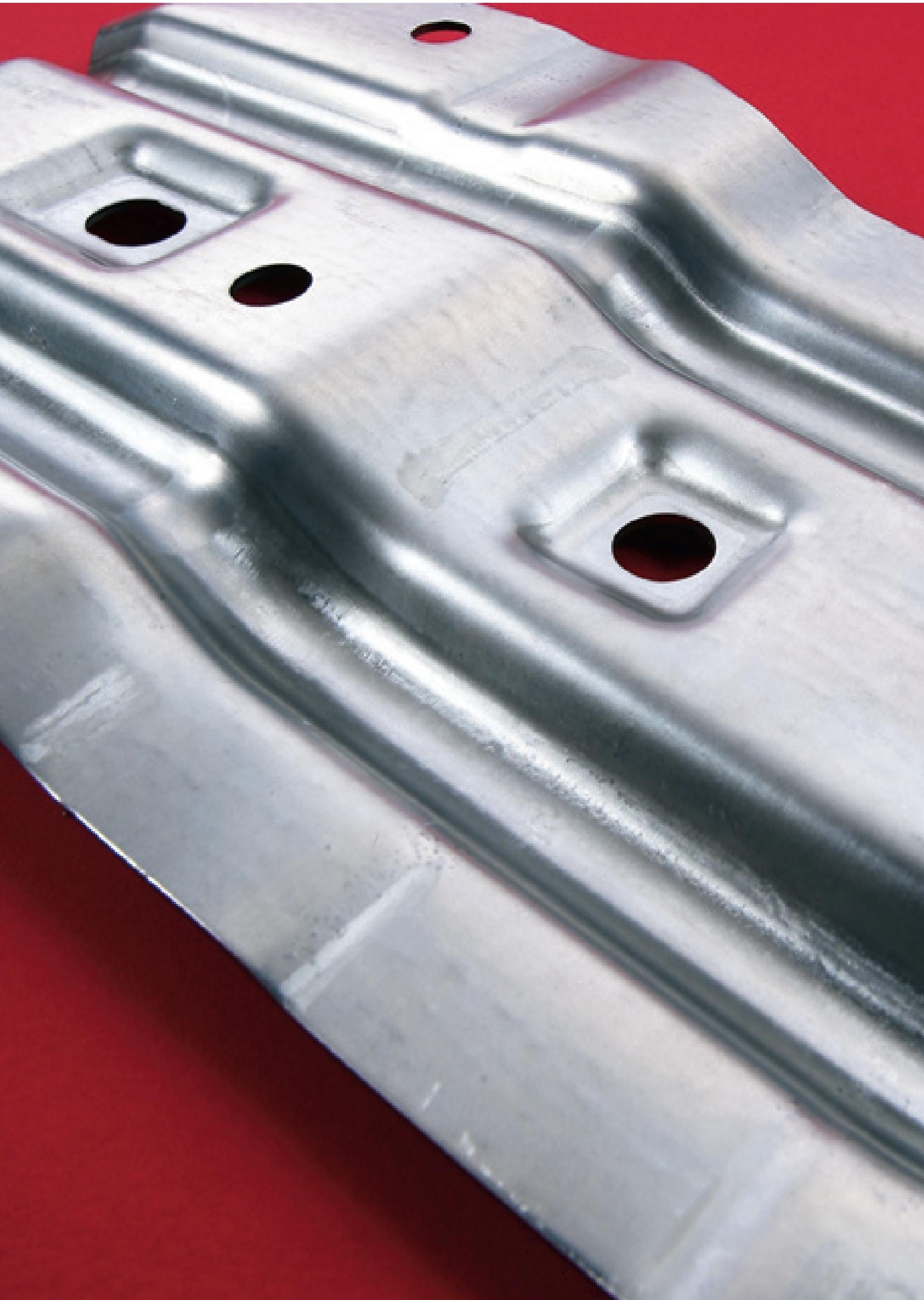


DOGAL[®]

**Aceros Avanzados
de Alta Resistencia
resistentes a la
corrosión**

SSAB
SWEDISH STEEL



Dogal® es un acero galvanizado en caliente y una marca registrada de SSAB Tunnpåt AB. SSAB Tunnpåt es el líder de los productores europeos de aceros de alta resistencia.

Este catálogo trata de hacer una presentación exhaustiva de nuestros aceros Dogal® de extra y ultra alta resistencia galvanizados en caliente.

Podrá descubrir como una mayor resistencia y una mejor protección contra la corrosión se traduce en mejores productos, una mayor eficacia económica en la producción y un aumento de la competitividad.

Los aceros Dogal® de alta resistencia ofrecen un gran número de propiedades rentables.

CONTENIDOS

- 4–7 **Combine las mejores propiedades contra la corrosión con la más alta resistencia mecánica**
- 8–9 **ULSAB**
- 10–13 **Programa de productos**
Dimensiones, revestimientos, calidad superficial, tratamiento superficial, tolerancias
- 14–23 **Propiedades Técnicas**
Cizallado y punzado, corte por láser, conformación, embutición, expansionado, plegado, perfilado, curvas de deformación límite (FLD), retorno elástico, absorción de energía, resistencia a golpes e impactos, fatiga, soldadura por fusión, soldadura fuerte
- 24–27 **Corrosión**
- 28–29 **Tratamiento Superficial**
- 31–33 **Recomendaciones para aceros de utilaje**
- 35 **¿Qué es lo que el diseñador debe tener en cuenta?**

Refuerzo de asiento en Dogal® 800DP.

Combine la mejor resistencia a la corrosión con la mayor resistencia mecánica

No es necesario seguir escogiendo entre la mejor resistencia a la corrosión y las ventajas que los aceros de alta resistencia le pueden ofrecer.

Los aceros Dogal® de SSAB Tunnpååt galvanizados en caliente combinan una buena resistencia a la corrosión con una muy alta resistencia mecánica.

Los aceros Dogal® de alta resistencia ofrecen un amplio abanico de propiedades, que en su conjunto contribuyen a una mejora en su competitividad.

Dogal® 1000 DP

El reciente desarrollo de la calidad de acero Dogal®1000 DP amplía los límites hasta ahora posibles de los aceros de alta resistencia galvanizados en caliente. Dogal® 1000DP tiene una carga de rotura mínima de 980 MPa.

La alta resistencia de nuestros aceros Dogal® se puede usar de diferentes maneras.

Una de ellas es utilizar la alta resistencia para reducir el espesor de la chapa de acero y de esta forma, disminuir el peso.

En un vehículo esto se traduce en una reducción del coste de carburante y en mayores beneficios medio-ambientales durante la vida útil del vehículo.

La reducción de espesor es sinónimo de un menor consumo de material. Dado que el material se compra al peso pero es utilizado por unidad de área, el consumo de material se reducirá, lo que

significa que la factura total del material puede haber disminuido a la vez que se ha mejorado la productividad.

Aumento de seguridad, reducción de peso

La alta resistencia puede dar lugar a un significativo aumento en la absorción de energía del vehículo en caso de colisión.

Por el uso de un acero Dogal® de alta resistencia en partes como travesaños parachoque frontales o barras de refuerzo lateral, se mejorará la protección pasiva del vehículo, sin que se produzca un aumento de peso, e incluso éste podría llegar a disminuirse. El resultado es un vehículo más seguro y más competitivo.

Los aceros de alta resistencia Dogal® combinan una buena resistencia a la corrosión con mayor resistencia mecánica, menor peso y mayor capacidad de absorción de energía.

Menos soldadura, mas conformación

Dogal® posee las mismas buenas propiedades de conformación en frío que otros aceros avanzados de alta resistencia.

La singular combinación entre su alta resistencia y su buena conformabilidad puede derivar en grandes mejoras en los costes de producción.

En lugar de fabricar un producto mediante muchas piezas unidas por soldadura, éste se podría

fabricar con un menor número de piezas obtenidas mediante operaciones de conformación y doblado.

