

ELEMENTS D'ALLIAGE

Periodic Table of the Elements - Mendeleev Table
 Element influences on ductile & grey iron solidification process

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIIB			IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIA	VIIA	VIIIA
¹ H																		² He
as/c																		
³ Li	⁴ Be										⁵ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F	¹⁰ Ne		
s											as/c	i/g	as/p	as				
¹¹ Na	¹² Mg										¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl	¹⁸ Ar		
	ss/c/p										as/p/g/i	f/g	p	as/c				
¹⁹ K	²⁰ Ca	²¹ Sc	²² Ti	²³ V	²⁴ Cr	²⁵ Mn	²⁶ Fe	²⁷ Co	²⁸ Ni	²⁹ Cu	³⁰ Zn	³¹ Ga	³² Ge	³³ As	³⁴ Se	³⁵ Br	³⁶ Kr	
s	s/i/f	ss	as/c	c	p/c	p/c		g	p/g	p/g	as/p	as	as	as/p	as			
³⁷ Rb	³⁸ Sr	³⁹ Y	⁴⁰ Zr	⁴¹ Nb	⁴² Mo	⁴³ Tc	⁴⁴ Ru	⁴⁵ Rh	⁴⁶ Pd	⁴⁷ Ag	⁴⁸ Cd	⁴⁹ In	⁵⁰ Sn	⁵¹ Sb	⁵² Te	⁵³ I	⁵⁴ Xe	
s	s/i/f	ss/c	s/i		c					as	as	as	as/p	as/p	as/c			
⁵⁵ Cs	⁵⁶ Ba	⁷¹ Lu	⁷² Hf	⁷³ Ta	⁷⁴ W	⁷⁵ Rc	⁷⁶ Os	⁷⁷ Ir	⁷⁸ Pt	⁷⁹ Au	⁸⁰ Hg	⁸¹ Tl	⁸² Pb	⁸³ Bi	⁸⁴ Po	⁸⁵ At	⁸⁶ Rn	
s	s/i/f		s		c					as	as	as	as/p/c	as/p				
⁸⁷ Fr	⁸⁸ Ra	⁰³ Lw																
s	s																	
			L	⁵⁷ La	⁵⁸ Ce	⁵⁹ Pr	⁶⁰ Nb	⁶¹ Pm	⁶² Sm	⁶³ Eu	⁶⁴ Gd	⁶⁵ Tb	⁶⁶ Dy	⁶⁷ Ho	⁶⁸ Er	⁶⁹ Tm	⁷⁰ Yb	
				s/i/c	ss/i/c	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss				
			A	⁸⁹ Ac	⁹⁰ Th	⁹¹ Pa	⁹² U	⁹³ Np	⁹⁴ Pu	⁹⁵ Am	⁹⁶ Cm	⁹⁷ Br	⁹⁸ Cf	⁹⁹ Es	¹⁰⁰ Fm	¹⁰¹ Md	¹⁰² No	
				s/i/c	ss		c		s	ss								

Legend:

 Hydrogen	 Non Metallic	 Other Metals
 Alkaline Metals	 Rare Gas	
 Alkaline-Earth Metals	 Lanthanide series	
 Transition Elements	 Actinide series	

	Símbolo	Punto de Fusión	Densidad
Aluminio	Al	660	2,70
Antimonio	Sb	630,5	6,62
Arsénico	As	817	5,72
Berilio	Be	1277	1,85
Bismuto	Bi	271,3	9,80
Cadmio	Cd	320,9	8,65
Calcio	Ca	838	1,55
Cerio	Ce	795	5,67
Cromo	Cr	1875	7,19
Cobalto	Co	1495	8,90
Cobre	Cu	1083	8,96
Estaño	Sn	231,9	7,30
Estroncio	Sr	768	2,6
Hierro	Fe	1536	7,86
Indio	In	156,2	7,31
Iridio	Ir	2454	22,5
Lantano	La	920	6,17
Magnesio	Mg	650	1,74
Manganeso	Mn	1245	7,43
Molibdeno	Mo	2610	10,20
Neodimio	Nd	1024	7,00
Niobio	Nb	2468	8,40
Níquel	Ni	1453	8,90
Plata	Ag	960,8	10,50
Plomo	Pb	327,4	11,40
Praseodimio	Pr	935	6,77
Samario	Sm	1027	7,54
Selenio	Se	217	4,79
Silicio	Si	1410	2,33
Tántalo	Ta	2996	16,60
Titanio	Ti	1668	4,51
Tungsteno	W	3410	19,30
Vanadio	V	1900	6,10
Zinc	Zn	419,5	7,14
Zirconio	Zr	1852	5,49

