

## SiMo – Fontes sphéroïdales ferritiques légèrement alliées pour utilisation sous hautes températures suivant le norme DIN EN 16124 : 2011

Les matériaux de fonte, conçus pour être utilisés à des températures plus élevées, doivent avoir à la fois la résistance nécessaire à la chaleur, à l'oxydation, et au fluage. C'est dans cet objectif qu'ont été développées les fontes **SiMo**, dans lesquelles les nodules de Carbone qui ont principalement des formes de graphites sphéroïdales, sont alliés au Silicium pour obtenir une matrice essentiellement ferritique, et au Molybdène afin d'améliorer les propriétés mécaniques à des températures élevées. Alors que le silicium forme une couche d'oxyde protectrice, le molybdène dans des teneurs de 0,5% à 3% (voir plus, pour les cas spéciaux) est l'élément le plus approprié pour augmenter la résistance à la traction à chaud, le point d'écoulement et en particulier la résistance au fluage. Dans une plage de température allant jusqu'à 700 ° C, les domaines d'application sont les carters de turbocompresseurs, et de turbines à gaz, les collecteurs d'échappement, ainsi que des moules de verrerie, et des supports internes de fours ou des matrices pour le formage à chaud utilisées pour des alliages de titane et aciers fortement alliés. Pour les températures plus élevées on a développé les qualités de fontes austénitiques qui permettent l'utilisation de la matière jusqu'à 1000°C (voir fiche technique N°6.)



Distribution de gaz moteurs de poids lourds



Conduits de mélange de gaz



Collecteur d'échappement moteur de locomotive



Collecteurs d'échappement de moteurs marins

### Composition chimique

Pour la fonte ductile, l'apport de silicium dans une teneur comprise entre 4 et 5% correspond à la combinaison la meilleure pour obtenir la résistance à l'oxydation, à la rupture, et la résilience. Bien que les nuances avec des teneurs en silicium supérieures (jusqu'à 6%) aient une résistance à l'oxydation améliorée et pourraient être utilisées, à des températures de fonctionnement plus élevées, celles-ci sont également beaucoup plus fragiles.

La résistance à la chaleur est obtenue par des apports de molybdène parmi lesquels 0,5% à 2,0% représentent la valeur optimale en ce qui concerne la résistance à la chaleur, la résilience et les coûts. De telles teneurs en molybdène conduisent à des carbures, qui à l'état recuit sont plus stable, de sorte que la dureté a augmenté à plus de 250 HB, et que la résistance à l'allongement et la résilience peuvent être diminuée à température ambiante. Dans ces conditions, une nuance avec près de 5% de silicium et 1,5% de molybdène représente la solution la moins cher pour le plus grand nombre d'applications. La teneur en carbone est pour tous les grades de SiMo entre 2,9% et 3,8%. De plus faibles teneurs en carbone augmentent la résistance, la dureté et la résilience. La teneur en manganèse ne devrait pas dépasser 0,5% (meilleure max. 0,3%) pour éviter de fragiliser la fonte. Les teneurs en phosphore et en soufre correspondent à celles de la fonte normale avec du graphite nodulaire (voir inf. technique N° 1).

### Comportement à l'oxydation

L'attaque de l'oxydation peut apparaître sous forme d'oxydation externe ou interne. L'oxydation externe se produit en surface sur laquelle se développe lentement une couche croissante de calamine. Pour l'oxydation interne, les gaz oxydants se diffusent dans les imperfections, ou les microfissures internes de la pièce, et provoquent une attaque d'oxydation. Ce mécanisme d'oxydation interne, montre que la fonte à graphites sphéroïdale est beaucoup plus résistante que la fonte à graphite

lamellaire, car il ne peut pas y avoir de pénétration de la structure lamellaire.

L'amélioration de la résistance à l'oxydation par le silicium est basée sur la formation d'un revêtement d'oxyde de silicium riche, ce qui ralentit et finalement arrête l'oxydation.

### Propriétés mécaniques

Les fontes ductiles alliées au molybdène avec une teneur de silicium allant jusqu'à 5% ont une résistance à la traction à chaud, et une limite élastique à chaud nettement plus élevées qu'une fonte ductile à structure ferritique ordinaire. Déjà relevée à 4%, la teneur en silicium apporte à la fonte ductile normale, une augmentation de la résistance, qui est ensuite amplifiée par l'addition de molybdène, en particulier à des températures plus élevées encore.

L'augmentation des teneurs en molybdène améliore la résistance à la rupture par fluage de manière significative pendant 100 et 1000 heures à des températures de 650°C à 815°C pour une teneur en molybdène comprise entre 0% et 3%, avec la plus forte augmentation se produisant dès 1% de molybdène.

