

# FABRICACION DE ACERO 12L14 EN MAQUINA DE COLADO CONTINUO<sup>(01)</sup>

Alfredo Moreno Marquinez <sup>(02)</sup>  
Santana Loera Chavez <sup>(03)</sup>  
Baltazar Camacho <sup>(04)</sup>  
Facundo Olvera Guarneros <sup>(05)</sup>  
Jesús Fidel Báez Elorza <sup>(06)</sup>  
Carlos Santander <sup>(07)</sup>  
Javier López Vega <sup>(08)</sup>  
José Luis E. Pérez Bolaños <sup>(09)</sup>

## RESUMEN

Las nuevas aplicaciones de los materiales han incrementado las exigencias en las propiedades de los mismos, en el acero, estos requerimientos obligan a mejorar los procesos de fabricación para cumplir con ellas.

Dentro de los aceros que han incrementado su demanda, están los de fácil maquinabilidad, diseñados para mejorar la operación de mecanizado; Presentan características muy diferentes y especiales a los demás aceros, se conjugan buena resistencia y maleabilidad, nivel de inclusiones sin caer en un acero sucio, mayor oxígeno libre pero no a los niveles de los semicalmados, y finalmente tienen un elemento (Plomo) que mejora el maquinado.

Hace algunos años, Sidenorabx desarrollo la fabricación de este acero en lingote, pero actualmente bajo la asistencia de Sidenor España, ha logrado fabricarlo en Colada Continua con altos niveles de calidad.

En este documento, se presentan las principales actividades llevadas a cabo para la modificación de variables al nuevo proceso, así como también las adecuaciones necesarias por las condiciones al encontrarse a 2400 m sobre el nivel del mar, a diferencia de Sidenor Basauri.

Los resultados de calidad en palanquilla, son directos ya que no se cuenta con un sistema de inspección ni de acondicionamiento de esta.

- 
- (01) Contribución Técnica XXXV Seminario de Fusión, Refinación y Solidificación de Metales. 17-19 mayo 2004 Salvador BA Brasil.
- (02) Asesor de Sidenor Basauri – Vitoria, España
- (03) Ingeniería del producto y Proceso – Sidenorabx
- (04) Operación Laminación – Sidenorabx
- (05) Aseguramiento de Calidad – Sidenorabx
- (06) Operación Aceración – Sidenorabx
- (07) Asistencia Técnica – Sidenorabx
- (08) Planeación Estratégica y Marketing – Sidenorabx
- (09) Ingeniería de Procesos Aceración – Sidenorabx

## 1) INTRODUCCION

Sidenorabx esta integrándose al mercado de los aceros especiales automotrices, donde una de las áreas de oportunidad son los aceros de fácil maquinabilidad, debido principalmente tanto a las propiedades que presentan, como a que los procesos de producción cada día son más competitivos y ofrecen mejores y más variados productos.

El uso de los aceros de fácil maquinabilidad, tiene como beneficios:

- Reducción de los paros de producción de las máquinas de mecanizado
- Mejora en las características y condiciones de corte
- Tener un mejor acabado superficial en el mecanizado
- Reducción de costos por desgaste de herramientas y máquinas
- Aumento en la producción de piezas (mayores velocidades de corte)

A mediados de los 80's Sidenorabx comenzó la fabricación del acero 12L14 en lingote, y uno de los factores más característicos ha sido la diferencia en las condiciones geográficas comparadas con las de España, específicamente hablando la baja presión atmosférica, ya que se han encontrado diferencias en los valores de algunas variables, teniendo que ajustar los procesos de fabricación.

Actualmente, el acero 12L14 se fabrica en una máquina de colado de 4 líneas, obteniendo palanquilla de sección 160 x 160 mm, y el objetivo de este trabajo, es presentar las adecuaciones realizadas en el proceso, para lograr buenos estándares de calidad en el producto.

Cabe mencionar que los resultados son sin contar con una línea de inspección y esmerilado de defectos superficiales en palanquilla, pero certificando la calidad del producto laminado o pelado con sistemas automáticos (Circoflux – Circograf).