Los costes de soldadura se reducirían y la calidad de la parte acabada se habría mejorado.

La buena conformabilidad también ofrece mayores libertades para optimizar el diseño.

Un menor número de partes resulta sinónimo de un diseño optimizado. Esto, a su vez, conlleva ventajas logísticas y reduce el nivel de rechazos. Todo lo anterior contribuye a conseguir una economía de producción mas rentable.

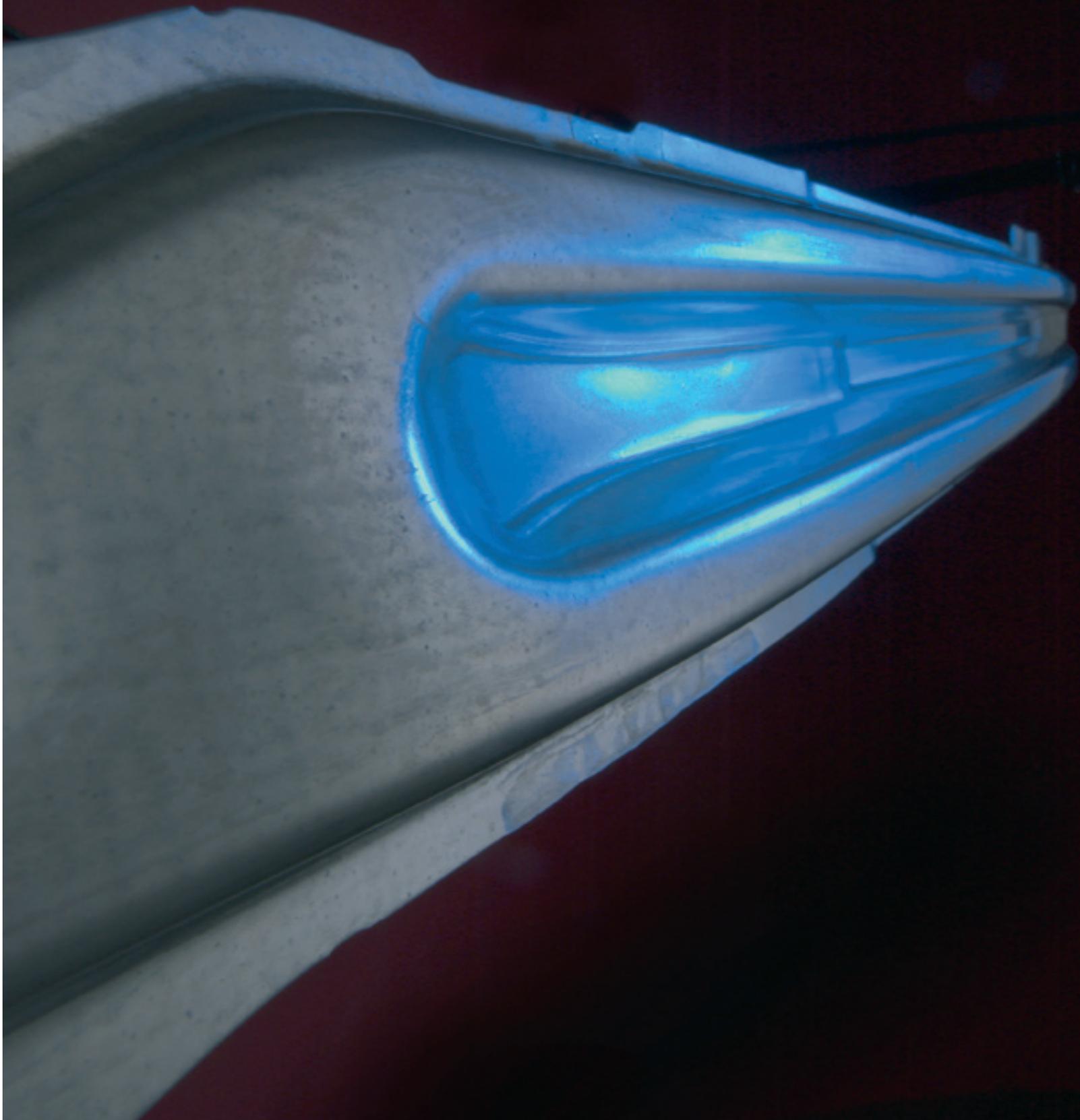
Haga que el producto tenga mayor vida útil

Además de tener una excelente resistencia a la corrosión, la superficie galvanizada en caliente también ofrece algunas ventajas en la ingeniería del proceso productivo.

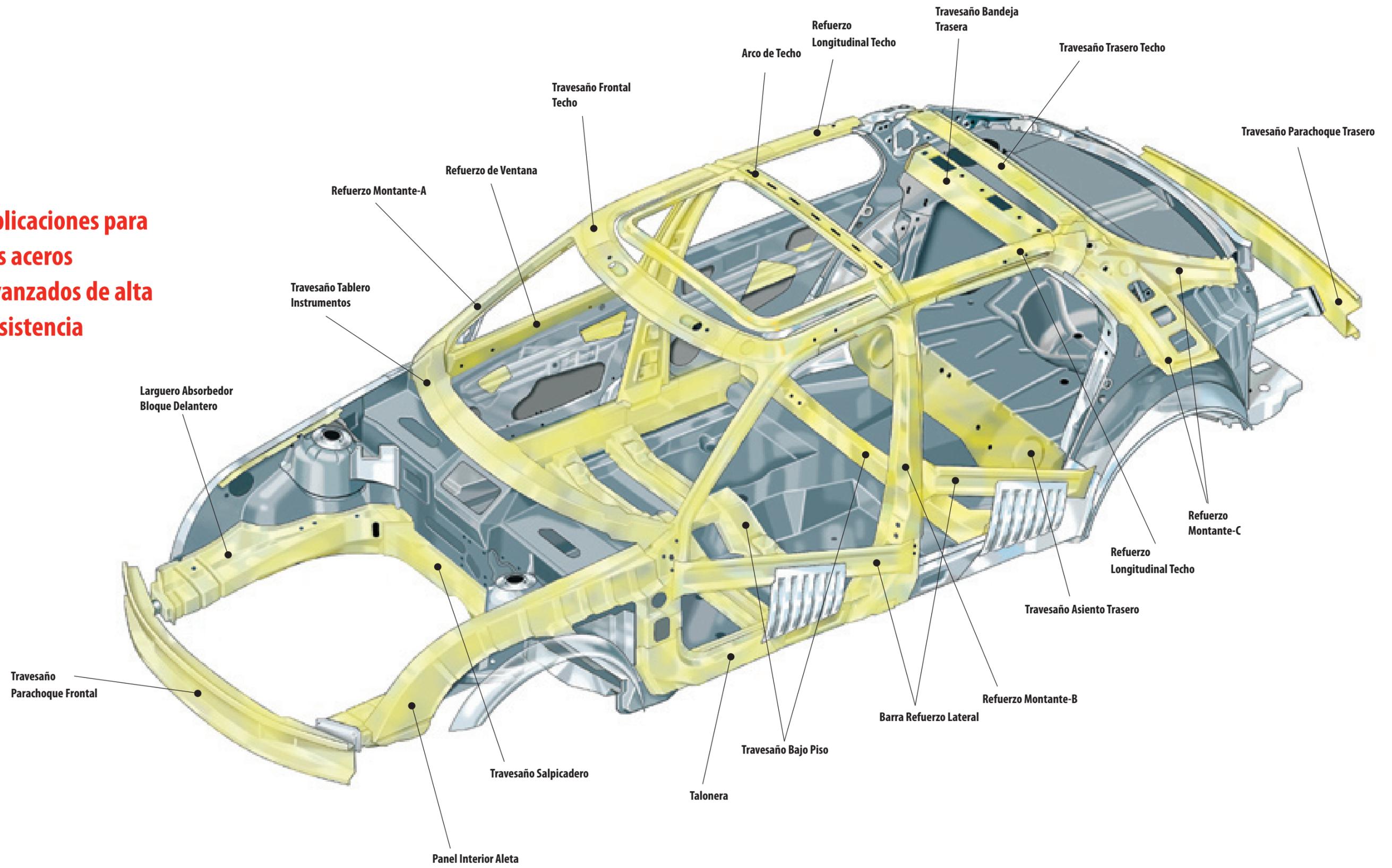
Mediante el uso de un acero Dogal®, se eliminará el coste y el tiempo en los que se incurriría durante la galvanización individual de las piezas.

