

Fluência *creep damage* em materiais metálicos

1. Introdução

Em altas temperaturas, os componentes metálicos podem se deformar continuamente, sob carga mesmo abaixo de sua tensão de escoamento.

Essa deformação de componentes tensionados dependente do tempo é conhecida como fluência ou *creeping*.

A exposição a tensões de tração em altas temperaturas, inicialmente promove a formação de vazios nos limites de grãos, que com o tempo crescem para formar fissuras e, posteriormente, trincas. À medida que as fissuras e trincas coalescem, podem ocorrer falhas, embora não seja observada a deformação ou ruptura associada à sobrecarga de tração.

Também deve ser considerado, em temperaturas elevadas, o efeito da fluência, na redução do limite de flambagem *buckling stress* do material.

O fenômeno de fluência está presente em equipamentos, tubulações e, particularmente, em serpentinas de fornos de processo e de caldeiras de vapor.

2. Temperaturas de início da fluência em materiais metálicos

Material	Temperatura de início da fluência
Carbon steel [UTS > 414 MPa (60 ksi)]	650 °F (345 °C)
Carbon steel [UTS > 414 MPa (60 ksi)]	700 °F (370 °C)
Carbon steel—Graphitized	700 °F (370 °C)
C-½Mo	750 °F (400 °C)
1¼Cr-½Mo—Normalized and tempered	800 °F (425 °C)
1¼Cr-½Mo—Annealed	800 °F (425 °C)
2¼Cr-1Mo—Normalized and tempered	800 °F (425 °C)
2¼Cr-1Mo—Annealed	800 °F (425 °C)
2¼Cr-1Mo—Quenched and tempered	800 °F (425 °C)
2¼Cr-1Mo-V	825 °F (440 °C)
3Cr-1Mo-V	825 °F (440 °C)
5Cr-½Mo	800 °F (425 °C)
7Cr-½Mo	800 °F (425 °C)
9Cr-1Mo	800 °F (425 °C)
9Cr-1Mo-V	850 °F (455 °C)
12 Cr	900 °F (480 °C)
AISI Type 304 and 304H	950 °F (510 °C)
AISI Type 316 and 316H	1000 °F (540 °C)
AISI Type 321	1000 °F (540 °C)
AISI Type 321H	1000 °F (540 °C)
AISI Type 347	1000 °F (540 °C)
AISI Type 347H	1000 °F (540 °C)
Alloy 800	1050 °F (565 °C)
Alloy 800H	1050 °F (565 °C)
Alloy 800HT	1050 °F (565 °C)
HK-40	1200 °F (650 °C)

Referência:

API Recommended Practice 571 Table 3-23-1 – Threshold Temperatures for Creep Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry

3. Efeitos sobre o dimensionamento de Vasos de Pressão

O fenômeno de fluência *creep* é considerado no dimensionamento de equipamentos, como os Vasos de Pressão, através da tensão máxima admissível, nas partes e componentes pressurizados.

Nota:

Vaso de pressão designa genericamente todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões, formato ou finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado, a partir de 1,0 barg (15 psig), e aqueles que operam em pressões negativas ou vácuo.

Pelo termo “vasos de pressão” compreendem-se, dentre outros, os seguintes equipamentos, normalmente, presentes em instalações de óleo&gás, siderúrgicas, termoelétricas, indústrias químicas, etc.

- Vasos, propriamente ditos, verticais ou horizontais;
- Torres ou colunas de processo;
- Reatores de processamento;
- Permutadores ou trocadores de calor tubulares ou de placas;
- Esferas e cilindros de armazenamento de gás;
- Filtros de processo;
- Secadores.

O Código ASME Sec VIII Div 1 Rules for Construction of Pressure Vessels, de projeto e construção de Vasos de Pressão, especifica os valores de tensões admissíveis à tração, para os materiais metálicos nos regimes elástico e sob fluência, nas partes a seguir:

- Part UCS Requirements for Pressure Vessels Constructed of Carbon and Low Alloy Steels - UCS-23 Maximum Allowable Stress Values;
- Part UHA Requirements for Pressure Vessels Constructed of High Alloy Steel - UHA-23 Maximum Allowable Stress Values.

Na realidade, o ASME VIII-1 remete ao ASME Sec II Part D Materials Properties, que no apêndice mandatório Mandatory Appendix 1 Basis For Establishing Stress Values In Tables 1A and 1B, estabelece as regras para se determinar as tensões admissíveis, de materiais como chapas, forjados, fundidos e tubos, empregadas para cálculo e dimensionamento de Vasos de Pressão, nos regimes elástico e sob fluência.

