

✓ BR1003998



COMPARAÇÃO ENTRE DOIS AÇOS
INOXIDÁVEIS AISI 316 EM FLUÊNCIA ⁽¹⁾

- Tito Luiz da Silveira ⁽²⁾
- Sérgio Neves Monteiro ⁽³⁾

Julho/1976

PTC 13/76
COPPE-TR

- (1) XXXI Congres: o Anual da ABM, Ouro Preto, Julho 1976.
- (2) M.Sc., Chefe do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia Souza Marques.
- (3) Ph.D., Professor Associado COPPE e EE/UFRJ

RESUMO

Dois aços inoxidáveis AISI 316, um de fabricação nacional Villares, outro Uddeholm, foram ensaiados em regime de fluência entre 600 e 800°C.

São assinaladas algumas diferenças importantes de comportamento mecânico entre os dois aços.

Essas diferenças podem ser atribuídas às histórias termomecânicas particulares dos materiais em questão.

Abstract

Two AISI 316 stainless steels, one of Brazilian fabrication (Villares), the other of foreign fabrication (Uddeholm) were submitted to creep tests with temperature ranging from 600 to 800°C. Some important differences in the mechanical behaviour of the two steels are pointed out. These differences are due to the particular thermomechanical history of the materials under consideration.

1. INTRODUÇÃO

O comportamento mecânico em altas temperaturas é ditado por diversas variáveis que se interrelacionam de forma complexa¹.

Sabe-se que para um mesmo material a história termomecânica influi consideravelmente no seu desempenho. Diversos trabalhos com o aço inoxidável AISI 316 submetido a regime de fluência atestam este fato^{2,3 e 4}. Le May et al. em trabalho recente⁵, observou um aço tipo 316 com resistência a fluência significativamente inferior aos níveis preditos na bibliografia. Esse autor associou o fato à intensa precipitação de carbonetos no material, recebido sob forma de barra laminada a quente, sendo essa precipitação atribuída à baixa temperatura de acabamento do material.

Interferências na história termomecânica podem eventualmente ser usadas para fortalecer um dado material submetido a regime de fluência.

Existem teorias que preveem essa possibilidade⁶ e técnicas experimentais particulares para diversos materiais⁷.

A presente comunicação técnica é parte de um trabalho mais amplo que visa contribuir para o entendimento dos mecanismos controladores do processo de fluência. O objetivo particular é comparar, do ponto de vista mecânico, duas amostras de aço AISI 316, uma de fabricação Uddeholm e, outra nacional de fabricação Villares, ensaiadas dentro da mesma técnica experimental.

2. TÉCNICA EXPERIMENTAL E RESULTADOS

A composição química dos materiais ensaiados é apresentada na Tabela I.

Os tratamentos térmicos utilizados nos materiais Villares e Uddeholm foram iguais: 1100°C por 40 minutos em banho de cloreto de sódio seguido de resfriamento brusco.

O método de ensaio utilizado, o mesmo para ambos os materiais, foi detalhadamente discutido em trabalho anterior⁶.

As temperaturas de ensaio, as taxas mínimas de fluência, as tensões verdadeiras correspondentes, as tensões iniciais para os materiais Villares e Uddeholm são indicadas nas Tabelas II e III, respectivamente.

As reduções de área e as tensões iniciais obtidas para níveis de temperatura de 600°C e 800°C no material Villares são indicadas na Tabela IV.

