

## Ferro de Grafite Compactado

As partículas de grafite do Ferro Vermicular (CGI – Compacted Graphite Iron) aparecem como partículas individuais em forma de “minhoca” ou vermiculadas. As partículas são alongadas e orientadas aleatoriamente como no ferro cinzento; no entanto, elas são mais curtas e mais grossas do que os flocos de grafite no ferro cinzento e também têm arestas arredondadas. Enquanto as partículas de grafite compactadas aparecem em forma de “minhoca” quando vistas em duas dimensões, com a gravação do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) em profundidade, é mostrado que as “minhocas” individuais estão conectadas aos seus vizinhos mais próximos dentro da célula eutética. Esta complexa morfologia de grafite semelhante a coral, juntamente com as bordas arredondadas e superfícies irregulares, resulta em forte adesão entre a grafite e a matriz de ferro. Esta morfologia de grafite compactada inibe a iniciação e o crescimento da fissuras e é a fonte do melhoramento das propriedades mecânicas comparadas ao ferro cinzento.

O padrão internacional ISO 16112 para CGI fornece cinco graus de CGI, variando de uma resistência de tração mínima de 300 MPa à 500 MPa (GJV 300 a GJV 500). Para cada um desses graus, a especificação de microestrutura requer um intervalo de nodularidade de 0 a 20%. O teor de Pearlite pode ser escolhido para se adequar à aplicação, com o GJV 300 Grade sendo totalmente ferrítico e o GJV 500 Grade sendo totalmente perlítico. Grafite lamelar (flocos) é inadmissível. Tal como acontece com o ferro cinzento e o ferro dúctil, podem ser adicionados elementos de liga específicos para aumentar a resistência a altas temperaturas, resistência ao desgaste ou outras propriedades. Uma gama completa de tratamentos térmicos, incluindo austêmpera, também pode ser aplicada. As variações químicas típicas são fornecidas abaixo, embora a especificação química das peças fundidas do ferro vermicular esteja subordinada às propriedades mecânicas.

## Propriedade Químicas de 0–20% Nodularidade em CGI

Grade	Pearlítico (%)	Análise Química (%)								
		C	Si	CE	Mn	S	Mg	CeMM	Cu	Sn
GJV 400	~ 70	3.6–3.8	2.1–2.5	4.4–4.7	0.2–0.4	0.005–0.022	0.006–0.014	0.01–0.03	0.3–0.6	0.03–0.05
GJV 450	> 90	3.6–3.8	2.1–2.5	4.4–4.7	0.2–0.4	0.005–0.022	0.006–0.014	0.01–0.03	0.7–1.0	0.08–0.10

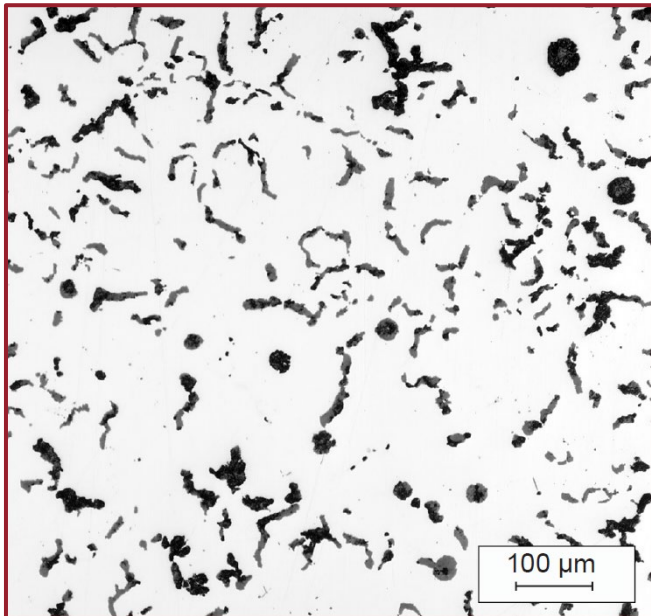


Figura 1: CGI microestrutura contendo 10% nodularidade

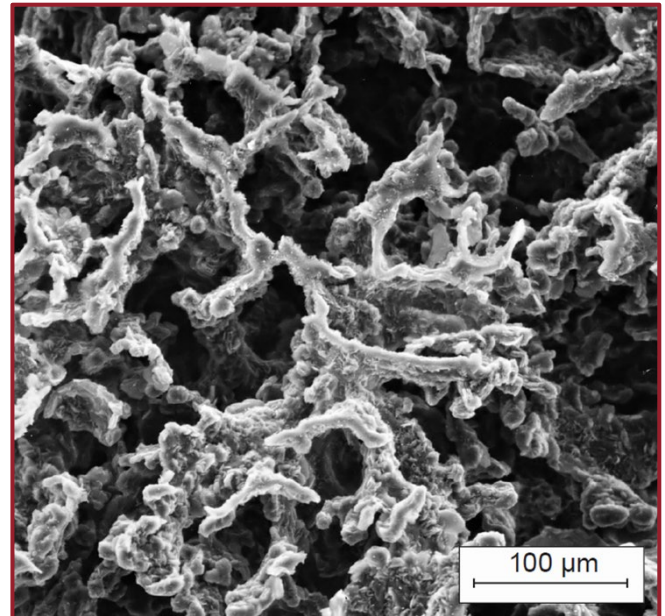


Figura 2: Gravura profunda de MEV mostra o grafite em formato de coral em três dimensões