E, no apêndice mandatório Mandatory Appendix 2 Basis For Establishing ...Allowable Stress Values for Table 3 Bolting Materials, estabelece as tensões admissíveis, de materiais de aparafusamento como parafusos, estojos e porcas, empregadas para cálculo e dimensionamento de ligações flangeadas aparafusadas de Vasos de Pressão, nos regimes elástico e sob fluência. .

As regras para materiais de chapas, forjados, fundidos e tubos são as seguintes:

a. Em temperaturas inferiores ao início da fluência, o valor máximo de tensão admissível é o menor dos seguintes:

- (1) mínima tensão de ruptura à tração à temperatura ambiente *minimum tensile strength at room temperature* dividida por 3,5;
- (2) mínima tensão de ruptura à tração à temperatura de projeto *minimum tensile strength at temperature* dividida por 3,5;
- (3) dois terços da mínima tensão de escoamento à tração à temperatura ambiente *minimum yield strength at room temperature*;
- (4) dois terços da mínima tensão de escoamento à tração à temperatura de projeto *minimum yield strength at temperature*.

b. Em temperaturas na faixa de fluência, o valor máximo de tensão admissível não deve exceder o menor dos seguintes:

- (1) 100% da tensão de tração média para produzir uma taxa de fluência *average stress to produce a creep rate* de 0,01%/1 000 h
- (2) 100% da tensão de tração média para causar ruptura *average stress to cause rupture* ao final de 100 000 h
- (3) 80% da tensão de tração mínima para causar ruptura *minimum stress to cause rupture* ao final de 100 000h.

Nota:

Para os materiais de aparafusamento as regras são diferentes.

As tensões admissíveis, já calculadas conforme estas regras, estão listadas nas tabelas a seguir, em função do material e da temperatura de projeto:

- Table 1A Tensões admissíveis para materiais ferrosos

Para uso com os códigos ASME Section I; Section Iii, Classes 2 And 3; Section VIII, Division 1; and Section XII - Maximum Allowable Stress Values S For Ferrous Materials

Nota:

Os valores máximos de tensões admissíveis de materiais de chapas, forjados, fundidos e tubos, de aços Carbono, aços de Baixa Liga (Cr-Mo) e aços de Alta Liga (inoxidáveis) estão listados no código ASME Sec II, Part D, Tabela Table 1A.

- Table 1B Tensões admissíveis para materiais não-ferrosos

Para uso com os códigos ASME Section I; Section Iii, Classes 2 And 3; Section VIII, Division 1; and Section XII - Maximum Allowable Stress Values S for Nonferrous Materials

Os valores de tensões admissíveis, que são mostrados em itálico nas tabelas, indicam as temperaturas em que o material está no regime de fluência ou *creep*.

Há ainda a Table 3 Tensões admissíveis para materiais de aparafusamento ferrosos e não ferrosos, para uso com os códigos Section III, Classes 2 and 3; Section VIII, Divisions 1 and 2, and Section XII - Maximum Allowable Stress Values S for Bolting Materials.

Exemplo com parte da tabela Table 1A.

Nominal Composition	Product Form	Spec No.	Type/Grade	Alloy Designation/ UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size/Thickness, mm	P-No.	Group No.
Carbon steel	Smls. & wld. pipe	SA-333	1	K03008	...	...	1	1
Carbon steel	Smls. & wld. tube	SA-334	1	K03008	...	...	1	1
Carbon steel	Wld. tube	SA-334	1	K03008	...	...	1	1
Carbon steel	Plate	SA-516	55	K01800	...	...	1	1
Carbon steel	Smls. pipe	SA-524	II	K02104	...	...	1	1
Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CA55	K02801	...	...	1	1
Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CF55	K02202	...	...	1	1

Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding														
-30 to 40	65	100	125	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475
108	108	108	108	108	108	108	107	104	101	97.8	...	...	...	...
108	108	108	108	108	108	108	107	104	101	97.8	...	...	...	...
92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	90.8	88.7	86.2	...	...	...	...	...
108	108	108	108	108	108	108	107	104	101	97.8	<i>89.1</i>	<i>75.4</i>	<i>62.6</i>	<i>45.5</i>
108	108	108	108	108	108	108	107	104	101	97.8	<i>89.1</i>	<i>75.4</i>	<i>62.6</i>	<i>45.5</i>
108	108	108	108	108	108	108	107	104	101	97.8	...	...	...	...
108	108	108	108	108	108	108	107	104	101	97.8	...	...	...	...