TABELA I - Composição Química											
Fabricante e Formato Inicial	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Nb
Villares nacional barra Ø 16mm	0,05	17,7	12,2	2,07	0,40	0,73	0,025	0,018	0,16	0,003	-
Uddeholm barra Ø 11mm	0,07	18,3	12,6	2,55	0,50	1,72	0,026	0,014	0,13	0,004	0,02
Composição nominal AISI 316	0,08	16	10	2	max	max	max	max	-	-	-
	max	18	14	3	1	2	0,045	0,03	-	-	-

TABELA II - Aço Villares

Temperatura °C	Tensão		Taxa mínima de fluência s N ⁻¹	Temperatura °C	Tensão		Taxa mínima de fluência s N ⁻¹
	Inicial Kg/mm ²	Na ocasião da taxa mínima Kg/mm ²			Inicial Kg/mm ²	Na ocasião da taxa mínima Kg/mm ²	
800	13	14,0	8,2	650	23	27,1	1,8
800	12	13,1	8,7	650	21	23,8	0,25
800	8	8,8	0,58	650	19	22,0	0,11
800	7	7,4	0,31	-	-	-	-
800	5	5,4	0,039	600	33	41,3	2,0
800	4	4,56	0,013	600	30	35,5	0,46
700	15	16,4	0,63	600	29	36,0	0,40
700	15	15,7	0,35	600	28	30,2	0,16
700	14	15,4	0,26	600	25	29,1	0,033
700	10	10,6	0,033	600	22	24,2	0,064

TABELA III - Aço Uddeholm

Temperatura °C	Tensão		Taxa mínima de fluência s N ⁻¹	Temperatura °C	Tensão		Taxa mínima de fluência s N ⁻¹
	Inicial Kg/mm ²	Na ocasião da taxa mínima Kg/mm ²			Inicial Kg/mm ²	Na ocasião da taxa mínima Kg/mm ²	
800	16	16,8	35,	700	25	30,8	28,
800	16	16,9	26,	700	22	26,6	6,6
800	15	15,9	19,	700	20	22,8	2,6
800	14	15,0	9,5	700	20	22,5	2,2
800	13	13,6	7,7	700	18	19,9	0,85
800	12	12,8	6,75	700	16,9	18,7	0,63
800	12	12,3	3,30	700	17	18,8	0,73
800	10	10,3	1,22	700	15	16,9	0,14
800	9	9,2	1,08	700	13	15,1	0,036
800	8	8,2	0,33	700	12	12,9	0,066
800	8	8,4	0,24	650	32	39,1	13,
600	8	8,6	0,43	650	28	34,8	3,7
600	8	8,3	0,36	650	24,	28,1	0,82

TABELA III - Aço Uddeholm							
Temperatura °C	Tensão		Taxa mínima de fluência g h ⁻¹	Temperatura °C	Tensão		Taxa mínima de fluência g h ⁻¹
	Inicial Kg/mm ²	Na ocasião da taxa mínima Kg/mm ²			Inicial Kg/mm ²	Na ocasião da taxa mínima Kg/mm ²	
800	7,5	8,1	0,72	650	22	25,4	0,38
800	7	7,1	0,40	650	19	20,7	0,028
800	7	7,3	0,146	600	38	52,0	3,3
800	6	6,9	0,076	600	35	45,9	0,80
800	5	5,4	0,026	600	32	40,1	0,23
750	22	26,5	59.	600	30,3	38,9	0,35
750	20	23,4	20.	700	29,2	35,2	0,10
750	18	19,2	19,9	600	28,2	34,5	0,12
750	16	17,3	3,7	-	-	-	-
750	12	12,7	0,50	600	27.	32,4	0,026
750	11	12,0	0,39	-	-	-	-
750	10	10,9	0,11	600	23,5	26,8	0,0077
750	8	8,1	0,044	-	-	-	-

TABELA IV - Aço Villares					
Temperatura °C	Tensão Inicial Kg/mm ²	Redução de área %	Temperatura °C	Tensão Inicial Kg/mm ²	Redução de área %
800	13	68	600	33	46
800	12	58	600	30	34
800	8	40	600	29	36
800	7	38	600	28	44
800	4	35	-	-	-

TABELA V - Comparação Entre Valores de Exponente n para aços tipo AISI 316.			
Procedência	Temperatura °C	n	
Aço Villares	600	7,0	
	700	6,3	
	800	5,9	
Aço Uddeholm	600 - 650	9,3	
	650 - 750	9,3 - 6,5	
	750 - 800	6,5	
Corofalo et al. ¹¹ Aço U.S. Steel	704 - 816	4	
Maize et al. ¹² Aço Firth Vickers	600	4,75	

3. ANÁLISE : DISCUSSÃO

A Figura 1 relaciona a taxa mínima de fluência $\dot{\epsilon}_m$ com a tensão verdadeira σ_v , tensão essa calculada no instante de definição da taxa mínima ⁹.

