

**IDENTIFIKÁCIA VPLYVU MATERIÁLOVÝCH A TECHNOLOGICKÝCH
PARAMETROV NA NAMÁHANIE PRVKOV ZAKRUŽOVACIEHO ZARIADENIA**

**THE IDENTIFICATION OF INFLUENCE OF MATERIAL AND TECHNOLOGICAL
PARAMETERS ON THE STRESS OF CURLING DEVICE COMPONENTS**

František Trebuňa, Vladimír Jurica, Peter Bigoš, Juraj Ritók¹

ABSTRACT

This contribution results from our presentations in the framework of EAN'98 and EAN 99. The stress level of arm is evaluated by means of experimentally determined loading during the production of helical welded pipes. The arm is suitable adjusted and parameters of new pipe dimensions are limited. There is a relation between the force effect in the arm and the plasticing level of sheet during the curling process. This relation is used to control the set-up parameters of production devices.

Kľúčové slová: *identifikácia, skružovanie, materiálové a technologické parametre*

V príspevkoch autorov na konferenciách EAN98 a EAN99 bolo poukázané na niektoré otázky súvisiace a analyticko-experimentálnym určením jednotlivých vplyvov na namáhanie ramena zakružovacieho zariadenia. Na základe uvedených výsledkov boli vykonané návrhy úprav konštrukčných uzlov pre zakružovacie zariadenie z ktorých najpodstatnejších zmien dosiahlo rameno zakružovacieho stroja.

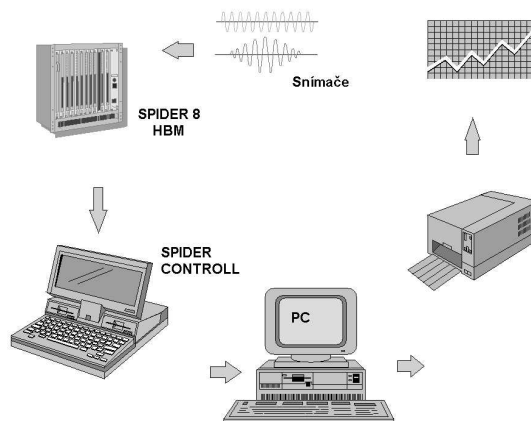
Rameno je v procese zakružovania vsunuté do tvoriacej sa skrutkovice. Translačný pohyb ramena vo vertikálnom smere pri zoraďovaní zariadenia ovplyvňuje veľkosť plastickej deformácie ohýbaného pásu. Rameno je tiež nosičom zväzacej techniky s jej riadiacimi prvkami, dopravou zväzacieho materiálu, tavidla ale i jeho odsávania čo vo veľkej miere limituje tvar a rozmery priečného prierezu ramena. O analýze silového pôsobenia na rameno bolo už pojednané v predchádzajúcich prácach. Išlo ako o analyticko-numerické riešenie veľkosti tvarovacích síl tak i experimentálne prostredníctvom dynamometrov, ktoré jednoznačne umožňujú určiť veľkosť tvarovacej sily. Pretože rameno a ostatné nové prvky zariadenia boli podľa návrhu autorov vyrobené s určitými odchýlkami a zariadenie bolo potrebné pred uvedením do trvalej prevádzky odskúšať, pristúpilo sa k vykonaniu následných prác:

- overenie funkčnosti dynamometrov, ktoré boli navrhnuté vyrobené a ciachované zhotoviteľom
- prispôbienie výstupných konektorov pre nový typ tenzometrickej aparatury SPIDER 8 fy. HBM.

¹ Prof.Ing.František Trebuňa,CSc., Doc.Ing.Vladimír Jurica, CSc., Katedra aplikovanej mechaniky,
Prof.Ing.Peter Bigoš,CSc., Ing.Juraj Ritók, Katedra dopravných zariadení a logistiky,
Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, SK 041 87 Košice
e-mail: bigi, ritok, trebuna@tuke.sk

