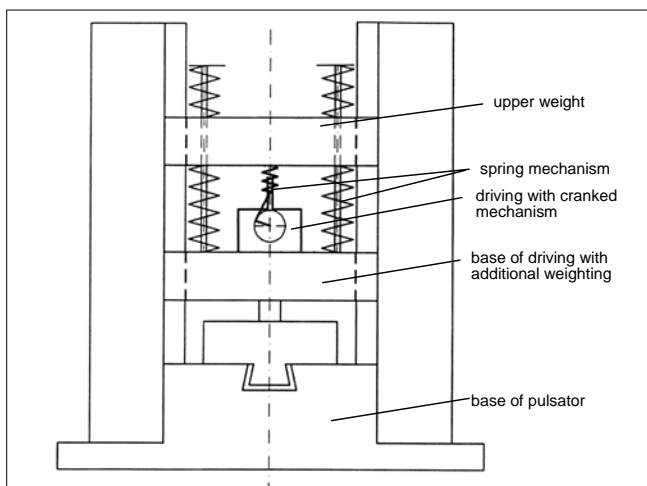


Fig.1 Pulsation equipment

2. Materiál a metodika experimentov

Pre experiment na pulzátore boli použité vzorky tvaru valčiek o rozmeroch $h_0=30\text{mm}$, $d_0=20\text{mm}$. Chemické zloženie experimentálneho materiálu je uvedené v **Tab.1**. Experimentálny program, zahrňujúci teploty ohrevu vzoriek a deformačné teploty, spolu s volenou frekvenciou pulzov, je uvedený v **Tab.2**. Pulzačné tvárnenie sa uskutočnilo pri deformačných teplotách, ktoré reprezentovali teploty dokovania, pričom po kovaní bola štruktúra fixovaná kalením vzoriek do vody. Po tvárnení a zakalení vzoriek sa vyhodnotili základne mechanické vlastnosti materiálu (medza sklzu a medza pevnosti, z plastických charakteristík, ťažnosť a kontrakcia) v súlade s STN 42 0321. Ďalej bola hodnotená geometrická charakteristika vzoriek d_s/h_0 , v závislosti na parametroch tvárnenia a parameter „ Θ “, ktorý bol stanovený ako pomer $(V_{\text{Barrel}} / V_0) \times 100$ [%], pre posúdenie dosiahnutej súdkovitosti v závislosti na zvolených podmienkach pulzačného tvárnenia. Stredná veľkosť austenitického zrna v závislosti na parametroch pulzačného tvárnenia, bola hodnotená pomocou optickej svetelnej mikroskopie a s použitím kruhovej metódy. Stredný priemer zrna reprezentuje strednú hodnotu z desiatich meraní.

Table 1 Chemical composition of steel grade 17 247 (Cr18Ni10) [weight %]

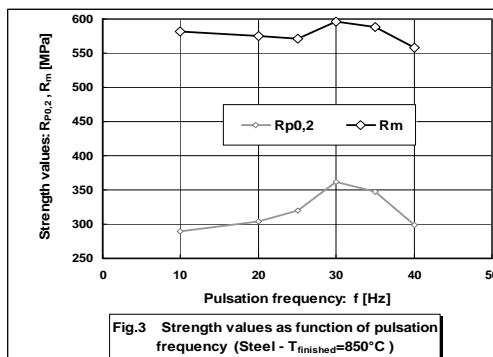
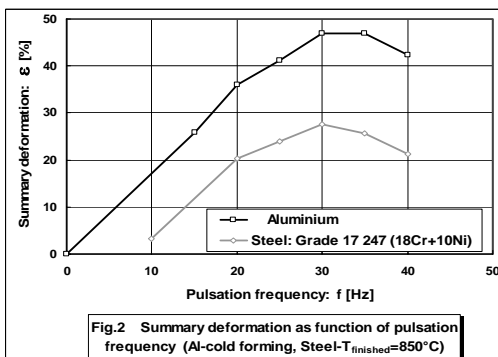
steel	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	P	S
<i>CR18NI10</i>	0,03	1,2	0,5	18,6	10,8	0,26	0,008	0,023

Table 2 Experimental procedure

Heating temperature [°C]	Deformation temperature [°C]	Pulsation frequency [Hz]	Note
1100	850	10	The specimens after pulsation forming were water quenched
		20	
		25	
		30	
		35	
		40	

