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

Desenvolvimento e Validação de Moldes Cimentícios como Ferramental Alternativo para a Metalurgia do Pó

Dalton Daniel Lima[1]; Andreia Moreira da Silva[1]; Vanderlei Portella de Gregori[1]; Erich David Rodriguez[1]; Natália de Freitas Daudt[1]
[1]Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS

Introdução

Na metalurgia do pó (MP), as matrizes de compactação são usinadas em aço-ferramenta e tratadas termicamente, o que torna o ferramental caro e demorado para prototipagem e pequenas séries. Compósitos cimentícios podem ser moldados na geometria final, sem usinagem nem tratamento térmico.

Objetivos

Avaliar moldes de compósito cimentício confinados por coleiras metálicas na compactação uniaxial de pó de ferro, em comparação com um molde de aço-ferramenta.

Metodologia

Os moldes foram vazados em formas impressas em 3D, adensados por vibração (7 min) e curados em quatro fases, até 200 °C. Coleiras metálicas os confinam em compressão, elevando a pressão admissível de 400 para 700 MPa. Pó de ferro puro foi compactado a 400–700 MPa no molde cimentício (C) e a 600 MPa no de aço (M), e sinterizado a 1150 °C por 3 h sob vácuo.

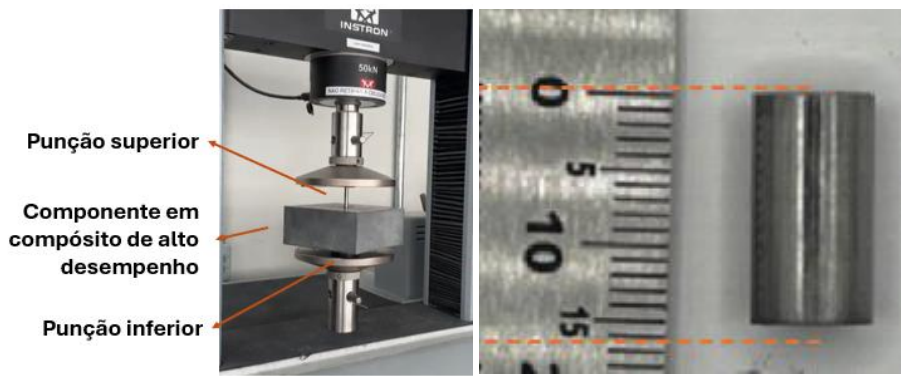


Figura 1. Compactação de CP de compressão em moldes cimentícios.

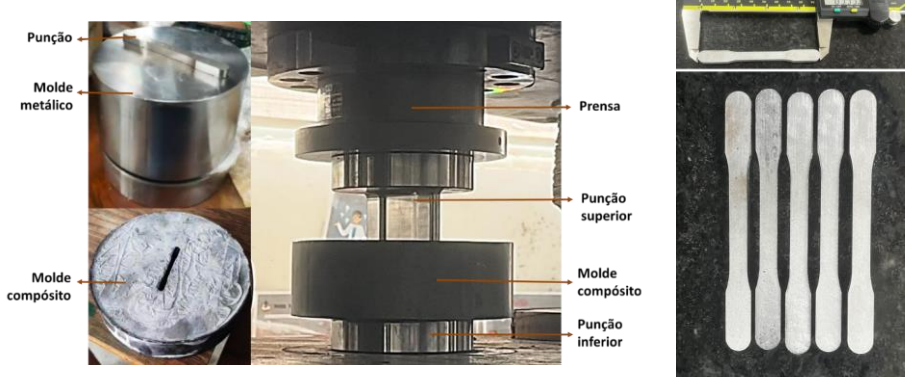


Figura 2. Molde de tração e CPs compactados à verde.

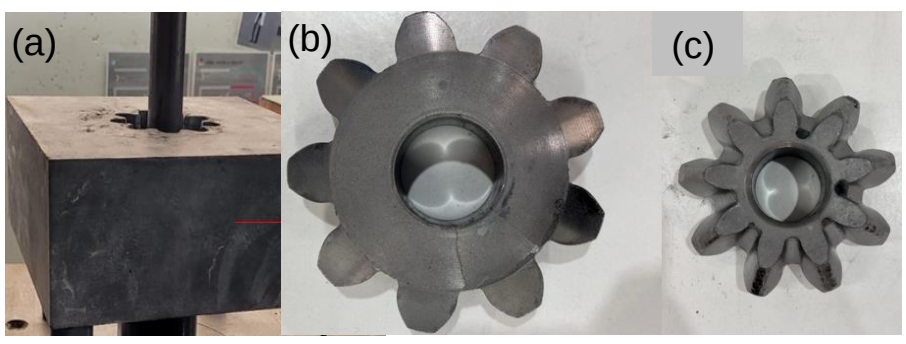


Figura 3. (a) Molde cimentício de engranagem cônica; (b-c) engrenagem cônica compactada.

Resultados e Discussão

A 600 MPa, as rotas foram equivalentes em densidade sinterizada e tração. O molde cimentício gerou maior compressão e densidade a verde seis vezes menos dispersa (Tabela 1).

Tabela 1. Média ± desvio-padrão a 600 MPa.