- úprava programového produktu CATMAN pre externe ciachovanie
- ciachovanie dynamometrov v novom reťazci a vyhotovenie ciachovných kriviek
- aplikácia dynamometrov priamo na zakružovacom agregáte.
- vlastné tenzometrické meranie podľa metodiky vypracovanej riešiteľským kolektívom v predchádzajúcom období
- vyhodnotenie meraní silových pomerov na ramene.
- podrobný rozbor nameraných hodnôt síl prítlaku, síl na malom i veľkom dynamometri a ich amplitúd a gradientov pri jednotlivých materiáloch a hrúbkach .
- porovnanie veľkosti síl a charakteristík s nameranými časovými priebehmi pri meraniach síl na pôvodnom zakružovacom ramene.
- zohľadnenie odchýlok v geometrii a rozmeroch nového ramena od navrhnutého ramena.
- určenie geometrických charakteristík existujúceho ramena.
- určenie extrémnych hodnôt napätí v novom ramene po zohľadnení nových zmien i nameraných časových priebehov veľkosti síl prítlaku.
- diskusia k obmedzeniam ,ktoré vyplývajú z teoretického riešenia uvedeného v správach [3],[4],[6].
- závery a návrhy odporúčané.

Pretože posledné merania s uvedenými dynamometrami boli vykonané v roku 98 a v prvej polovici roku 99, bolo potrebné overiť ich funkčnosť a prispôbiť výstupné konektory novej tenzometrickej aparatury SPIDER 8, ktorá umožňuje vyradiť z meracieho reťazca AD – prevodník (pozri obr.1).



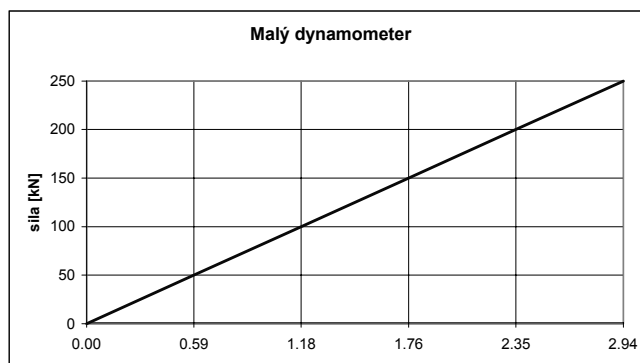
Obr.1 Merací reťazec

Táto skutočnosť na druhej strane vyvolala potrebu nového ciachovania dynamometrov, ktoré bolo vykonané na 1000 kN lise Fakulty BERG TU v Košiciach. Pri ciachovaní bol použitý postup ako pri riešení predchádzajúcej úlohy. Zaťažovanie bolo vykonané stupňovite tak, že pre malý dynamometer boli hladiny zaťažovania zvyšované postupne o 50 kN z hodnoty 0 na 200 kN a následne zase znižované až do nuly. Postup bol niekoľkokrát zopakovaný. Ciachovná krivka je na obr. 2.

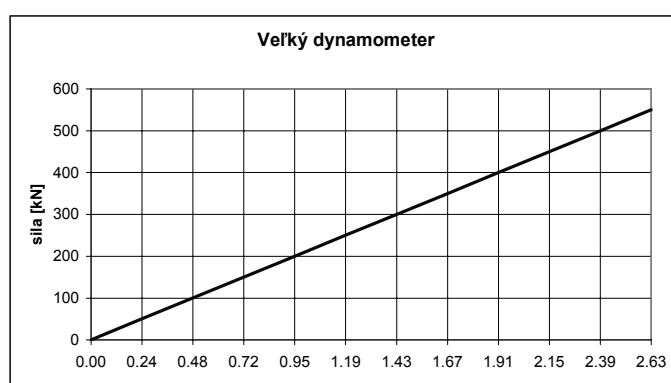
Podobne sa postupovalo aj pri ciachovaní veľkého dynamometra. Tu jednotlivé stupne boli o hodnote približne 100 kN a posledný 50 kN.

Dynamometer bol ciachovaný do hodnoty 550 kN a následne bol takým istým postupom odľahčený až na nulovú hodnotu. Postup bol niekoľkokrát zopakovaný. Na obr. 3

je ciachovná krivka vyjadrujúca závislosť príslušnej nameranej zmeny elektrickej veličiny na veľkosti sily pôsobiacej na dynamometer.



