

Influența presolicitării la oboseală și la fluaj asupra caracteristicii de deformare elasto-plastică

Pre-loading fatigue and creep influence on elastic-plastical strain characteristics

Horia Mateiu¹⁾, Valeriu V. Jinescu²⁾, Alin Murariu¹⁾,
¹⁾ ISIM Timișoara, ²⁾ Universitatea Politehnica din București,

Cuvinte cheie

Presolicitare, oboseală, fluaj, deformare elasto-plastică

Keywords

Pre-loading, fatigue, creep, elastic-plastic stress

1. Introducere

În cazul presolicitării fie la oboseală fie în condiții de fluaj, materialul acumulează o anumită cantitate de energie specifică de deformare. În consecință, ne așteptăm să-i scadă capacitatea de acumulare a energiei de deformare, cu alte cuvinte ne așteptăm să se modifice diagrama $\sigma - \epsilon$ a materialului.

Din unele cercetări efectuate anterior, au rezultat următoarele:

- epruvetele din oțelul X60, utilizat pentru conducte de transport gaze naturale sau țiței, a fost supus unei predeformări (alungire) de 5; 10 și 15% [1]. În diagrama $\sigma - \epsilon$ a materialului nepredeformat se constată existența palierului de curgere plastică, pe când la materialul predeformat palierul de curgere plastică a dispărut (figura 1). Pe de altă parte, cu mărirea predeformării, alungirea la rupere ϵ_r și gătuirea la rupere, Z , se micșorează, iar rezistența de rupere și limita de curgere, cresc (tabelul 1). Se produce ecruisarea oțelului.

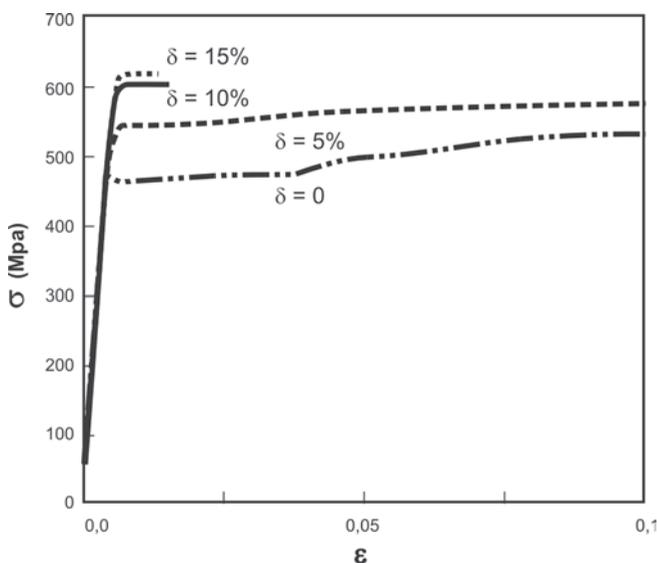


Figura 1/ Figure 1

Numărul ciclurilor de solicitare până la realizarea unei fisuri cu lungimea de 0,25 mm, la baza creștăturii, depinde de valoarea predeformării. Limita la oboseală pentru oțeluri cu $\sigma_r < 1.800$ MPa este $\sigma_{-1} \approx 0,5 \cdot \sigma_r$, ceea ce înseamnă că și σ_{-1} se mărește cu creșterea predeformării (alungirii inițiale);

1. Introduction

In case of pre-loading under fatigue or under creep, the material accumulates a certain amount of specific energy of deformation. In consequence, we expect to decrease its capacity of accumulation of deformation energy, in other words we expect to change the diagram $\sigma - \epsilon$ of the material. From some previous research, we have the following result:

- the specimens of steel X60, used for pipelines to transport natural gas or oil, have been constrained to pre-straining (elongation) of 5, 10 and 15% [1]. In chart $\sigma - \epsilon$ of material non-pre-straining it is detected the existence of a plastic yield plateau, whilst on material pre-straining the plastic yield plateau was missing (Figure 1). Secondly, with pre-straining increase, fracture elongation ϵ_r and reduction of areas, Z , decrease, but fracture strength and yield limit increase (Table 1). Hardening of steel is generated.

Tabelul 1. Caracteristicile oțelului X60 la predeformare statică/
 Table 1. The characteristics of steel X60 at static pre-straining.

Predeformarea (alungirea)/ Pre-straining (elongation), δ [%]	0	5	10	15
Limita de curgere/ Yield limit, σ_c [MPa]	470	543	586	601
Rezistența de rupere / Rupture stress, σ_r [MPa]	544	572	609	618
Alungirea la rupere/ Fracture elongation, ϵ_r [%]	20,06	17,95	12,56	8,87
Gătuirea specifică la rupere/ The specific reduction of area, Z [%]	65,2	62,63	55,87	49,02

The number of cycles of loading to obtain a crack with a length of 0.25 mm, at score base, depends on the pre-straining value. The fatigue limit for steels with $\sigma_r < 1.800$ MPa is $\sigma_{-1} \approx 0,5 \cdot \sigma_r$, which means that σ_{-1} increases with pre-straining increase (the original elongation);

- Research on the influence of pre-loading fatigue with a relatively small number of cycles (under 10^5), the asymmetry

- cercetări asupra influenței presolicitării la oboseală cu număr relativ mic de cicluri (sub 10^5), cu coeficient de asimetrie $R = -1$, asupra solicitării următoare, cu număr foarte mare de cicluri ($N \geq 10^7$) și cu $R = 0,5$, au arătat că presolicitarea nu a avut efect asupra duratei de viață a unui aliaj de titan, Ti6 Al 4 V [2]. Solicitarea cu număr redus de cicluri de până la 50% din durata de viață presupusă, nu a condus la formarea de fisuri [2].