## BASES TEORICAS

Debido a la gran cantidad de piezas especiales que requieren de maquinado, es importante el tener en cuenta los aspectos que deben cumplirse para tal fin:

- 1) Tener una baja resistencia al corte, lo cual nos requiere una menor potencia para el mecanizado.
- 2) Aportar al acero un medio que le de menor resistencia al arranque de la viruta y reduzca la fricción.
- 3) Aportación de un medio que obligue a que la viruta no salga de manera continua sino segmentada, rompiéndose con facilidad proporcionando con esto menor superficie de contacto y por lo tanto una mejor eliminación de esa.

### PRINCIPIOS DEL DESGASTE POR FRICCION <sup>(1)</sup>

En el mecanismo de desgaste los factores comprometidos son la herramienta y el material donde se efectúa el mecanizado; La herramienta penetra en la pieza haciendo desprender el material según las condiciones de corte, sobre la cara de desprendimiento de la herramienta.

Los mecanismos por los que se genera el desgaste, dependen del factor más importante que es la velocidad de corte:

- 1) POR ADHESION.- Las altas temperaturas de la fricción, generan la aparición de pequeñas micro soldaduras entre la herramienta, la viruta y el material.
- 2) POR ABRASION.- Como resultado del contacto directo entre la herramienta y los compuestos abrasivos del mismo material.
- 3) POR DIFUSION.- Por las altas temperaturas del corte, parte de los elementos aleantes de las herramientas, se pierden con la viruta en el desgaste.

## ACCIONES QUÍMICAS <sup>(1)</sup>

1) ELEMENTO FRAGILIZANTES.-Son aquellos compuestos (S y Pb) específicamente adicionados para generar viruta no rizo.

2) ELEMENTOS PERJUDICIALES.- Específicamente son el Al y Si, por la posibilidad de generar óxidos abrasivos.

3) COMPLEMENTO DE LA COMPOSICION.- Considerando factores tales como el Oxígeno libre , la relación Mn / S , el contenido de Pb.

## BASES PARA LA COMPOSICION QUÍMICA <sup>(1)</sup>

Tal como se estableció, los diferentes elementos y contenidos en el acero, juegan papeles fundamentales para la cumplir con las propiedades:

1) CARBONO.- Aporta dureza al material y por lo tanto los esfuerzos de corte.

2) AZUFRE.- Base para la formación de los MnS, su efecto es lubricante, pero generadores de fragilidad cuando llegan a formarse FeS <sup>(3)</sup>

3) MANGANESO.- Relacionado directamente con el S, para la formación de los Mn/S, fomenta la maquinabilidad, en concentraciones superiores al 1.0%, sin sobrepasar el valor de 4 en la relación <sup>(1)</sup>.

4) OXIGENO LIBRE.- Permite la formación “ovoidal” de los MnS en valores menores a las 100 ppm para productos de Colada Continua.

5) FOSFORO y NITRÓGENO.- En concentraciones de 0.07 % y 150 ppm incrementan la dureza de la Ferrita.

## INCLUSIONES DE MnS <sup>(1,2)</sup>

De vital importancia para el proceso de mecanizado al ser los generadores de la rotura de la viruta; Dependiendo de la forma alcanzada en la palanquilla, se encuentran clasificados en:

1) TIPO I > 200 ppmO

Sulfuros globulares, con distribución aleatoria y a veces asociados con fases secundarias de óxidos

2) TIPO II < 100 ppmO

Sulfuros que se presentan en forma de cadenas o hélices, definidos habitualmente como eutéctico y localizados en la zona interdendrítica

3) TIPO III

Sulfuros angulares, también distribuidos generalmente al azar

De acuerdo a lo expuesto arriba, podemos decir que los Sulfuros se controlan por la composición química, pero particularmente por el nivel alcanzado de oxidación del acero.

## PLOMO <sup>(1)</sup>

1) Es el elemento más utilizado para incrementar la maquinabilidad.

2) El rango donde se encuentran mejores resultados esta en 0.30 %

3) El conjunto de MnS y Pb, favorecen enormemente la propiedad de mecanizado

4) Este elemento favorece que no se forme viruta en rizo, y además las inclusiones ínter metálicas hacen efecto lubricante en el corte.