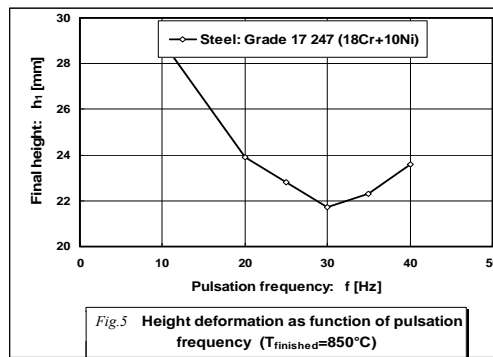
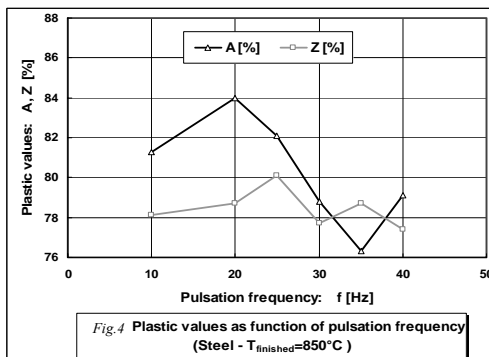
3. Dosiiahnuté výsledky a ich diskusia

Sumárna deformácia dosiahnutá pri pulzačnom tvárnení vzoriek zo skúmanej ocele, ako funkcia frekvencie pulzov, je uvedená na **Fig.2**. Na grafe, je pre porovnanie zachytený aj priebeh závislosti referenčného Al-materiálu, deformovaného za studena. Priebeh $R_{p0,2}$ a R_m po deformácii, v závislosti na frekvencii pulzov, pre konštantný tepelný režim je uvedený na **Fig.3**. S rastom frekvencie pulzov, pri danom teplotnom režime, sa dosiahli max. hodnoty obidvoch pevnostných charakteristík pri frekvenciách 25 až 35 Hz (max. hodnota obidvoch charakteristík pri frekvencii 30 Hz). Medza pevnosti, v závislosti na pulzačnej frekvencii, vykazuje podstatne nižšiu citlivosť v porovnaní s medzou sklzu, u ktorej rozdiel medzi maximom a minimom hodnoty dosahuje až 80 MPa.

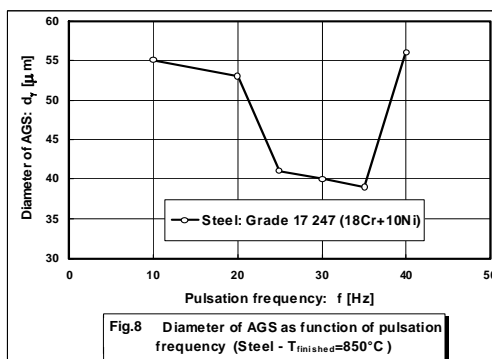
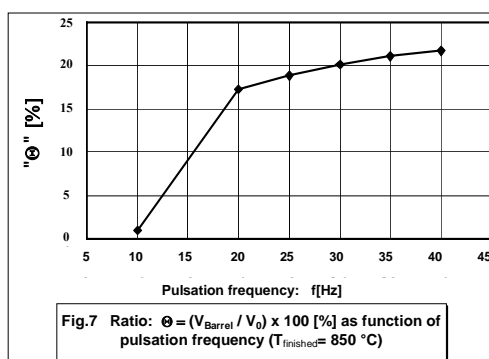
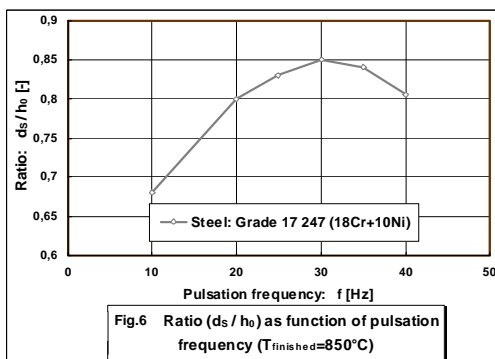