În această lucrare ne-am propus să punem în evidență influența presolicitării la oboseală termică și separat, la presolicitare în condiții de fluaj, asupra comportării oțelului 13CrMo 4-5 asupra caracteristicilor sale mecanice la solicitarea monotona (curba $\sigma - \epsilon$).

2. Comportarea oțelului 13CrMo4-5 la oboseală termică nepresolicitat

Pentru a fi posibilă comparația dintre comportarea la oboseală a epruvetei virgine cu cea presolicitată, se expun întâi rezultatele încercărilor monotone la diferite temperaturi pe epruvete cu secțiunea tubulară, virgine. Pentru cele 7 epruvete testate au fost obținute, la temperaturi cuprinse între 20°C și 530°C, rezultatele înscrise în tabelul 2.

Tabelul 2. Valorile R_m , $R_{p0,2}$ și ϵ_{rup} (A_{rup}) în funcție de temperatură, pentru epruvete fără presolicitare la oboseală termică/
Table 2. The value R_m , $R_{p0,2}$ and ϵ_{rup} (A_{rup}) depending on temperature for specimens without pre-loading thermal fatigue

Temperatura/ Temperature [°C]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	ϵ_{rup} [%]
20	407	217	4,96
350	397,6	249,3	4,56
380	352,94	202,3	1,64
400	383,4	214	2,6
450	378,8	211,8	3,44
500	353,9	192	6,04
530	331,8	221	6,44

Se observă tendința de reducere a rezistenței la rupere cu creșterea temperaturii, în timp ce limita de curgere pare neafectată. S-a constatat tendința de fragilizare la albastru la temperatura de 380°C pentru oțelul investigat, pentru care deformația (alungirea specifică) la rupere atinge valoarea minimă. Trebuie menționat că valorile alungirii pe epruvetele tubulare sunt mult mai mici decât cele obținute în aceleași condiții de încercare pe epruvete cu secțiune plină. Importantă este posibilitatea de a evidenția modificări datorate influenței temperaturii și ulterior și a presolicitării.

În figura 2 se prezintă curbele tensiune-deformație specifică în funcție de temperatură pe epruvetele nepresolicitate. Se observă că aria cea mai redusă de sub curba tensiune-deformație specifică corespunde temperaturii de 380°C, unde se produce fenomenul de fragilizare la albastru. De asemenea se observă creșterea deformației specifice la rupere o dată cu creșterea temperaturii.

3. Comportarea oțelului 13CrMo4-5 după presolicitarea la oboseală termică

În tabelul 3 și figurile 3 și 4 se prezintă influența presolicitării la oboseală termică la deformație specifică totală $\Delta\epsilon_{tot} = 0,5\%$,

coeficient $R = -1$, on the next loading, with a very large number of cycles ($N \geq 10^7$) and $R = 0.5$, showed that pre-loading had no effect on the life of a titanium alloy, Ti6 Al 4 V [2]. The loading with a decreased number of cycles up to 50% of the lifetime expected did not lead to the formation of cracks [2].

In this study we propose to show the influence of pre-load thermal fatigue and separately of pre-loading under creep condition on the behaviour of steel 13CrMo 4-5 and its mechanical characteristics at monotone loading (curve $\sigma - \epsilon$).

2. Behaviour of steel 13CrMo4-5 to non-pre-loading thermal fatigue

To make a comparison between the fatigue behaviour of virgin specimens with the pre-loading one, there are first presented the monotone testing results at different temperatures on virgin specimens with tubular section.

For the 7 specimens tested, the results shown in Table 2 were obtained at temperatures between 20°C and 530°C.

It was observed the tendency to reduce the fracture strength with increasing temperature, while the yield limit seems unaffected. It was detected the blue brittle tendency at the temperature of 380°C for the steel investigated, for which the deformation (specific elongation) at fracture reaches the minimum value. It should be noted that the elongation values on tubular specimens are much smaller than those obtained in similar testing conditions on specimens with full section. It is important the possibility to emphasize changes due to the influence of temperature and subsequently of pre-loading. In Figure 2 it is shown the specific stress-strain curve depending on temperature on non-pre-loading specimens.