Se perpendo os resultados obtidos para os aços Uddeholm e Villares observa-se que, mesmo considerando a dispersão dos resultados experimentais, os dois materiais são significativamente diferentes entre si.

O aço Villares, para uma mesma tensão aplicada, tende a se deformar mais rapidamente que o aço Uddeholm.

Considerando ser uma reta a função que melhor se ajusta aos pontos da Figura 1 ⁹ e calculando a inclinação dessas retas pelo método dos mínimos quadrados, tem-se o expoente de sensibilidade n definido pela relação:

$$\dot{\epsilon}_m = A \sigma_v^n$$

Os diversos valores de n calculados para o aço Villares são indicados na Tabela V, juntamente com resultados anteriormente obtidos para o aço Uddeholm ¹⁰ e para outros aços tipo AISI 316, conforme Garofalo et al. ¹¹ e Mazza et al. ¹².

Observa-se que os valores de n para o aço Villares são consideravelmente inferiores aos valores obtidos para o aço Uddeholm. Ambos os aços apresentam como característica comum uma tendência de n diminuir com o aumento da temperatura. Esta redução no valor de n é brusca no aço Uddeholm, entre 650 e

750°C, Figura 2. No aço Villares, os intervalos de temperatura até aqui estudados, não permitem precisar se a variação de n é brusca ou gradual.

Nos dois aços os valores de n são bem superiores aos valores de Mazza et al. ¹² e de Garofalo et al. ¹¹ sendo que este último ainda obteve n constante entre temperaturas de 704 e 816°C.

No aço Villares $5,9 < n < 7$ faz supor que a deformação por fluência seja controlada por escalagem de discordâncias ¹³. Já no aço Uddeholm os níveis mais altos de n são semelhantes aos de certas ligas fortalecidas por dispersão para as quais várias teorias têm sido propostas ^{6,14}.

Valores de n elevados têm sido obtidos, também, para outros aços inoxidáveis austeníticos:

$n = 6$ a 650°C para AISI 304L;
 $n = 8$ a 650°C para AISI 304 ¹⁵

A Figura 3 compara a 600 e a 800°C o desempenho dos aços Villares e Uddeholm do ponto de vista da ductilidade em fluência.

Entre 600 e 800°C o aço Uddeholm acusa uma transição de comportamento quanto à ductilidade ¹⁶. Abaixo de 700°C tem-se uma ductilidade traduzida por reduções de área menores que 40%. Acima de 700°C as reduções de área são geralmente superiores a 60%, chegando a 79%.

O aço Villares a 600°C apresenta uma redução de área similar a do Uddeholm, variando em torno de 40% para tensões iniciais entre 28 Kg/mm² e 33 Kg/mm². Já a 800°C o aço Villares

apresenta uma ductilidade muito pequena para ensaios de duração maior, da ordem de 35%. A medida que a duração do ensaio se reduz, a ductilidade cresce tendendo a se aproximar das características do material Uddeholm.

A 600°C ambos os materiais estão abaixo do desempenhu previsto pela bibliografia. A 800°C o aço Uddeholm está dentro dos padrões esperados, enquanto o aço Villares está consideravelmente abaixo ¹⁷.

Quanto ao comportamento da fratura os dois aços são similares a 600°C, Figuras 4 e 5 e, sensivelmente diferentes a 800°C, Figuras 6, 7 e 8.

