

# ANALIZA CALITĂȚII PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIN CURBARE LA RECE A ELEMENTELOR METALICE DE SUSȚINERE

Dr. ing. Valeriu PLEȘEA, CS 1

Universitatea „Constantin Brâncuși” din Tg. Jiu

**REZUMAT.** Procesul de curbare prin deformare plastică la rece a profilelor laminate SG (actual SG 23) utilizate pentru execuția elementelor susținerii metalice a excavațiilor subterane, respectiv a galeriilor de mină, favorizează apariția și exercitarea la baza profilelor a unei stări complexe de tensiune remanentă, care generează amplificarea amorselor la montarea și funcționarea susținerii metalice în subteran, cu tot cortegiul de urmări defavorabile privind compromiterea cullsării și funcționării susținerii în regim optim de lucru, pentru sarcini mult mai reduse decât capacitatea portantă proiectată a susținerii. Lucrarea prezintă rezultatele obținute în urma calculului grafo-analitic și numeric de evaluare a stării de tensiune care se înregistrează în procesul de curbare la rece a profilelor.

**Cuvinte cheie:** profile laminate, susțineri metalice, curbare la rece, mașină cu role, excavații subterane, capacitate portantă, calcul grafo-analitic, model de discretizare, tensiuni și deformații, metoda elementului finit.

**ABSTRACT.** The process of bending by plastic deformation of the rolled profiles SG (currently, SG 23) used to manufacture metallic support elements of underground excavations, mine galleries respectively, favor the appearance and performance of a complex state of retained voltage at the base of the profiles, which generates an amplification of the primers during the installation and operation of underground metal support, translated into adverse consequences regarding the metallic support optimal operation under working loads much lower than the projected support capacity. This paper presents the results of numerical and graphic-analytical calculation used to assess of the tension that is recorded in the cold bending of profiles.

**Keywords:** rolled profiles, metal supports, cold bending, roller machine, underground excavation, bearing capacity, graphic-analytical calculation, mesh model, stress and strain, the finite element method.

## 1. INTRODUCERE

Cu largi domenii de folosință, susținerea metalică de tip culisant se execută din profile laminate tip jgheab, obținute prin laminare din oțeluri tip carbon-mangan (C-Mn) sau oțeluri slab aliate, care prevăd în compoziția chimică adaosuri reduse de elemente de aliere, respectiv sub 0,19 % vanadiu, niobiu, aluminiu sau titan și care, în țara noastră, s-au utilizat până în anul 1980 pentru uzinarea laminatelor tip SG-18 și SG-23, iar până în anul 1988 pentru uzinarea laminatului SG-29.

Din considerente economice, laminarea profilelor s-a făcut de la acea dată din oțeluri de marcă OPM 1 și, respectiv 31Mn4, caracterizate fără conținut în elemente de aliere, acestea fiind substituie prin creșteri ale conținutului de C, cu până la 70%, favorizând menținerea caracteristicilor mecanice de rezistență la valori limită superioare, pe seama însă a reducerii proprietăților de deformare și exploatare, sub limitele minime admisibile de eficiență, respectiv a alungirii, găturii și rezilienței. Reducerea proprietăților de deformare a oțelurilor nealiate și netratate termic, respectiv a tenacității, se datorează prezenței într-o pondere ridicată a concentrației de cementită – Fe<sub>3</sub>C

în structura ferito-perlitică a oțelului, cu tendință de creștere odată cu mărirea conținutului de C, conferind oțelului duritate și fragilitate ridicată, cu consecințe negative privind deficiențele de prelucrare care apar pe durata curbării prin deformare plastică la rece a profilelor. În străinătate, comparativ cu situația din țara noastră, menținerea caracteristicilor de deformare și exploatare a oțelurilor nealiate este posibilă prin aplicarea la furnizorii de laminate a tratamentelor termice de îmbunătățire (tratamentul termic de normalizare), necesare pentru recristalizarea și reomogenizarea structurii, conform prescripțiilor prevăzute de norma germană DIN 21544-85, situație, care, din păcate face notă discordantă cu modul de uzinare aplicat în țara noastră.

## 2. SITUAȚIA DEFICIENȚELOR ÎNREGISTRATE LA CURBAREA PROFILELOR

Curbarea profilelor continuă să se realizeze cu forțe proprii de către beneficiarii unor asemenea laminate, prin deformare plastică la rece, utilizând instalațiile (presele) dotate cu 3 role în cazul profi-

lului SG-23, ca singurul tip de profil care se mai fabrică în țară, inclusiv pentru profile din clase de greutate similare achiziționate din import. Caz distinct l-a înregistrat profilul laminat SG.29, a cărui uzinare a fost sistată imediat după anul 1990, care prevedea curbarea prin presare la rece prin intermediul unei prese speciale construite acestui scop [1], [2], [3].