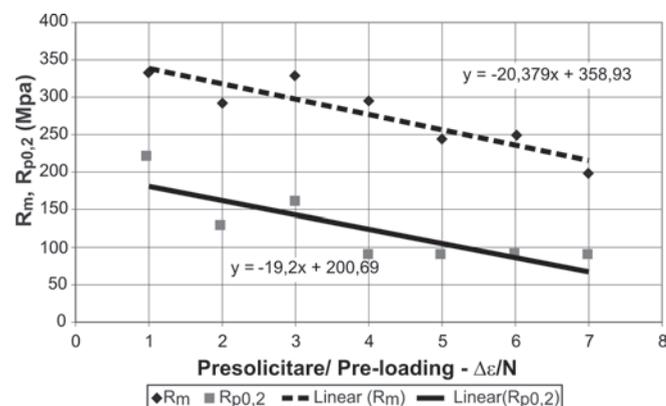


Figura 2. Curba tensiune-deformație specifică, la diferite temperaturi fără presolicitare/
Figure 2. The specific stress-strain curve at different temperature without pre-loading

It was detected that the lowest area under the specific stress-strain curve corresponds to temperature 380 ° C, where the blue brittle phenomenon occurs.

3. Behaviour of steel 13 Cr Mo 4-5 after pre-loading to thermal fatigue

In Table 3 and Figures 3 and 4 there is presented the pre-loading influence to thermal fatigue at total specific stress $\Delta\epsilon_{total} = 0.5\%$, at a different numbers of cycles (from 50 to 876 cycles) as compared with the lack of pre-loading. It can be observed a general trend of reduction of the parameters of

la diferite numere de cicluri (de la 50 până la 876 cicluri) în comparație cu lipsa presolicitării. Se observă o tendință generală de reducere a parametrilor încercării de tracțiune statică (R_m , $R_{p0,2}$ și ϵ_{rup}) o dată cu creșterea numărului de cicluri de presolicitare la oboseală termică la nivelul $\Delta\epsilon_{tot} = 0,5\%$.

Tabelul 3. Influența presolicitării la oboseală termică la deformația specifică totală, $\Delta\epsilon_{tot} = 0,5\%$, la diferite numere de cicluri (de la 50 până la 876 cicluri) în comparație cu lipsa presolicitării ($\Delta\epsilon/N_f = 0/0$) / Table 3. Pre-loading influence to thermal fatigue at total specific stress, $\Delta\epsilon_{tot} = 0.5\%$, to a different number of cycles (from 50 to 876 cycles) in comparison with the lack of pre-loading ($\Delta\epsilon/N_f = 0/0$).

Nr./ No.	Presolicitarea/ Pre-loading $\Delta\epsilon/N_f$	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	ϵ_{rup} [%]
1	0/0	331,8	221	6,44
2	0,5/50	291,8	128,4	6,88
3	0,5/100	329,4	157,8	6,88
4	0,5/270	296,5	90	4,08
5	0,5/346	244,7	90	3,64
6	0,5/480	250	90	3,32
7	0,5/876	197,7	180	2,44

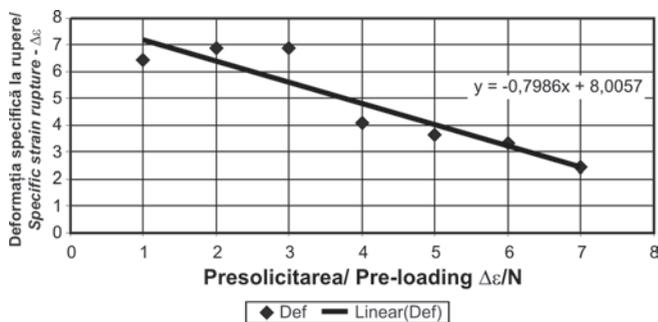


Figura 4. Diagrama de variație a deformației specifice la rupere, la temperatura de 530°C, cu presolicitare la oboseală termică, în cazul $\Delta\epsilon_{tot} = 0,5\%$

Figure 4. Diagram of variation of specific stress at fracture, at a temperature of 530°C, with pre-loading thermal fatigue, when $\Delta\epsilon_{tot} = 0.5\%$

În tabelul 4 și figurile 5 și 6 se prezintă influența presolicitării la oboseală termică la deformația specifică totală $\Delta\epsilon_{tot} = 0,3\%$, la diferite numere de cicluri (de la 50 până la 1.150 cicluri) în comparație cu lipsa presolicitării ($\Delta\epsilon/N_f = 0/0$). Se observă o tendință generală de reducere a parametrilor încercării de tracțiune statică (R_m , $R_{p0,2}$ și ϵ_{rup}) o dată cu creșterea numărului de cicluri de presolicitare la oboseală termică la nivelul $\Delta\epsilon_{tot} = 0,3\%$.

4. Cercetarea influenței fluajului asupra comportării oțelului testat

Încercările de fluaj s-au efectuat pe instalațiile de încercare la fluaj modernizate la ISIM Timișoara, în cadrul laboratorului LIEA de încercări, examinări și analize a ISIM Timișoara. În cadrul acestui proiect s-au modernizat instalațiile de încercare la fluaj, s-au adaptat sistemele de achiziție și prelucrare a datelor de încercări mecanice ale materialelor metalice, s-a achiziționat un grup informatizat și s-a realizat un software

static tensile test (R_m , $R_{p0,2}$ and ϵ_{rup}) along with the increase of the number of cycles to pre-loading thermal fatigue at $\Delta\epsilon_{tot} = 0.5\%$.

