

I Congresso Geral de Energia Nuclear

Rio de Janeiro, 17 a 20 de Março de 1986

ANAIS - PROCEEDINGS

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO NA FRAGILIZAÇÃO DOS AÇOS MARAGING

Arnaldo H. Paes de Andrade
Paulo Iris Ferreira
Waldemar Alfredo Monteiro

Departamento de Metalurgia Nuclear
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
CNEN/SP São Paulo

Sumário

Os aços "maraging" apresentam uma resistência mecânica elevada aliada a uma boa tenacidade à fratura. Contudo, durante tratamento térmico ou termo-mecânico estes aços podem se tornar frágeis devido principalmente à precipitação de carbo-hidretos de titânio nos contornos de grão da austenita primária, apresentando então fratura intergranular.

Este fenômeno é aqui revisto criticamente e enfatizado o seu efeito em processos de conformação à quente. Resultados experimentais preliminares são apresentados como ilustração do fenômeno.

Abstract

Maraging steels show high mechanical strength and good fracture toughness. However, during thermal or thermal-mechanical treatments, these steels may become embrittled due to the precipitation of titanium carbonitrides films on the grain boundaries of previous austenite; as a consequence intergranular fracture takes place.

The phenomenon is critically reviewed in this work and its effect in hot-processing of metals is emphasized. As example, initial experimental results are presented.

O termo "maraging" é uma abreviatura de "martensite age hardening" e é aplicado a um grupo especial de aços de elevada resistência mecânica (Tabela 1) a qual é obtida por uma reação de envelhecimento (em torno dos 500 C) de uma matriz martensítica com baixo teor de carbono (Figura 1).

O endurecimento resultante é causado por uma precipitação muito fina de Ni_3Mo e Ni_3Ti , embora diversas outras fases intermetálicas também tenham sido identificadas. Estas fases não são coerentes com a matriz e portanto são nucleadas preferencialmente em discordâncias e contornos de grão. A alta densidade de discordâncias, antes do envelhecimento, produzida pela transformação martensítica fornece numerosos sítios de nucleação para a fase dispersa. Limites de escoamento da ordem de 2,4 GPa são atingidos juntamente com alongamento de 8% e redução de área de 40 a 60% (Tabela 2). A combinação destas propriedades conduzem a uma excelente tenacidade à fratura e como consequência disto a uma vasta gama de aplicações tecnológicas, inclusive na área nuclear.

Os aços maraging sofrem uma degradação severa na tenacidade à fratura quando tratados termicamente de modo não apropriado. Quando lingotes de seção apreciável são forjados em temperaturas relativamente elevadas (acima dos 1100 C) e resfriados lentamente, o material torna-se frágil. Esta fragilização é devida a uma outra reação de precipitação: a formação de filmes de TiC e $Ti(C, N)$ nos contornos de grão da austenita primária após o material ter permanecido um certo tempo em temperaturas na faixa entre 750 e 1050 C (Figura 2).

O material fragilizado rompe ao longo dos contornos de grãos (fratura intergranular (Figura 3). O valor de energia absorvida em ensaio de impacto juntamente com a aparência da superfície de fratura servem para avaliar o grau de fragilização.

Dois estágios são observados para a queda na tenacidade. Primeiramente ocorre a difusão de impurezas intersticiais (C, N) para os contornos dos grãos austeníticos ocorrendo em seguida uma precipitação discreta de filmes de $Ti(C, N)$ nos referidos contornos (figura 4).

O intervalo de temperatura de fragilização térmica é determinado, no seu limite inferior, pela temperatura mais baixa para a difusão adequada do soluto-impureza ou por interferência da reação martensítica por meio da qual outros sítios são fornecidos para a aglomeração e precipitação dos carbonetos. O limite superior do intervalo de fragilização é determinado pela temperatura na qual os átomos de impureza são retirados dos contornos de grão e novamente colocados em solução sólida na matriz austenítica (1).

Na prática da fabricação destes aços esta precipitação deve ser evitada. Recozimentos em temperaturas elevadas (entre 1040 e 1320 C) são efetuados para dissolver partículas de $Ti(C, N)$ encontradas nos grãos austeníticos. É recomendável a utilização de taxas de resfriamento relativamente rápidas, principalmente na faixa de fragilização térmica. O uso de aços com teor de titânio não muito elevado também é enfatizado. Um grande tamanho de grão é benéfico quando temperas rápidas são utilizadas a partir do tratamento de solubilização, mas é prejudicial quando o resfriamento é ao ar ou envolve uma parada intermediária.

