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

ANÁLISE DA SOLIDIFICAÇÃO ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES TERMODINÂMICAS E TERMOGRAVIMETRIA EM LIGA DE NÍQUEL PRODUZIDA *IN SITU* POR MANUFATURA ADITIVA

Alcântara Filho, L.E.V.[1]; Sousa, A.B.F.[1]; Barreto, A.S.[1]; Miranda, H.C.[1]; Motta, M.F.[1]; Medeiros, S.L.S.[2]; Santos, J.C.P.[3]; Silva, C.C.[1]

[1].Laboratório de Pesquisa Tecnologia em Soldagem (LPTS), Universidade Federal do Ceará (UFC); [2].Laboratório de Materiais Avançados (LMA), Universidade Federal do Ceará (UFC); [3].Thermo-Calc Software AB.

Introdução

- As ligas à base de níquel combinam elevada resistência mecânica e à corrosão. Nesse contexto, há oportunidade de otimizar as características com o desenvolvimento de novas ligas;
- O processo de soldagem MIG/MAG com dupla alimentação permite a fusão de arames com composições distintas, bem como o ajuste de suas proporções, resultando em ligas com composições otimizadas.

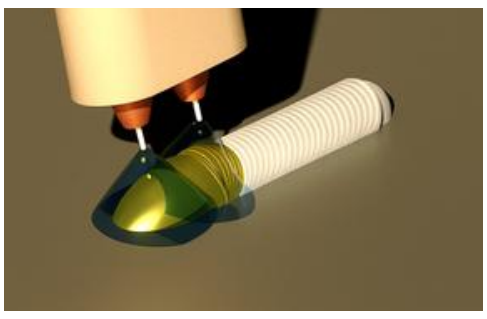


Figura 1. Representação do processo de soldagem MIG/MAG com duplo arame. Fonte: Motta *et al*. (2020), adaptada.

Objetivos

A demanda por novas ligas de composição química avançada tem crescido, porém há uma lacuna em ligas comerciais, especialmente em consumíveis para soldagem. O presente trabalho tem como objetivo determinar a rota de solidificação da liga *in situ* via soldagem MIG/MAG-DA avaliando a presença da fase sigma e do carbono.

Metodologia

Tabela 1. Composição química dos metais de adição e da liga *in situ.*

Material	Composição química (% em peso)								
	Ni	**Cr**	**Mo**	**Nb**	**W**	**C**	**Fe**	**Ti**	**Mn**
AWS ER NiCrMo-3 (625)	64,4	22,2	9,13	3,53	-	0,01	0,2	0,2	0,1
AWS ER NiCrMo-4 (C276)	56,8	16,1	16,3	-	3,4	0,002	6,1	-	0,5
Liga *in situ* (65% C276 / 35% 625)	60,0	18,8	13,7	1,1	2,0	0,03	3,94	0,03	0,3

Tabela 2. Tabela das condições simuladas no Thermo-Calc®.

Condição	Presença de carbono	Presença de Fase Sigma
A	✓	✓
B	✓	X
C	X	✓
D	X	X

- **Faixa de solidificação (∆Tsol)**
  ∆Tsol = Tliquidus – Tsolidus
- **Faixa de temperatura de fragilização (BTR)**
  BTR = ZST(fs = 0,8) – ZDT(fs = 0,99)