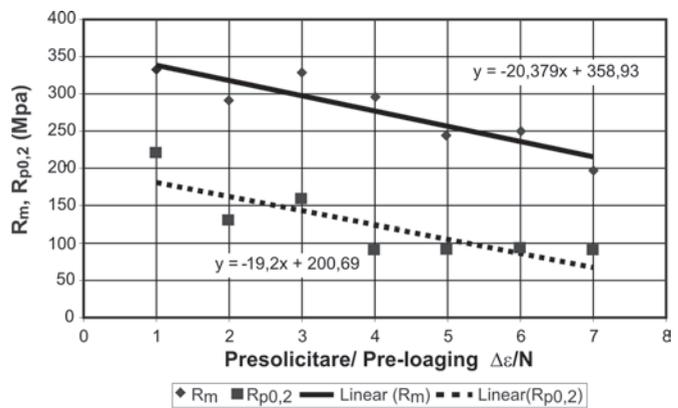


Figura 3. Diagrama de variație a rezistenței la rupere R_m și a limitei de curgere $R_{p0,2}$ la temperatura de 530°C, cu presolicitare la oboseală termică, în cazul $\Delta\epsilon_{tot} = 0,5\%$

Figure 3. Diagram of variation of fracture strength R_m and of yield limit $R_{p0,2}$ at a temperature of 530°C, with pre-loading to thermal fatigue, when $\Delta\epsilon_{tot} = 0.5\%$

In Table 4 and Figures 5 and 6 there is presented the pre-loading influence to thermal fatigue at specific stress $\Delta\epsilon_{tot} = 0.3\%$, at a different number of cycles (from 50 to 1.150 cycles) as compared with the lack of pre-loading. It can be observed a general trend of reduction of the parameters of

Tabelul 4. Influența presolicitării la oboseală termică la deformația specifică totală $\Delta\epsilon_{tot} = 0,3\%$, la diferite numere de cicluri (de la 50 până la 1.150 cicluri) în comparație cu lipsa presolicitării ($\Delta\epsilon/N_f = 0/0$)

Table 4. Pre-loading influence to thermal fatigue at total specific stress, $\Delta\epsilon_{tot} = 0.3\%$, at a different number of cycles (from 50 to 1150 cycles) in comparison with the lack of pre-loading ($\Delta\epsilon/N_f = 0/0$).

Nr. crt.	Suprasolicitarea/ Overstressing $\Delta\epsilon/N_f$	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	ϵ_{rup} [%]
1	0/0	331,8	221	6,44
2	0,3/50	323,3	128	6,6
3	0,3/100	280	240	4
4	0,3/340	277,7	180	4,24
5	0,3/601	250	128	3,76
6	0,3/1.150	181,2	54	1,6

static tensile test (R_m , $R_{p0,2}$ and ϵ_{rup}) along with increasing the number of cycles to pre-loading thermal fatigue at $\Delta\epsilon_{tot} = 0.3\%$.

4. Research of creep influence on the behaviour of steel tested

The creep tests were performed on testing installations upgraded at ISIM Timisoara, LIEA laboratory of testing, examination and analysis. The facilities of creep testing have been modernized, the systems of acquisition and data processing of mechanical testing of metallic materials have been adapted, a computer information system has been purchased and a modern software of data acquisition during the creep test has been created. Also, each testing group was

modern de achiziție a datelor din timpul încercării de fluaj. De asemenea, fiecare grup de încercare s-a dotat cu câte un extensometru pentru a permite măsurarea deformației la fluaj și pentru a permite și încercări de rupere la fluaj cu monitorizarea deformației la fluaj, în timp.

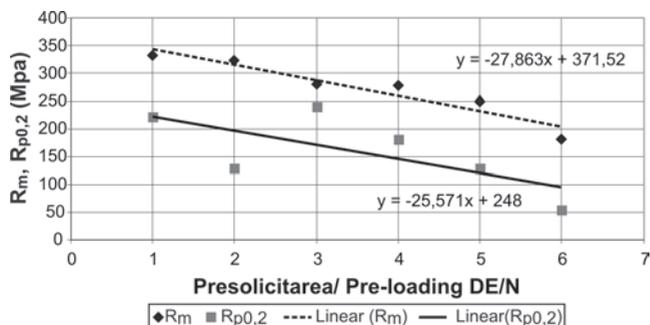


Figura 5. Diagrama de variație a rezistenței de rupere, R_m , și a limitei de curgere, $R_{p0,2}$ la temperatura de 530°C , în funcție de presolicitarea la oboseală termică/

Figure 5. Diagram of variation of fatigue strength, R_m , and yield limit, $R_{p0,2}$ at temperature 530°C , function of pre-loading thermal fatigue

Epruveta de încercare la fluaj este prevăzută cu umeri pentru fixarea extensometrului, pentru măsurarea deformației. Programul experimental din această fază cuprinde experimente efectuate pe un lot de 22 de epruvete, încercate la diferite nivele de temperatură și solicitare. Parametrii de solicitare s-au realizat pe mai multe seturi de date la temperaturi variind de la 530°C până la 610°C , iar datele s-au prelucrat cu sistemul expert iRis-Power, modulul de fluaj (Creep). Se observă că nici un rezultat nu a fost respins ca incompatibil cu selecția.

