

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS. CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

CONGRESO DE CIENCIAS DE VALENCIA

ESTUDIO DE ALGUNOS ACEROS ESPECIALES

NOTA PRESENTADA EN LA SECCIÓN DE CIENCIAS APLICADAS

POR

DOMINGO MENDIZABAL

Ingeniero de Caminos.

(CONTINUACIÓN)

Trabajo del acero al manganeso.

Los primeros aceros especiales que se fabricaron no presentaban dificultades especiales para su trabajo, pues como los cuerpos agrupados estaban en proporción muy pequeña, no diferían sus condiciones de trabajo de las de los aceros ordinarios.

Pero cuando las dosis de dichos cuerpos se han elevado considerablemente, se encontraban grandes dificultades para el trabajo, como consecuencia de sus extraordinarias propiedades.

En algunas fábricas en las que como consecuencia del mucho trabajo por ellas ejecutado se creían poseedores de gran práctica en estos trabajos, se encontraban con verdaderas sorpresas al trabajar estos aceros.

Algunos de éstos, cuyas propiedades se aproximaban á las de los aceros dulces, el recalentado practicado del modo ordinario daba lugar á lingotes que se rajaban y resultaban al golpe del martillo como si fuesen de vidrio.

Al contrario, otros aceros duros se trabajaban á las mismas temperaturas que los aceros duros al carbono y presentaban al trabajarlos con el pilón profundas grietas que era posible corregir.

Únicamente cuando la metalurgia teórica ha adelantado hasta colocarse en el punto en que hoy lo está, se ha podido, valiéndose de las diversas teorías sostenidas por los metalurgistas, dictar reglas que unidas á la práctica hayan servido para lograr resultados satisfactorios y alcanzar en la industria aplicaciones de estos aceros á las diversas ramas de la industria y construcción.

Los puntos críticos, el estudio micrográfico, son los que principalmente han servido para este objeto.

En los aceros al manganeso se practica el forjado y laminado con bastante facilidad, disminuyendo éste con el aumento de dosis de manganeso, pero mucho más y de un modo más sensible cuando al mismo tiempo aumenta la dosis de carbono, éste aún en muy pequeñísimas dosis.

Así se da el caso de no haber podido trabajar hasta el día el acero con 21,69 de manganeso y 2,1 por 100 de carbono.

Á la dureza crecida que tienen estos aceros viene á sumarse el peligro de un caldeo á temperatura muy elevada, que produce la rotura de los lingotes al golpe de pilón.

El forjado debe hacerse lentamente, los golpes del martillo no deben de ser exagerados; estas circunstancias; unidas á la de que el espacio de grados de temperatura en que puede hacerse esta operación es pequeño, hace comprender lo difícil que es tanto el forjado como el laminado.

Este debe hacerse con trenes muy potentes y á gran velocidad para que en el menor tiempo posible esté el acero en condiciones.

Todos estos trabajos no deben realizarse á temperaturas inferiores al rojo cereza, y no deben calentarse por encima del rojo cereza claro.

Temple y recocido.

Se dividen los aceros especiales en dos grandes grupos bajo el punto de vista que nos ocupa:

- 1.º Los que son susceptibles de templarse por un enfriamiento brusco; y
- 2.º Los que se hacen menos duros con el enfriamiento brusco.

En los primeros, los efectos del temple desaparecen con el recocido, mientras que en los segundos da lugar á un aumento de dureza y fragilidad.

Los aceros al manganeso con dosis inferior al 7 por 100 pertenecen á los primeros, así como los que la tienen superior á 21 por 100, y los de dosis intermedia pertenecen al segundo grupo.

Ventajas económicas de este acero.

Las propiedades del acero al manganeso se traducen económicamente en un gran aumento de duración de las piezas constituidas con este material; llega en algunas á ser 4 y 5

veces, lo que tendrían, si estuviesen constituidas por aceros ordinarios.

Esta ventaja, unida á la de la seguridad que proporcionan en piezas cuya rotura pudiera dar lugar á accidentes graves, así como la economía de mano de obra para sustituir y reemplazar las deterioradas y rotas, compensa sobradamente la diferencia de precio entre uno y otro material.