BIBLIOGRAFIA

- [1] KALISH, D. & RACK, H. J Thermal Embrittlement of 18 Ni (350) Maraging Steels. Metallurgical Transactions 2: 2665 (1971)

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA NOMINAL (% EM PESO)

	Ni	Mo	Co	Ti	Al	C
18 Ni (300)	18	5,0	9,0	0,7	0,1	0,03
18 Ni (350)	18	4,2	12,5	1,6	0,1	0,03

TABELA 2 - TRATAMENTOS TÉRMICOS E PROPRIEDADES MECÂNICAS

GRAU	T.T. (*)	L.R. (MPa)	L.E. (MPa)	ALONG.% (50 mm)	R.A. (%)	K _{1C} (MPa M)
18 Ni (300)	A	2050	2000	7	40	80
18 Ni (350)	B	2450	2400	6	25	35-50

* T.T.A. - Austenitização 820 C/1; Envelhecimento 480/3 horas
 T.T.B. - Austenitização 820 C/1 hora; Envelhecimento 480 C/12 horas.

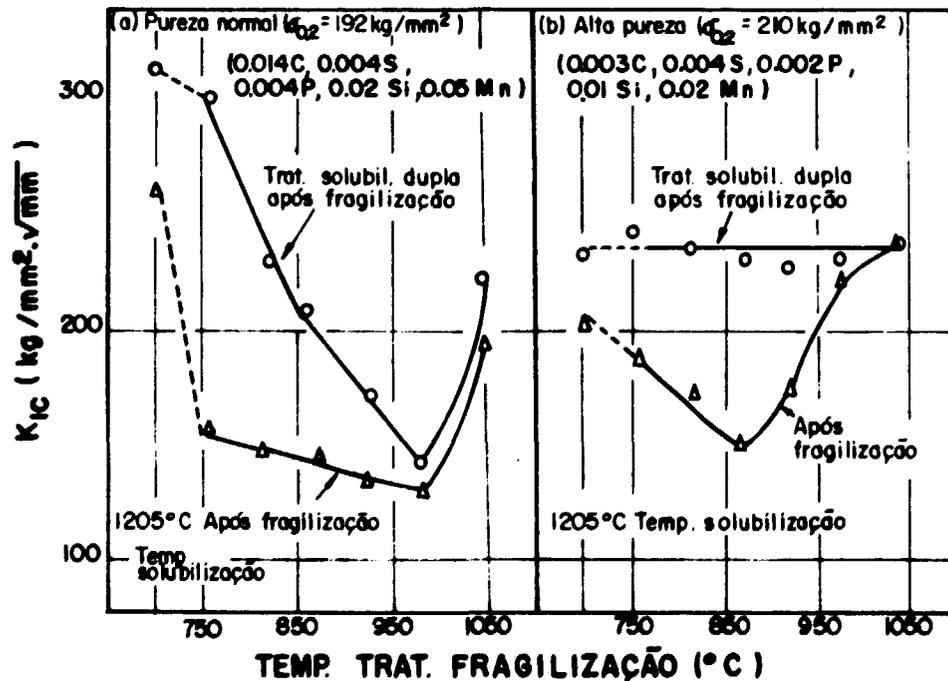


Figura 2: Efeito do tratamento térmico de fragilização na tenacidade à fratura de dois aços maraging de série 300.

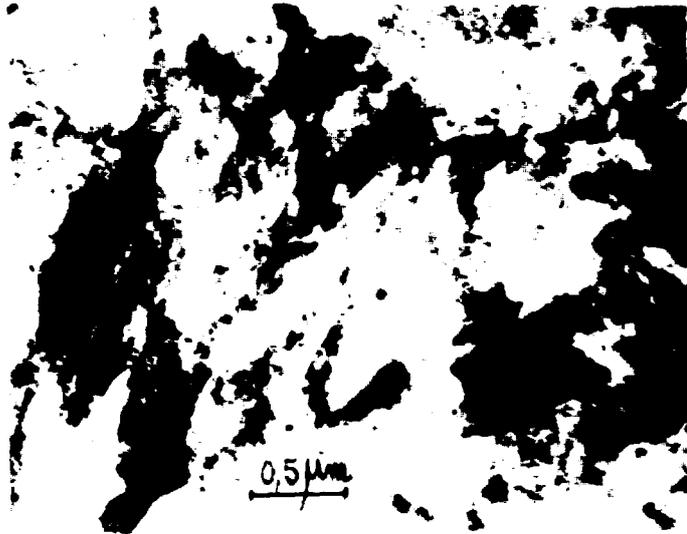


Figura 1. Micrografia eletrônica do aço MAR 300 solubilizado apresentando uma elevada densidade de discordâncias numa matriz martensítica lamelar.

Figura 3: Fratura eletrônica de varredura do aço MAR 350 na condição fragilizada mostrando fratura intergranular.



Figura 4: Micrografia eletrônica do aço MAR 300 evidenciando uma junção tripla de grãos com precipitados nos contornos.