Debido a la combinación de una buena resistencia a la corrosión y una alta resistencia mecánica, Dogal® contribuye a incrementar la vida útil de los productos, al mismo tiempo que reduce las necesidades de mantenimiento y servicio.

En este catálogo encontrará una amplia explicación de las propiedades competitivas del Dogal® de alta resistencia.



Aplicaciones para los aceros avanzados de alta resistencia



Proyectos ULSAB

Aspecto y viabilidad en su fabricación no son los únicos requisitos para un automóvil; seguridad, normativa medio-ambiental y otros requisitos deberían también ser tenidos en cuenta durante la concepción de nuevos vehículos. Frente a este escenario demandas, la industria internacional del acero se involucró y decidió ejecutar una serie de proyectos enfocados a demostrar que los diseños basados en la utilización intensiva de nuevos aceros podrían satisfacer las demandas de la industria del automóvil.

ULSAB

El primero de estos proyectos fue el ULSAB -“Ultra Light Steel Auto Body”-. Se lanzó en 1994 y su objetivo fue desarrollar una carrocería ultraligera realizada con de acero. Mediante una aproximación analizando los componentes de la carrocería, usando más del 90% de aceros modernos de alta resistencia, técnicas de hidro- conformación y de tailor blanking, la industria

del acero pudo demostrar que se podría fabricar una nueva carrocería más resistente y rígida pero también un 25% más ligera que las carrocerías de acero existentes en aquel momento en el mercado. Además, el proyecto demostraba que dicha carrocería podría ser fabricada en serie a un coste similar al que se fabricaba la carrocería convencional. Este proyecto contribuyó a un sustancial incremento del uso de los aceros de alta resistencia y la técnica del “tailor blanking” en la industria del automóvil.

ULSAC

Con el fin de demostrar que la misma experiencia podría ser aplicable a puertas y capós, la industria internacional del acero lanzó en 1998 el proyecto ULSAC -“Ultra Light Steel Auto Closures”-. El diseño seleccionado mostraba cómo se podían construir puertas de concepto moderno y seguro a partir del uso de aceros avanzados de alta resistencia e innovadores métodos

de producción. El peso fue aproximadamente un 42% menor que el de las puertas fabricadas en aceros suaves convencionales. Además, estas puertas podían fabricarse en serie a un coste razonable.

ULSAS

Con el fin de demostrar el nivel de aplicación que podrían tener los aceros avanzados de alta resistencia en chasis y suspensiones, se desarrolló el proyecto ULSAS -“Ultra Light Steel Auto Suspensión”-. A través de este proyecto se desarrollaron varios diseños que reducían peso sustancialmente.

ULSAB-AVC

Los tres proyectos anteriores abarcan aproximadamente 1/3 del peso del vehículo. El proyecto ULSAB-AVC, donde AVC representan las siglas de concepto de vehículo avanzado -“Advanced Vehicle Concept”-, ha sido desarrollado con el fin de demostrar las oportunidades globales ofrecidas por los aceros

Concepto en puerta según ULSAC.





Concepto de vehículo según ULSAB-AVC.

avanzados de alta resistencia en términos de seguridad, costes efectivos de diseño, reducción en consumo de carburante y menores emisiones de dióxido de carbono. Este proyecto abarca el vehículo completo. El diseño presentado no agota, en modo alguno, todas las posibilidades ofrecidas por el uso innovador de los aceros avanzados de alta resistencia (AHSS) en combinación con los nuevos métodos de producción, sino que tan solo se trata de una buena combinación. La carrocería solo pesa 218 Kgr. y esta disminución de peso se ha logrado sin comprometer la seguridad.

El vehículo cumple con todas las exigencias solicitadas a los vehículos que sean producidos a partir de 2004. El chasis está formado por tan solo 81 partes. El 74% del peso está fabricado con aceros DP- Dual Phase-, y la cantidad total en aceros avanzados de alta resistencia resulta ser mayor del 80% del peso total. Las máximas emisiones de dióxido de carbono especificadas por la UE son de 140 gr/Km. Los vehículos ULSAB-AVC tienen un consumo de carburante de entre 3,2-4,5 litros/100 Km y las correspondientes emisiones de dióxido de carbono estarían entre 86 y 108 gr/Km.

Mediante el uso de los aceros avanzados de alta resistencia los vehículos ULSAB-AVC pueden ser fabricados en serie a un coste eficiente. El coste de producción se cifra alrededor de los 10.000 USD. El proyecto demuestra también la compatibilidad de uso de los aceros avanzados de alta resistencia con avanzadas e innovadoras técnicas de fabricación, como formatos soldados por láser (tailor blanking), tubos soldados por láser (tailor tube), y el hidroconformado de tubos.



Fig. 1. Exigencias que los fabricantes de coches deben cubrir.

Programa de Productos

Dogal® YP

Los aceros Dogal® YP son aceros micro-aleados para conformación en frío, que obtienen su alta resistencia a partir de la adición a su composición química de pequeñas cantidades de elementos de aleación. La calidad de estos aceros se denomina numéricamente de acuerdo a su mínimo límite elástico garantizado. En este tipo de aceros la diferencia entre el límite elástico y la carga de rotura es pequeña. Las calidades YP tienen una buena conformabilidad y plegabilidad en relación a su límite elástico.

Dogal® DP

Los aceros Dogal® DP combinan su alta resistencia con unas buenas propiedades de conformación por estiramiento.

Los aceros DP tienen un límite elástico bastante bajo en relación a su carga de rotura.

Microestructura de los acero DP

La microestructura de los aceros DP contiene una cantidad de martensita dentro de una microestructura multi-fase. Además de la martensita, que es una fase muy dura, se encuentra la ferrita, que es una fase blanda. La bainita, aunque en menor proporción, también está presente. La resistencia del acero aumenta con el incremento de la fase martensítica. La proporción de martensita presente se debe al

contenido en carbono del acero y la temperatura del ciclo al que se ha sometido al acero durante el proceso de galvanizado continuo.

Envejecimiento

Los aceros Dogal® DP no envejecen debido al tipo de estructura del material.

Endurecimiento por deformación y endurecimiento por "Bake Hardening"

Se puede alcanzar un interesante incremento en el límite elástico utilizando las propiedades de endurecimiento por deformación y las de endurecimiento por "bake hardening" de los aceros Dogal® DP. El endurecimiento causado por una deformación de un 2% puede incrementar el límite elástico de los aceros Dogal® DP en aproximadamente 100 MPa. El endurecimiento por deformación depende del nivel de deformación y de la calidad del acero. El endurecimiento por "bake hardening", obtenido al someter el material a una temperatura de 170 °C durante 20 minutos, incrementa el límite elástico alrededor de 30 MPa.

Conformado y Pintado

Dado que las piezas conformadas suelen ser posteriormente pintadas, las ventajas del endurecimiento por deformación y del endurecimiento por "bake hardening" en los

aceros Dogal® DP pueden ser utilizadas favorablemente. El endurecimiento por deformación ocurre durante el proceso de conformado y el endurecimiento por "bake hardening" ocurre durante la etapa de curado en el proceso de pintado, siempre que éste se realice a alta temperatura.

Tratamiento Térmico

Se evitará el tratamiento térmico de los aceros Dogal®. El calentamiento puede afectar al revestimiento de zinc, que perdería apariencia y sufriría un deterioro en sus propiedades contra la corrosión. Si el material es eventualmente calentado las temperaturas no deberán sobrepasar los 200°C.

