

Aceros y aleaciones para alta temperatura

Introducción

Los aceros inoxidables corrientes al ser sometidos a temperaturas elevadas y en contacto con diversos medios, están expuestos a una «reacción» superficial que cambia la naturaleza y composición del metal.

Dependiendo de la naturaleza del medio en contacto con el acero (gases corrosivos, sales fundidas, metales fundidos) se pueden originar cambios conocidos como **oxidación, carburización, nitruración, sulfuración**, etc.

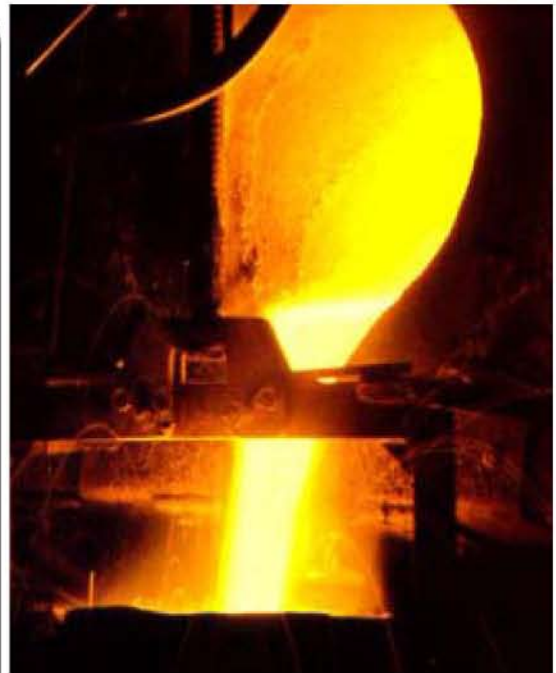
Cuando la atmósfera es oxidante, se produce una disminución en la sección transversal de la aleación por escamación y decascaramiento de la superficie expuesta, acompañada a veces de una oxidación intergranular que debilita el material.

Cuando la atmósfera es carburizante o/y nitrurizante, el metal absorbe carbono o/y nitrógeno, formándose en la superficie una verdadera aleación dúplex de composición y propiedades físicas y mecánicas diferentes. Esto conduce en definitiva a una fatiga térmica del material, el que puede a su vez volverse quebradizo.

En una atmósfera sulfurizante el níquel presente en la aleación puede ser atacado y producir sulfuros de níquel de mayor volatilidad que aceleran el proceso de corrosión de la aleación.

Cuando el proceso involucra exposición alternada a atmósferas oxidantes y reductoras las aleaciones Ni-Cr y Ni-Cr-Fe pueden experimentar la formación de la herrumbre verde (green rot) que corresponde a una oxidación preferencial del cromo en la aleación hasta una profundidad considerable debilitando la aleación y produciendo fracturas.

Cuando el acero entra en contacto con sales o metales fundidos se produce una corrosión acelerada en la línea de contacto aire/líquido por parte del líquido o de sus vapores. Puede ocurrir en este punto una disolución se-



lectiva de alguno de los elementos del acero o la incorporación de impurezas al acero.

Estos cambios en la naturaleza del metal, afectan las propiedades de resistencia mecánica, límite elástico, ductilidad y fragilidad del acero o aleación.

Aún en ausencia de corrosión, es posible que ocurran cambios estructurales en un acero sometido a alta temperatura por tiempos prolongados, debido a la formación de fases sigma, precipitación de carburos etc. los que sin duda modificarán sus propiedades....

ACEROS INOXIDABLES - ACEROS AL CARBONO - VÁLVULAS

Santa Isabel 850, Parque Industrial Valle Grande, Lampa, Santiago
Fono: +56 2 499 4000 / Fax: +56 2 499 4040

ventas@fastpack.cl www.fastpack.cl proyectos@fastpack.cl



...Otro problema son los continuos ciclos de calentamiento y enfriamiento del acero que fracturan la costra de óxido ya formada acelerando el proceso de oxidación del material hacia el interior y su fatiga térmica.

Composición %

Los aceros y aleaciones para alta temperatura se formulan considerando tanto los aspectos de corrosión como de propiedades mecánicas. En su elección, para una determinada aplicación, se deben seguir ciertas reglas de oro:

* Elegir un grupo de aleaciones que ofrezcan una adecuada estabilidad y resistencia a la atmósfera en cuestión a la máxima temperatura esperable (no basar la elección exclusivamente en la temperatura)

* Para condiciones de variaciones cíclicas de temperatura elegir aleaciones con bajo coeficiente de dilatación térmica.

* Elegir aleaciones con adecuada resistencia mecánica y ductilidad a la máxima temperatura esperable.

* Elegir aleaciones que no fundan a la máxima temperatura esperable, con un límite de seguridad por posibles cambios de composición, producidos por las atmósferas, que afecten su temperatura de fusión.