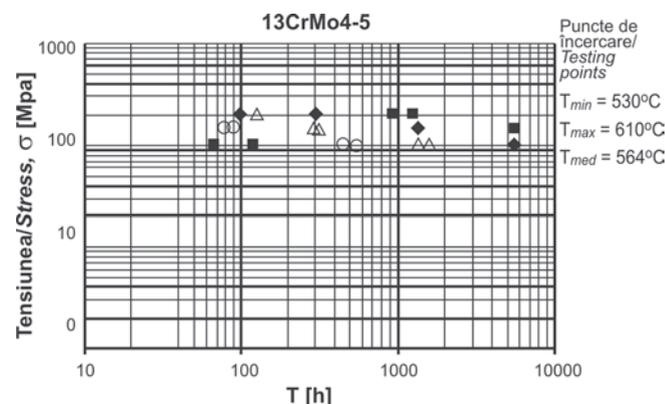


Figura 7. Prelucrarea datelor de încercare la fluaj de către sistemul expert/

Figure 7. Date processing for creep testing with an expert system

Prelucrarea primară a datelor de fluaj de către sistemul expert iRis-Power, modulul de fluaj, se prezintă în figura 7.

În continuare conform metodologiei ISIM de prelucrare a datelor de fluaj în figura 8 se prezintă rezultatele prelucrate conform parametrului Larson-Miller, iar în figura 9 se prezintă rezultatele prelucrate conform parametrului Orr-Sherby-Dorn.

4.1. Comportarea oțelului 13CrMo4-5, fără presolicitare în condiții de fluaj

Rezultatele încercărilor pe epruvete pline, la diferite temperaturi, fără presolicitare la fluaj sunt prezentate în Tabelul 5 și pe diagramele de variație a rezistenței la rupere și

provided with an extensometer to allow measurement of the creep stress and creep fracture testing with creep monitoring in time.

The creep testing specimen is provided with shoulders for attaching an extensometer to measure the deformation. The experimental phase of the experiments carried out includes a

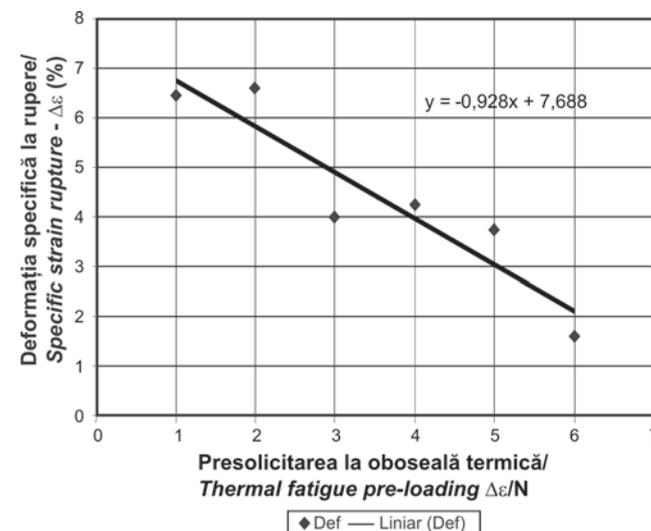


Figura 6. Diagrama de variație a deformației specifice la rupere ($\epsilon_{rup} = A$ în %), la temperatura de 530°C , în funcție de presolicitarea la oboseală termică/

Figure 6. Diagram of variation of specific stress fracture ($\epsilon_{rup} = A$ in %), at temperature 530°C , function of pre-loading thermal fatigue

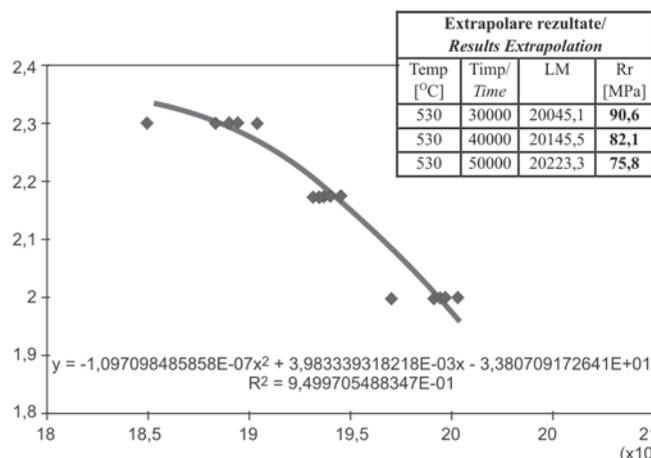


Figura 8. Diagrama de fluaj conform parametrului Larson-Miller/ Figure 8. Creep diagram according to Larson-Miller parameter

batch of 22 specimens, tested at different levels of temperature and stress. The stress parameters were made on several sets of data at temperatures ranging from 530°C to 610°C , and data were processed with the expert system IRIS-Power module of creep. It is noted that no result has been rejected as incompatible with the selection.