Obr.2 Ciachovná krivka pre malý dynamometer



Obr.3 Ciachovná krivka pre veľký dynamometer

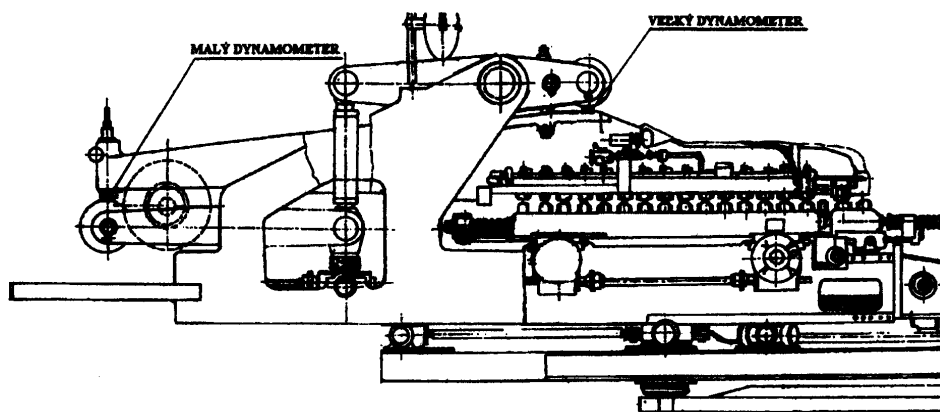
Dynamometre boli na agregát nainštalované v miestach podľa obr. 4. Kvôli určitým zmenám v usporiadaní kinematických dvojíc boli v miestach aplikácie dynamometrov určité zmeny, čo vyžadovalo pri veľkom dynamometri uplatnenie podložky hrúbky 20 mm. Pretože polohy dynamometrov sú presne definované vyfrézovanými zárezmi na jednej resp. druhej strane členov kinematického reťazca zariadenia, nebolo potrebné pri inštalácii prijímať žiadne ďalšie opatrenia pre zaistenie ich polohy.

Po pripojení dynamometrov k tenzometrickej aparatúre a vyvážení mostíkov mohlo sa pristúpiť k vlastnému tenzometrickému meraniu síl pôsobiacich na rameno. So zreteľom na výpočtový model síl pôsobiacich na rameno (pozri obr. 5) a za predpokladu, že v technologickom procese sú sily prítlaču kladiek rovnomerne rozložené po jednotlivých aktívnych kladkách ramena bude veľkosť technologickej sily prítlaču v procese skružovania v danom časovom okamžiku určená vzťahom

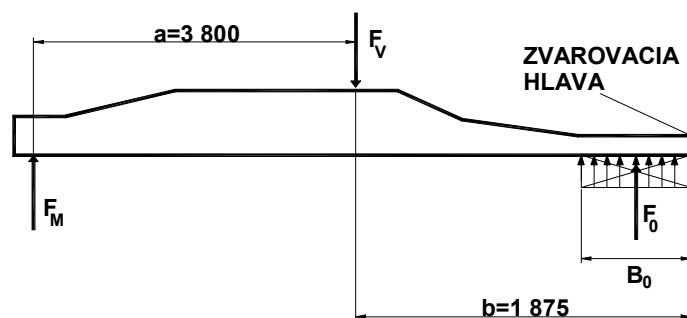
$$F_o(t) = F_v(t) - F_M(t)$$

kde $F_v(t)$ je sila registrovaná veľkým dynamometrom
 $F_M(t)$ je sila registrovaná malým dynamometrom

V skutočnosti v dôsledku poddajnosti ramena, a kontaktnej tuhosti v kinematických väzbách budú technologicke sily na kladkách bližších ku koncu ramena menšie a teda sila F_o je bližšie k miestu aplikácie veľkého dynamometra. Uvedený fakt znižuje namáhanie ramena, ale zhoršuje geometriu vyrábanej rúry.



Obr.4 Miesta aplikácie dynamometrov na skružovacom agregáte



Obr.5 Silové pomery na ramene

Vlastné tenzometrické meranie bolo zahájené už pred nastavením prítlaku. Úplne voľné dynamometre boli vynulované a následne bol registrovaný prítlak už pred spustením agregátu. Merania 21.12.1999 boli vykonané pre materiál St37.0 o pevnosti 370 MPa. Šírka skružovaného pásu bola 795 mm, hrúbka pásu 7,1 mm. V priebehu merania bol menený prítlak niekoľkokrát po sebe. Zmeny síl v priebehu týchto manipulácií boli registrované a môžu slúžiť k vytvoreniu kvalifikovaných stanovísk týkajúcich sa ako vhodnosti nastavenia prítlaku z hľadiska kvality vyrábanej produkcie, tak i z hľadiska namáhania jednotlivých prvkov agregátu.

