

8.7 APPENDICE

Altri parametri per l'estrapolazione dei dati sperimentali sono i seguenti:

8.7.1 TEMPO COMPENSATO

Il tempo compensato viene introdotto nel seguente modo: Integrando la (1) a temperatura costante e trascurando la costante di integrazione, cioè la deformazione dovuta alla fase primaria del creep, si ha

$$\epsilon = At \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

Poichè E dipende solo debolmente, o addirittura niente affatto, da σ , si può scrivere

$$\epsilon = A(\sigma)\theta$$

con

$$\theta = t \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (4)$$

detta tempo compensato. Come si vede in fig. 39, esso permette di eliminare o quasi l'influenza della temperatura, ma non della σ (infatti in fig. 39 le prove sono state fatte alla stessa tensione). Viceversa è possibile sperimentare ad una temperatura elevata in tempi brevi estrapolando i risultati a temperature molto più basse.

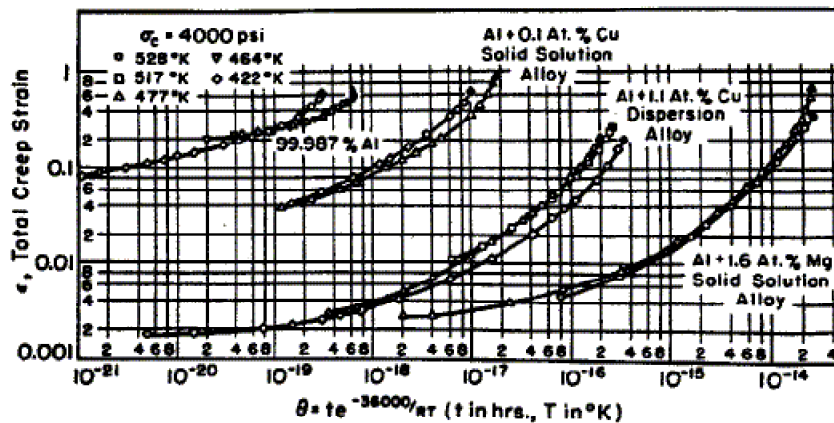


Figura 39: Deformazione totale per creep in funzione del tempo compensato per varie leghe di alluminio provate a $\sigma = 27.6$ MPa a varie temperature. Da Orr, R. L., Sherby, O. D., and Dorn, J. E., 1954, "Correlations of Rupture Data for Metals at Elevated Temperature, *Trans. of. the Am. Soc. for Metals*, 46, 113-128.

8.7.2 PARAMETRI DI DORN

Particolarizzando la (4) per $t = t_r$ si ha

$$\theta_r = t_r \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (5)$$

il cui secondo membro si chiama parametro di Dorn ed è funzione della tensione e del materiale. Prendendo il logaritmo decimale della (5) si ha

$$\log \theta_r = \log t_r - 0.43 \frac{E}{RT} \quad (6)$$

e il primo membro prende il nome di parametro di Sherby-Dorn. Una forma semplificata della (6) è la seguente:

$$\log \theta_r = \log t_r - \frac{C}{T} \quad (6)$$

che prende il nome di formula di Fisher-Dorn. Le stesse formule possono essere espresse facendo comparire la $\dot{\epsilon}$ invece del t_r . Per esempio, per il parametro di Sherby-Dorn, detto P'_{SD} quello relativo alla rottura e P_{SD} quello relativo alla velocità di deformazione, si ha

$$P_{SD} = -\log \dot{\epsilon} - 0.43 \frac{E}{RT}$$

$$P'_{SD} = \log t_R - 0.43 \frac{E}{RT}$$

La relazione tra i due è

$$P'_{SD} = P_{SD} + \log \epsilon_R$$

ϵ_R vale in genere $0.2 \div 0.6$, per cui $\log \epsilon_R = -0.7 \div -0.2$ e quindi risulta abbastanza piccolo rispetto a P_{SD} , che è dell'ordine di $-20 \div -12$, quindi in definitiva $P'_{SD} \approx P_{SD}$.

8.7.3 PARAMETRO DI MANSON-HAFERD

Viene definito, solo in funzione del tempo di rottura, con la posizione

$$P'_{MH} = \frac{T - T_a}{\log t_R - \log t_a}$$

dove T_a e $\log t_a$ sono caratteristiche del materiale.

Per i tre parametri sopra definiti, relativi alla rottura, si trovano alcuni dati in tab. 5.

Tabella 5: Alcuni valori di parametri di correlazione del creep

Material	Sherby-Dorn Q , cal/mole	Larson-Miller C	Manson-Hafard	
			T_a , K	$\log t_a$
Various steels and stainless steels ^{2,3}	$\approx 90,000$	≈ 20	—	—
Pure aluminum and dilute alloys ²	$\approx 36,000$	—	—	—
S-590 alloy (Fe base) ⁴	$85,000^5$	17	172	20
A-286 stainless steel ⁴	91,000	20	367	16
Nimonic 80A (Ni base) ⁴	91,000	18	311	16
1Cr-1Mo-0.25V steel ⁴	110,000	22	311	18

Note: ¹Values given are for temperatures T in kelvins (K) and rupture times t_r in hours.