El precio á que generalmente facilitan este material las pocas fábricas que lo producen es el de un franco el kilogramo.

La mayor parte de las piezas que se hacen de este material son corazones y cruzamientos de vías, ruedas, llantas, etc., y en general, todas las que tienen un uso frecuente y fuerte, esto por lo que se refiere al acero moldeado; por lo que se refiere al acero forjado y laminado, se emplean en palastros para blindajes cajas de caudales, tornillos, ejes, viseras de drogas, y también se han obtenido carriles de 12 metros de longitud.

Aceros al níquel.

Análogamente á lo que indicamos al hablar de los aceros al manganeso, diré que, aunque los aceros de los que principalmente me he de ocupar, es de los que tienen el níquel en grandes dosis; sin embargo, haré mención breve del efecto del níquel en las propiedades de los aceros ordinarios, entrando en pequeñas proporciones.

Textura.—Se modifica en el sentido de hacer más pequeño el grano, mejorándose de esta forma la clase del acero.

Maleabilidad y ductilidad.—Tiene poca influencia sobre estas dos propiedades, y aunque durante mucho tiempo se ha asegurado que este cuerpo hacía el acero *ruverino*, no es cierto, pues lo que ocurría es que con el níquel había siempre azufre y fósforo, que es á quienes se debía esta propiedad.

Soldabilidad.—Tampoco es alterada por proporciones de níquel inferiores á 1 por 100.

Dureza.—Se aumenta considerablemente, así como su resistencia á la tracción.

La fragilidad aumenta menos rápidamente que cuando el aumento de resistencia es producido por aumentos en la dosis de carbono.

Conviene, por lo tanto, este material en los casos en que es precisa una gran tenacidad.

*,

Pasemos ahora al estudio de los aceros con grandes dosis de níquel.

Hagamos una pequeña historia de ese material.

Exigiéndose por la Marina principalmente blindajes y chapas de protección cada vez más resistentes á la acción de los proyectiles, las fábricas realizaban estudios y ensayos cada vez más detenidos de este asunto.

La fábrica del Creusot fué la primera que ensayó el empleo del níquel con el objeto indicado, construyendo algunas piezas para el acorazado *Dupuy de Lome* en 1888; contenían estas piezas 2,5 por 100 de níquel, y dieron en los ensayos de tiro resultados medianos.

Esta fábrica continuó trabajando en este sentido, alcanzando en un concurso celebrado en América del Norte el triunfo con placas al 5 por 100 de níquel.

En 1891 el Gobierno francés promovió un concurso para el ensayo de placas de este material, y se presentaron las fábricas Saint Chamond, Rive de Gier, Montlucon, Creusot, Saint-Etienne y L'Unieux.

De estos seis concurrentes sólo dos, el segundo y sexto, fracasaron, pues los otros cuatro cumplieron las bases del concurso.

En 1894 la fábrica d'Imphy comenzó á fabricar este material, presentando al mercado el que llamaba NC-4, cuya composición es de 71,5 carbono, 25 níquel, 2 cromo y 1,5 silicio, con el cual ha obtenido grandes resultados, habiendo sido adoptado por la Marina para los cañones.

Desde esta época, continuos perfeccionamientos se han llevado á la metalurgia, adelantando grandemente esta rama de la misma.

Veamos las propiedades de los *puntos críticos* de estos aceros.

Se observa un aumento grande en el valor de la histéresis por lo que se refiere al magnetismo de estos aceros tan pronto como aumenta la dosis de níquel.

Con 4 por 100 hay ya una diferencia de 100 grados entre la temperatura á que desaparece el magnetismo durante el caldeo y la que aparece con el enfriamiento.

Cuando llega al 8 por 100, dicha diferencia llega á 200 grados, á 400 grados en el 15 por 100 y 500 grados en el 25 por 100.

Podemos, por lo tanto, incluirlas en el número de aleaciones irreversibles, es decir, que á una misma temperatura pueden existir dos estados diferentes.

Hasta la dosis del 25 por 100 pierden el magnetismo entre el rojo naciente y el rojo cereza á temperatura tanto más baja cuanto más elevada es la dosis de níquel.