A 800°C o aço Villares, ao contrário do aço Uddeholm, tem aspecto de fratura influenciado pelo nível da tensão inicial do ensaio. Para durações de ensaios menores que 40 horas, a fratura segue padrão similar ao do aço Uddeholm nessa temperatura. Para ensaios mais longos entretanto, a fratura do aço Villares mantém as mesmas características que apresentava a 600°C, Figura 4 e 8.

Conquanto sejam significativas as diferenças entre os dois materiais a 800°C, nenhum deles foge das características básicas da morfologia da fratura em fluência ^{18,19}.

As Figuras 6 e 7 mostram ainda que o material Villares aparenta uma resistência à corrosão, nas condições experimentais utilizadas, superior a do aço Uddeholm.

4. CONCLUSÕES

- Os aços Villares e Uddeholm, AISI 316 estudados, possuem características de comportamento mecânico bastante diversas entre si, quando solicitados em regime de fluência.
- A uma dada temperatura e para a mesma tensão aplicada, o aço Villares se deforma mais rapidamente que o aço Uddeholm.
- Os valores do expoente de sensibilidade, n , são menores no aço Villares que no aço Uddeholm, sugerindo a possibilidade de atuação de mecanismos controladores da deformação por fluência, diferentes para os dois materiais.
- O aço Villares é menos dútil que o aço Uddeholm, na temperatura de ensaio de 800°C.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio concedido a esta pesquisa pela FINEP, pelo CEPG/UFRJ, pelo CNPq, pela Fundação Souza Marques e pela CNEN. É também motivo de agradecimento o auxílio prestado por NIVALDO LUIZ MENDES e ANTONIO MARIA CLARET ABREU ASSIS.

LEGENDA DAS FIGURAS

- FIGURA 1 - Relação entre a taxa mínima de fluência e a tensão verdadeira nas temperaturas de 800°C, 700°C e 600°C para os aços AISI 316 de fabricação nacional Villares e Uddeholm.
- FIGURA 2 - Variação do expoente de sensibilidade n com a temperatura para os aços Villares e Uddeholm.
- FIGURA 3 - Relação entre a redução de área e a tensão inicial para os aços Uddeholm e Villares a 600 e 800°C. A faixa de desempenho usual do aço AISI 316, segundo Simmons et al. corresponde a região tracejada.
- FIGURA 4 - Aço Villares ensaiado a fluência a 600°C. O aspecto da região da fratura independe da duração do ensaio.
- FIGURA 5 - Aço Uddeholm ensaiado a 600°C. O aspecto da fratura também não varia com o tempo de duração do ensaio.
- FIGURA 6 - Aço Villares em ensaio de curta duração a 800°C. Observa-se que a superfície do material está menos atacada por corrosão que na Figura 7.
- FIGURA 7 - Aço Uddeholm em ensaio de curta duração a 800°C. O aspecto da fratura não depende da duração do ensaio. Severa corrosão na superfície do material.
- FIGURA 8 - Aço Villares ensaiado a fluência em 800°C; duração além de 40 horas. Aspecto diverso da Figura 6, caracterizando a influência do tempo de duração do ensaio sobre a fratura.