Sources: ²Values in [Orr 54]. ³Value in [Larson 52]. ⁴Values in [Goldhoff 59a] and [Goldhoff 59b]. ⁵Revised value from [Conway 69].

Tab. 5.13.1. Valori di alcune caratteristiche meccaniche per diversi materiali metallici alle varie temperature.

Materiale	T °C	$\alpha \cdot 10^3$ (°C) ⁻¹	Prove rapide di trazione			Scorrimento viscoso		Rottura a scorrimento viscoso				
			$E \cdot 10^{-4}$ kg(mm) ⁻²	σ_R kg(mm) ⁻²	$\sigma_{R(0,2)}$ kg(mm) ⁻²	n_0	$\sigma_{0,1}$ kg(mm) ⁻²	n	$\sigma_{R,2}$ kg(mm) ⁻²	$\sigma_{R,3}$ kg(mm) ⁻²	$\sigma_{R,4}$ kg(mm) ⁻²	$\sigma_{R,5}$ kg(mm) ⁻²
Acciaio al carbonio: Mn = 0,40%, Si = 0,25%, C = 0,12%, normalizzato ricotto a 840 °C	20		21	40	(24)							
	300		20	(45)	14							
	400	1,4	19	(30)	12	(6)	(14)	6,5				
	450		18				7	5	21	15	11	(8)
	500		17				3,5	3,3	13	9,5	7	(4)
550						(1,6)	(2,5)	8	6	4	2,7	
Acciaio debolmente legato: Cr = 1,0%, Mn = 0,75%, Mo = 0,35%, Si = 0,25%, C = 0,15%, normalizzato a 890 °C, ricotto a 750 °C, temprato a 840 °C	20			45	(29)							
	300				(15)	(6)						
	400	1,4			(14,5)							
	500				(13)	(5)	8,5	5,4				
	600						1,5	2,74				3,2
Acciaio al cromo: Cr = 13%, C = 0,15%, forgiato	20		20	62	(35)							
	400		18,5				25	7,7				
	450	1,2	17,7				16	6,3				
	500		16,9				9,5	5,27		(20)		
	550		15,5				5,4	4,4		(12)		
600		14				2,5	3,8		(6,5)			
Acciaio inossidabile: Cr = 18%, Ni = 8%, Si = 0,45%, Mn = 0,4%, C = 0,1% austenitico, ricotto a 1070 °C e raffreddato in aria	20		20	(67)	20							
	300				13,4		13,5					
	400	1,8	19		12,6		12,7					
	500		18		12		10	5,6		33	25	21
	600	1,85	15				5,7	4,5		18	11	10
700	1,9	14				1,5	3,5		7,5	4,5	3,8	
Acciaio inossidabile: Cr = 25%, Ni = 20%, Si = 1,5%, Mn = 1%, C = 0,1% austenitico, ricotto a 1050+1100 °C e raffreddato in acqua	20		(20)	60	(25)							
	300				22							
	400		(18)		21							
	500									28	23	20
	600						5	5		15,2	9,9	8,8
700	1,7	(13)				2,2	5		6,1	3,7	3,4	
800	1,4					0,6	(4)		2,7	1,5	1,3	
Nimonic 75 Cr = 20,5%, Si = 0,79%, Mn = 0,27%, Ti = 0,23%, C = 0,13%, Fe = 0,12%, Cu = 0,06%, Ni il resto	20	(1,2)	22	73	(47)							
	650	1,6	18		13,5	2,54	7	2,73				
Legh d'alluminio Cu = 4,4%, Mg = 1,3%, Mn = 0,6%, Fe = 0,34%, Si = 0,18% estruso	20		7,3									
	150		6,9	48	37		19	10				
	190	2,5	6,7	33	22		7,1	5,3				
Rame 99,95% elettrolitico	20	1,8	10	25								
	190		10		11	1,7	2,2	5		9,5	8,4	5,5
	235				8,9	1,24	0,94	1,9				
Legh di magnesio: Al = 2,0%, Zn < 0,05%, Fe < 0,04%, Mn = 0,03%, Si = 0,02%, Cu < 0,01%, Mg il resto	20	2,6	4,5		7,1	4,5	3,5	5,17				
	50				5,9	3,63	2,4	4,45				
Piombo: Tipo commerciale	30		1,4	1,8			0,1	2,7				

Dai dati di diversi autori riportati da (5.13), pag. 162. ODQVIST, E. "MATH. THEORY OF CREEP AND CREEP RUPTURE" OXF. UNIV. PRESS, 1966

Tabella 6: Valori di alcune caratteristiche meccaniche per diversi materiali metallici a varie temperature. Da dati di diversi autori, riportati in Odqvist, *Mathematical Theory of Creep and Creep Rupture*, Oxford Univ. Press, 1966

Tabella 7: Tensioni (in ksi) che provocano un dato scorrimento (creep rate) ad una data temperatura (in °F. Da "Creep Data", ASME e ASTM; basata su prove di 1000 ore.