Influences

Elements

ss : highly spheroidiser	Mg - Sc - Y - Ce - Pr - Nb - Pm - Sm - Eu - Gd - Tb - Dy - Ho - Yb - Th - Am
s : slightly spheroidiser	Li - K - Rb - Cs - Fr - Ca - Sr - Ba - Ra - Zr - Hf - La - Ac - Pu
as : anti-spheroidiser	H - Ti - Zn - Ag - Cd - Au - Hg - B - Al - Ga - In - Ge - Sn - Pb - N - As - Sb - Bi - O - S - Se - Te
i : inoculant	Ca - Sr - Ba - Zr - Al - C - La - Ce - Ac
g : graphitiser	Co - Ni - Cu - Al - C - Si
c : carbide promoter	H - Mg - Y - Ti - V - Cr - Mo - W - Mn - B - Pb - S - Te - La - Ce - Ac - U
p : pearlite promoter	Mg - Cr - Mn - Ni - Cu - Zn - Al - Sn - Pb - N - P - As - Sb - Bi
f : ferrite promoter	Ca - Sr - Ba - Si

Raw Materials

- Recarburiser
- Silicon Carbide
- Ferrosilicon
- Pig Iron
- Steel scrap
- Returns
- FeAlloys

- Primary elements: C, Si, Mn, S, P
- Pearlite controlling elements: Sb, Sn, As, Mo, P, Cu, Ti, Mn, Ni, Cr, Pb, N, V, Mo, W
- Alloying elements: Ni, Mo, Si, Cr
- Carbide promoting elements: Cr, V, Mg, Ce, La, B, Mo, Nb, Te, Bi, Sb, W, Co
- Graphite shape deteriorating elements:
 - Chunky graphite: Ce, Ca, Si, Ni, C
 - Intercellular graphite: Bi, Cu, Al, Pb, Sb, Sn, As, Cd
 - Deleterious graphite: Zr, Zn, Se, Ti, N, S, O
- Spheroidising elements: Mg, Y, Ce, Ca, La, Pr, Sm, Dy, Yb, Ho, Er,



Élément	Source d'Origine	FONTE GRISE		FONTE NODULAIRE	
		% Normal	Effets Significatifs	% Normal	Effets Significatifs
Carbone C	Lingot, Retour Ferraille, Coke y Ajouts exprès	2,5 – 4 <i>2,8 jusqu'à 3,7</i>	Formateur de Graphite ou carbures Réduit la résistance à la traction et la dureté. Des niveaux élevés favorisent le graphite grossier et le grain ouvert lors de l'usinage. Augmente la conductivité thermique. Favorise la solidité maximale avec des valeurs de carbone équivalent à 4,3. Augmente la fluidité.	3 – 4 <i>3,4 jusqu'à 3,7</i>	Formateur de Graphite ou carbures Favorise la flottaison des nodules en graphite pour des fers hypereutectiques. Des niveaux inférieurs à 3,5% affectent négativement la solidité (suction/des creux de rétraction). Augmente la fluidité.
Silicium Si <i>1.4 à 2.8</i>	Matériaux de Charge, ajouts exprès et revêtements.	1 – 3,5	Graphitisation et Ferritisant. Durcissement de la ferrite. Favorise la formation de la ferrite. Réduit la résistance et la dureté. Des niveaux supérieurs à 2,8% affaiblissent et durcissent le fer. Réduit la tendance à la suction.	1,8 - 3	Graphitisation. Durcisseur de la Ferrite. Fait baisser la résilience. Augmente la résistance à la traction. Affaiblit. Réduit la tendance de refroidissement. Favorise la formation de ferrite. Augmente la résistance à la traction et la dureté des ferritiques. Augmente la ductilité (fragilité), la température de transition. Accéléré la dégradation perlitique et carbure pendant le traitement thermique.
Manganèse Mn	Lingot, Ferrailles et ajouts exprès	0,2 - 1,1 <i>0.4 à 0.9</i>	Compense l'effet préjudiciable du soufre. Perlitisant Il se combine avec le soufre et neutralise. Promoteur de perlite léger. Des niveaux élevés augmentent le risque de scorie/laitier et sulfure de manganèse.	0 - 1,2 <i>Jusqu'à 0.5</i>	Favorise la formation de perlite et carbures intercellulaires. Promoteur de perlite léger. Doit être inférieur à 0,2% en état brut de coulée pour des fontes ferritiques. Sépare aux limites du grain de refroidissement lent et de sections grosses et favorise carbures. Augmente la température de transition.
Magnésium Mg	Ajouts exprès	-----	Carburigène	0,02 - 0,08 <i>Jusqu'à 0,07</i>	Baisse les niveaux de soufre et d'oxygène. Le résultat est la formation de graphite nodulaire.