Propriedade	C-600	M-600	p
Dens. a verde (g/cm³)	6,78 ± 0,01	6,81 ± 0,08	0,41
Dens. sinterizada (g/cm³)	7,29 ± 0,10	7,26 ± 0,12	0,72
Porosidade (%)	7,4 ± 1,2	7,7 ± 1,5	0,72
Compressão 50% (MPa)	683 ± 7	660 ± 18	0,046
Escoamento comp. (MPa)	96,7 ± 1,1	91,0 ± 2,6	0,005
Tração (MPa)	140 ± 7	132 ± 10	0,16

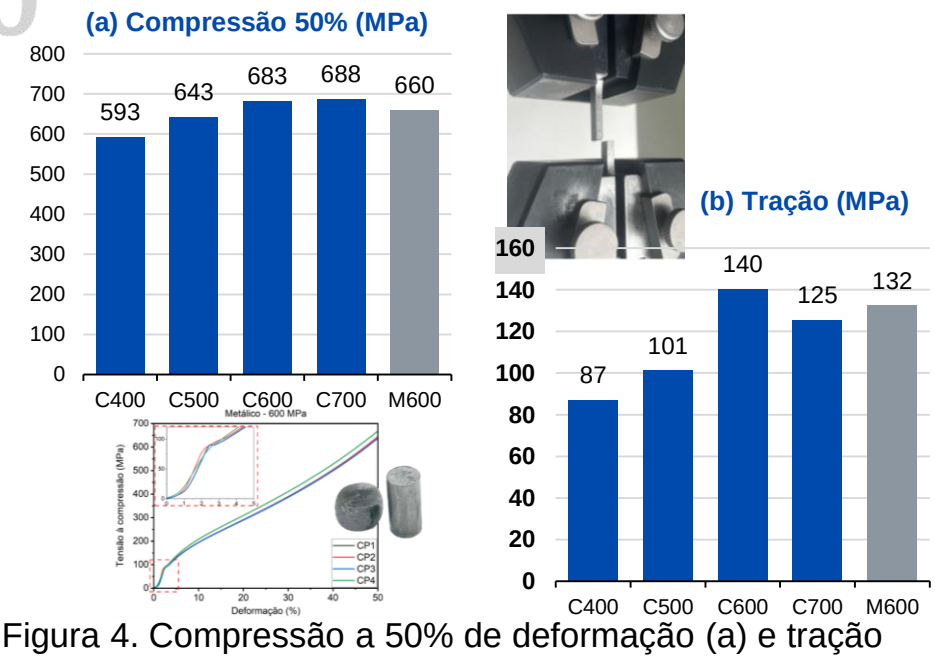


Figura 4. Compressão a 50% de deformação (a) e tração (b). C: molde cimentício; M: aço.

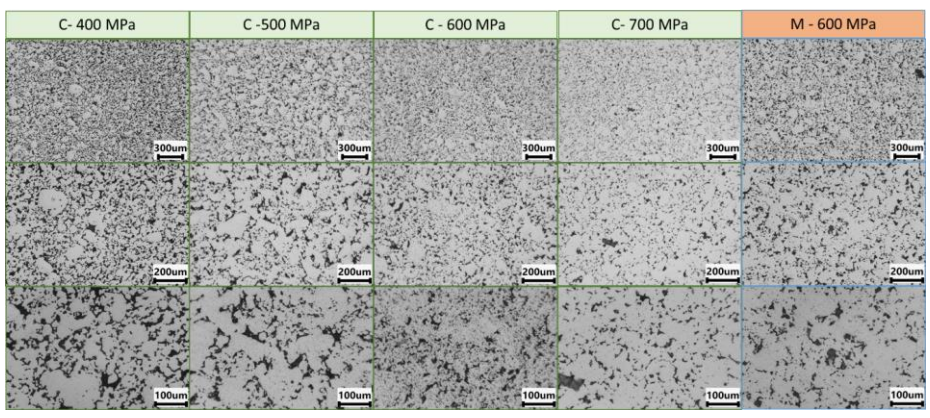


Figura 5. Microestruturas sinterizadas: porosidade de 7,4% (C-600) e 7,7% (M-600).

Conclusões

- Moldes cimentícios confinados por coleiras suportaram compactação até 700 MPa.
- A 600 MPa, densidade sinterizada e tração não diferiram das do molde de aço, e a compressão foi maior (p = 0,046).
- A densidade a verde foi menos dispersa no molde cimentício (p = 0,005).
- A cavidade cimentícia ficou mais lisa nos primeiros ciclos (Ra −78% contra −27%).
- Sem usinagem e com coleiras reutilizáveis, o molde tem potencial de menor custo.

Referências e Agradecimentos

GERMAN, R. M. Powder metallurgy & particulate materials processing. Princeton: Metal Powder Industries Federation, 2005.
KLEINER, M. et al. Development of ultra high performance concrete dies for sheet metal hydroforming. Production Engineering, v. 2, n. 2, p. 201-208, 2008.
HOLZER, K. et al. Experimental study on deep-drawing dies made of pre-stressed UHPC. Materials, v. 18, n. 2, p. 277, 2025.
Agradecimentos: Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística, por meio da FUNDEP, Projeto 2.8925 (8925).