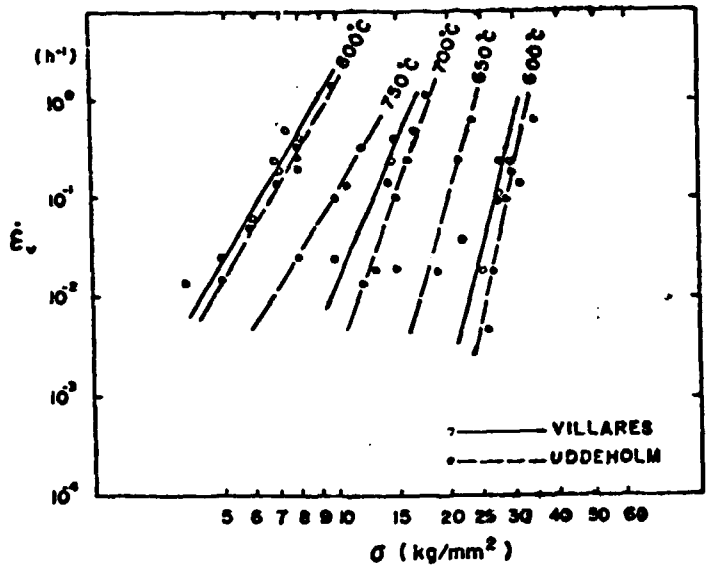


FIGURA 1

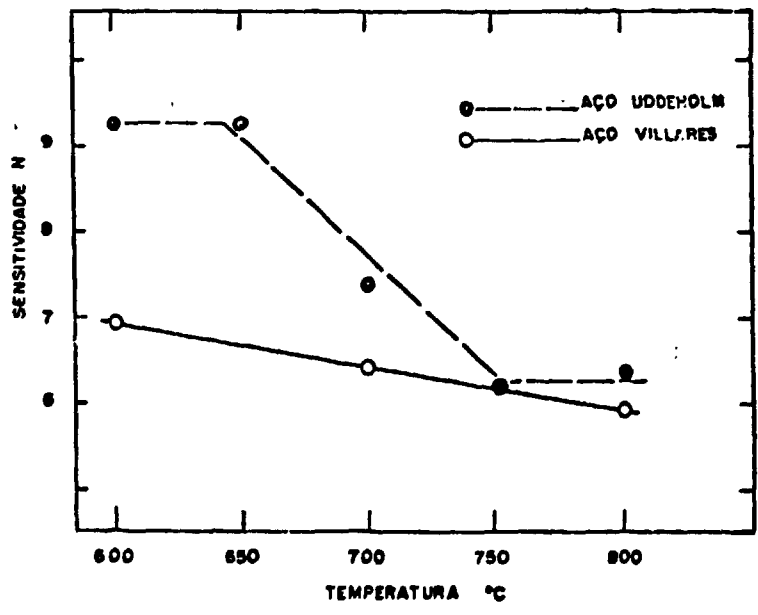


FIGURA 2

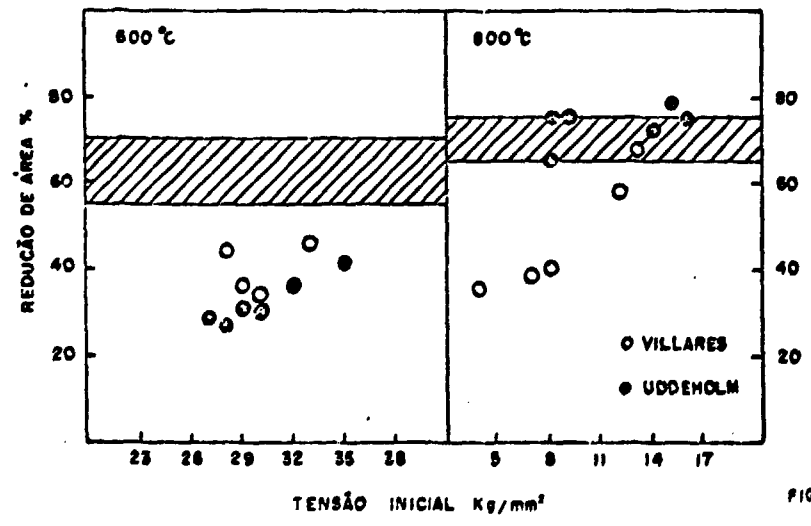


FIGURA 3

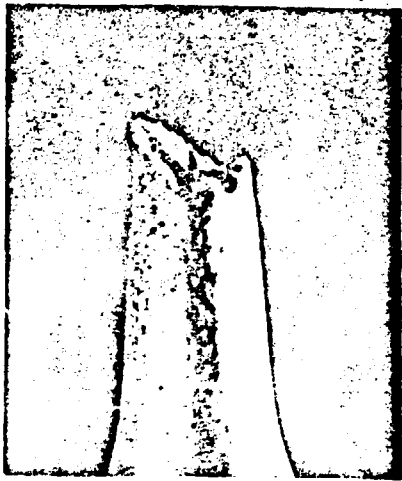


Fig. 4

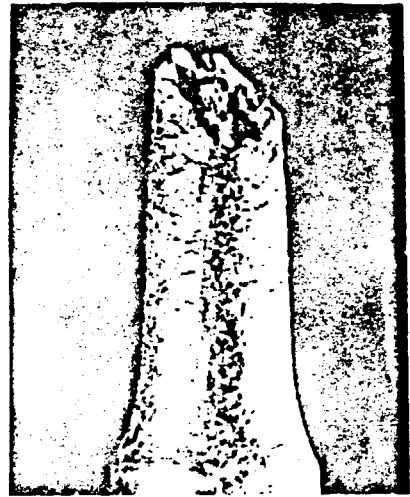


Fig. 5

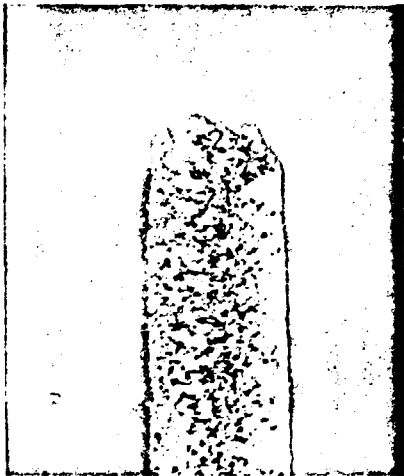


Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8

6. BIBLIOGRAFIA

1. Silveira, T.L.: Souza Marques Engenharia, p. 5, Vol. 1, nº 5, 1974.
2. Garofalo, F.; Whitmore, R.W.; Doms, M.F.; Von Gemmingen, F.: Trans. Met. Society of AIME, p. 310, Vol. 221, April 1961.
3. Barnby, J.T.: J.I.S.I., p. 23, Jan. 1966.
4. Goldberg, A.: J.I.S.I., p. 268, March 1966.
5. Le Hay, J.; Bassett, B.J.; White, M.E.: Institution of Mech. Engineers, Publicação C178/73.
6. Malu, M.; Tien, J.K.: Acta Met., p. 145, Vol. 22, Feb. 1974.
7. Mc Elroy, R.J.; Ishida, Y.; McLean, D.; Szkopiak, Z.: Metals Tech., p. 468, oct. 1974.
8. Silveira, T.L.: Tese M.Sc., CDPPE/UFRJ, Junho 1975.
9. Sauer, A.: A ser publicado em Souza Marques Engenharia.