În condițiile curbării la rece a profilelor, cu cât gradul de deformare este mai ridicat și oțelul posedă calități de fragilitate ridicată, cu atât rezistența pe care o opune structura acestuia devine mai mare, rezultând ca în cazul temperaturilor reduse de încălzire a semifabricatului (sub temperatura punctului solidus) și a vitezelor mari de deformare la rece (până la 3 cm/s) să se înregistreze un grad de ecruisare extrem de ridicat, favorizând amplificarea și extinderea microfisurilor de la capetele profilelor, cu apariția ruperilor de material care se amplifică la baza profilelor și se extind aproape pe întreaga lungime a elementelor.

Pe lângă aspectul de crăpare și despicare a profilelor, procesul curbării la rece determină formarea și exercitarea unei stări complexe de tensiune remanentă, atât în cazul elementelor din oțeluri aliate, cât mai ales în cazul celor din oțeluri nealiate și netratate termic. În urma analizării stării de tensiune remanentă a rezultat, că, cu cât gradul de deformare este mai mare, adică razele de curbură ale elementelor susținerii sunt mai reduse și, cu cât viteza de deformare este mai mare, respectiv numărul rolor instalației de curbare este mai redus, cu atât starea de tensiune remanentă înregistrează un grad mult mai pronunțat [2, 3].

### 3. EVALUAREA ANALITICĂ ȘI NUMERICĂ A STĂRII DE TENSIUNE REMANENTĂ CARE SE ÎNREGISTREAZĂ LA BAZA PROFILELOR

Din calculul grafo-analitic efectuat pentru cele trei tipuri de profile laminate și cele două stări de livrare a profilelor - stare îmbunătățită și stare neîmbunătățită, au rezultat, conform figurii 1, valorile momentului limită încovoietor și a tensiunilor remanente în domeniul plastic redată în tabelul 1 [3].

Din analiza rezultatelor obținute, se constată că pentru ambele stări de livrare a profilelor, gradul de încărcare este mare, mărimea stării de tensiune remanentă fiind superioară în cazul oțelului de marca OPM, consecința creșterii acesteia odată cu creșterea limitei de curgere ( $R_{p0,2}$ ) a materialului.

Comparativ cu procedeul grafo-analitic, care analizează problema de tensiune în contextul liniar elastic al materialului, în cazul evaluării prin metoda elementului finit (MEF), se consideră ipoteza neliniarității de material, folosindu-se pentru rezolvarea problemei modelul incremental, adică modelul „pas cu pas”, care consideră că în relația [3, 4]:

$$\{ R \} = | k | \cdot \{ U \} \quad (1)$$

neliniaritatea dintre forța  $\{ R \}$  și deplasările  $\{ U \}$  provine din matricea de rigiditate  $| k |$ , care reprezintă o funcție neliniară de proprietățile materialului, definită prin matricea de elasticitate  $| D(\sigma) |$ .

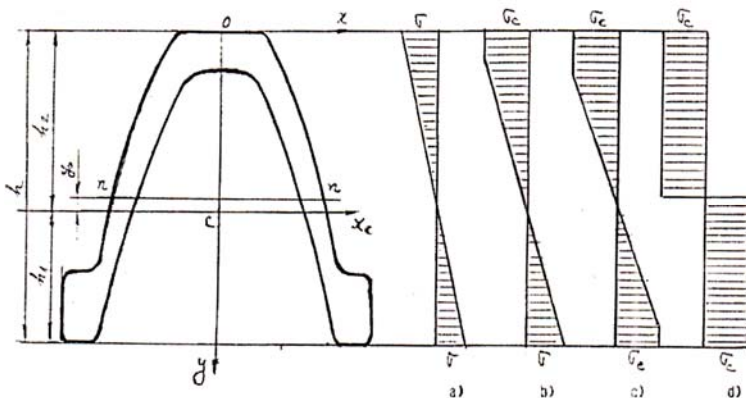


Fig. 1 Starea de tensiune remanentă ce se formează în elementele de susținere prin deformare plastică la rece:  
a) stare de tensiune pur elastică; b) stare de tensiune plastico-elastică unilaterală; c) stare de tensiune plastico-elastică bilaterală; d) stare de tensiune pur plastică.

