cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Análise das transformações de fases e precipitação de carbonetos no tratamento térmico do aço ferramenta sinterizado M2:3

Vitor Baumgärtner; Beatriz Cardoso Santos; Fernando Moreira Bordin;
Carlos Enrique Niño Bohórquez; Fábio Antônio Xavier.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Introdução

Aços ferramenta são amplamente utilizados na indústria em matrizes e punções sob exigências severas de dureza e tenacidade. Características obtidas pelo fenômeno do endurecimento secundário e decomposição da austenita retida após o revenimento adequado. A dureza a quente requer um ótimo controle da precipitação de carbonetos. A metalurgia do pó, junto à prensagem isostática a quente, melhoram o controle dos carbonetos primários, mas outros testes podem elucidar a precipitação dos secundários.

Objetivos

Caracterizar por meio de ensaio de dilatometria linear as temperaturas de início e fim da transformação austenítica e martensítica. Identificar a influência da precipitação de carbonetos secundários durante os revenimentos.

Metodologia

Os corpos de prova cilíndricos, com 24 mm de comprimento e Ø 5 mm, foram fabricados em aço ferramenta sinterizado S790 (Tab. 1).

Tabela 1. Composição química do material (wt%).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V
1,29	0,56	0,28	0,02	0,15	4,02	4,89	6,06	3,00

Os ensaios foram realizados no dilatômetro NETZSCH DIL 402 C com atmosfera de VARIGON H5 (95% Argônio e 5% Hidrogênio). amostras foram ensaiadas em ciclo térmico (Tab. 2) empregado na fabricação de ferramental de conformação.

Tabela 2. Parâmetros dos ensaios de cada corpo de prova e especificações iniciais.

Amostra	Pré-aquecimento		Têmpera			Revenimento (3x)		Taxa de Aquecimento
	Temperatura [°C]/Tempo [min]					[°C]/[min]		[ºC/min]
R1	500/40	900/10	1020/10	510/3	Resf. até 25 °C	560/20	Resf. por 40 min	10
R2			1050/6					

Resultados e Discussões

As temperaturas de transformação Ac_1, Ac_3 e M_s (Fig. 1 (a, c)) estão de acordo com as da literatura do material. Já as diferenças entre as temperaturas e tempo de transformação austenítica (Fig. 1 (b)) indicam heterogeneidade na composição ou nas fases presentes.

O surgimento de bainita era inesperado pela elevada presença de elementos de liga austenitizantes, os quais facilitam o processo da têmpera. Isso pode ter ocorrido pela baixa taxa de resfriamento no interior do equipamento.

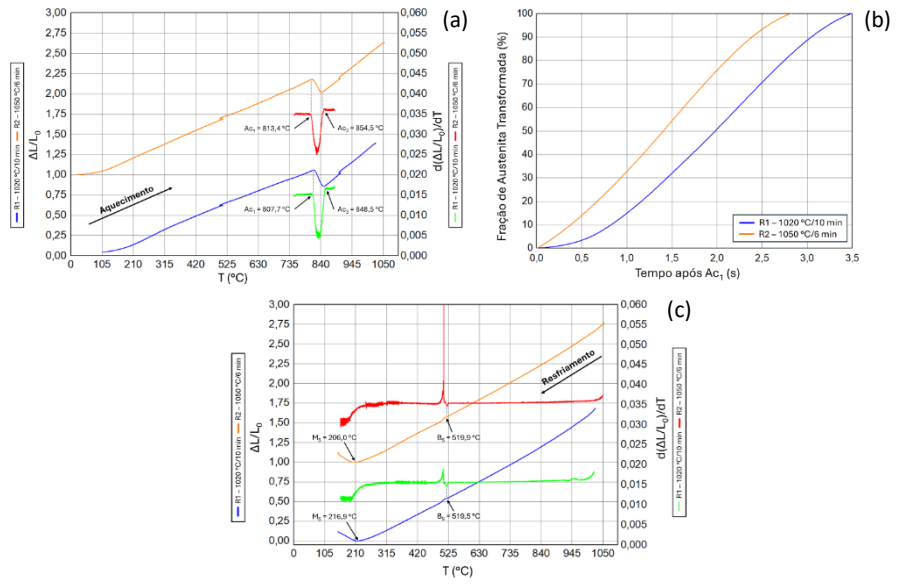


Figura 1. (a) Curvas de deformação e temperatura do aquecimento; (b) Curva de tempo de transformação; (c) Curvas de deformação e temperatura do resfriamento.