10. Silveira, T.L.: Souza Marques Engenharia, p. 19, Vol. 1, nº 9, 1975.
11. Garofalo, F.; Richmond, O.; Doms, M.F.; Von Gemmingen, F.: Apresentado na Joint International Conference on Creep., New York, 1963.
12. Mazza, J.A.; Willoughby, G.: J.I.S.I., p. 718, Jul. 1966.
13. Mukherjee, A.K.: A ser publicado em "Treatise on Materials Science and Technology", Vol. VI; Academic Press, original datado de maio de 1974.
14. Lund, R.W.; Hix, M.D.: Met. Trans., p. 1329, Vol. 6A, July 1975.
15. Beckiff, F.R.; Banis, T.M.; Gladman, T.: Proceedings of the meeting on creep. Strength in steel and high temperature alloys. P. 71, The Metals Society, 1972.
16. Silveira, T.L.; Monteiro, S.N.: Utilidade nos aços inoxidáveis 316 em fluência. Comunicação técnica ao XXX Congresso ABH.
17. Simmons, W.F.; Van Licho, J.A.: ASM Data Series Publications D55-51 (1965).
18. Conrad, H.: Mechanical Behavior of Materials at elevated Temperature. P. 218, McGraw-Hill, 1961.
19. Wray, P.J.: Journal of Applied Physics, p. 4018, Vol. 40, Sept. 1969.