Tabelul 1. Rezultatele calculului grafo-analitic a stării de tensiune remanentă în cazul curbării la rece a profilelor

Marca oțelului	Limita de curgere, $R_{p0,2}$ [MPa]	Tip laminat	Momentul plastic limită încovoietor $M_{LP}$ [daN·cm]	Forța limitată în domeniul plastic, $F_{LP}$ [daN]	Tensiunea de descărcare [MPa]	Tensiunea remanentă [MPa]			
						Punctul de calcul			
						1	2	3	4
Oțel aliat marca OPM	420	SG-18	246.960	9.878	525,45	105,5	-360	420	-105,5
		SG-23	359.730	14.389	536,91	116,9	-370	420	-116,9
		SG-29	489.050	39.480	514,95	94,9	-340	350	-94,9
Oțel nealiat mărcile OPM 1 și 31 Mn 4	350	SG-18	205.800	8.232	432,87	87,9	-310	350	-87,9
		SG-23	299.775	11.991	447,43	97,4	-310	350	-97,4
		SG-29	404.600	16.184	430,43	80,4	-290	350	-80,4

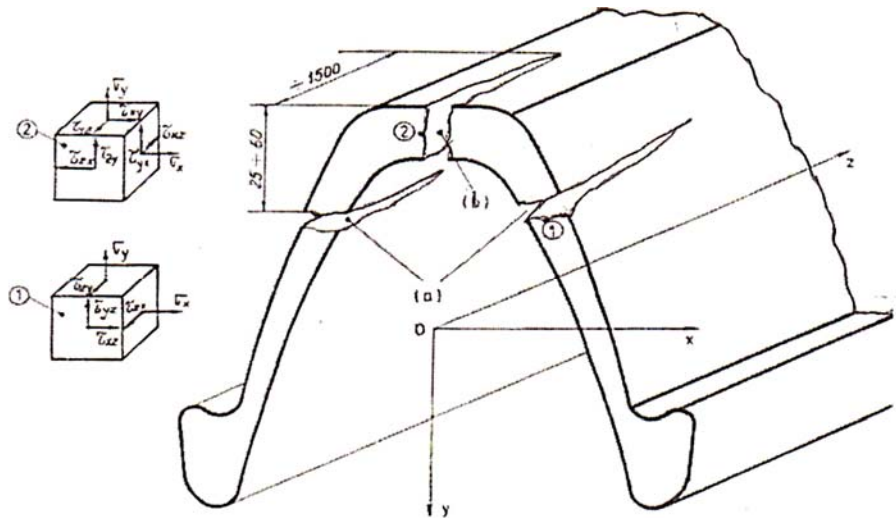


Fig. 2 Apariția fisurilor de tip „a” și de tip „b” ce se înregistrează la capetele profilelor pe durata curbării la rece.

Tabelul 2. Rezultatele calculului numeric (MEF) a stării de tensiune remanentă (în secțiunea aplicării forței de presare) în cazul curbării la rece a profilelor

Tip profil laminat	Forța maximă de solicitare, $F_{max}$ [kN]	Săgeata maximă remanentă, $Y_{max}$ [mm]	Tensiunea maximă remanentă			Tensiunea extremă remanentă după descărcare, $\sigma_{max des.}$ [MPa]	
			$\sigma_{max}^{V.M.}$ [MPa]	$\sigma_z max$ [MPa]		$\sigma_i$	$\sigma_c$
				$\sigma_i$	$\sigma_c$		
SG-18	450	19	626	467	-467	440	-430
SG-23	660	19	642	634	-634	630	-580
SG-29	744	19	622	640	-639	636	-590

Corespunzător situației existente în practica curentă, modelul numeric consideră că în timpul curbării la rece a profilelor apar fisuri la capetele laminatului de tip „a” și de tip „b”, care se propagă și cresc în intensitate la trecerea profilului printre cele două role de reazem și rola de presare a instalației de curbat (fig. 2).

Substructurile celor trei profile laminate SG (18, 23 și 29) pentru care s-a elaborat modelul de calcul, au fost discretizate prin rețele spațiale cu noduri, pe care s-au definit elemente finite izoparametrice tridimensionale, respectiv 288 noduri și 275 elemente finite în cazul laminatului SG-18, 246 noduri și 220 elemente finite pentru SG-23 și 600 noduri, cu 655 elemente finite în cazul laminatului SG-29.

În cazul celor 3 tipuri de laminate analizate, calculul tensiunilor s-a efectuat pentru două situații distincte, anume:

a) în secțiunea aplicării forței maxime de presare ( $F$ ), considerând distanța dintre reazeme  $l = 510$  m, adică distanța echivalentă dintre axele rolor instalației de curbat;

b) în secțiunea de reazem a profilelor, respectiv în zonele de apariție a fisurilor de tip „a” și tip „b”.