Dimensiones

Los aceros Dogal® DP se suministran en espesores entre 0,5 y 2,0 mm, y en anchos de hasta 1.500 mm. Dependiendo de la calidad y espesor solicitados puede haber ciertas restricciones.

Espesores de revestimiento

Los diferentes espesores de revestimiento se clasifican de acuerdo a su peso en gr/m² en ambas caras, medido de acuerdo a un triple ensayo aleatorio especificado por la norma EN 10142. El peso del revestimiento no siempre está igualmente distribuido en ambas caras.

Composición química (valores típicos)								
Calidad	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Nb	% Cr (min)	Al
Dogal® 450 YP	0.09	0.4	1.3	0.015	0.002	0.035	–	0.015
Dogal® 500 YP	0.13	0.4	1.6	0.015	0.002	0.035	–	0.015
Dogal® 600 DP	0.11	0.2	1.6	0.015	0.002	–	0.45	0.015
Dogal® 600 DPE	0.11	0.2	1.6	0.015	0.002	–	0.45	0.015
Dogal® 800 DP	0.15	0.2	1.8	0.015	0.002	0.015	0.45	0.015
Dogal® 800 DPX	0.15	0.2	1.8	0.015	0.002	0.015	0.45	0.015
Dogal® 1000 DP*								

Tabla 1. *) En fase de desarrollo.

Propiedades mecánicas					
Calidad	Limite elástico, $R_{p0.2}$ MPa mín.-max	Limite elástico, $R_{p2.0}+BH$ 170 °C durante 20 min MPa, mín.	Carga de rotura, R_m MPa mín.-max	Alargamiento, A_{80} % mín.	Radio de doblado mínimo recomendado 90° t= mínimo espesor
Dogal® 450 YP	450-550	–	560-680	14	1xt
Dogal® 500 YP	500-600	–	600-730	10	1xt
Dogal® 600 DP	350-480	(500)	600-700	16	1xt
Dogal® 600 DPE	450-530	(550)	600-750	17	1xt
Dogal® 800 DP	500-640	(600)	800-950	10	1xt
Dogal® 800 DPX	620-770	–	800-950	10	0,7xt
Dogal® 1000 DP *	660-860	–	980 (min)	6	–

Tabla 2. *) En fase de desarrollo.

Revestimiento de Zinc			
Clase de revestimiento	Espesor de revestimiento por cada cara* μm	Valores de peso en ambas caras, g/m^2	
		Triple ensayo aleatorio	Ensayo individual
Z 100	(7)	100	85
Z 120	(8)	120	100
Z 140	(10)	140	120
Z 200	(14)	200	170
Z 275	(20)	275	235

Tabla 3. *) Los valores están calculados en base a los valores obtenidos en un triple ensayo aleatorio ($1\mu\text{m}=7,14\text{g}/\text{m}^2$).

Sin embargo, puede asumirse que al menos un 40% del valor del peso del revestimiento dado en la tabla es alcanzado por cada ensayo unitario y aleatorio en cada cara del producto.

El peso del revestimiento puede ser ensayado por otros métodos, siempre que indiquen con fiabilidad el tipo de revestimiento de que se trate. En caso de cualquier conflicto o desavenencia, el peso se determinará de acuerdo a la ya mencionada norma ASTM.

Acabado superficial

Los aceros Dogal® DP se producen con un acabado superficial de skin-pass.

Calidad Superficial

Los aceros Dogal® DP pueden ser suministrados con una calidad superficial normal (A) o con una calidad mejorada (B).

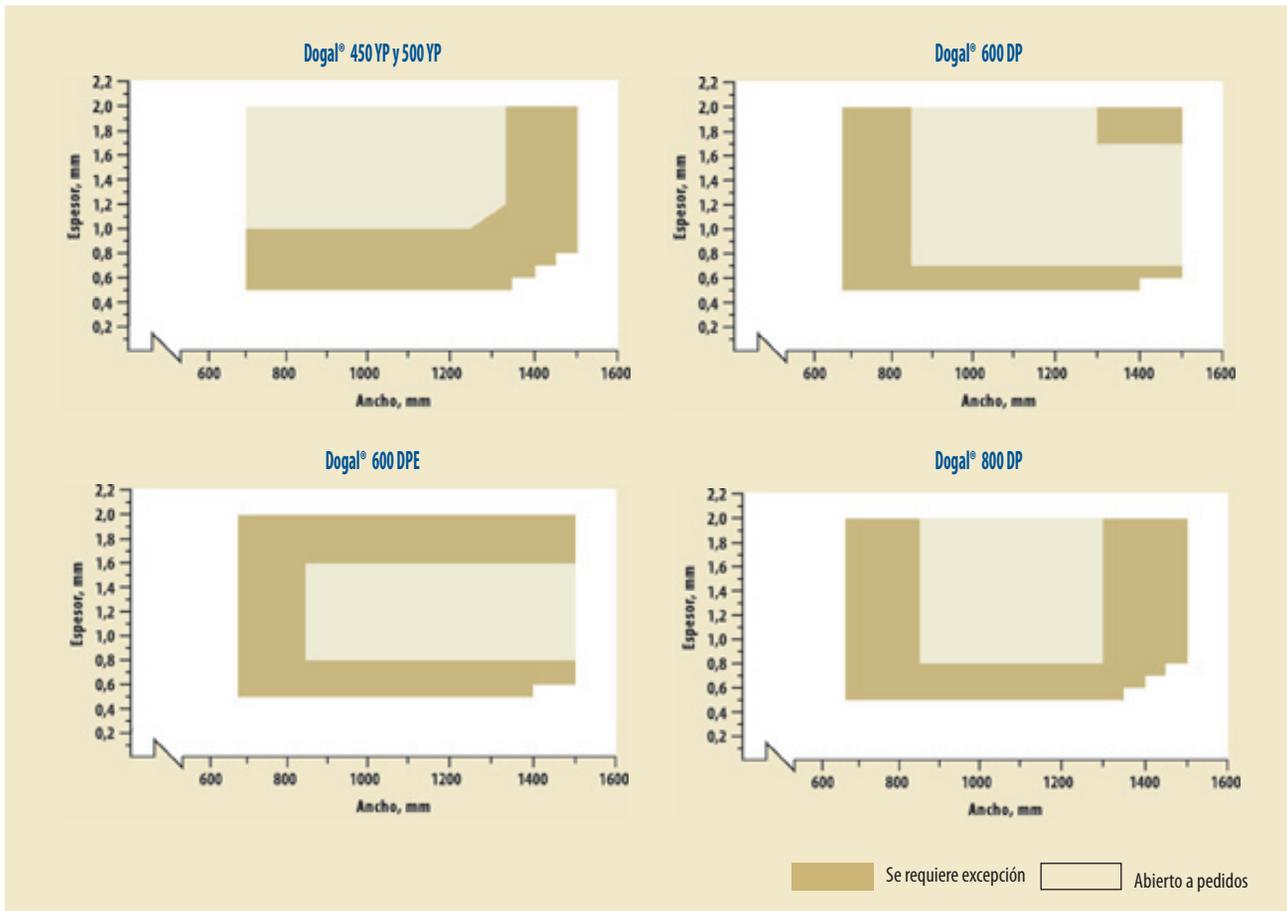
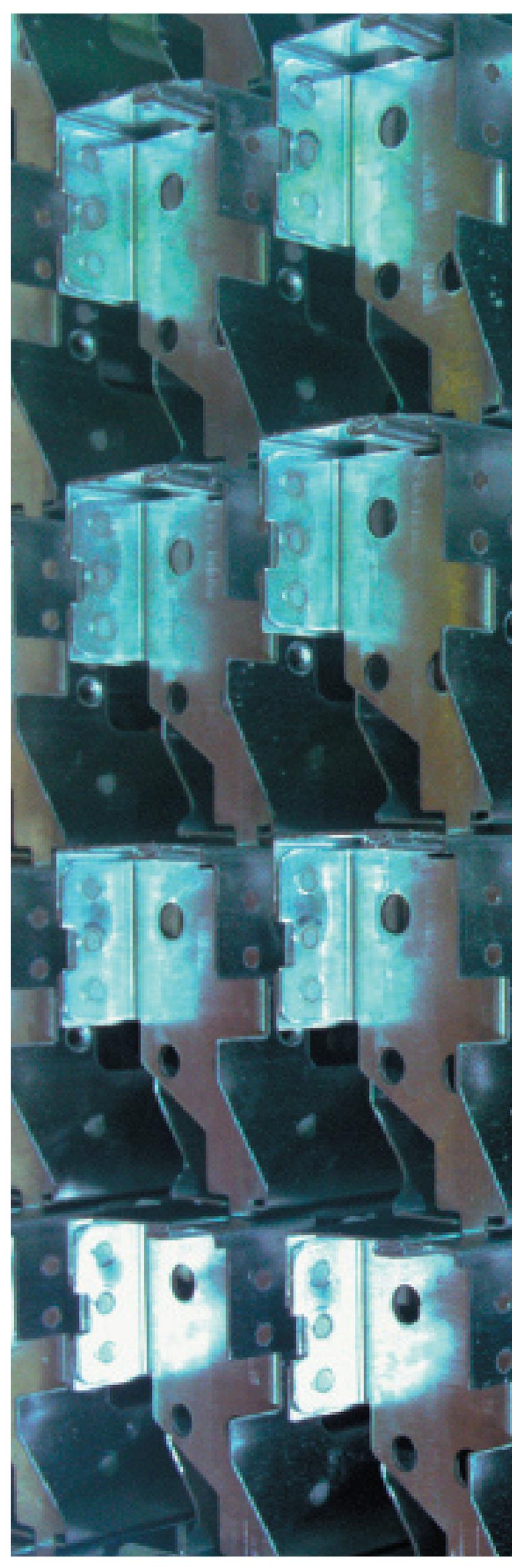