En el enfriamiento no adquieren el magnetismo hasta llegar á temperaturas más bajas.

Insertamos un cuadro en el que se indican, á diferentes dosis de níquel, las temperaturas á que se verifican estas transformaciones:

COMPOSICIÓN QUÍMICA				Aparición del magnetismo.	Desaparición del magnetismo.
Carbono.	Silicio.	Manganeso.	Níquel.		
0,19	0,31	0,79	0,27	715°	735°
0,19	0,20	0,65	3,82	628°	710°
0,17	0,21	0,68	7,65	530°	710°
0,23	0,24	0,93	15,48	145°	623°
0,16	»	0,32	24,75	27°	540°
0,61	»	0,46	26,20	Por debajo de 0°.	

Á partir de la dosis 15 por 100, la irreversibilidad cesa bruscamente, acercándose las temperaturas en que aparece y desaparece el magnetismo, existiendo una histéresis de análoga importancia á la que existe en los aceros al carbono, convirtiéndose en reversibles, pudiéndose establecer la siguiente relación:

COMPOSICIÓN QUÍMICA			Aparición del magnetismo.	Desaparición del magnetismo.
Carbono.	Manganeso.	Níquel.		
0,23	0,49	31,44	124°	138°
0,30	0,62	43,04	357°	401°
0,68	0,41	69,20	557°	590°
0,12	0,38	88,95	457°	488°
0,10	0,86	94,70	388°	425°

Tiene influencia en estos aceros, no sólo la proporción de níquel, sino que para una misma dosis de este cuerpo bajan mucho los puntos de transformación en las que tengan carbono y manganeso, pudiéndose obtener aceros con poca dosis de níquel no magnéticos á temperatura poco elevada.

El punto de recalcencia parece desaparecer antes que la dosis llegue á 8 por 100 de níquel, tendiendo á unirse los otros dos puntos críticos á una temperatura próxima á 500 grados en los aceros con 8 por 100; esta temperatura sigue bajando con los aumentos de la dosis de níquel, descendiendo á 350 grados para 10 por 100, 130 grados para 12 por 100, 100 grados para 19 por 100 y 15 grados para 25 por 100.

Aunque no estudiaremos las propiedades de los aceros al cromo, nos conviene hablar de las propiedades de los aceros al níquel, á los que se adiciona cromo, pues tienen grandísima aplicación.

El cromo obra como el carbono sobre los aceros irreversibles, haciendo descender mucho su punto de transformación magnética.

Como ejemplo se puede citar un acero con 22 por 100 de níquel que tiene su punto de magnetización al enfriamiento á los 100 grados cuando tiene 3 por 100 de cromo queda no magnético hasta la temperatura de 150 grados.

En los reversibles su acción es contraria, pues eleva la zona de transformación.

Una de las propiedades de estos aceros más dignas de tenerse en cuenta es la referente á su ley de dilatación.

Ya hablamos algo de esto al tratar de los aceros al carbono.

Si enfriamos un acero al níquel á 15 por 100, se observa durante el enfriamiento lento, desde la temperatura de 700 grados, una disminución de volumen proporcional al enfriamiento; al llegar á los 130 grados cesa esta contracción, y aunque disminuye la temperatura se produce una dilatación, alcanzando á los 60 grados el mismo volumen que tenía á los 230 grados; el que alcanza á los 0 grados es el mismo que el correspondiente á los 340 grados, y á — 50 grados el correspondiente á los 425 grados.

Esto es debido á que la contracción ocasionada por las leyes de la dilatación es menor que la debida á la variación alatrópica.

En un acero de 24 por 100 de níquel se han hecho análogas observaciones, y en él, en lugar de comenzar inmediatamente la dilatación cuando cesa la contracción, hay un espacio de tiempo que corresponde al enfriamiento de 50 grados que permanece el volumen constante.

Estudios micrográficos de los aceros al níquel.