V druhej časti merania bol skružovaný materiál tých istých mechanických vlastností avšak hrúbka bola zmenená na 5 mm. Meraním boli registrované časové priebehy síl na malom i veľkom dynamometri aj pri prechode priečného zvaru agregátom.

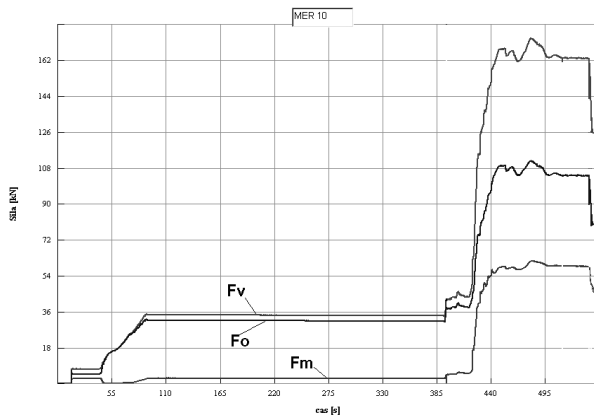
Druhá etapa merania sa uskutočnila 22.12.1999. Pás šírky 795 mm, hrúbky 12,5 mm. z toho istého materiálu bol skružovaný na rúru o priemere 406 mm. Po opätovnom pripojení dynamometrov a vynulované tenzometrickej aparatúry bol registrovaný časový priebeh veľkosti síl ako na malom, tak i na veľkom dynamometri a tiež sila prítlaku v procese zakružovania.

V priebehu výroby skutkovicovo zvárané rúry hrúbky 12,5 mm priemeru 406 mm bola niekoľko krát menená veľkosť prítlaku čo je zaznamenaná na diagramoch meraní. V závere merania bol na tento pás privarený pás materiálu KX 60 (St 480.7TM) hrúbky 11 mm. V procese výroby rúry z uvedeného materiálu bol zaregistrovaný časový priebeh síl pri prechode priečného zvaru agregátom a následne boli registrované i údaje časových priebehov síl pri zmenách prítlaku. Po registrácii a uložení nameraných údajov bolo meranie ukončené.

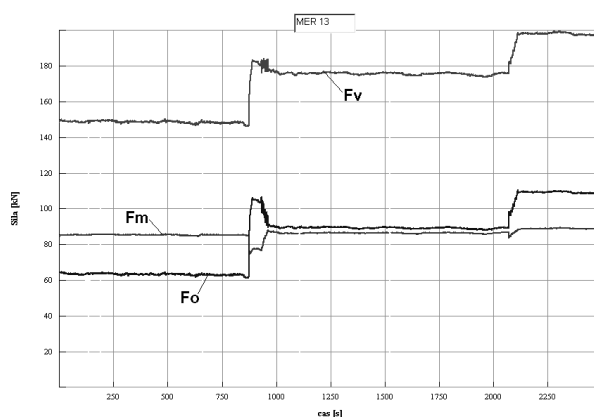
Na obr.6 je uvedené opätovné vyváženie tenzometrickej aparatúry, následné nastavenie prítlaku (časový interval približne do 400. sekundy) a prechod priečného zvaru

pásu hrúbky 5 mm na pás hrúbky 12,5 mm a skružovanie rúry s hrúbkou steny 12,5mm z materiálu St370 (približne v čase 420 sekúnd). V 540. sekunde bolo skružovanie zastavené.

Na obr.7 je uvedená časová závislosť priebehu síl na malom a veľkom dynamometri a sila prítlaču pri skružovaní rúry 406 mm hrúbky 12,5mm z materiálu St37.0. V časovom okamihu 825 sek. prechádza skružovacím agregátom priečny zvar, ktorým je pripojený materiál StE480.7TM (KX60) hrúbky 11 mm.