Priebeh ťažnosti a kontrakcie pri koincidenčnom teplotnom režime ohrevu a deformácie experimentálneho materiálu v závislosti na pulzačnej frekvencii je uvedený na **Fig.4**. Max. hodnota ťažnosti A_5 sa dosiahla pri frekvencii pulzov 20 Hz, max. hodnota kontrakcie pri frekvencii pulzov 25 Hz. Pri frekvenciách 25 až 35 Hz, pri ktorých boli zaznamenané najvyššie hodnoty pevnosti materiálu, sa dosiahla súčasne najnižšia hodnota ťažnosti (pri frekvencii pulzov 35 Hz) a jedna z najnižších hladín kontrakcie (pri frekvencii pulzov 30 Hz), čo odpovedá základnému priebehu pevnostne – plastických charakteristík materiálu po plastickej deformácii. Najvyššia hodnota kontrakcie (80%), ktorá je jedným z ukazovateľov tváriteľnosti materiálu a u kovaných výrobkov by sa z hľadiska eliminácie rizík

pri tvárnení mala pohybovať nad 60%, sa dosiahla pri frekvencii 25 Hz, čo odpovedá hladine medze pevnosti 570 MPa. V rozsahu skúšaných frekvencií sa dosiahli najvyššie hodnoty ťažnosti (nad 80%) pri pulzačných frekvenciách 10 až 25 Hz (najvyššia ťažnosť pri 20 Hz), pričom tento interval pulzačných frekvencií odpovedá aj najvyšším dosiahnutým hodnotám kontrakcie. Závislosť zmeny výšky vzorky h_1 na frekvencii pulzov je na Fig.5.



Závislosť pomeru d_s/h_0 na frekvencii pulzov je uvedená na Fig.6. Z Fig.7., na ktorom je vypočítaná hodnota parametra „ Θ “ v závislosti na frekvencii pulzov, z ktorej vyplýva, že s rastom frekvencie v skúšanom rozsahu od 10 do 40 Hz parameter „ Θ “ rastie, čo poukazuje na rast nerovnomernosti deformácie, ktorá môže znamenať určité riziká z hľadiska tváriteľnosti. Po prekročení frekvencie pulzov 20 Hz sa ale rast súdkovitosti výrazne spomaľuje.



Závislosť veľkosti austenitického zrna vo vzťahu k aplikovaným frekvenciám pulzov je uvedená na Fig.8. K najväčšiemu zjemneniu zrna (okolo 40 μm) došlo v rozsahu frekvencií 25 až 35 Hz (pomerná deformácia $\sim 25\%$ - Fig.2.), čo odpovedá rozsahu frekvencií v ktorom sa dosiahla max. kontrakcia (80 %) a ťažnosť na úrovni medzi 80 a 85 %. V tomto intervale frekvencií pulzov je možné získať aj max. hodnoty

pevnostných vlastností materiálu, čo poukazuje na možnosti dosahovania dobrého kompromisu medzi pevnostnými a plastickými vlastnosťami skúšaného materiálu.