Para este estudio dividiremos los aceros en tres series, según el carbono esté en dosis aproximadas á 0,120, 0,250 y 0,800 por 100; á continuación se indican con detalle estas tres series:

PRIMERA SERIE

Carbono.	Níquel.
0,07	2,23
0,125	7,18
0,125	12,07
0,176	20,40
0,120	30,00

SEGUNDA SERIE

Carbono.	Níquel.
0,206	1,97
0,225	7,59
0,223	12,27
0,220	20,01
0,194	37,87

TERCERA SERIE

Carbono.	Níquel.
0,800	2,20
0,815	7,09
0,760	12,27
0,800	20,01
0,810	29,96

Examinemos, lo mismo que en los aceros al manganeso, los cinco grupos siguientes:

1.° *Aceros de forja.*—Podemos subdividir en esta clase la primera serie en cinco grupos, según la dosis de níquel.

Primer grupo, los que tienen de 0 á 10 por 100 son análogos á los aceros al carbono.

Segundo ídem, los de 10 á 12 por 100 están formados de hierro α y martensita.

Tercero ídem, los de 12 á 20 por 100 tienen sólo martensita pura.

Cuarto ídem, los de 20 á 25 por 100 están formados de martensita y hierro γ .

Quinto ídem, los de más de 25 por 100 de estructura poliédrica.

El cambio de estructura á la dosis de 25 por 100 corresponde con la distinta situación de los puntos críticos ya citados.

En la segunda serie se podrían obtener también cinco grupos:

Primer grupo, de 0 á 7 por 100. Análogos á los aceros al carbono.

Segundo ídem, de 7 á 10 por 100. Están formados con hierro α y martensita.

Tercero ídem, de 10 á 15 por 100. Tienen sólo martensita pura.

Cuarto ídem, de 15 á 25 por 100. Están formados de martensita y hierro γ .

Quinto ídem, de más de 25 por 100. De estructura poliédrica.

En la tercera serie se obtienen cinco grupos análogos, pero limitados por dosis distintas; éstas son de 0 á 5 por 100, de 5 á 7 por 100, de 7 á 10 por 100, de 10 á 12 por 100 y de 12 á 15 por 100.

2.° *Aceros templados.*—Puede hacerse el temple á diferentes temperaturas y circunstancias:

1.° Si se templan los aceros á temperatura inferior á un punto de transformación durante el caldeo, no sufre su microestructura alteración alguna.

2.° Cuando se calienta un acero hasta una temperatura superior á su punto de transformación, durante el caldeo sufre las mismas transformaciones cualquiera que sea la temperatura á que se temple, siempre que sea superior á la de su punto de transformación al enfriamiento.

3.° Cuando se templan los aceros á temperaturas superiores á su punto de transformación durante el caldeo, se

obtienen diferentes resultados, según las clases á que pertenecen los aceros:

Primera clase, se obtienen los mismos efectos que en los aceros al carbono.

Segunda ídem, aunque siga dominando la martensita hay gran tendencia hacia la estructura poliédrica.

Tercera ídem, varían los efectos según sea más ó menos rico el acero; para los menos ricos de cada serie se varía la estructura, formándose hierros en flecha en vez de los poliedros que antes del temple los constituían.

Para los aceros muy ricos en níquel no hay variación sensible.

3.º *Aceros recocidos.*—Desde el punto de vista micrográfico el recocido obra de un modo muy análogo al temple en las dos primeras clases y en los aceros pobres de la tercera, pero en los aceros ricos de esta clase, que durante el temple experimentan muy poca ó ninguna variación, tiende á transformarse su estructura poliédrica en martensítica.

No debe extrañar que al templar algunos aceros de estructura poliédrica se obtenga martensita, pues se ha de-

bido formar, no durante el temple, sino anteriormente durante el caldeo.

4.º *Aceros trabajados mecánicamente.*—Cuando un acero es trabajado, bien al martillo, bien á la prensa, experimenta notables modificaciones.

La primera manifestación es la de acentuarse los planos de rotura en cada poliedro, pareciendo que se producen se paraciones según estos planos.

Después comienzan á aparecer hierros en flecha sobre la superficie en la que se obra, continuando los efectos en esta forma en tanto no se pasa el límite de elasticidad.

Cuando esto ocurre, aparecen estos hierros en flecha dentro de la masa.

Propiedades mecánicas.

Expondremos los resultados obtenidos en los ensayos realizados á la tracción al choque y de dureza en diversas muestras de aceros.