Obr.6



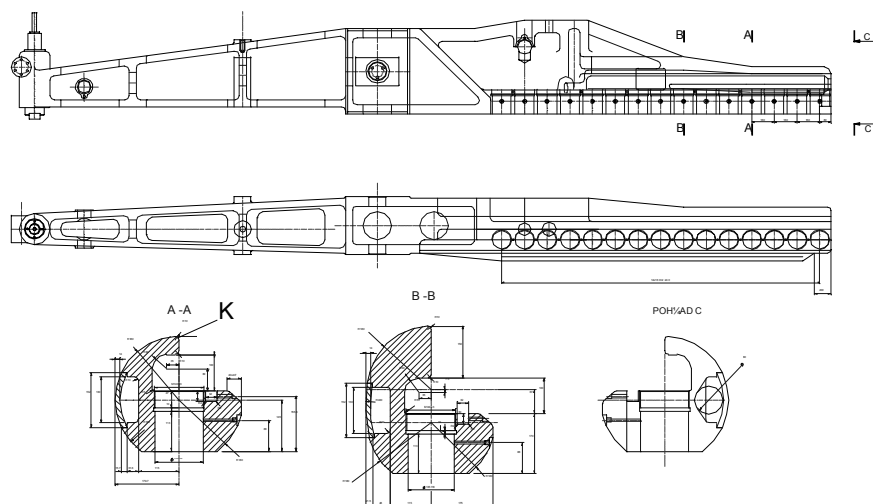
Obr.7

Na základe nameraných veľkosti síl prítlaču a síl registrovaných malým a veľkým dynamometrom možno konštatovať nasledovné skutočnosti:

- zoradeniu prvkov agregátu po výmene ramena výraznou mierou ovplyvnilo dynamiku časových priebehov silových účinkov, čo sa prejavuje podstatne menšími amplitúdami registrovaných síl, teda znížením dynamického zaťaženia agregátu a tým i jeho menšiemu únavovému poškodzovaniu,
- zníženie amplitúdy všetkých meraných síl a vypočítanej sily prítlaču bolo registrované nielen pri materiály nižšej akosti, ale i pri materiály StE 480.7 TM (KX 60),
- proces skružovania je plynulejší čo jednoznačne vplýva na kvalitu skružovaného pásu a na presnosť geometrie rúry.
- namerané hodnoty síl plne korešpondujú vypočítanými hodnotami síl prítlaču uvedeným v prácach [1] a [2] a potvrdzujú extrapolované závery z vyššie uvedených prác pri výrobe rúr priemeru 406 mm,
- meranie síl pri zvyšovaní resp. znižovaní prítlaču jasne dokumentuje, že prítlakom ramena o jeden resp. pol dielika podľa typu skružovaného materiálu sa výrazne ovplyvňuje veľkosť sily prítlaču, čo môže vyvolať niekoľkonásobné zvýšenie napätí v ramene,

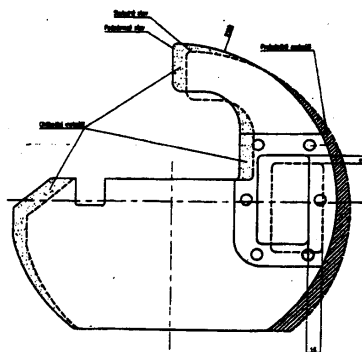
- veľkosť sily prítlaču výrazne mení rozloženie zvyškových vnútorných napätí v rúre po zvarení a v prípade nedostatočného prítlaču vnútorné napätia v podstatnej miere znižujú rozsah prevádzkových tlakov v takýchto rúrach. Tieto skutočnosti boli v plnom rozsahu potvrdené i po vykonaní skúšky rozrezaním časti rúr vyrobených pri rôznych prítlakoch.

Upravené rameno skružovacieho agregátu navrhnuté riešiteľským kolektívom po zohľadnení požiadaviek technologov ako výstup z riešenia úlohy v roku 1999 má tvar podľa obr.8.



Obr.8

V dôsledku zdeformovania ramena v priebehu jeho odliatia bolo nevyhnutné zabezpečiť priamosť tým, že sa v priereze C-C- koniec ramena pristúpilo k úprave tvaru odobratím materiálu prierezu vyznačeného vyšrafovaním. Toto odobratie materiálu zmenilo pôvodný tvar a veľkosť prierehu. Na druhej strane (vyznačené bodkovane) vlastne chýba časť prierezu pozri obr.9.



Obr.9

Uvedený rozdiel postupne zaniká a v priereze A-A ramena sa zmena neprejavuje. Počítačom je namodelovaná príslušná zmena (za predpokladu lineárnej zmeny prierezu ramena od prierezu C po nulovú zmenu v priereze A) podľa obr. 8.

Z údajov ktoré boli určené pre zmenený tvar prierezu vyplýva, že plocha prierehu bola znížená o 40% a extrémne osovú kvadratické momenty i napriek pomerne zložitým geometrickým tvarom poklesli o 50% respektíve 22%. Práve tieto veličiny priamo ovplyvňujú veľkosti napätí od ohybu ramena vyvolaného silami prítlaču ktorými pôsobí skružovací pás na rameno a naopak.