Pentru prima situație s-a urmărit determinarea forțelor necesare înregistrării deformațiilor (săgeților) remanente de 6 mm, 12 mm și respectiv 18 mm, la trecerea succesivă a profilelor printre rolele instalației de presare (de curbare).

În urma rulării programului de elemente finite, pentru deformația maximă de 19 mm au rezultat valorile forțelor maxime de solicitare ( $F_{max}$ ), prezentate în tabelul 2. În cadrul aceluiași tabel se redau valorile tensiunilor maxime ( $\sigma_{max}^{V.M.}$ ), determinate după criteriul de plasticitate Huber-Von Mises pentru întregul model ales, inclusiv mărimea tensiunilor maxime  $\sigma_z$  obținute în secțiunea aplicării forței maxime.

Modul de distribuție a tensiunilor după criteriul Huber-Von Mises se redă în figura 3, iar distribuția tensiunilor  $\sigma_z$ , pentru secțiunea transversală a profilelor, se prezintă în figura 4.

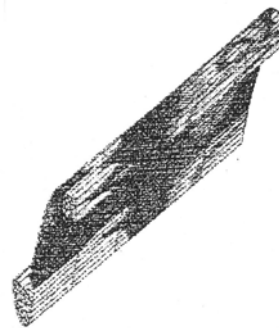


Fig. 3 Distribuția tensiunilor în zona secțiunii de aplicare a forței maxime de presare (starea de tensiune după criteriul Huber-Von Mises pentru întregul model ales).

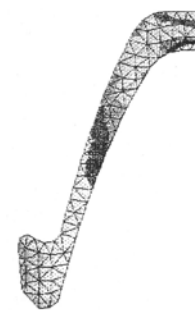


Fig. 4 Distribuția tensiunii  $\sigma_z$  în secțiunea de aplicare a forței maxime.

#### 4. CONCLUZII

Pe durata curbării la rece, profilele laminate de susținere sunt supuse unui grad ridicat de deformare, fiind expuse formării și exercitării unei stări complexe de tensiune remanentă, atât în cazul execuției din oțeluri aliate, cât mai ales în cazul celor din oțeluri nealiate și netratate termic.

Rezultatele calculului de evaluare a stării de tensiune remanentă prin metoda grafo-analitică și metoda numerică cu element finit, între care există o abatere relativ mică (cca. 10 %), arată că pentru fisurile de tip „a”, tensiunile maxime care se produc în zona de racordare dintre flanșele (aripile) și talpa profilelor laminate au loc pe suprafața interioară.

Pentru zona apariției fisurilor de tip „b”, rezultatele obținute pun în evidență, că tensiunile maxime normale de întindere se produc în fibrele interioare ale tălpii (bazei) profilelor, iar tensiunile maxime de compresiune au loc în fibrele exterioare ale tălpii (fibrele de cota 0). Din analiza efectuată, a reieșit că fisurile dominante sunt cele de tip „b”, pentru care tensiunile de propagare participă cu ponderea cea

mai ridicată la valoarea tensiunilor principale maxime  $\sigma_{1,max}$  și  $\sigma_{max}^{V.M.}$ .

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] Lețu, N., Pleșea, V., Semen, C-tin., Butulescu, V. - *Eficiențizarea susținerii lucrărilor orizontale la minele din Valea Jiului*. Ed. POLIDAVA, Deva, 2001, ISBN 973 – 99458 – 7 – 2, 201 pag.
- [2] Pleșea, V., Vlaicu Popa M.E., Vlasin N.- *Researches regarding the assimilation of new constructions of molded profiles and joining elements from the component of metallic support for supporting the underground mining works*. Analele Universitatii „Constantin Brâncuși” din Târgu Jiu. Seria Inginerie nr.4, 2011. ISSN 18 – 42,cotare CNCIS Tip B+, cod 718
- [3] Pleșea, V. – *Proiectarea și construcția susținerii lucrărilor miniere subterane din sectorul carbonifer*. Editura UNIVERSITAS, Petroșani 2004, ISBN 973 – 8260 – 68 – X, 251 pag.
- [4] Tigae, I., Simashevici, H., Ridzi, M., ș.a. – *Studiu de soluții privind starea de tensiune remanentă ce se înregistrează în profilile laminate pe durata procesului de curbare la rece*. Colaborare a Universității Petroșani la Contract de cercetare științifică și tehnologică al SC. ICPM SA Petroșani (Resp. contract dr.ing.Pleșea Valeriu),1998.