En el cuadro adjunto se indican los resultados obtenidos en dichos ensayos.

ENSAYOS MECANICOS DE ACEROS AL NIQUEL

S E R I E S	D O S I S D E		A C E R O S D E F O R J A						A C E R O S T E M P L A D O S					
	Carbono.	Níquel.	E N S A Y O S D E T R A C C I Ó N				Ensayos de fragilidad. — Método Frenont.	Ensayos de dureza — Método Brinell.	E N S A Y O S D E T R A C C I Ó N				Ensayos de fragilidad. — Método Frenont.	Ensayos de dureza. — Método Brinell.
			R	E	A	Σ			R	E	A	Σ		
o ₁₀	o ₁₀	Kg.	Kg.	o ₁₀	o ₁₀			Kg.	Kg.	o ₁₀	o ₁₀			
1. ^a serie.—Con 0,120 de carbono.....	0,07	2,23	35,9	29,5	23	73,1	33,3	122	50	39,7	20	73	28	125
	0,125	5,23	41	30,4	25	74,1	32,0	135	60,0	32,3	6	52,2	15	170
	0,125	7,13	45	33,3	21	69,1	24	144	90,4	96,9	5	47,4	10	235
	0,132	10,10	65,1	52,6	8	53,8	3	183	100,4	97,9	5	47,4	8	296
	0,125	12,07	96,0	61,6	3,5	28,7	1	228	107,4	77,5	3	20,1	6	296
	0,110	15,17	97,9	86	0,5	0	0	242	106,9	87,0	5,5	46,5	4	250
	0,176	20,40	119,7	82,7	15	2,4	1	318	114	85,4	5	31,2	1	278
	0,160	25,85	97	48,2	5	3,5	5	165	»	»	»	»	0	250
	0,120	30	45	29,5	29,5	63,7	12,5	113	42,2	20,8	21	17	5	113
	0,206	1,97	41,8	39,5	21	50,2	21	146	73,6	45,5	10,2	56,6	12	370
2. ^a serie.—Con 0,250 de carbono.....	0,198	4,90	49,8	36	20	60,1	17,5	155	153,2	153,2	2	»	9	385
	0,225	7,59	57,2	40,9	20	56,6	17,0	182	137,1	132,5	2,3	»	9	385
	0,215	9,79	106	83,2	3,5	49,6	3	330	157,8	157,8	2,5	»	10	461
	0,223	12,17	124,0	87,4	4,0	20,0	6	370	144	144	2,3	»	10	436
	0,225	15,04	114,0	71,0	5,5	32,3	7	343	135,1	135,1	0,7	1,2	9	455
	0,220	20,01	127,2	88,5	4,5	5	8	306	112,8	112,8	1,2	2,5	8	370
	0,220	25,06	54,6	28,6	19	17,4	35	122	55,6	28,7	18	27,4	23	106
	0,194	27,87	56,0	38,4	32	71,3	38	111	56,1	34,9	31,5	71,3	32	111
	0,800	2,20	89,0	45,5	15,7	24,1	3	234	»	»	»	»	2	567
	3. ^a serie.—Con 0,800 de carbono.....	0,776	4,90	101,2	58,3	10,0	24,1	3	350	»	»	»	»	2
0,815		7,09	83,5	83,5	0,0	0,0	3	519	»	»	»	»	2	497
1,050		0,79	106,0	166,0	3,0	0,0	2	455	»	»	»	»	5	418
0,760		12,27	83,0	83,0	0,5	0,0	5	278	»	»	»	»	5	401
0,796		15,04	45,5	53,8	4,0	5,0	7	148	45,5	33,8	4	5	8	134
0,800		20,01	56,7	30,7	9,5	18,4	10	141	62,2	26,8	14,3	19,1	18	119
0,790		25,06	75,2	38,1	32,0	31,7	40	156	74,0	32,7	11,4	45,2	35	138
0,310		29,96	79,7	48,1	32,5	50,3	40	174	73,5	36,2	25	24,8	30	153

Los ensayos se hacen en barras de acero forjado y de acero templado.

Observando los resultados expuestos en el cuadro, se deduce la posibilidad de dividir los aceros en tres grupos según sus propiedades.