### Normes

La norme Européenne DIN EN 16124 classe les fontes ductiles ferritiques légèrement alliées en 9 nuances en fonction de leurs résistances à la chaleur et à l'oxydation. De plus, les normes communes de fontes sont également applicables:

- DIN EN ISO 8062 Tolérances dimensionnelles et géométrique des pièces moulées
- EN 10204:2004 Produits métalliques – Types de documents de contrôle
- EN ISO 148-1:2010, Essai de flexion par choc sur éprouvettes Charpy - Partie 1:
- EN ISO 945-1:2008, Microstructure des fontes - Partie 1: Classification du graphite par analyse visuelle
- EN ISO 6506 - 1, Essai de dureté Brinell - Partie 1: Méthode d'essai
- EN ISO 6892-1:2009, Essai de traction – Partie 1 : méthode d'essai à température ambiante (ISO 6892 - 1:2009)

## Qualités de matériaux définis suivant la norme DIN EN 16124:2011

Designations des matériaux		Silicium	Molybdène
Abréviations	Nombres	% (fraction massique)	% (fraction massique)
EN-GJS-SiMo25-5	5.3111	2,3 à 2,7	0,4 à 0,6
EN-GJS-SiMo30-7	5.3112	2,8 à 3,2	0,6 à 0,8
EN-GJS-SiMo35-5	5.3113	3,3 à 3,7	0,4 à 0,6
EN-GJS-SiMo40-6	5.3114	3,8 à 4,2	0,5 à 0,7
EN-GJS-SiMo40-10	5.3115		0,8 à 1,1
EN-GJS-SiMo45-6	5.3116	4,3 à 4,7	0,5 à 0,7
EN-GJS-SiMo45-10	5.3117		0,8 à 1,1
EN-GJS-SiMo50-6	5.3118	4,8 à 5,2	0,5 à 0,7
EN-GJS-SiMo50-10	5.3119		0,8 à 1,1

## Propriétés mécaniques à température ambiante

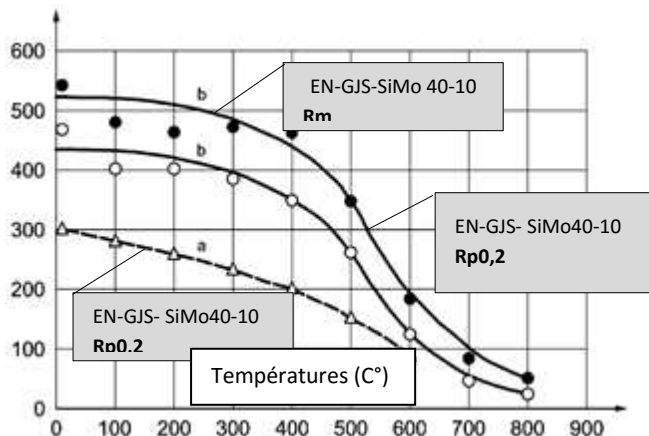
Designations des matériaux		Limite élastique à 0,2%	Résistance à la traction	Allongement	Dureté Brinelle	Epaisseur de parois
Abréviations	Nombres	$R_{p0,2}$	$R_m$	$A$	HBW *	mm
		MPa	MPa	%		
		min.	min.	min.		
EN-GJS-SiMo25-5 *	5.3111	260	420	12	140 à 210	$30 < t \leq 60$
		250	400	12	130 à 200	$60 < t \leq 200$
EN-GJS-SiMo30-7 *	5.3112	310	440	10	150 à 220	$30 < t \leq 60$
		300	420	10	140 à 210	$60 < t \leq 200$
EN-GJS-SiMo35-5 *	5.3113	330	440	8	160 à 230	$30 < t \leq 60$
		320	420	8	150 à 220	$60 < t \leq 200$
EN-GJS-SiMo40-6	5.3114	380	480	8	190 à 240	
EN-GJS-SiMo40-10	5.3115	400	510	6	190 à 240	
EN-GJS-SiMo45-6	5.3116	420	520	7	200 à 250	
EN-GJS-SiMo45-10	5.3117	460	550	5	200 à 250	
EN-GJS-SiMo50-6	5.3118	480	580	4	210 à 260	
EN-GJS-SiMo50-10	5.3119	500	600	3	210 à 260	

a) Valeurs pour information seulement, mesurées sur fonderie

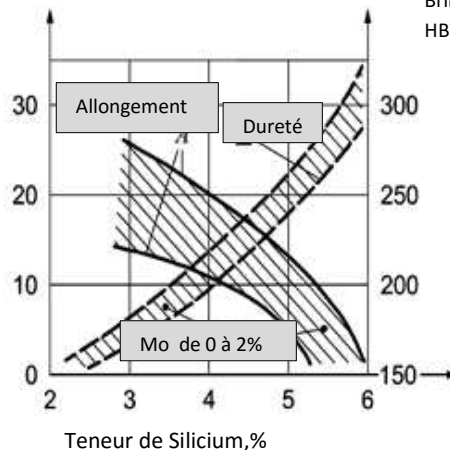
\*) Valeurs réelles suivant A, DIN EN 16124

## Propriété mécaniques et physiques (information)

Propriétés	Symboles	Unités	Valeurs typique
Densité	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	6,8 à 7,1
Coefficient de dilatation linéaire thermique de 20 à 200°C	$\alpha$	$\mu\text{m}/(\text{m}\cdot\text{K})$	11 à 13
Conductivité thermique à 100°C	$\lambda$	W/(m·K)	22 à 26
Conductivité thermique à 400°C			25 à 30
Capacités thermiques spécifiques de 20° à 100°C	$c$	J/kg·K	500 à 720
Module d'élasticité à 20°C	$E$	GPa	160 à 180
Coefficient de Poisson	$\nu$		0,28 à 0,35



Comparatif des propriétés de traction de EN-GJ-400-15 et EN-GJS-SiMo 40-10



Dureté  
Brinell  
HBW

Influence de la teneur en silicium sur l'allongement A et la Dureté HBW de la fonte SiMo contenant plus de 2,5% de Si et 0 à 2% de Mo