## Propriedades Físicas e Mecânica de 10% de Nodularidade CGI – ISO 16112

Propriedade	Método de teste	Temp (C°)	GJV 400	GJV 450
Conteúdo Perlítico (%)			~ 70	> 90
Resistência à Tração (MPa)	ASTME 8M (25°C)	25	400–475	450–525
	ASTME 21 (100°C & 300°C)	100	375–450	425–500
		400	300–375	350–425
0.2% Força de Rendimento (MPa)	ASTME 8M (25°C)	25	280–330	315–365
	ASTME 21 (100°C & 300°C)	100	255–305	290–340
		400	230–280	265–315
Módulo Elástico (GPa)	ASTME 8M (25°C)	25	140–150	145–155
	ASTME 21 (100°C & 300°C)	100	135–145	140–150
		400	130–140	135–145
Alongamento (%)	ASTME 8M (25°C)	25	1.0–3.5	1.0–2.5
	ASTME 21 (100°C & 300°C)	100	1.0–3.0	1.0–2.0
		400	1.0–2.5	0.5–1.5
Taxa de resistência (Limite de fadiga /UTS)	Rotação - Dobramento	25	0.45–0.50	0.45–0.50
	Tensão - Compressão	25	0.25–0.35	0.25–0.35
	Dobramento de 3 pontos	25	0.60–0.70	0.60–0.70
Condutividade Térmica (W/m-K)	Fluxo de calor axial comparativo	25	39	38
	ASTME 1225	100	39	37
		400	38	36
Coeficiente de expansão térmica (µm/m-K)	Pushrod dilatometria DIN 51 045	100	11.0	11.0
		400	12.5	12.5
Coeficiente de Poisson	ASTME 132	25	0.26	0.26
		100	0.26	0.26
		400	0.27	0.27
0.2% Rendimento compressivo (MPa)	ASTME 9 (largura média)	25	380–420	410–440
		400	280–320	350–390
Fator de Redução da Força de Fadiga	Dependente da geometria do entalhe	25	1.20–1.60	1.20–1.60
Densidade (g/cc)	Espaçamento (750x25x25) mm	25	7.0–7.1	7.0–7.2
Dureza Brinell (BHN)	10 mm diametro, 3000 kg peso	25	183–235	207–255

### O efeito da taxa de resfriamento

A taxa de resfriamento de uma peça fundida influencia a microestrutura de três maneiras. Primeiro, taxas de resfriamento mais altas aumentam o número de células eutéticas por milímetro quadrado, resultando em mais limites de grão que reforçam e fortalecem o material. Em segundo lugar, paredes mais finas (<4~5 mm) com resfriamento mais rápido tenderão a ter maior nodularidade, talvez até 50% de nodularidade, proporcionando maior resistência, embora esse efeito seja menor em componentes grandes com alta massa térmica. Terceiro, taxas de resfriamento mais rápidas promovem perlita mais fina, novamente aumentando a resistência. Por essas razões, os componentes menores geralmente têm propriedades mecânicas mais altas do que os componentes maiores, mesmo que a química e a microestrutura sejam as mesmas.

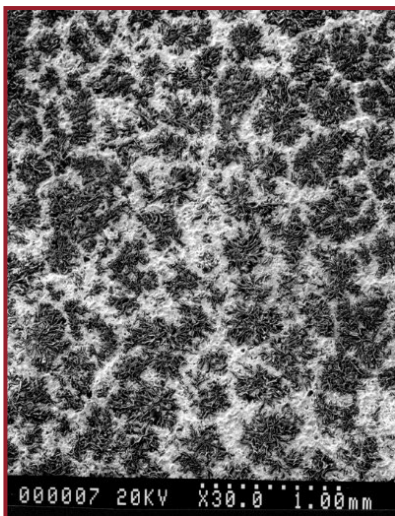


Figura 3: Taxas de resfriamento mais rápidas resultam em células eutéticas menores com mais limites de grão

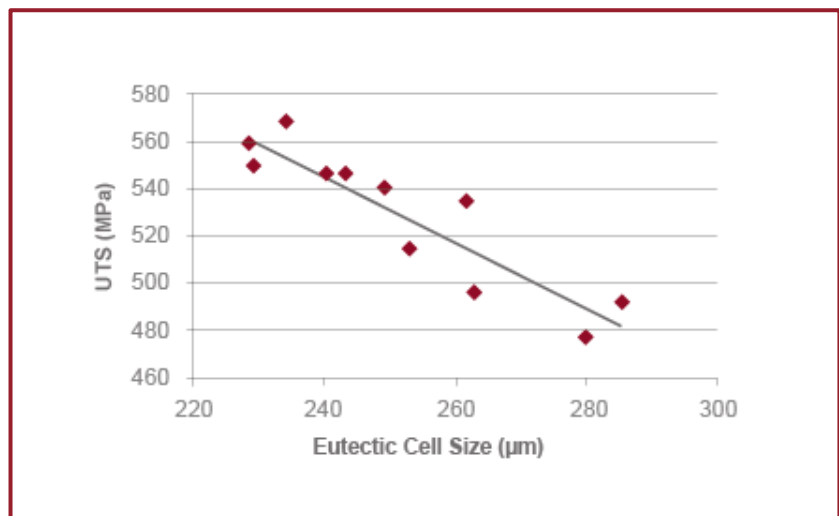


Figura 4: A resistência à tração aumenta à medida que o tamanho da célula eutética diminui