Material	Creep rate 0.1 percent per 1,000 hr					Creep rate 0.01 percent per 1,000 hr				
	800	900	1000	1100	1200	800	900	1000	1100	1200
Wrought steels:										
SAE 1015	17-27	11-18	3-12	2-7	1	10-18	6-14	3-8	1	
0.20C, 0.50 Mo	26-33	18-25	9-16	2-6	1-2	16-24	11-22	4-12	2	1
0.10-0.25 C, 4-8 Cr + Mo	22	15-18	9-11	3-6	2-3	14-17	11-15	4-7	2-3	1-2
SAE 4140	27-33	20-25	7-15	4-7	1-2	19-28	12-19	3-8	2-4	1
SAE 1030-1045	8-25	5-15	5	2	1	5-15	3-7	2-4	1	
Commercially pure iron										
0.15 C, 1-2.5 Cr, 0.50 Mo	25-35	18-28	8-20	6-8	3-4	20-30	12-18	3-12	2-5	1-2
SAE 4340	20-40	15-30	2-12	1-3		8-20		1-6		
SAE X3140	7-10		5-4			3-8		1-2		
0.20 C, 4-8 Cr	30	10-20	7-10	1				3-5		
0.25 C, 4-8 Cr + W	30	10-15	4-10	2-8			6-11	2-7		
0.10 C, 1.2 Cu		18	10-15	3	1		10-18	7-12		
0.20 C, 1 Mo	35	27	12			25	12	6		
0.10-0.40 C, 0.2-0.5 Mo, 1-2 Mn	30-40	12-20	4-14			25-28	8-15	2-8		0.5
SAE 2340	7-12	5	2			7	6	1		
SAE 6140	30	12	4			30	11	3-9	1	
SAE 7240	30	21	6-15	2		18-50	8-18	2-13		
Cr + Va + W, various	20-70	14-30	5-15							
Wrought chrome-nickel steels:										
"18-8" ^a	10-18	5-11	3-10	2-5	2.5	11-16	5-12	2-10		1-2
10-25 Cr, 10-30 Ni ^b	10-20	5-15	3-10	2-5			6-15	3-10	2-8	1-3
Cast steels:										
0.20-0.40 C	10-20	5-10	3			8-15		1		
0.10-0.30 C, 0.5-1 Mo	28	20-30	6-12	2		20	10-15	2-5		
0.15-0.30 C, 4-8 Cr + Mo	25-30	15-25	8-15	8		20-25	9-15	2-7		
"18-8" ^c			20-25	15	10			20	15	8
Cast iron	20	8	4			10		2		
Cr Ni cast iron			9					3		

^a Additional data. At creep rate 0.1 percent and 1000 (1600) F the stress is 18-25 (1); at creep rate 0.01 percent at 1500 F, the stress is 0.8.

^b Additional data. At creep rate 0.1 percent and 1000 (1600) F the stress is 10-30 (1).

^c Additional data. At creep rate 0.1 percent and 1600 F the stress is 3; at creep rate 0.01 and 1500 F, the stress is 2-3.

Additional temperatures (deg F) and stresses (in 1,000 psi) for stated creep rates (percent per 1,000 hr) for wrought non-ferrous metals are as follows:

60-40 Brass. Rate 0.1, temp. 350 (400), stress 8 (2); rate 0.01, temp 300 (350) [400], stress 10 (3) [1].

Phosphor Bronze. Rate 0.1, temp 400 (550) [700] [800], stress 15 (6) [4] [1]; rate 0.01, temp 400 (550) [700], stress 8 (4) [2].

Nickel. Rate 0.1, temp 800 (1000), stress 20 (10).

70 Cu, 30 Ni. Rate 0.1, temp 600 (750), stress 28 (13-18); rate 0.01, temp 600 (750), stress 14 (8-9).

Aluminum Alloy 17S (Duralumin). Rate 0.1, temp 300 (500) [600], stress 22 (5) [1.5].

Lead, pure (commercial) [0.03 percent Cu], at 110 F, for rate 0.1 percent the stress range, psi, is 150-180 (60-140) [200-220]; for rate of 0.01 percent, 50-90 (10-50) [110-150].

Structural changes may occur during a creep test thus altering the metallurgical condition of the metal. In some cases, premature rupture appears at a low fracture strain in a normally ductile metal indicating that the material has become embrittled.