Primary processing of creep data by expert system IRIS-Power, the creep module, is shown in Figure 7.

Further on, according to the ISIM methodology of processing creep data in Figure 8 are presented the results processed according to the Larson-Miller parameter, and in Figure 9 the results processed according to the Orr-Sherby-Dorn parameter are shown.

a limitei de curgere din figura 10 și a deformației specifice la rupere, în figura 11.

Se observă o tendință de reducere atât a rezistenței la rupere R_m , cât și a limitei de curgere $R_{p0,2}$ cu creșterea temperaturii.

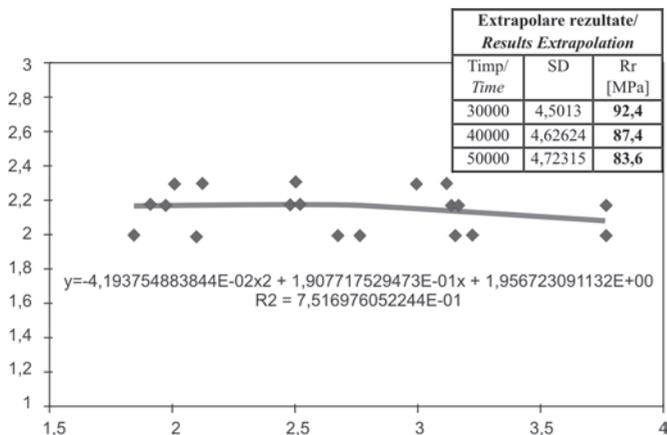


Figura 9. Diagrama de fluaj conform parametrului Orr-Sherby-Dorn/
Figure 9. Creep diagram according to Orr-Sherby-Dorn parameter

Tabelul 5. Valorile rezistenței la rupere, a limitei de curgere și a deformației la rupere la diferite temperaturi fără presolicitare la fluaj/
Table 5. The values of fracture strength, yield limit and stress fracture at different temperatures without creep pre-loading

Temp. [°C]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	ϵ_{rup} [%]
20	486	352	33
500	422	197	28
530	379	250	32

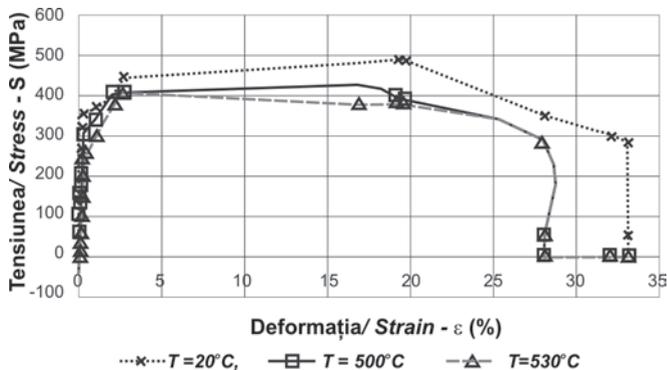


Figura 12. Diagrama tensiune - deformație specifică, pentru epruvete cu secțiune plină, la temperaturile de 20°, 500° și 530°C, fără presolicitare la fluaj./

Figure 12. Diagram of stress - specific strain, for specimens with full section at temperatures 20°, 500° and 530°C, without creep pre-loading

În figura 12 se prezintă valorile tensiune-deformație specifică la încercarea de tracțiune statică, fără presolicitare la fluaj, la temperaturile de 20°, 500° și 530°C, în care sunt reprezentate dependențele $\sigma - \epsilon$, fără presolicitare la fluaj.

4.2. Comportarea oțelului 13CrMo4-5, după presolicitarea în condiții de fluaj

Încercările la tracțiune pe epruvete pline la temperatura de 530°C cu diferite nivele de presolicitare la fluaj (S - tensiune în

4.1. Behaviour of steel 13CrMo4-5, without pre-loading in creep condition

The results of testing on full specimens at different temperatures, without creep pre-loading are presented in Table 5 and on the variation diagrams of fracture strength and yield limit in Figure 10 and of specific stress fracture, in Figure 11.