	UNS	Cr	Ni	C	Si	Mn	P	S	Fe	Ti	N	Ce	Al	Otro
Aceros														
309	S309008	22-24	12-15	0.08*	1.00*	2.00*	0.045*	0.030*	BAL	--	--	--	--	--
310	S31008	24-26	19-22	0.08*	0.75*	2.00*	0.040*	0.030*	BAL	--	--	--	--	Cu 0.50 Mo 0.75*
321	S32100	17-19	9-12	0.08*	0.25-- 1.00	2.00*	0.040*	0.030*	BAL	0.70*	--	--	--	--
446	S44600	23-27	--	0.15*	1.00*	1.50*	0.040*	0.030*	BAL	--	0.25*	--	--	--
253MA	S30815	20-22	10-12	0.05-- 0.10	1.40-- 2.00	0.80*	0.040*	0.030*	BAL	--	0.14-- 0.20	0.03-- 0.08	--	--
353MA	S35315	24-26	34-36	0.04-- 0.08	1.2-- 2.0	2.0*	0.040*	0.030*	BAL	--	0.12-- 0.18	0.03-- 0.08	--	--
RA85H	S30615	17.0-- 19.5	13.5-- 15.6	0.16-- 0.24	3.2-- 4.0	2.00*	0.03*	0.03*	BAL	--	--	--	0.8-1.5	--
Aleaciones														
600	N06600	15.5	76	0.08	0.2	0.3	--	--	8	--	--	--	--	--
601	N06601	22.5	61.5	0.05	0.2	0.3	--	--	14	--	--	--	1.4	--
RA330	N08330	18-20	34-37	0.08*	0.75-- 1.5	2.00*	0.030*	0.030*	BAL	--	--	--	--	Cu 1.00*
RA333	N06333	25	45	0.05	1.2	1.5	--	--	18	--	--	--	--	--
800H/ AT	N08811	19-23	30-35	0.06-- 0.10	1.0*	1.5*	--	0.015*	39.5**	0.15-- 0.60	--	--	0.85 - 1.20#	Cu 0.75*, Co 3, W 3, Mo 3

* = valor máximo

** = valor mínimo

= Al + Ti



310 310 310 310 310 310 310

Acero 310

Acero austenítico con excelente resistencia (superior al 309) a la oxidación, bajo condiciones moderadas de ciclado térmico, hasta 1149°C.

Es resistente a atmósferas a alta temperatura, con un contenido moderado de azufre (mayores cantidades de azufre exigen la ausencia de níquel) y a atmósferas moderadamente carburizantes. Sin embargo no es suficientemente resistente en atmósferas carburizantes-nitrurizantes.

Su contenido de cromo lo hace resistente a la corrosión en medios acuosos oxidantes, con una resistencia al picado por cloruros, superior al 304 y 316.

Propiedades mecánicas

La tensión de ruptura ($S=80$ ksi) y el límite elástico ($Y=35$ ksi) a temperatura ambiente disminuyen a sólo 10,4 ksi y 6.4 ksi respectivamente a 982°C. Sin embargo a temperatura suficientemente elevada (530-590°C) se observa deformación bajo carga constante (creep) aún a esfuerzos bajo el valor del límite elástico. La tensión necesaria para producir una deformación de 1% a las 10000 hrs, (creep strength: $R_{a\ 1/10000}$) es 15 ksi a 648°C y sólo 0.3 ksi a 982°C.

Una exposición prolongada en el rango 590-870°C disminuye la ductilidad y firmeza del 310 en parte por la precipitación de carburos y en parte por la formación de fase sigma (compuesto intermetálico de Fe-Cr-Mo muy quebradizo).

353MA 353MA 353MA

Acero 353MA

Aleación austenítica con 35% de Ni y 25% de Cr, como valores típicos, resistente a temperaturas de 1000°C y más, en atmósferas carburizantes y/o nitrurizantes (por su contenido de níquel, cromo y silicio).

El alto contenido de cromo asegura su resistencia a la oxidación en atmósferas oxidantes mientras que el contenido de níquel y/o silicio lo hace en atmósferas reductoras.

La presencia de metales de tierras raras y silicio contribuyen a esta resistencia a la oxidación, limitando el espesor de la capa de óxido, la que es dúctil.

El alto contenido de cromo y la presencia de silicio le confieren resistencia al azufre bajo condiciones oxidantes. En atmósferas reductoras su resistencia al azufre es superior a otras aleaciones a pesar de su alto contenido de níquel.

Los contenidos de carbono y nitrógeno le confieren su gran resistencia mecánica (tensión de ruptura y de deformación plástica).

Por su contenido de nitrógeno y carbono tiene tendencia a formar carburos y nitruros especialmente en el rango de 600-950°C lo que reduce su resistencia al impacto a temperatura ambiente pero no disminuye su ductilidad.