## 2) PROCESO DE FABRICACIÓN

### 2.1) ACERACION

Conjugando los estándares proporcionados por Sidenor España, con experiencia y desarrollos propios, así como la referencia teórica establecida, las principales variables en cada una de las fases del proceso fueron:

#### 2.1.1) MATERIAS PRIMAS (CHATARRA)

Porcentaje máximo de elementos residuales Cobre y Estaño.

#### 2.1.2) HORNO ELECTRICO

Nivel de oxígeno libre de vaciado.

#### 2.1.3) VACIADO DEL ACERO A LA OLLA

Cantidad de escoria que sale al regreso del horno

#### 2.1.4) HORNO OLLA

Niveles de Oxígeno (entrada y salida)

Relación Mn/S

Inyección de la granalla de Plomo

#### 2.1.5) MAQUINA DE COLADO CONTINUO

Secado del revestimiento de trabajo del distribuidor

Uso de un inhibidor de turbulencia en el distribuidor

Tiempo mínimo de fin de afino a inicio de colado

Tiempo mínimo de llenado del distribuidor

Altas temperaturas de colado

Potencia de agitación electromagnética

Polvo lubricante de molde

### **CALIDAD DE LAS PALANQUILLAS**

La aplicación de los primeros parámetros dentro de la fabricación, dieron como resultado diferentes defectos y problemas en la calidad de las palanquillas:

#### **DEFECTOS SUPERFICIALES**

1) POROS - Encontrando en 1 m de palanquilla hasta 300 poros, con profundidades desde 1 hasta 3 mm, causados por 1) altos niveles de oxígeno libre, 2) degradación de la calidad de los polvos de molde (humedad) por encontrarse en bolsas de plástico.

2) GRIETAS - De diferentes longitudes, y en muchos casos asociadas a las marcas de oscilación, causadas por 1) mayor amplitud de la oscilación de la lingotera, 2) baja temperatura de salida de la palanquilla en la zona de extracción.

3) MARCAS DE OSCILACION - Muy marcadas en unas zonas y sin marcas en otras, causadas por 1) falta de lubricación del polvo del molde, 2) mayor amplitud de la oscilación.

#### **DEFECTOS INTERNOS**

##### 1) PORO CENTRAL

Se encontraron cavidades de hasta 5 mm de diámetro, causadas por 1) altas temperaturas de vaciado, 2) altas velocidades de colado

##### 2) GRIETAS

Encontrando tanto en estrella, asociadas a deformaciones superficiales, como mecánicas, causadas por 1) heterogeneidad en el enfriamiento secundario, 2) mal ajuste en las presiones de extracción-enderezado.

3) SOPLADURAS - A una profundidad de 3 - 5 mm, y cuya principal causa fue un secado deficiente del revestimiento refractario de trabajo.

##### 4) POROS

Encontrándolos mezclados con las sopladuras en la parte subsuperficial, causados por altos niveles de oxígeno libre en el acero.

### **2.2) LAMINACION**

Para certificar la calidad de las barras de acero 12L14, debemos de tener en cuenta los parámetros y variables de fabricación que se tienen que controlar en Laminación. Los primeros análisis, arrojaron que las variables a considerar eran las siguientes:

1) Diseño de pases / cédula de rolado

2) Atmósfera del horno de recalentamiento

3) Temperaturas de Laminación

Se llevaron a cabo diferentes corridas de prueba, con la finalidad de verificar físicamente los resultados en barras laminadas, tomando en cuenta la morfología y distribución de los MnS en la palanquilla con lo encontrado en las barras.

No se hace más referencia a las características de Laminación en este documento, ya que no es el objetivo del mismo, y solo se mencionan algunas de ellas como referencia ya que pudieran estar relacionadas con la gravedad y tipo de defectos encontrados.

## **CALIDAD SUPERFICIAL DE LAS BARRAS LAMINADAS**

### **GRIETAS**

De diferentes longitudes y dispuestas en forma aleatoria, causadas por 1) porosidad superficial en la palanquilla, 2) bajas temperaturas de Laminado

### **CAVERNAS**

Esencialmente se presentan como desgarramiento superficial del metal en forma de triángulo, causadas por bajas temperaturas de Laminado.