Aluminium Al	Ferraille, ferro-alliages et inoculants	0,01 – 0,05 Jusqu'à 0,03	Energétique pour Graphitisation, favorise le graphite type A et réduit la tendance à blanchir. Peut causer des très petits trous ou des succions. Favorise défauts d'hydrogène, particulièrement lors de l'utilisation de moules en sable vert et lors que les niveaux dépassent les 0,005%. Neutralise l'azote.	0,003 – 0,06 Jusqu'à 0,03	Réduit la tendance au blanchiment. De plus grandes quantités donnent lieu à des courtes lames en graphite. Peut causer des petits trous, en particulier en présence de titane. Favorise des petits trous hydrogène et des défauts de scorie/laitier.
Antimoine Sb	Ferraille d'acier (émaillée, etc.). Ajouts exprès.	<0,005	Raffine le graphite mais produit une structure anormale. Perlitisant. Favorise la perlite. Un ajout de 0,01% réduit la quantité de ferrite qui peut se trouver adjacent aux surfaces.	<0,005 Jusqu'à 0,02	Dégénèrent les nodules (Spiky), en particulier en l'absence de cérium. Favorise la perlite. A un effet indésirable sur la structure de graphite en l'absence de cérium. A un effet bénéfique pour la promotion de structures nodulaires dans les pièces de grand section coulées en fonte ductile de composition hypereuctectique, à condition que le cérium soit présent.
Arsenic As	Ferraille d'acier	<0,01 Jusqu'à 0,05	Perlitisant Favorise la perlite. Un ajout de 0,05% réduit la quantité de ferrite qui peut se trouver adjacent aux surfaces.	<0,01 Jusqu'à 0,05	Perlitisant Promoteur de perlite. A un effet bénéfique pour la promotion de structures nodulaires dans les pièces de grand section coulées en fonte ductile de composition hypereuctectique, à condition que le cérium soit présent.
Bismuth Bi	Ajouts avec cuillères	<0,01 Jusqu'à 0,02	Favorise le blanchiment et le graphite type D. Réduit le nombre de cellules eutectoïdes. Favorise carbures et graphite avec des formes indésirables qui réduisent les propriétés de traction.	<0,01 Jusqu'à 0,02	En présence de terres rares augmente la quantité et qualité des nodules. Produit indésirables formes de graphite en l'absence de cérium. Un ajoutement de 0,01 pour cent et fait parfois pour augmenter le nombre de nodules en graphite ou pour prévenir des gros graphites dans des gros sections, mais pour que cela arrive, le cérium doit être