Pre skružovanie materiálu StE 480.7 TM a hodnote spojitého zaťaženia potrebného na plastizáciu prierezu ($q=581,6\text{Nmm}^{-1}$) bude hodnota ohybového momentu v kritickom priereze A-A, pozri [1,4]

$$M_0 = 174,7 \text{ kNm.}$$

Z porovnania maximálnych napätí v priereze A-A ramien pôvodne navrhnutého a vyrobeného vyplýva, že napätie v bode K dosiahlo hodnotu

$$\sigma_K = 138,2 \text{ MPa}$$

čo je zvýšenie oproti pôvodnému návrhu o 14%. Ak zohľadníme i tú skutočnosť, že hranica klzu pre tento materiál dosahuje až 522MPa, čo je ďalšie zvýšenie namáhania (pri lineárnej extrapolácii) o ďalších takmer 9% potom zvýšenie napätia predstavuje až 23% oproti pôvodnému návrhu.

Ak uvážime, že ide o miznúce namáhanie v bode ramena, teda amplitúda časovo premeneného zaťaženia dosahuje 70MPa možno zaťaženie považovať za pomerne vysoké a vrubové účinky je potrebné znížiť na najmenšiu možnú mieru. I to je dôvodom prečo je potrebné v mieste odpálenia horizontálneho výstupku znížiť koncentrátor napätia na minimum. Taktiež je potrebné plochy, ktoré majú hlboké vruby po odpálení zarovnať napr. obrúsením. Vysoké hodnoty amplitúd miznúceho namáhania ramena vyžadujú tiež homogénnu štruktúru bez vnútorných defektov makro a mikroskopickkej povahy.

Vrubový účinok podľa Heywooda [8] je teda rovný $\beta=1,77$. Medza únosnosti pri striedavom ohybe bude

$$\sigma_{CO*} = \sigma_{CO} \cdot v_o \cdot \eta_p / \beta = 200 \cdot 1 \cdot 0,7 / 1,77$$

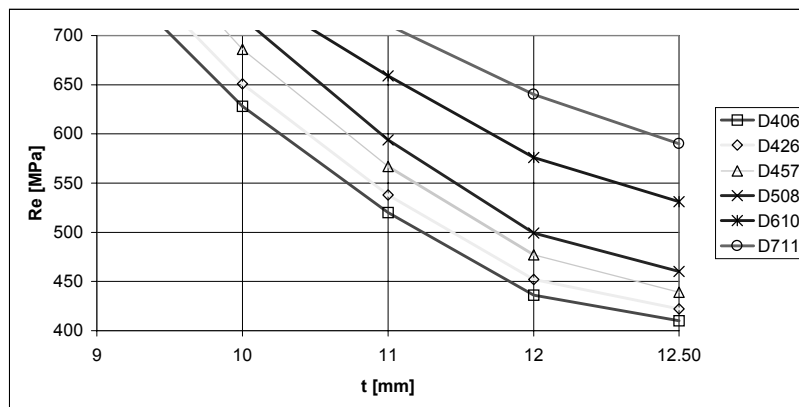
$$\sigma_{CO*} = 79 \text{ MPa}$$

a pri miznúcom ohybe

$$\sigma_{hCO*} = \sigma_{hCO} \cdot v_o \cdot \eta_p / \beta = 350 \cdot 1 \cdot 0,7 / 1,77$$

$$\sigma_{hCO*} = 138,4 \text{ MPa.}$$

Ak porovnáme vypočítanú hodnotu napätia v bode K vyrobeného ramena a hodnotu hranice únosnosti, bezpečnosť len máličko prevyšuje hodnotu 1. To úplne zreteľne poukazuje na skutočnosť, že ďalšie zvyšovanie zaťaženia je priamo neprípustné a preto je naozaj nevyhnutné dodržiavať zásadu, že pri určitej hranici klzu materiálu pásu nie je možné na vyrobenom ramene skružovať rúru s priemerom 406mm bez obmedzenia.



Obr.10

Pri medzi klzu $R_e \leq 415 \text{ MPa} - 420 \text{ MPa}$ je možné skružovať pás do hrúbky 12,5mm a pri hranici klzu do 480MPa je možné skružovať pás do hrúbky 11,5mm a pri hranici klzu do 522MPa len do hrúbky 10,7 mm.