Para temperaturas bajo 600°C los parámetros

Aplicaciones 310

- * Hornos de calcinación
- * Intercambiadores de calor
- * Tubos radiantes
- * Muflas, retortas, cubiertas de recocido
- * Soportes para tubos de caldera
- * Quemadores, cámaras de combustión
- * Pernos de anclaje de refractarios
- * Crisoles para plomo
- * Tubos de escape para turbinas

de interés para el diseño son la tensión de ruptura (S) y el límite elástico (Y).

Para temperaturas superiores el parámetro importante es la tensión de deformación plástica (creep strength: $R_{a\ 1/10000}$). A temperatura ambiente los valores son $S=94$ ksi, $Y=43,5$ ksi. A temperaturas elevadas la tensión de deformación plástica $R_{a\ 1/10000}$ disminuye notoriamente (12,8 ksi a 600°C y 0,65 ksi a 1000°C).

El maquinado es más difícil que para un acero inoxidable convencional y la soldadura requiere de ciertas precauciones.



353MA 353MA 353MA 353MA

Aplicaciones 353MA

- * Plantas Incineradoras
- * Industria de cemento
- * Industria del acero
- * Plantas generadoras de energía
- * Fábricas de gas
- * Partes de hornos, bandejas, fijaciones, canastos
- * Tubos radiantes, retortas, forjas
- * Boquillas de calderas a carbón
- * Válvulas de compuerta

Alloy 600 Alloy 600

Alloy 600

Aleación en base a níquel diseñada para uso desde temperaturas criogénicas hasta temperaturas elevadas (1093°C). A temperaturas elevadas tiene una excelente resistencia a la carburización y oxidación. Es utilizada extensamente en la industria de tratamientos térmicos. Tiene una buena resistencia al gas cloro seco y cloruro de hidrógeno a temperaturas moderadas. Sin embargo, por su contenido de níquel, no es recomendable a temperaturas al rojo en atmósferas azufradas. Puede ser usada con cáusticos concentrados y calientes, cuando existe azufre, de preferencia al níquel 200 y 201 y también con hidróxido de amonio. Su velocidad de corrosión uniforme en soda cáustica fundida a 400°C es de sólo 0,028 mm/año subiendo a 680°C a 1,68 mm/año.

En álcalis cáusticos concentrados debe ser liberada de tensiones, por tratamiento térmico (982 - 1010°C), antes de ser utilizada, para evitar riesgos de corrosión bajo tensión (cracking).

El alto contenido de níquel la hace resistente a la corrosión en ambientes reductores y le confiere una excepcional resistencia al cracking por cloruros, mientras que el contenido de cromo la da una resistencia a la corrosión en ambientes moderadamente oxidantes. Resiste muy bien el vapor y mezclas de vapor, aire y dióxido de carbono.

Sus propiedades mecánicas a temperatura ambiente dan un límite elástico de 37 ksi y una tensión de ruptura de 93 ksi. Estos valores son sensiblemente afectados por efecto de la temperatura desde el máximo a temperaturas criogénicas hasta un mínimo a alta temperatura, tal como se ilustra en la tabla adjunta

Propiedades mecánicas

Temperatura °C	Límite elástico Y (ksi)	Tensión de ruptura S (ksi)
-79	42.4	106.5
316	31.0	90.5
427	29.5	88.5
538	28.5	84.0
649	26.5	65.0
760	17.0	27.5
871	9.0	15.0
982	4.0	7.5

No es endurecible por tratamiento térmico pero sí por formado en frío aunque con una velocidad menor a la de un acero 304.

Puede ser soldado con las mismas técnicas usadas para aceros inoxidable pero se recomienda usar un gas inerte para evitar la formación de costras de óxido difíciles de remover.

Aplicaciones Alloy 600

- * Digestores alcalinos de pulpa de celulosa
- * Equipos para cloración hasta 538°C
- * Marcos de canastos para el tratamiento térmico
- * Muflas, tubos radiantes y retortas
- * Reactores e intercambiadores de calor



Alloy333 Alloy333 Alloy333

Alloy 333

Aleación con alto contenido de níquel y cromo con excepcional resistencia a la oxidación a alta temperatura (1200°C), carburización y choque térmico. La gráfica adjunta compara los resultados de ganancia de peso de varias aleaciones, obtenidos en pruebas de calentamiento cíclico hasta 1150°C al aire y enfriamiento a temperatura ambiente semanalmente, hasta un total de 1640 hrs.

El 333 puede ser llevado hasta el límite cercano a la fusión sin pérdida de material por oxidación. Resiste condiciones corrosivas desde medios acuosos hasta temperaturas al rojo vivo. Ha sido usado con éxito en atmósferas con 13% de óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) a temperaturas de hasta 982°C. También resiste el ataque de ácidos sulfúrico y politiónicos formados bajo el punto de condensación durante los períodos de detención.