	Primera serie.	Segunda serie.	Tercera serie.
1.er grupo.	De 0 á 10 % de N.	De 0 á 7 % de N	De 0 á 5 % de N.
2.º grupo.	De 10 á 27 %.	De 7 á 25 %.	De 5 á 15 %.
3.er grupo.	De más de 27 %.	De más de 25 %.	De más de 15 %.

Los aceros del primer grupo de cada serie dan resultados parecidos á los de los aceros al carbono, pero son sus aceros más homogéneos y algo más resistentes.

Los aceros del segundo grupo dan parecidos resultados que los aceros templados de gran dosis de carbono.

Los del tercer grupo poseen grandes alargamientos, un límite de elasticidad muy bajo y no son frágiles.

En los ensayos por tracción se observa en las tres series que los aceros no magnéticos, cuanto menos dosis de níquel tengan, más próximos están los valores *R* y *E*, pero cuanto más se eleva esa dosis más crecen y se separan esos límites.

El temple aumenta los valores de *R* y *E* en los aceros

de los dos primeros grupos, pero en los del segundo no tiene influencia.

En los ensayos de dureza se ha observado que ésta aumenta en proporción de la suma $C + N$, sobre todo cuando la dosis de níquel baja lo más posible, ascendiendo la de carbono.

Es curioso el observar que los aceros al 30 por 100 de níquel tienen sensiblemente la misma dureza cuando ellas contienen 0,120 ó 0,800 de carbono antes ó después del temple.

Hay perfecta concordancia entre la fragilidad y la dureza, siendo los más frágiles los que son más duros.

Después del temple hay la misma fragilidad para los aceros del segundo y tercer grupo que antes; no así en los del primero en que aumenta algo.

Los ensayos de dureza por el método de Brinell permiten hacer una clasificación de los aceros al níquel por lo que respecta á su trabajo mecánico:

1.° Son difíciles de trabajar por excesivamente blandos los que tienen como coeficiente un número menor que 120.

2.° Son fáciles de trabajar aquellos cuyo coeficiente está comprendido entre 120 y 200.

3.° Son difíciles de trabajar por lo duros aquellos cuyo coeficiente es superior á 200 y casi imposible su trabajo los que llegan á 300.

Vemos análogamente á lo que pasaba con los aceros al manganeso que los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos están completamente de acuerdo con las consecuencias deducidas del examen micrográfico.

Ensayos de plegado.

Estos aceros sometidos al plegado estático le resisten en muy buenas condiciones, pues se obtiene el completo plegado de una barra de 25 mm. por lo menos de sección, sin que se presenten grietas ni fisuras, mostrándose así su gran tenacidad.

Se emplean mucho también los ensayos de plegado al choque, exigiéndose en los pliegos extranjeros que resista una determinada barra un cierto número de golpes de maza hasta que se doble, recibiendo en una punta volada.

Se emplea una maza de 10 kilogramos, cayendo desde 0,50 y empleando barras de 25×10 m.; indicamos á continuación los resultados obtenidos operando á 80 grados.

Dosis de níquel.	Golpe de maza.
6,00	40
8,28	40
9,92	70
11,28	80
13,00	70
15,92	125
20,52	200

Fabricación de los aceros al níquel.

Es muy general la producción y fabricación de lingotes de esta clase de aceros y se realiza en todas las fábricas metalúrgicas en que los aceros especiales se producen.

Estos aceros se obtienen como los aceros al manganeso, bien al crisol, bien en horno Martín Siemens.

Cuanto se trata de aceros con dosis menores de 5 por 100, el cálculo de la carga y mezcla se hace teniendo en cuenta como pérdida en escoria del 5 al 8 por 100.

Para dosis grandes es muy grande la incertidumbre.

Siendo el níquel menos oxidable que el hierro á la temperatura ordinaria, parece ser oxidable á temperaturas elevadas; por esto la pérdida por oxidación es muy notable en los aceros; con fuertes dosis llega y pasa al 15 y 20 por 100 en los aceros al 20 por 100 de níquel.

El níquel se incorpora al hierro, bien en estado puro, bien en forma de cepilladura de acero al níquel.