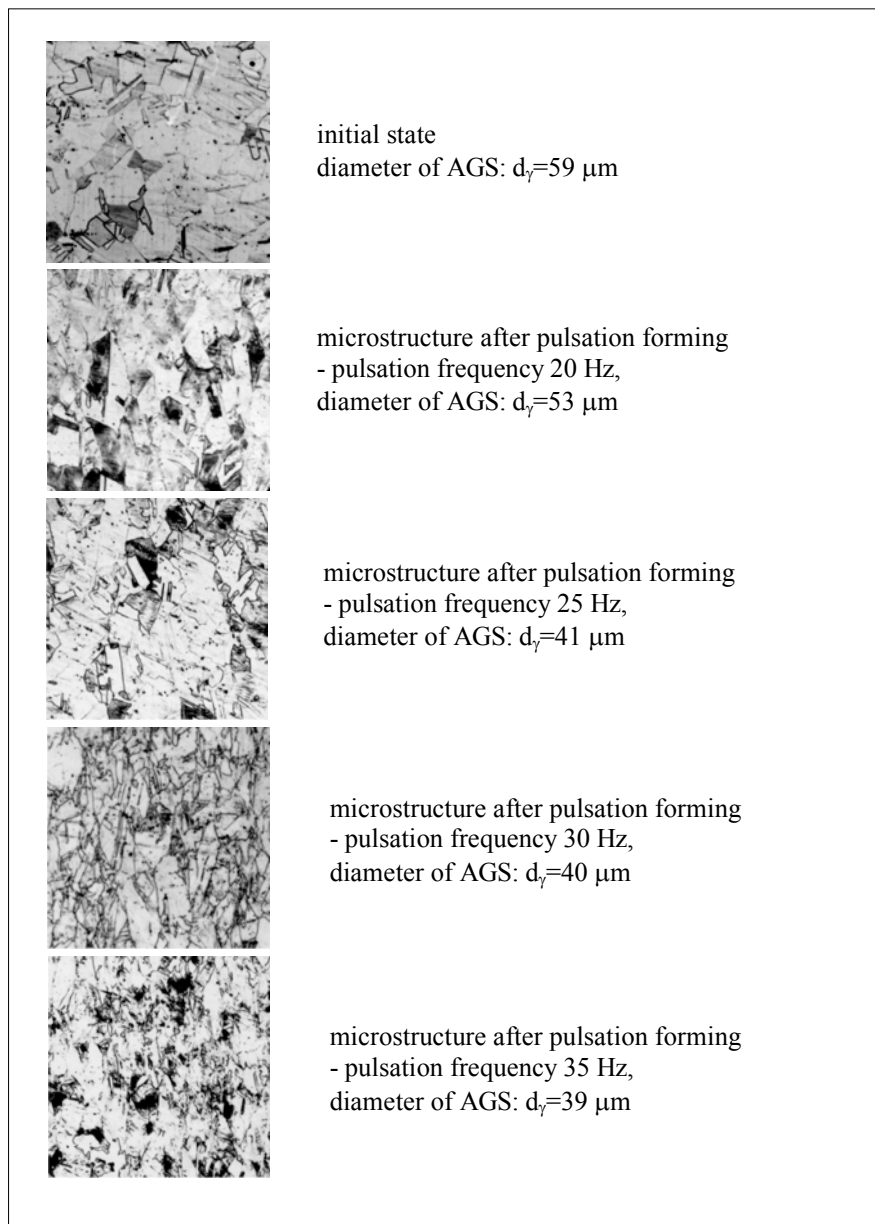


Fig.9 Microstructure of initial state and microstructures after pulsation forming (magnitude 50x)

s východzím stavom pred tvárnením sú dokumentované na **Fig.9**. Repräsentujú stavy, pri ktorých sa dosiahlo najväčšie zjemnenie zrna. Východzia veľkosť zrna bola $59 \mu\text{m}$. Štruktúra bola po tvárnení fixovaná, pričom pri najmenej frekvencii pulzov (10 Hz) sa po tvárnení dosiahlo rekryštalizované zrna v celom objeme materiálu. S rastom frekvencie pulzov došlo spolu

k zníženiu podielu rekryštalizovaných zŕn a pri frekvencii 25 Hz bola štruktúra tvorená prevažne elongovanými zrnami. Pri ďalšom zvýšení frekvencie došlo k opätovnej reštaurácii austenitického zrna s výraznejším stupňom heterogenity.

Záver

Boli prezentované prvé výsledky experimentu pulzačného tvárnenia na pulzátore inštalovanom na Katedre tvárnenia kovov–HF–TU. Pre študovaný materiál, ktorý bol tvárnený pri konštantnom teplotnom režime (teplota ohrevu: 1100°C, deformačná teplota: 850°C) možno formulovať tieto závery:

1. Najpriaznivejšie hodnoty kontrakcie materiálu s miernym poklesom „Z“ pri frekvencii pulzov 30 Hz sa dosiahli v oblasti pulzačnej frekvencie 20 až 35 Hz, pričom tento interval pulzov odpovedá aj najvyšším pevnostným charakteristikám.
2. Hodnoty ťažnosti a kontrakcie sa v celom intervale frekvencie pulzov (10 až 40 Hz) pohybujú na úrovni zabezpečujúcej spoľahlivú tváriteľnosť skúšaného materiálu, bez vzniku trhlín.
3. Nerovnomernosť deformácie (stupeň súdkovitosti vzoriek) sa s rastom frekvencie pulzov do 20 Hz výrazne zvyšuje, ďalší nárast súdkovitosti s rastom frekvencie pulzov nad 20 Hz je menej výrazný.
4. Priemer austenitického zrna vykazuje najväčšie zjemnenie ($d_{str} \sim 40 \mu m$) pri frekvencii pulzov 25 až 35 Hz.

PodĎakovanie

Táto práca mohla byť publikovaná vďaka grantovej podpore medzinárodnému projektu EUREKA E! 2336.

Literatúra

- [1] Sakai T., Jonas J.J.: Acta Metallurgica et Materialia, Vol. 32, 1984, 189-209
- [2] Humphries F.J., Hatherly M.: Recrystallization and Related Annealing Phenomena., Pergamonn Press, 1995, 262
- [3] Polák K.: Dynamické parametre tvárnenia, In: Medzinárodná vedecká konferencia FORMING 99, Zlaté Hory, Česká republika, 64-71
- [4] Cherkaoui M., et al: Int. Journal of Plasticity, Vol. 16, 2000, 1215-1241