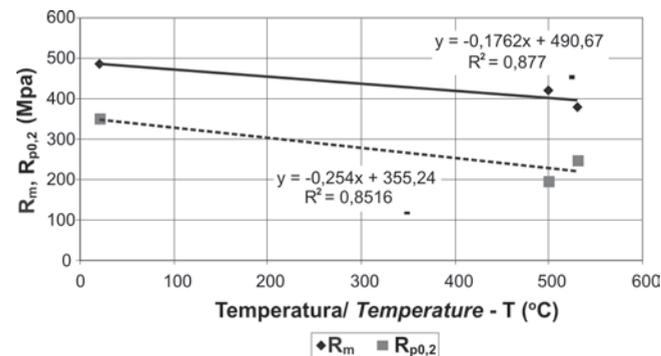


Figura 10. Diagrama de variație a rezistenței la rupere R_m și a limitei de curgere $R_{p0,2}$ cu temperatura/
Figure 10. Diagram of variation of fracture strength R_m and yield limit $R_{p0,2}$ with temperature

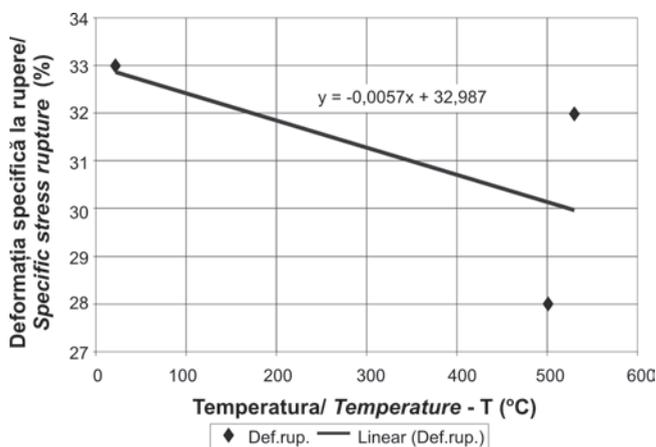


Figura 11. Diagrama de variație a deformației specifice la rupere ($\epsilon_{rup} = A$ în %) între 20°, 500° și 530°C, fără presolicitare/
Figure 11. Diagram of variation of specific stress fracture ($\epsilon_{rup} = A$ in %) between 20°, 500° and 530°C, without pre-loading

A tendency to reduce both the fracture strength R_m , and yield limits $R_{p0,2}$ with increasing temperature is noticed.

Figure 12 shows the value of stress-specific strain to static tensile testing without creep pre-loading at temperatures of 20°, 500° and 530°C, which are dependences of $\sigma - \epsilon$ without creep pre-loading .

4.2. Behaviour of steel 13CrMo4-5, after pre-loading under creep

Tensile testing on full specimens at a temperature of 530°C with different levels of creep pre-loading (S – stress MPa / t - time in hours) is shown in Figure 13, diagrams $\sigma - \epsilon$, after pre-loading under creep at $T = 530^\circ\text{C}$.

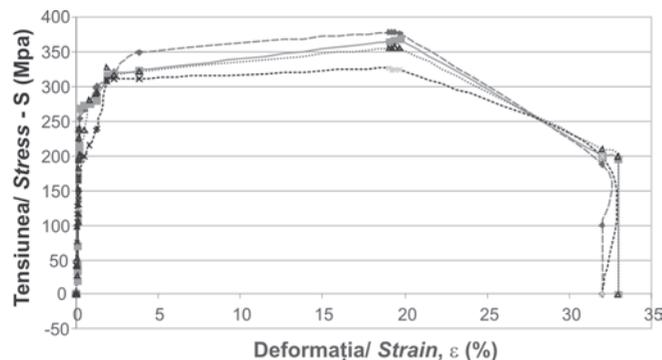
In Table 6 the pre-loading creep regimes at the temperature 530°C are presented.

In Figure 14 there is presented the diagram of variation for R_m and $R_{p0,2}$ dependent on creep pre-loading level, at temperature 530°C.

MPa/t-timp în ore) sunt prezentate în figura 13 diagramele $\sigma - \epsilon$ după presolicitare în condiții de fluaj la $T = 530^{\circ}\text{C}$.

În tabelul 6 se prezintă regimurile de presolicitare la fluaj la temperatura de 530°C .

În figura 14 se prezintă diagrama de variație a lui R_m și $R_{p0,2}$ în funcție de nivelul presolicitării la fluaj, la temperatura de 530°C .



1 → Tensiunea/ Stress $\sigma_{200}/100$ [MPa] 3 → Tensiunea/ Stress $\sigma_{100}/100$ [MPa]
2 → Tensiunea/ Stress $\sigma_{200}/500$ [MPa] 4 → Tensiunea/ Stress $\sigma_{100}/500$ [MPa]

Figura 13. Valorile diagramei tensiune-deformație la încercarea de tracțiune statică, cu presolicitare la fluaj la $T = 530^{\circ}\text{C}$ și la parametrii $\sigma = 200$ sau 100 MPa și pe durata $t = 100$ sau 500 ore/
Figure 13. The values of stress-strain diagram in static tensile testing, with creep pre-loading at $T = 530^{\circ}\text{C}$ and at the parameters $\sigma = 200$ or 100 MPa, for $t = 100$ or 500 hours.