Fig. 2.



Tratamiento superficial

Los aceros Dogal® siempre se suministran con protección superficial a no ser que se indique lo contrario.

La duración de la protección depende de las condiciones ambiente durante el almacenaje y el transporte.

Existen cuatro tipos de protección superficial:

Pasivación química (C), protege la superficie contra la humedad y reduce el riesgo de óxido blanco, que ocurre durante el almacenamiento y transporte.

La pasivación química, puede a veces originar decoloraciones y manchas, que están permitidas dado que no afectan a la calidad. *Aceitado (O)*, reduce el riesgo de óxido blanco, pero mucho menos que el tratamiento de pasivación química. La capa de aceite puede eliminarse mediante un agente desengrasante que no afecta a la superficie.

Pasivación química y aceitado (CO), es un tratamiento superficial combinado que mejora la protección contra la corrosión y se aplica bajo acuerdo.

Tolerancia en ancho

Chapa a medida o bobina s/ EN 10 143/93.

Ancho nominal mm	Tolerancia, mm	
	Normales	Especiales
650-1200	0/+5	0/+2
1201-1500	0/+6	0/+2

Tabla 4.

Efecto sable (fecha al canto)

s/ EN 10 143/93.

Longitud del patrón mm	q, mm max
2000	6

Tabla 5. Para longitudes menores que 2000 mm la flecha al canto no excederá del 3% de la longitud real.

Escuadrado

Chapa a medida s/ EN 10 143/93.

Desviación máxima = 1% del ancho de chapa

Tabla 6.

Planitud

Desviación máxima entre la chapa y la superficie plana sobre la que está apoyada s/ EN 10 143/93.

Espesor nominal mm	Ancho mm	Desviación máx. mm
-0.70	<1200	8
	1200-1500	9
(0.70)-1.20	-1200	6
	(1200)-1500	8
(1.20)-2.00	-1200	5
	(1200)-1500	6

Tabla 7. Estas tolerancias se aplican también a chapas cortadas desde bobina en el taller del comprador, siempre que su aplanadora sea apropiada.

Los aceros Dogal® pueden ser, también, suministrados *sin tratamiento (U)*; sin embargo, dado que el riesgo a la aparición de óxido blanco es grande, SSAB Tunnplåt ofrece esta opción solo si es especificado por el comprador y bajo su propia responsabilidad.

Tolerancia en espesor (incluyendo revestimiento metálico)				
Espesor Nominal	Tolerancia normal en ancho nominal		Tolerancia restringida en ancho nominal	
	≤ 1200	> 1200	≤ 1200	> 1200
		≤ 1500		≤ 1500
≤ 0,40	±0,06	±0,07	±0,04	±0,05
> 0,40 ≤ 0,60	±0,07	±0,08	±0,05	±0,06
> 0,60 ≤ 0,80	±0,08	±0,09	±0,06	±0,07
> 0,80 ≤ 1,00	±0,09	±0,11	±0,07	±0,08
> 1,00 ≤ 1,20	±0,11	±0,12	±0,08	±0,09
> 1,20 ≤ 1,60	±0,13	±0,14	±0,09	±0,11
> 1,60 ≤ 2,00	±0,15	±0,15	±0,11	±0,12

Tabla 8. Aplicable a aceros con límite elástico ≥ 280 MPa s/ EN 10 143/93.

Tolerancia en longitud				
Válido para chapa cortada longitudinalmente s/ EN 10143/93				
Longitud nominal (L) mm	Normal		Restringida (S)	
	Menos mm	Más mm	Menos mm	Más mm
< 2000	0	6	0	3
≥ 2000	0	0.003 x L	0	0.0015 x L

Tabla 9.

Revestimientos			
Clase de revestimiento	Espesor de revestimiento por cada cara * µm min.	Valores de peso en ambas caras, g/m ²	
		Triple ensayo aleatorio min.	Ensayo individual min.
Z 100	(7)	100	85
Z 140	(10)	140	120
Z 200	(14)	200	170
Z 275	(20)	275	235

Tabla 10. El material debe estar recubierto de acuerdo a uno de los tipos de revestimiento de las tablas.

*) Los valores de un triple ensayo aleatorio deberán cumplir con los valores mínimos indicados (1 µm=7,14g/m²).



Propiedades Técnicas

Cizallado y punzonado

Cuando un material de alta resistencia es cortado mediante cizalla, los parámetros de la operación de cizallado deben ser adaptados para que se ajusten a la dureza, espesor y resistencia del acero y también al diseño, rigidez y desgaste de las cuchillas de la cizalla cortadora o de la máquina con que se vayan a realizar las operaciones de corte. La correcta separación entre las cuchillas de la cizalla durante la operación de corte adquiere especial relevancia. La separación entre cuchillas está gobernada por el espesor de la chapa, resistencia del acero y las demandas de apariencia del borde cizallado. A mayor espesor y resistencia del material, mayor deberá ser la separación entre cuchillas. Normalmente se utiliza una separación entre cuchillas de un 6% del espesor de la chapa en aceros suaves y de resistencia media. Si se trata de aceros Dogal® DP, la separación recomendada entre cuchillas estará entre un 8-10% del espesor de la chapa. Una mayor distancia daría lugar a una pulcra superficie de corte, pero también a un área con deformación mas acusada en la zona de ataque de la cuchilla. La fuerza de corte requerida en Newtons puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$F = \frac{K_{sk} \cdot t^2}{2 \cdot \tan \beta}$$

F = Fuerza de corte (N)
K_{sk} = Resistencia de corte
("e" veces la carga de rotura del material)
β = Angulo de corte entre brazos de cizalla
t = Espesor de chapa

El factor "e" varía con la resistencia del material. Los aceros suaves como el F30 tienen un e=0,8, mientras que el Dogal® 800DP tiene un e=0,6. La fuerza de corte necesaria aumenta con la resistencia del material. El cambio a un acero con mayor resistencia permite, normalmente, reducir el espesor y la fuerza de corte que se precisaría para el espesor original queda sustancialmente reducida. Un punzón achaflanado puede reducir la fuerza necesaria hasta en un 50%. La holgura en el utillaje de corte es muy importante para el desgaste de las herramientas, lo que significa que estas deberán ser afiladas mas frecuentemente.