Resultados e Discussões

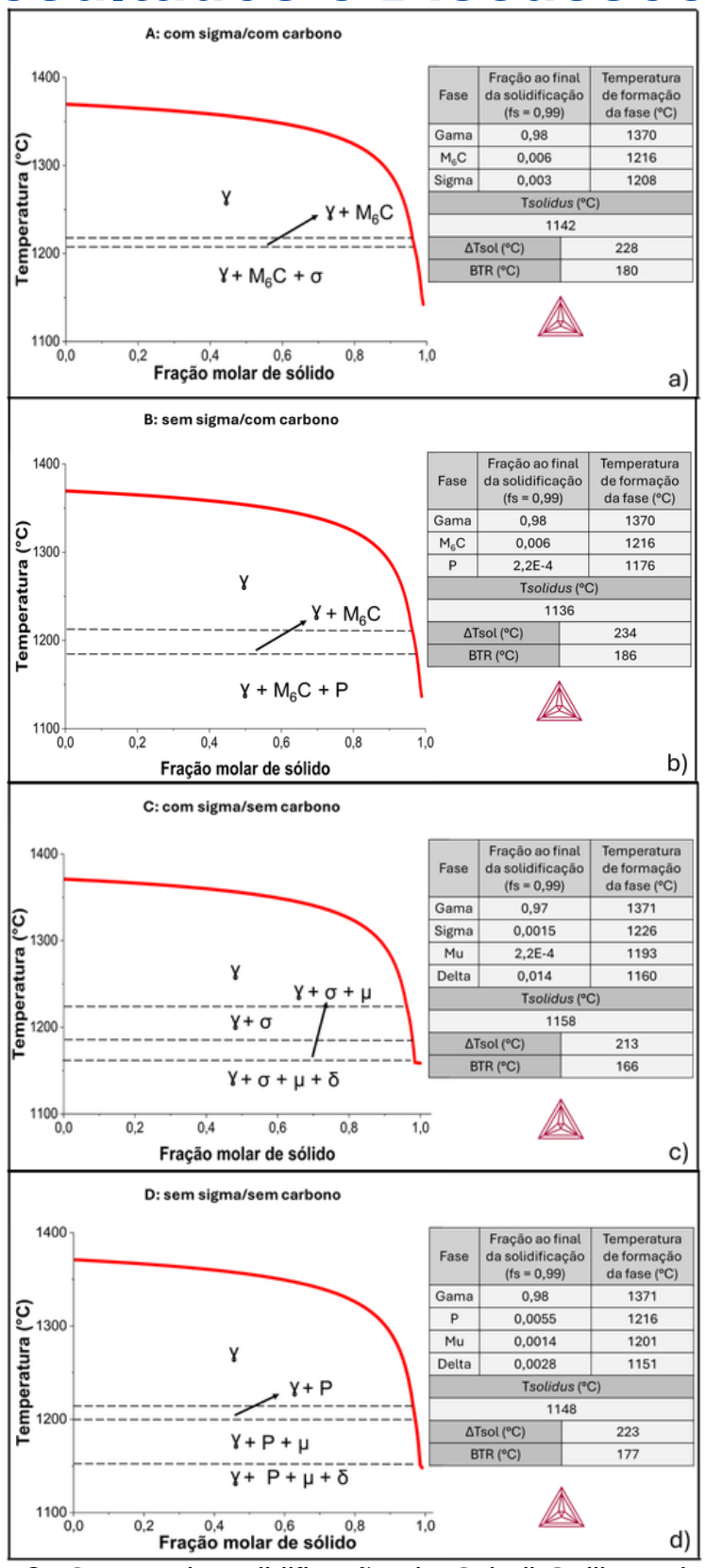


Figura 2. Curvas de solidificação de Scheil-Gulliver obtidas no programa Thermo-Calc® para a liga *in situ*: (a) considerando a formação de fase sigma; (b) desconsiderando a formação de fase sigma; (c) considerando a formação da fase sigma e desconsiderando a presença de carbono; (d) desconsiderando a formação de sigma e presença de carbono.

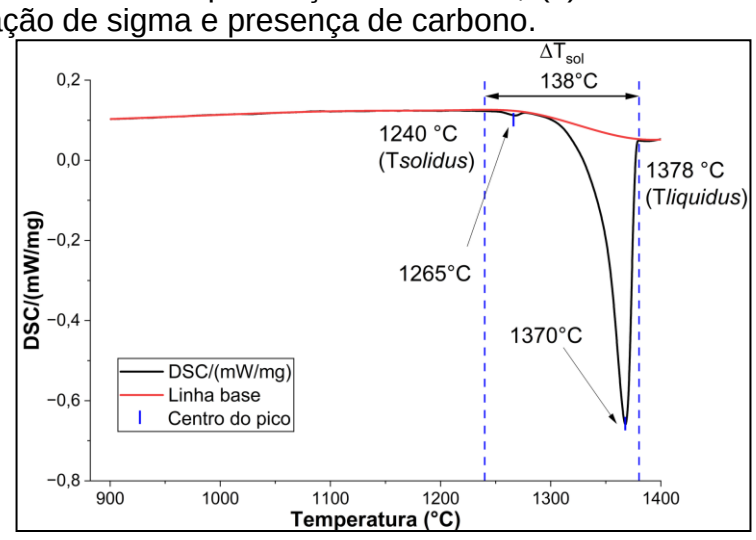


Figura 3. Curva de DSC da liga *in situ.*

Conclusões

- O aumento da faixa de solidificação e do BTR é fortemente influenciado pela formação de fases secundárias ao fim da solidificação;
- A análise termodinâmica da liga *in situ* revelou a formação das fases secundárias σ, μ, δ, P e carbonetos M_6C $(NiMoNb)_6C$.

Agradecimentos

UFC
LPTS Laboratório de Pesquisa e Tecnologia em Soldagem
CNPq
CAPES
FUNCAP