## **CALIDAD INTERNA DE LAS BARRAS LAMINADAS**

### **SOPLADURAS / POROS**

En ambos casos, provenientes de la palanquilla.

## **3) PRUEBAS DE CALIDAD PARA VALIDACION DE LOS PRODUCTOS**

### **3.1) INCLUSIONES DE SULFUROS**

Relacionando la maquinabilidad con el nivel de inclusiones de sulfuros, encontramos que al tener un 40 – 60 % de sulfuros ovoidales, se tiene una mala maquinabilidad, junto con otra característica que es la distribución homogénea. Los sulfuros deben, como característica primordial, tener una longitud máxima de 2.5 veces <sup>(1)</sup> el diámetro de los mismos.



Foto 1.- Inclusiones de Sulfuros que generan una baja maquinabilidad

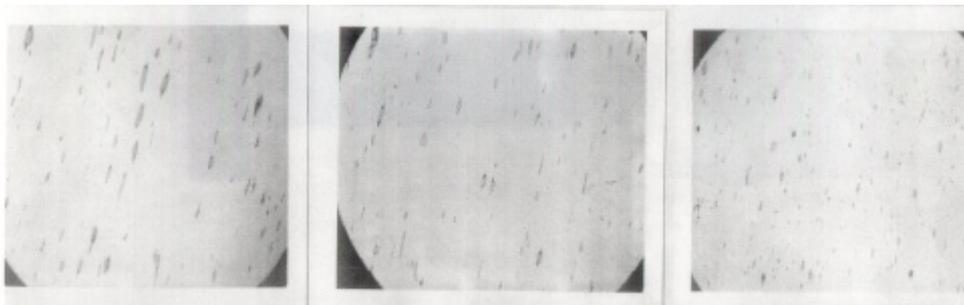


Foto 2.- Inclusiones de Sulfuros que generan una buena maquinabilidad

### 3.2) MAQUINABILIDAD

Las pruebas de maquinado para certificación del producto se realizan en Metamex, (la otra empresa de Sidenorabx), con las siguientes características:

- 1250 y 800 RPM
- 1/16 " de profundidad
- Avance de 0.003" por cada 0.07 mm.

Siendo entonces los criterios de aceptación o rechazo:

<u>CALIFICACION</u>	<u>ACEPTADA</u>	<u>RECHAZADA</u>
Tipo de Rebaba	chips	rizos
Acabado Superficial	terso	rugoso

### 3.3) PRUEBAS DE ESCALONADO

Esta prueba se lleva a cabo para determinar la frecuencia y severidad de los defectos internos encontrados en las barras laminadas. Esta basada en la norma SAE AMS 2301G Aerospace Material Specification, llevándose a cabo el maquinado de acuerdo a 1) el tipo de prueba a desarrollar y 2) producto a calificar considerando los niveles de exigencia finales.

### **PRIMERA FASE DEL DESARROLLO**

De esta primera fase del desarrollo, los resultados en la calidad tanto de la palanquilla como de las barras laminadas, nos indicaron cuales eran las variables que debíamos modificar para mejorar la calidad:

- a) La relación Mn / S esta directamente relacionada con la calidad superficial
- b) El nivel de oxígeno libre debe adecuarse para no permitir la formación de poros por la baja presión atmosférica, sin perder de vista la influencia en la formación de sulfuros ovoidales
- c) La formación de los sulfuros ovoidales y su correcta distribución, permiten los mejores resultados de maquinabilidad
- d) La distribución del Plomo en la sección es buena
- e) Ajustar la amplitud de la oscilación.
- f) La velocidad de colado debe reducirse para evitar la pérdida de líneas por falta de lubricación
- g) Debe cambiarse la bolsa de plástico del polvo lubricante por papel, debido a su pronta degradación por humedad
- h) La humedad, esta relacionada con la formación de poros superficiales
- i) La generación de sopladuras esta directamente relacionada con la humedad del revestimiento de trabajo del distribuidor