Corte por láser

Las piezas realizadas con aceros Dogal® DP pueden tener, a menudo, una geometría complicada. Mediante el corte por láser se pueden obtener geometrías complejas sin tener que realizar ningún trabajo extra de mecanizado posterior al proceso de corte.

El corte por láser es un proceso de corte de alta calidad que produce muy buenas superficies de corte con un preciso acabado dimensional. Pero para alcanzar dicha calidad en el proceso de corte, se han de cumplir estrictos requisitos durante la preparación del equipo, los parámetros de corte y en el material que va a cortarse.

Resultado de ensayos

La popularidad del corte por láser como método de corte ha aumentado significativamente durante los últimos años. Debido a este hecho, SSAB Tunnplåt ha realizado estudios sobre el comportamiento y propiedades de los aceros Dogal® DP. Estos estudios han sido llevados a cabo tanto en investigaciones realizadas en nuestros propios laboratorios como en la búsqueda y seguimiento de las experiencias adquiridas por empresas que se dedican a esa actividad. Los resultados de estos estudios podrían resumirse como sigue:

- En los aceros Dogal® DP, los mejores resultados se alcanzan utilizando el mismo gas de corte (N₂) y los mismos parámetros que los utilizados para el corte de acero inoxidable.
- Los aceros Dogal® DP se ajustan a los requisitos de uno de los niveles de corte mas exigentes, recogidos por la norma EN ISO 9013. Esta se aplica tanto al aspecto superficial como a la concinidad.
- Los aceros Dogal® DP no contienen macro-inclusiones que pudieran ir en detrimento de los resultados de corte por láser.
- Tan solo ocurren cambios en la dureza del acero en una zona muy próxima al borde cortado. La zona afectada térmicamente en el corte por láser es estrecha (ver fig.3). Esta zona es tan próxima al borde



Curva de dureza en un acero Dogal® 800DP después de un corte por láser

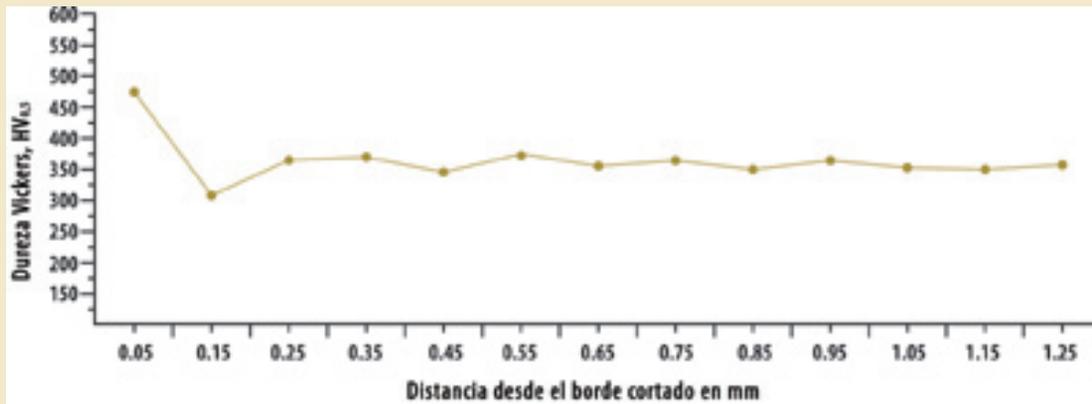


Fig. 3.

y tan estrecha que será eliminada durante el subsiguiente proceso de soldadura.

Conformación

A pesar de su alta dureza, los aceros Dogal® DP ofrecen una buena conformabilidad y pueden conformarse en la forma tradicional. Su algo menor conformabilidad respecto a la de los aceros suaves puede compensarse frecuentemente mediante pequeñas modificaciones en diseño del componente. Los aceros Dogal® DP tienen unas excelentes propiedades de endurecimiento por deformación, y es esta la razón más importante para la buena conformabilidad de

estos materiales. Si comparamos un Dogal® DP con un Dogal® YP en el mismo rango de resistencia e incluso a igualdad de elongación, nos encontramos que los aceros Dogal® DP tienen igual o incluso mayor conformabilidad. No obstante, la ductilidad en los bordes cortados de un acero YP puede ser un tanto mayor que la de los aceros DP, debido al propio efecto del endurecimiento por deformación.

Conformado por estiramiento

En el conformado por estiramiento, el material queda totalmente embreadado por los pisadores de la bancada, y toda la deformación plástica ocurre

sobre la superficie del punzón. El material está sometido a una deformación biaxial, que se traduce en una disminución de espesor. La rotura se producirá si la deformación local es excesiva. Las propiedades de la conformación por estiramiento dependen principalmente de la capacidad del material en redistribuir la deformación. Existe una estrecha relación entre las propiedades de conformación del material por estiramiento y su capacidad de endurecimiento por deformación. Así, cuanto mayor sea el endurecimiento por deformación de un material, mejor será la distribución de la deformación y por tanto

mejores serán las propiedades de conformación por estiramiento. Dado que los aceros Dogal® DP experimentan un intenso proceso de endurecimiento por deformación, el material también cuenta con mejores propiedades de conformación por estiramiento que las de otros aceros de resistencia comparable.

Embutición profunda

La embutición profunda está caracterizada por la deformación de la práctica totalidad del formato al ser forzado a fluir a través de la matriz. El pisador tan solo da presión para que no se produzcan arrugas.

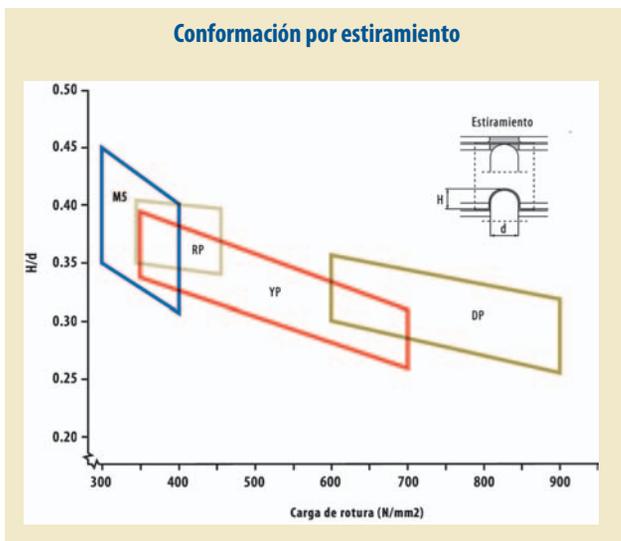


Fig. 4. La conformabilidad por estiramiento, H/d, se define como una propiedad relacionada con la carga de rotura de los aceros suaves (MS) y los aceros Dogal® YP, RP y DP. La figura muestra la buena conformabilidad por estiramiento de los aceros Dogal® DP.

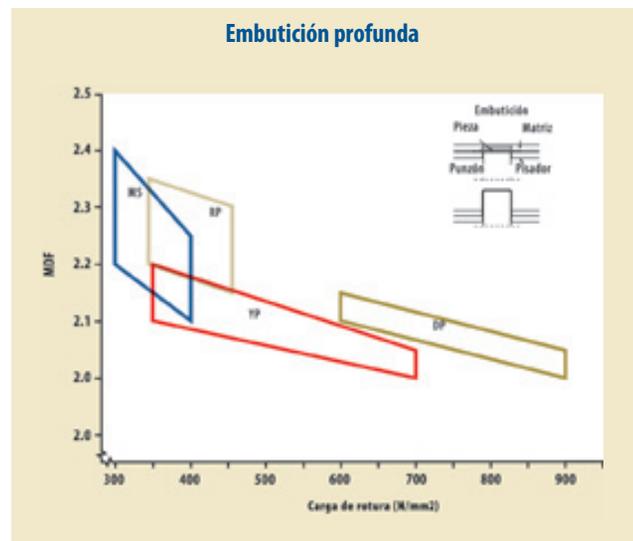


Fig. 5. La relación de máxima embutibilidad (LDR-Limiting Drawing Ratio) es una función de la carga de rotura de los aceros suaves (MS) y de los aceros Dogal® YP, RP y DP.