En este último caso se introduce con la primera carga del horno, mientras que en el primero se añade á elevada temperatura después de la fusión de la primera carga.

Hay que tener cuidado de no acelerar el afinado por adiciones de mineral, pues como el níquel se oxida reduciendo el óxido de hierro, puede pasar casi por entero á la escoria.

En algunas fábricas se adiciona el níquel momentos antes de hacer la colada.

Se obtienen en la colada lingotes sanos sin grietas; el metal es muy fluido y parece muy homogéneo; en los aceros no cromados el metal de los lingotes tiende á cristalizar, á partir de la dosis de 2,50 por 100 de níquel en el enfriamiento lento, formándose agujas estriadas, análogas á las que se encuentran en los aceros á grandes dosis de níquel.

La laminación orienta estas agujas que no desaparecen ni por la forja, recocido, ni temple; en las pruebas por tracción se rompen las probetas sin alargamiento ni extricción, presentando una fractura cristalina estriada.

Una muy pequeña adición de aluminio al acero fundido antes de la colada parece dar una mayor homogeneidad al metal, produciendo en el baño gran alteración, lo cual hace que se reparta más uniformemente el níquel.

Durante la solidificación de los lingotes parece que la presencia del níquel disminuye la segregación del carbono; se atribuye este hecho á realizarse una combinación del níquel con el carbono formando un componente, cuyo peso específico es análogo al del hierro y cuyo punto de solidificación está muy próximo al de los otros componentes que entran en el metal.

El centro de los lingotes contiene más carbono, silicio, fósforo y azufre que la superficie; para tener piezas más homogéneas conviene prescindir, si es posible, de dicha parte central.

Se han efectuado análisis en algunos lingotes, los que han dado los siguientes resultados:

	Exterior del lingote.	Parte central del lingote.
Níquel, por 100.....	3,07	3,27
Silicio.....	0,172	0,170
Azufre.....	0,03	0,06
Carbono.....	0,31	0,36
Fósforo.....	0,025	0,047

Conviene que el metal cuando se introduce en la mezcla en forma de cepilladura no contenga más que algunas diezmilésimas de azufre.

En el momento de la solidificación, un enfriamiento desigual puede producir tensiones peligrosas susceptibles de dar lugar á grietas que llegan en ocasiones hasta la superficie.

Forjado de los aceros al níquel.

Cualquiera que sea la dosis de metal, estos aceros sufren el trabajo de forja, laminación y estirado sin muchas mayores dificultades que los aceros ordinarios, siempre que la dosis de carbono no sea elevada.

Como ejemplo, podemos citar aceros con 7,5 por 100 de níquel y 0,0690 de carbono, que se trabaja con la misma facilidad que el hierro ordinario.

Como regla general se debe aconsejar que los aceros al níquel deben ser trabajados como los aceros duros al carbono, y á igual dosis de carbono el trabajo de deformación debe ser conducido tanto más lentamente cuanto mayores son las dosis de níquel.

En aceros con más de 25 por 100 el forjado es posible, aunque no fácil; pero el caldeo no puede elevarse más que en el acero ordinario.

Cuando la dosis pasa de 20 por 100, el metal con 1 por 100 de carbono no puede forjarse más que entre 1.000 grados y 500 grados y con pequeños golpes de pilón; la temperatura más conveniente es la del rojo cereza.

El forjador debe evitar los enfriamientos del metal; basta que una pieza sometida al trabajo se ponga en contacto con una superficie fría ó húmeda que esté expuesta á la lluvia y aun á una corriente de aire, para que se endurezca y presente al golpe del martillo un metal muy análogo al acero al carbono templado.

El trabajo es lento y difícil y produce en ocasiones grietas peligrosas que es muy difícil hacer desaparecer.

Estos aceros presentan el inconveniente de ser muy difícil soldarlos pasando de 3 por 100 de níquel.

Conviene mucho adicionar el cromo, pues de este modo se laminan bien, sobre todo si se comienza la operación á temperatura próxima al rojo cereza.

El acero con 22 por 100 de níquel, 2 por 100 de cromo y 0,6 por 100 de carbono, permite obtener fácilmente piezas forjadas de forma muy complicada, tales como hélices para buques.