### **4) ADECUACIONES AL PROCESO, PRODUCTOS Y MATERIALES**

Se hizo necesario modificar factores tanto del proceso, como de los productos y materiales, en la búsqueda de los resultados de calidad esperados:

- a) El carbono, como principal elemento que provee resistencia al acero, controlado en el rango de los 0.06 – 0.08 %
- b) Incrementar la desoxidación del acero en el vaciado con FeSi y Al.
- c) Para eliminar la salida de escoria, se realiza un escoreo por la puerta de trabajo al final del calentamiento, un incremento en el acero remanente, así como una reducción del diámetro del ebt.
- d) Ajustar la relación Mn/S, para cumplir con una mínimo de 3.7.
- e) Controlar el oxígeno libre con Aluminio al inicio de la refinación

- f) Un tiempo de refinación de 40 – 50 min.
- g) Un tiempo máximo entre la inyección de Pb y la apertura de la olla de 15 min.
- h) Incrementar en 10 mm el diámetro de las boquillas de descarga de la olla
- i) Usar material seco en el revestimiento de trabajo del distribuidor
- j) Utilizar inhibidores de turbulencia y arillos de arranque en el distribuidor
- k) La amplitud de la oscilación se reduce en un 30 %
- l) Las temperaturas de colado se incrementan en un rango de 10 – 15 °C
- m) Las velocidades de colado se reducen en un 20 – 25 %
- n) Se incrementa la potencia de la agitación electromagnética en un 20 %

### **CALIDAD ACTUAL**

De acuerdo a haber realizado las modificaciones a las variables críticas en la fabricación, en las siguientes fotografías se presentan los resultados en la conformación de los sulfuros, así como su distribución y el nivel de repercusión en la forma de la viruta en los maquinados.