A análise da taxa de deformação dos revenimentos (Fig. 2) indicou a decomposição da austenita retida em bainita (a) e martensita não revenida (c). A variação abrupta da taxa de deformação durante o aquecimento dos revenimentos pode apontar para a precipitação de carbonetos gerando a dureza a quente (b).

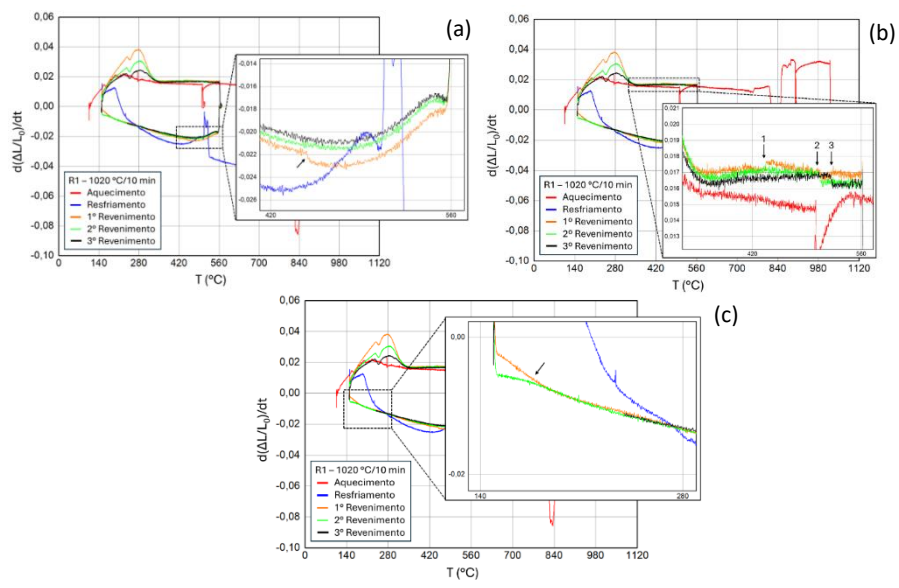


Figura 2. (a) Detalhe no início do resfriamento nos revenimentos; (b) Detalhe no fim aquecimento dos revenimentos; (c) Detalhe no fim do resfriamento dos revenimentos.

Conclusões

Os ensaios de dilatometria revelaram as temperaturas de transformação de fases de forma satisfatória. Também indicaram uma possível composição eutetóide na matriz inicial, eficiência dos revenimentos na decomposição da austenita retida e possíveis intervalos de precipitação secundária. A heterogeneidade observada pode surgir da distinção das fases adquiridas no processamento do material base.

Referências e Agradecimentos

1. ANDRÉS. C.G.; CABALLERO, F.G.; CAPDEVILA, C.; ÁLVAREZ, L.F. Application of dilatometric analysis to the study of solid-solid phase transformations in steels. Materials Characterization, v. 48, pp. 101-111, 2002. DOI: 10.1016/S1044-5803(02)00259-0.
2. HUNKEL, M.; SURM, H.; STEINBACHER, M. Dilatometry. cap. 3. Leibniz-Institute for Materials Engineering - IWT, Germany. 2018. DOI:10.1016/B978-0-444-64062-8.00019-X.
3. PAWLOWSKI, B. Determination of Critical points of hypoeutectoid steels. Archives of Metallurgy and Materiails, v. 57:4, pp. 957-962, 2012. DOI: 10.2478/v10172-012-0106-4.