Las figuras muestran la buena embutibilidad de los aceros Dogal® DP.

La capacidad del material para resistirse a ser embutido estará determinada, principalmente, por dos factores:

- Capacidad del material para deformarse plásticamente en el plano de la chapa, p.e., con qué facilidad fluye el material en la zona del cuello durante la deformación y de cómo evoluciona la cara interior del material durante la embutición.
- La superficie en contacto con la matriz tiene que poder resistir la deformación plástica en la dirección del espesor, de esta manera se disminuirá el riesgo de fallo.
- La conformabilidad de los aceros Dogal® DP resulta tan buena, o en cierta manera mejor, que la de otros aceros de resistencia comparable.

Expansionado de agujeros

La relación entre el diámetro después del expansionado y el diámetro original es conocida como índice de expansión. Los formatos han de colocarse de forma que la cara del lado de las rebabas de corte del agujero original miren hacia el punzón. Esto debe ser así, porque las fibras exteriores del cuello de expansión soportan la mayor deformación y porque la ductilidad en el borde cortado es menor debido a la acritud creada durante el corte.

Viga en Dogal® DP perfilada mediante rodillos.

Dado que la fibra externa de un material fino deforma menos que la de un material grueso, un material más fino puede resistir un mayor nivel de expansión que un material más grueso con el mismo diámetro interno de agujero expandido.

Doblado

Durante el proceso de doblado se aplica un momento flector a la chapa, y la cara externa de la chapa experimenta una deformación por tracción, mientras que la cara interna esta sometida a compresión. La plegabilidad de los aceros Dogal® DP es buena, siendo igual o mejor que la de otros materiales de resistencia equivalente. Si es posible se recomienda evitar doblar y volver a doblar los aceros Dogal® 800DP, dado que esta operación incrementa el riesgo de fractura.

Perfilado por rodillos

El perfilado es la técnica de conformación que mejor encaja con los aceros Dogal® 800 DP. El proceso es menos exigente para el material que el plegado en prensa o plegadora, pudiéndose conseguir perfiles de complicadas secciones transversales y con ajustados radios de plegado. El perfilado puede ser combinado con operaciones simultaneas, o progresivas, tales como punzonado,

soldadura y doblado. Debido a la alta resistencia de los aceros Dogal® DP, su retorno elástico es mayor que el de los aceros suaves, y esto también se aplica al perfilado. Una línea de producción originalmente diseñada para aceros suaves puede generalmente ser adaptada para trabajar con la mayor resistencia de los aceros Dogal® DP.

Curvas de tracción

Las curvas procedentes del ensayo convencional de tracción se utilizan para diferentes tipos de cálculos por el método de análisis por elementos finitos (FEM), p.e. cálculo de la capacidad máxima de carga o de la energía de absorción de la parte que se va a diseñar. En las curvas tensión/deformación verdadera, los valores de tensión y de deformación obtenidos durante el ensayo de tracción son corregidos debido al efecto de cambio continuo de sección de la probeta durante el ensayo. Los aceros con una mayor resistencia tendrán un mayor nivel de tensión para una deformación dada.

Curvas de deformación límite

Las curvas de deformación límite (F LD- "Forming Limit Diagram") muestran la cantidad de deformación que el material puede soportar durante la aplicación de una deformación, o bajo un determinado estado tensional.



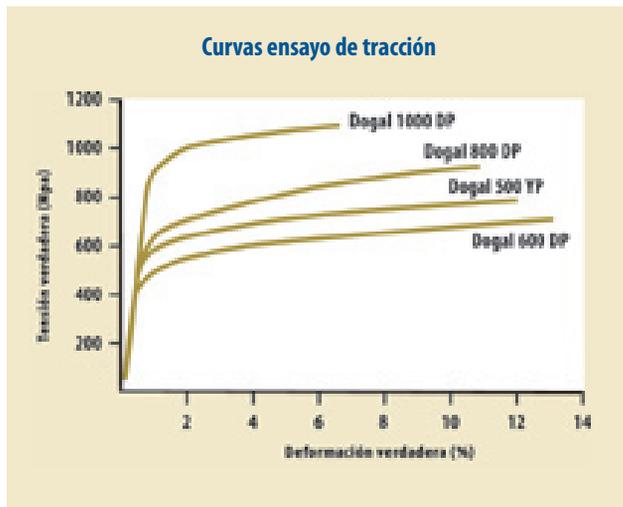


Fig. 6. El efecto del endurecimiento por deformación es diferente entre calidades de acero YP y DP. Por ejemplo, Dogal® 800DP y Dogal® 500YP tienen aproximadamente igual límite elástico, mientras existe una significativa diferencia en su carga de rotura. Esto afectará a la capacidad de absorción de energía y a la conformabilidad entre otras cosas.

Las curvas FLD pueden ser usadas, bien como documentación, o como ayuda para resolver ciertas operaciones difíciles de conformado.

Sobre el formato que posteriormente vaya a ser conformado se graba una plantilla con figuras geométricas. El cambio de dimensiones en dichas figuras durante la conformación, es medido en dos direcciones; aquella en la que se ha producido la mayor deformación, que se designa Σ_{max} , y la que resulta en la dirección perpendicular a la primera, que se designa Σ_{min} .

Si se produce un cambio positivo en ambas direcciones se trata de un proceso de estiramiento y su representación estaría en la parte positiva del eje abcisas en la curva FLD. Las medidas con un valor negativo

de Σ_{min} y un incremento positivo de la Σ_{max} estarían representadas a la izquierda de la línea 0 de abcisas en la curva FLD y definen un proceso de embutición profunda.

Las curvas dependen del espesor del material y por tanto, deberán de ser calculadas para los espesores más relevantes. El resultado para una determinada operación de conformación será representado y comparado con la curva del material correspondiente al espesor de que se trate. Si el resultado está por debajo de la curva del material elegido, éste podrá soportar la deformación.

Retorno elástico

El retorno elástico se incrementa cuando se produce el cambio desde un acero suave a un acero