Na obr.10 sú obmedzenia pre jednotlivé priemery, materiály s maximálnymi medzami klzu a pre jednotlivé hrúbky materiálu, čo možno považovať za jeden z kľúčových záverov pre obmedzenia výroby skrutkovicovo zvaraných rúr.

Záver

Meraním silových pomerov na ramene prostredníctvom dynamometrov boli zistené skutočnosti, ktoré sú obsahom správy [4]. Na ich základe bolo možné vyvodiť závery týkajúce sa napäťových pomerov v procese výroby rúr priemeru 406 mm z materiálov vyšších pevností (s hranicou klzu až do 522MPa).

Na základe vypočítaných hodnôt napätí z tenzometricky určených síl prítlaku a analytickými metódami určených síl potrebných na splastizovanie pásu pri výrobe skrutkovicovo zváraných rúr, možno konštatovať nasledovné skutočnosti:

- silové a napäťové pomery na vyrobenom ramene dobre korešpondujú s hodnotami určenými pre riešenie návrhu nového ramena.
- merania jednoznačne dokumentujú zníženie dynamickej zložky síl čo je s najväčšou pravdepodobnosťou vyvolané vhodnejším nastavením jednotlivých prvkov skružovacieho agregátu po montáži nového ramena.
- merania potvrdili, že nastavenie prítlaku bez zreteľa na potrebu veľkosti plastifikácie prierezu pásu je veľmi hrubé a môže znásobovať zaťaženie ramena i agregátu. To je dôvodom pre zmenu systému riadenia prítlaku na základe merania síl dynamometrami a teda i skutočnej sily prítlaku na ramene.
- meraniami bolo potvrdené, že pri optimálnej plastifikácii pásu (určenej hodnotou zovretia hotovej rúry po jej rozrezaní) sa obmedzeniami možnosti výroby rúr v závislosti na hranici klzu materiálu treba jednoznačne riadiť. V opačnom prípade môže dôjsť k porušeniu ramena.
- pri výrobe ďalšieho ramena je potrebné dodržať geometriu upraveného ramena a nepripustiť vznik zbytočných koncentrátorov napätí.
- kvôli využitiu vysokých mechanických vlastností materiálu rúr v prevádzke je potrebné minimalizovať zvyškové napätia vo vyrobených rúrach čo vyžaduje dôsledné nastavenia síl prítlaku. Za týmto účelom kontinuálne sledovanie uvedených parametrov bude riešiť tieto skutočnosti.

Literatúra

- [1] Jurica,V.,Trebuňa,F.,Bocko,J.: Analyticko-experimentálny postup riešenia úpravy ramena zakružovacieho stroja.In: Acta Mechanica Slovaca, 2/1998, EAN98 Košice, ISSN 1335-2393
- [2] Jurica,V., Trebuňa F., Bigoš,P., Ritók,J.: Identifikácia namáhania ramena skružovacieho stroja pre výrobu skrutkovicovo zváraných rúr. In: 37. Mezinárodní konference EAN'99. Fernštát pod Radhoštěm, 1999, ISBN 80-7078-672-8.
- [3] Trebuňa F. a kol.: Expertíza existujúceho ramena a jeho úprava pre zabezpečenie možnosti výroby rúr s priermi 406 až 1420mm z materiálu StE 480.7 TM. Výskumná správa SjF TU v Košiciach marec-september 1998. 70. str.
- [4] Trebuňa F. a kol.: Úprava ramena za účelom zabezpečenia potrebnej technologickej vôle. Dodatok k [1]. SjF TU v Košiciach, Košice, október 1998. 9. str.
- [5] Trebuňa F. Bigoš P.: Intenzifikácia technologickej spôsobilosti ťažkých nosných konštrukcií. Viena Košice 1998. 345.str.
- [6] Trebuňa F. a kol.: Tenzometrické merania silových pomerov na skružovacom ramene pri výrobe rúr priemeru 406 mm. SjF TU v Košiciach, Košice, december 1999.
- [7] Černoch Strojne technická príručka 1,2 SNTL Praha 1977.
- [8] Trebuňa F. Jurica.V.: Príručka pružnosti a pevnosti, Alfa Bratislava 1976.
- [9] Heywood R.B.: Designing against Fatigue of Metals. New York Reinhold Publ. 1962.