					présent dans le fer.
Bore B	Ferraille émaillée, certains types de lingots et ajouts exprès	<0,0005 Jusqu'à 0,01	Favorise le graphite type D et augmente la taille de cellule. Favorise carbures, en particulier dans le noyau. L'effet est significatif au-dessus d'environ 0,001%.	<0,0005 Jusqu'à 0,01	En grandes quantités forment carbures difficiles à supprimer par recuit. Favorise carbures et réduit les propriétés mécaniques. L'effet est significatif au-dessus d'environ 0,001%.
Calcium Ca	Ferro-alliages et inoculants	<0,04	Augmente le nombre de cellules et la puissance des inoculants.	-----	Peut augmenter la quantité et la qualité des nodules et optimise l'effet de la post-inoculation. En quantité excessive favorise des carbures primaires.
Cérium Ce	Retours ou ajouts exprès	<0,002	Stabilisateur de carbures. Utilisé pour réduire l'effet du plomb.	0,0 – 0,3 Jusqu'à 0,02	Favorise la formation et la qualité des nodules. Réduit ou élimine les effets des éléments préjudiciables et du Dross. L'excès de Ce entraîne graphite du type Chunky. La manque de Ce ou de terres rares entraîne des graphites irréguliers du type vermiculaire. Neutralise les effets préjudiciables de certains éléments en forme de graphite sphéroïdal, traité avec du magnésium. Réduit l'évanouissement de l'inoculant. Favorise le gros graphite dans des sections lourdes lors de l'utilisation de matières premières de haute pureté et les compositions sont hypereutectiques. Favorise gros graphite dans des fers austénitiques. Au-dessus de 0,01% favorise carbures.
Chrome Cr	Retours, ferraille et ferro-alliages	0,03 – 0,40 Jusqu'à 0,02	Carburigène et perlitzant. Augmente la résistance à la rupture et la dureté. Favorise la succion dans des sections fines.	0,02 – 0,13 Jusqu'à 0,02	Carburigène et perlitzant. Augmente la résistance à la rupture et la dureté. Favorise carbures, sépare aux limites cellulaires en épaisse/grosses sections pour former des carbures très stables.
Cuivre Cu	Ferraille et ajouts exprès	0,01 – 0,90 Jusqu'à 0,3	Perlitzant Des traces de cet élément n'ont aucun effet	0,01 – 0,90 Jusqu'à 0,3	Perlitzant. N'affecte pas la qualité des nodules. Favorise la perlite et augmente la résistance



			significatif et peuvent être ignorés.		et la dureté. Détérioré la ferritisation.
Hydrogène H	Exposition du bouillon à l'atmosphère et à la vapeur de l'eau. Plus élevée la température du bouillon, plus d'hydrogène est capturé.	0,0002 – 0,0015 Jusqu'à 0,0004	Favorise le trempe invers. Produit de la porosité interne et moins fréquemment, soufflement le long d'une section. Peut promouvoir des petites succions. Favorise le trempe invers quand la présence du manganèse n'est pas suffisant pour neutraliser le soufre. Favorise gros graphite.	0,0002 – 0,0015 Jusqu'à 0,0004	Favorise le trempe invers, des petits trous et la succion. Produit des pores à l'intérieur de la section qui se caractérisent par la présence d'une couche continue de graphite.
Plomb Pb	Ferraille et fluorite	<0,003 Jusqu'à 0,005	Effet de blanchiment. Favorise le graphite type D. Élément préjudiciable, dégenere la formation graphite et parfois génère graphite Widmanstätten, en particulier dans de sections grosses, lors que le fer à un haut contenu en hydrogène, origine une réduction de la résistance à la traction qui peut arriver jusqu'à la moitié. Cet effet peut se produire lorsque le plomb est présent en faibles concentrations, inférieures à environ 0,0004%. Favorise la perlite.	Jusqu'à 0,005	Élément préjudiciable. Dégénere des nodules en l'absence de terres rares. En l'absence de cérium, a un effet indésirable sur la structure de graphite. Favorise la perlite.
Molybdène Mo	Retours, ferraille ou ferro-alliages	Jusqu'à 0,05	Augmente la résistance à la rupture et dureté. Carburigène.	0,01 – 0,75 Jusqu'à 0,05	Carburigène. Il est utilisé pour favoriser la perlite et/ou bainite.
Nickel Ni	Retours, ferraille, nodulizants et ajouts exprès	0,01 – 1,0 Jusqu'à 0,1	Perlitisant. Augementé la résistance et la dureté sans blanchir. Des traces de cet élément n'ont aucun effet significatif et peuvent être ignorés.	0,01 – 1,25 Jusqu'à 0,1	Favorise la formation de perlite et/ou bainite Des traces de cet élément n'ont aucun effet significatif et peuvent être ignorés
Azote N	Exposition du bouillon à l'air. Certaines résines de moulage. Plus élevée la température du bouillon plus d'azote est prise.	0,002 – 0,008 Jusqu'à 0,02	Effet de blanchiment. Peut provoquer de la porosité. Pactes graphite et la force augmente. Favorise perlite. Augmenter la tendente du fer à la succion. Peut provoquer des défauts comme des	0,002 – 0,008 Jusqu'à 0,02	Effet de blanchiment et peut contribuer à la porosité. Peut causer des deffets de porosité du type des trous d'épingle, généralement près des points chauds.