Tiene gran resistencia al vidrio fundido y ha reemplazado partes de platino, en la manufactura de fibra de vidrio. Es inmune al cracking por cloruros y ácidos politiónicos.

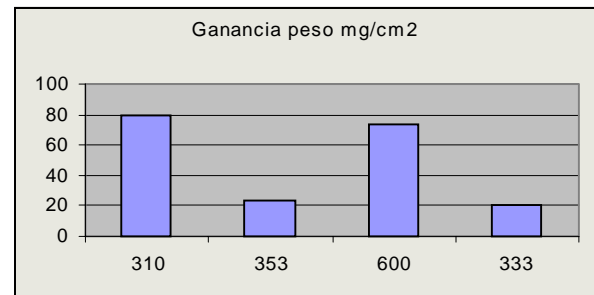
A temperatura ambiente presenta un límite elástico de 47 ksi y una tensión de ruptura de 107 ksi, las cuales disminuyen a 870°C a 23.9 ksi y 27.5 ksi respectivamente. La deformación plástica

($R_{a 1/10000}$) es de 6.4 ksi a 760°C y sólo 0.88 ksi a 982 °C.

El maquinado es análogo al de otras aleaciones de níquel: sujetar rígidamente la pieza, usar herramientas bien afiladas, aplicar cortes profundos para alcanzar bajo la capa endurecida producida en el primer corte y usar bajas velocidades de corte.

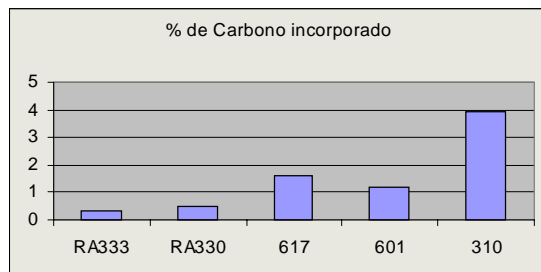
La soldadura requiere de cuidados especiales como no precalentar la pieza, usar bajas intensidades de corriente, mantener la temperatura entre pasadas por debajo de 100°C. Se puede recurrir a las técnicas habituales MIG, TIG, Arco, Plasma.

Resistencia a la oxidación



Resistencia a la carburización

El Alloy 333 es uno de los materiales más resistentes a la carburización. Tubos radiantes usados en hornos de carburización, fabricados de tubo de 3 mm han estado en uso continuo por 8 a 10 años. En pruebas de incorporación de carbono a la superficie (penetración 0.5 mm) después de calentado a 954°C por 4300 hrs dió los siguientes resultados: 333 es el que incorpora menos carbono



Aplicaciones Alloy 333

- * Tubos intercambiadores de calor en refinerías de petróleo
- * Calderas de plantas generadoras de energía.
- * Muflas, retortas y fijaciones
- * Tubos radiantes
- * Toberas
- * Hornos rotatorios
- * Equipos para vidrio fundido
- * Cámara de combustión de turbinas
- * Cadenas transportadoras en hornos de carburización



GUIA DE DESEMPEÑO

CONDICION	NO RECOMENDADO	BUENO	MEJOR	OPTIMO
RESISTENCIA	446	600 310 309, 321	85H 330	333 601, 353MA, 253MA, 800H/AT
CHOQUE TERMICO	446 800H/AT	310, 309	253MA 353MA 601, 600	333 85H 330
OXIDACION	--	309 800H/AT	446 330, 600 310 85H	333, 353MA 601 253MA
CARBURIZACION	446 321 253MA	310 309 800H/AT	330 85H	333 600 601 353MA
AZUFRE OXIDANTE(SO ₂ , SO ₃)	600	601 330 321 800H/AT	253MA 353MA 333	446 310 85H 309
AZUFRE REDUCTOR(H ₂ S)	353MA, 330, 253MA, 333, 601, 800H/AT, 600	347	309, 85H 556 310	446
HCl GAS CALIENTE (SOBRE Tº DE CONDENSACION)	446	333 330 353MA	601	600 200
METALES FUNDIDOS Cu, Zn, Mg	600	309, 310 316(Cinc)	AL-6XN(Cinc) 85H	430 446 410

Temperaturas

	309	310	321	446	253MA	353MA	85H	600	601	330	333	800-H/AT
Máxima Tº C	1010-- 1093	1149	537-- 871	815-- 1204	1093	982- 1204	1149	1093	1204	1204	1204	899-- 1038
Tº C Fusión	1370-- 1420	1355-- 1400	1399-- 1427	1450-- 1488	1370-- 1435	1360-- 1410	1315-- 1380	1354-- 1413	1302-- 1368	1345-- 1395	1302-- 1343	1357-- 1385