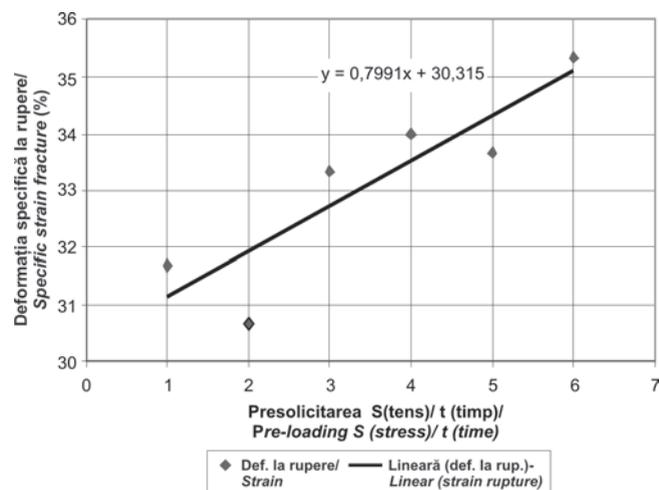


Figura 15. Diagrama de variație a deformației specifice pe epruvete cu secțiune plină cu presolicitare la fluaj la $T = 530^{\circ}\text{C}$ (conform tabelului 6)/

Figure 15. Diagram of variation of specific strain on specimens with full section with creep pre-loading at $T = 530^{\circ}\text{C}$ (conf. Table 6)

În figura 15 este redată variația deformației specifice la rupere în funcție de aceleași niveluri de solicitare (1...6).

5. Concluzii

Lucrarea evidențiază reducerea capacității de deformare la încercările de tracțiune statică la temperaturi ridicate (reducerea ariei de sub curba de deformație elasto-plastică $\sigma - \epsilon$), precum și tendința clară de reducere a caracteristicilor de rezistență (R_m , $R_{p0,2}$, A și Z) o dată cu creșterea nivelului de presolicitare la oboseală termică, respectiv la fluaj în diferite regimuri de solicitare.

In Figure 15 the variation of specific fracture stress function of the same stress levels (1...6) is shown.

Tabelul 6. Regimul de presolicitare la $T=530^{\circ}\text{C}$ /
Table 6. Pre-loading regimes at $T= 530^{\circ}\text{C}$

Regim/ Regime	S [MPa]	t [ore/hours]
1	200	100
2	200	500
3	100	100
4	100	500
5	150	100
6	150	500

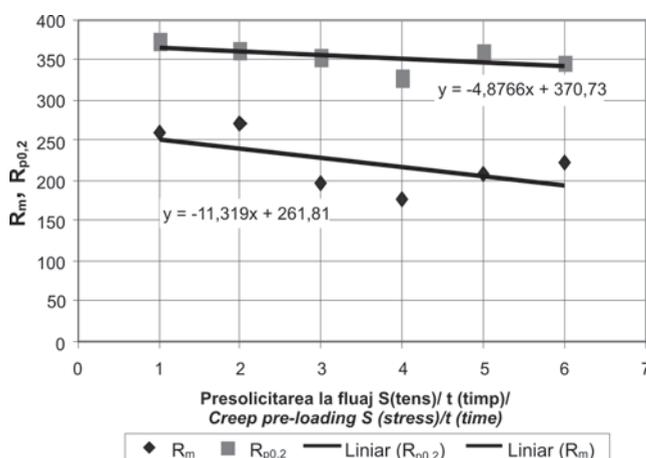


Figura 14. Diagrama de variație a rezistenței de rupere R_m și a limitei de curgere $R_{p,0,2}$ în funcție de presolicitarea la fluaj pe epruvete cu secțiune plină, la $T = 530^{\circ}\text{C}$; numerele 1÷6 corespund celor din tabelul 6./

Figure 14. Diagram of variation of fracture strength R_m and yield limit $R_{p,0,2}$ dependent on creep pre-loading for creep specimens with full section, at $T = 530^{\circ}\text{C}$; numbers 1 – 6, the same with Table 6

5. Conclusions

This study emphasizes the reduction of the deformation in static tensile tests at high temperatures (reducing the area under the curve of elasto-plastic deformation $\sigma - \epsilon$) and the clear tendency to reduce the characteristics of strength (R_m , $R_{p0,2}$, A and Z) along with increasing the level of pre-loading thermal fatigue and creep in different regimes of loading.

Bibliografie/ References

- [1]. Zheng M. et al.: Int. J. Pressure Vessels & Piping, 82, 2005, p.546-552.
- [2]. Mall S., Nicholas T., Park T.W.: Int. J. Fatigue, 25, 2003, p. 1109-1116.
- [3]. Mateiu H., Murariu A.: „Contract nr. 64/2008: Cercetări în vederea creierii unor contoare de durată de viață pentru evaluarea on-line a siguranței în funcționare a structurilor mecanice – Conduvi. Faza 4: Cercetări pentru elaborarea „contorului de durată de viață” în cazul solicitării la oboseală a structurilor. Cercetarea comportării unui oțel solicitat în condiții de fluaj. Cercetarea comportării unui oțel solicitat la oboseală termo-mecanică.” - Proiect CEEX.