Este acero especial que se ha estado fabricando en Imphy dió al principio muy mal resultado; en éste un lingote de 35 kilogramos para un eje motor de locomotoras pudo transformarse fácilmente en *bloom*; el metal era duro, y cuando la temperatura bajaba del rojo cereza, el metal se resquebrajaba aún siendo muy pequeña la acción del martillo.

Se hacían notar á cada caldeo más y más grietas, y cuando se intentaba practicar un agujero, el *bloom* se rompía.

Por el contrario, otro lingote de 1.600 kilogramos procedente de la misma colada fué fácilmente forjado para un cañón.

Se ve que el período de temperatura propia para el forjado es muy limitado; el metal soporta bien el martillado siempre que no se haga por encima del rojo cereza claro, y el martillado no produce efecto por debajo del rojo cereza.

Temple y recocido.

Cuando se compara el límite de elasticidad y la carga de rotura de estos aceros templados con los aceros recocidos se ve lo que suben dichos límites en el primer caso. variando dichos aumentos del 23 por 100 al 125 por 100.

Este efecto alcanza un máximo en la proporción del 6 por 100; más allá del 16 por 100, el temple en algunos casos es contraproducente.

Es interesante determinar la influencia de la rapidez del enfriamiento después del recocido en las propiedades mecánicas, deduciéndose que el metal es tanto más dulce cuanto el enfriamiento ha sido más lento.

El cromo influye endureciendo el metal recocido, cuya dosis pasa del 1 por 100, y éste tanto más cuanto el enfriamiento es menos lento.

Trabajo en fábrica de este acero.

Es muy difícil trabajar estos aceros cuando sus dosis alcanzan importancia.

Hasta la dosis del 5 por 100 no hay dificultad para este trabajo, hasta 20 por 100 aunque muy difícil es todavía posible; pero por encima de 20 por 100 no es posible sin la introducción de alguna dosis de cromo.

Los últimos empleados están compuestos de las siguientes dosis:

	Cromo.	Tungsteno.	Manganeso.	Estado del acero.
1.º.....	0,6	2,0	"	Templado.
2.º.....	2,5	9,9	2,16	Sin templar.
3.º.....	2,5	9,5	"	Sin templar.
4.º.....	Acero cromado.		"	Templado.

El cepillado es muy lento, pero da superficies muy limpias; con una velocidad de 5,20 metros por minuto han hecho falta dos días y medio para cepillar á una profundidad de 0,005 metros una superficie de 0,27 metros $\times$ 1,50 metros.

El torneado se hace en buenas condiciones con útiles de acero ordinario, se reduce la velocidad á 3 ó 4 metros por minuto y se obtiene el mismo resultado que con el acero dulce torneado á velocidad doble.

La perforación ofrece grandes dificultades; se pueden emplear barrenas helicoidales para los agujeros de pequeño diámetro; pero para grandes diámetros hace falta barrenas de lengua de culebra del acero del tipo cuarto antes definido, con velocidades de rotación muy pequeñas.

Para fresar se pueden emplear fresas de acero al carbono; una fresa de 30 mm. que gire á 100 vueltas con el acero dulce ordinario, gira solamente á 25 vueltas, pero el trabajo es doble.

Se ve que sólo el trabajo de torneado y cepillado se efectúan en buenas condiciones económicas; los otros trabajos son muy caros por el tiempo que exigen, que inmovilizan las máquinas útiles.

Los aceros con fuerte dosis de níquel convienen, por lo tanto, para las piezas poco complicadas terminadas por superficies planas ó de revolución.

(Continuará.)

PUERTOS DE LA PROVINCIA DE ALMERÍA

XVIII

Los puertos declarados de *interés general* de la citada provincia son: el de la *capital*, el de *Garrucha* y el de *Adra*.

El puerto de Almería.

Fué comprendido dicho puerto entre los de interés general de segundo orden en el art. 16 de la ley de Puertos de 7 de Mayo de 1880.

Dos años antes, en 4 de Mayo de 1878, se constituyó la Junta para la dirección de las obras.

Situación del puerto.—El puerto de *Almería* se halla situado casi en el ángulo SE. de la costa de la Península, ó