			fissures et porosité du type de petits traits. Peut être neutralisé par Al ou Ti ou tous les deux.		
Oxygène O	Air dans la fusion et oxyde de la scorie. Plus élevée la température du bain plus d'oxygène est pris.	0,005	Gaz. Peut provoquer de la porosité.	<0,005	Gaz. Peut provoquer de la porosité.
Phosphore P	Lingot, retour et ferraille	0,01 – 0,80 0.02 - 1.2	Peut former steadite. Des teneurs plus élevées augmentent la fluidité mais aussi la fragilité. Augmente la dureté et la fragilité. Augmente la tendance à l'apparition de défauts internes tel que la succion/des creux de rétraction.	<0,05 < 0.05	Forme des réseaux de phosphore et diminue la ténacité. Favorise la formation de succion/des creux de rétraction. Au-dessus de 0,05% peuvent produire des défauts internes succion/des creux de rétraction. Affaiblit le fer. Sépare les limites des grains et produit du carbure /phosphore complexes.
Soufre S	Lingot, Coke, retours, etc.	0,02 – 0,18 0.02 - 0.16	Forme sulfures. Il est nécessaire un minimum (0,04) pour contrôler la graphitisation. Favorise la formation de fer blanc à moins qu'il soit équilibré avec le manganèse. En combinaison avec le manganèse a un effet sur la dureté et la résistance. Un contenu élevé de soufre favorise la scorie/ le laitier et la tendance à la formation de sulfure de manganèse. Des niveaux inférieurs à 0,05% réduisent la réponse au traitement d'inoculation.	<0,02 < 0.015	Réagit avec le magnésium et avec les terres rares, de sorte que son contenu en fer doit être contrôlé. Plus de S, plus de scorie/laitier. Des niveaux excessifs dans le fer base affecte la formation de scorie/laitier. Les niveaux supérieurs à 0,015% rendent difficile la formation de nodules et favorisent la formation de graphite lamellaire ou de graphite nodulaire mal formé.
Tellure Te	Ferraille en acier ou ajouts exprès en cuillère	<0,005 Jusqu'à 0,003	Blanchissant énergétique. Favorise le graphite type D. Normalement on ne le trouve pas, mais il est un très puissant formateur de carbure.	<0,005 Jusqu'à 0,003	Élément préjudiciable, il cause dégénération du graphite.
Étain Sn	Ajouts exprès et dans certaines ferrailles	<0,10 Jusqu'à 0,15	Perlitisant. Important promoteur de perlite. Il est parfois ajouté exprès, jusqu'à 0,1%, pour favoriser des structures perlitiques.	<0,10 Jusqu'à 0,15	Perlitisant. Au-dessus de 0,10% peut dégénérer le graphite. Il favorise la formation de perlite. Il est parfois ajouté exprès, jusqu'à 0,1%, pour favoriser des structures perlitiques. Il cause fragilité quand il se trouve plus près du 0,1%. Détériore la ferritisation.



Titane Ti	Lingot et certains ferro-alliages	0,01- 0,06 Jusqu'à 0,15	Effet blanchissant. Réduit le nombre de cellules, favorise le graphite du type D mais favorise l'inoculation, donc un 0,02 – 0,03 est souhaitable. Fixe l'azote. Favorise l'apparition de petites bulles d'hydrogène en présence de l'aluminium. Combiner avec l'azote pour neutraliser ses effets.	<0,07 Jusqu'à 0,15	Il est considéré un élément préjudiciable, cause des effets similaires à l'aluminium. En l'absence de cérium, peut avoir un effet indésirable sur la forme du graphite. Favorise l'apparition de petites bulles d'hydrogène en présence de l'aluminium.
Tungstène W	Ferraille ou ajouts exprès	<0,05 Jusqu'à 0,05	Perlitisant	<0,05 Jusqu'à 0,05	Perlitisant
Vanadium V	Ferraille, retours ou ajouts exprès	<0,04 Jusqu'à 0,08	Perlitisant. Forme des carbures très stables. Augmente la résistance à la rupture et la dureté.	<0,04 Jusqu'à 0,08	Perlitisant. Forme des carbures très stables et résistants au recuit. Augmente la résistance à la rupture et la dureté.
Zinc Zn	Ferrailles et retours	-----	Ferritisant. Peut retarder la graphitisation.	-----	-----
Zirconium Zr	Certains ferro-alliages	-----	Avec du silicium il est graphitisant.	0,01	Favorise le graphite lamellaire et des nodules moins arrondis.
Cobalt Co	Ferraille	-----	Sans effet	-----	Sans effet