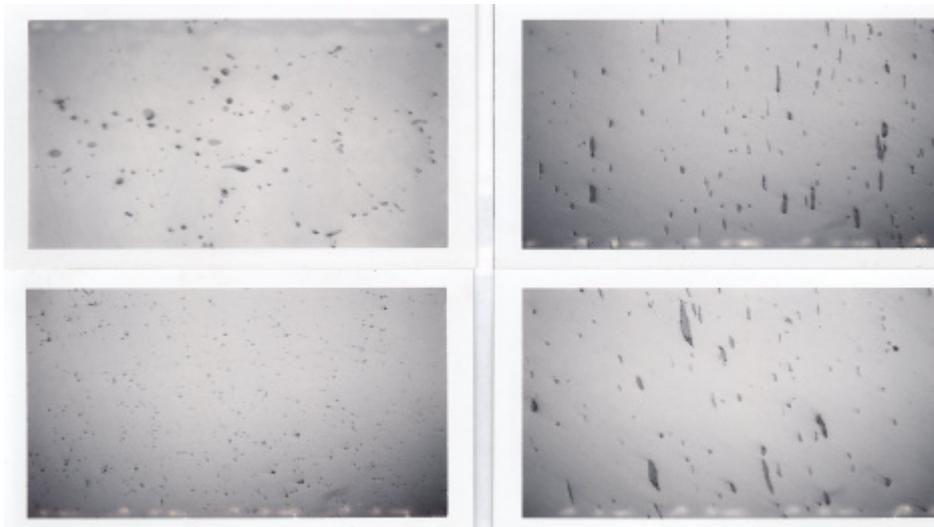


Foto 3.- Inclusiones de Sulfuros en Palanquilla y después en barra

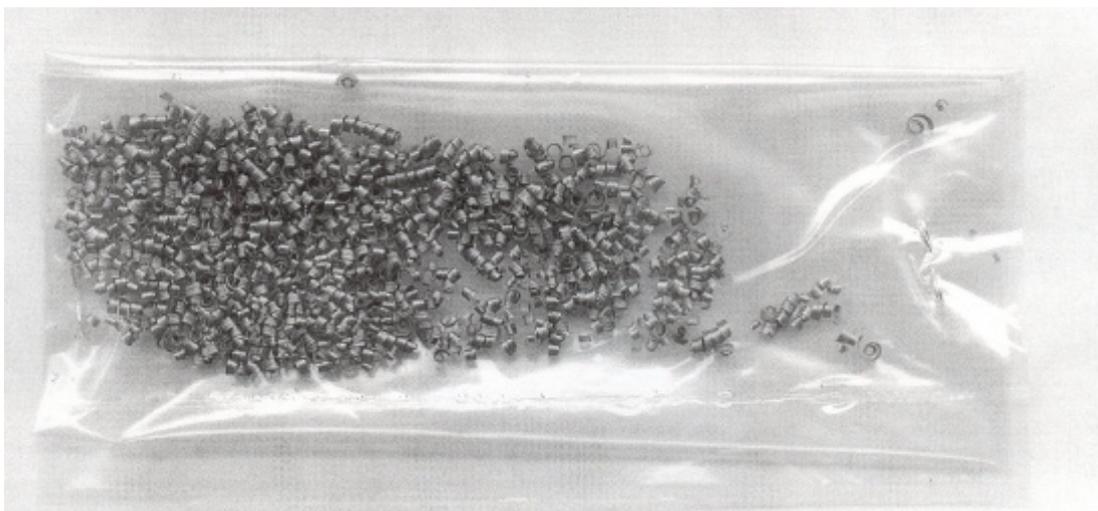


Foto 4.- Viruta de buen nivel de maquinabilidad

## 5) RESULTADOS DE CALIDAD EN LOS SEMIPRODUCTOS Y PRODUCTOS

En las siguientes tablas, se hace referencia de los valores obtenidos respecto a los principales problemas de calidad, así como a los rechazos de las diferentes fases por las que se ha tenido que trabajar.

Tabla 1.- Resultados en palanquilla

DESCRIPCION DE VARIABLES	INICIAL	FINAL
AGRIETAMIENTO SUPERFICIAL E INTERNO	3 %	0.23 %
NIVEL DE SOPLADURAS	7.8 / colada	0 / colada
PROFUNDIDAD DE LAS MARCAS DE OSCILACION	1.21 mm	0.65 mm
NIVEL DE POROS SUPERFICIALES	78 /m plla.	3 / m plla.

Tabla 2.- Resultados en barra laminada (inspección con Circoflux)

PROFUNDIDAD DE GRIETAS Y HOJAS	.74 mm	0.12 mm
CANTIDAD DE SULFUROS OVOIDALES	50 %	80 %
RECHAZO GENERAL	26 %	3 %

Tabla 3.- Resultados en acabado en frío (inspección con Circograf)

RECHAZO DESPUES DE TORNEADO	22 %	2 %
RECHAZO DESPUES DE ESTIRADO	63 %	7 %

## 7) CONCLUSION

- a) Identification and control of critical variables was accomplished in the different phases of the production process in order to achieve an operational standard.
- b) As a special main characteristic, we have to control free oxygen levels in the lowest part so as to avoid pores, but at the same time allow the formation of globular sulphur inclusions.
- c) In terms of client acceptance of materials regarding working and machinability aspects, the samples of steel wools establish a definite parameter for the final acceptance levels.
- d) There must be a very strict control over the definition and fulfilment of the physical and chemical properties of the different materials, so as to avoid additional variables during the production process.
- e) Although productivity aspects are not directly addressed in this document, the modification to some variables, as tundish heat temperature control has resulted in a reduction of line loss.

Even when the principal variables of process control are identified, in our specific case, we must consider a different effect in the behaviour of these due to altitude with respect to sea level.

We have been able to obtain a competitive product in terms of quality and cost, even though we do not have a billet inspection and grinded line.

## 8) REFERENCES

- (1) SIDENOR I + D. **Aceros de fácil Maquinabilidad**. Basauri, España, Abril 2000. 14 p.
- (2) W. J. McG. TEGART & A. GITTINGS. **The Role of Sulfides in the Hot Workability of Steels**. BHP Melbourne Research Laboratories 1968. 13p.
- (3) S. Y. OGAWA, T. B. KING & N. J. GRANT. **Deformation and Fracture Characteristics of Fe-S, Fe-S-O and Fe-S-Mn alloys at High Strain Rates and Temperatures**. Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng. Vol. 224, 1962, 12p.