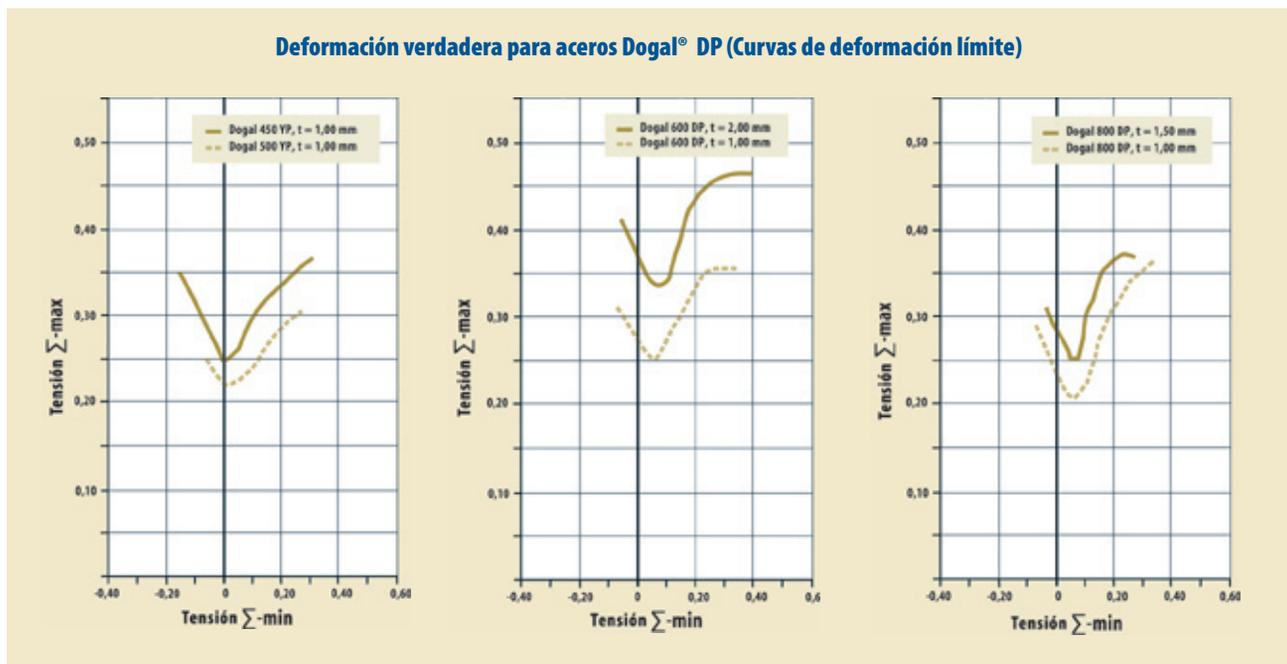


Fig. 7. t=espesor.

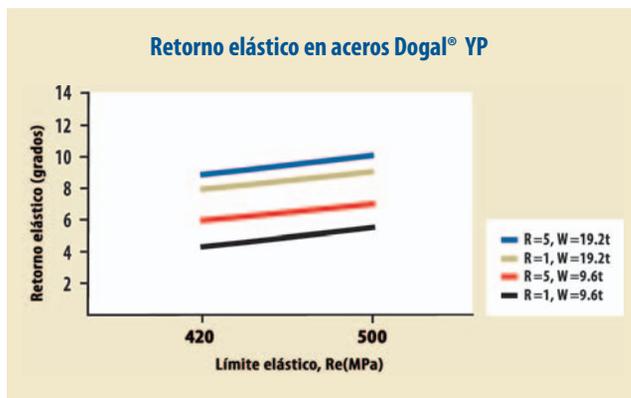


Fig. 8. Doblado a 90 grados (t=1,25 mm).

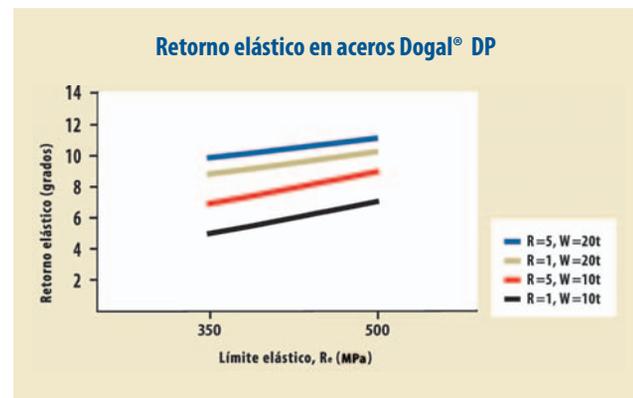


Fig. 9. Doblado a 90 grados (t=1,20 mm).

Absorción de energía de tubos fabricados en diferentes materiales

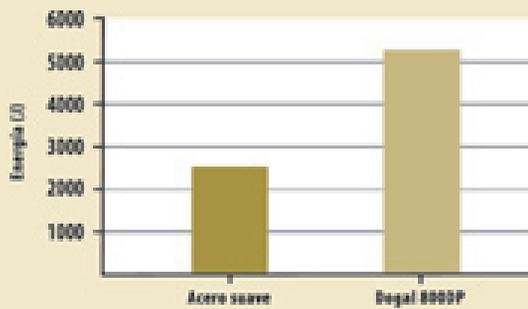


Fig.10. El diagrama muestra la capacidad de absorción de energía en tubos cuadrados de 60x60 y 1,2 mm de espesor. El tubo ha sido comprimido 150 mm a baja velocidad; ha absorbido una energía de 5.200 J, que correspondería a la energía de una masa de 100 Kgr cayendo desde una altura de 5,3 metros.



Viga transversal de Dogal® 800DP.

de más alta resistencia. El retorno elástico está influido no solo por la resistencia del material, sino por el tipo de herramienta utilizado. Un incremento de resistencia del material, un aumento del radio del punzón (R), o una mayor abertura de la matriz (W) será causa de un aumento del retorno elástico. Una disminución del espesor aumentará, también, el retorno elástico para un determinado radio.

El retorno elástico puede compensarse por un incremento de la deformación plástica del material durante el plegado. Esto se puede realizar por sobre-doblado del material, por una disminución del radio del punzón, o por la disminución de la distancia entre apoyos en la matriz. También podría ser reducido por la introducción de rigidizadores.

Conformación y perfilado de tubo

La fabricación de tubo y otros perfilados son operaciones típicas en las que las propiedades de endurecimiento por deformación de los aceros Dogal® DP pueden ponerse a prueba.

En estas operaciones se produce una deformación controlada del material, que da lugar a un aumento en el límite elástico y la carga de rotura de la parte acabada.

Dado que la magnitud de la deformación es conocida y controlada, el incremento en resistencia puede ser utilizado a la hora de diseñar la parte final. Si además, estas partes acabadas son tratadas térmicamente, p.e., a la vez que se realice un tratamiento superficial de pintado, cabe esperar un nuevo aumento de la resistencia.

Absorción de energía

Los aceros Dogal® DP están recomendados en el diseño de componentes concebidos para la absorción de energía. Si comparamos un Dogal® DP con un acero suave, el espesor de chapa puede reducirse, lo que da lugar a ventajas económicas y medio-ambientales.

La geometría de la sección transversal, la resistencia del acero y el espesor de la chapa son los principales factores que en conjunto determinan la capacidad de absorción de energía en un determinado componente. La sustitución de una calidad más baja de material por un acero de alta resistencia debería ser combinada con la optimización de la geometría de la sección transversal y el espesor de la chapa de modo que se utilicen al máximo las propiedades del material.

Dado que los aceros Dogal® DP tienen una gran capacidad de endurecimiento por deformación, la resistencia del material se verá incrementada durante las operaciones de conformado. Esto tiene un efecto beneficioso en las colisiones urbanas a baja velocidad del vehículo, dado que la energía de impacto es absorbida totalmente por la deformación elástica del material. La resistencia del material se ve incrementada también a altas velocidades de deformación.

La capacidad de energía de absorción de un componente o sistema puede determinarse mediante el llamado método de análisis por elementos finitos (FEA). Este método permite investigar la influencia que varios factores pueden tener en la optimización del componente. Efectos tales como endurecimiento por deformación, endurecimiento por bake hardening y velocidad de deformación pueden ser



Barra de refuerzo contra impacto lateral Dogal® 800 DP.

tenidos en consideración con el fin de tener mayor precisión durante la simulación. Las curvas tensión deformación para los aceros Dogal® DP utilizadas como fuentes en los procesos de simulación de choque pueden ser obtenidas desde SSAB steelfacts en la web www.ssabdirect.com. La capacidad de absorción de energía debería ser siempre verificada mediante el ensayo de partes del componente o del sistema completo.

Resistencia a golpes e impactos

Cuando se someten grandes áreas de una chapa a golpes e impactos se puede incurrir en el riesgo de producir deformación permanente. Una puerta de coche, por ejemplo, debe ser capaz de admitir una moderada cantidad de golpes e impactos sin que se produzca en ella una deformación permanente. El límite elástico del material determina la resistencia del área objeto de impacto. La figura 11, muestra el espesor relativo en el que el acero Dogal® DP tendría una resistencia al impacto, igual o equivalente a un acero suave (Límite elástico de 220MPa). Indirectamente nos diría también el peso del material que puede ser reducido si cambiamos a un acero Dogal® DP.

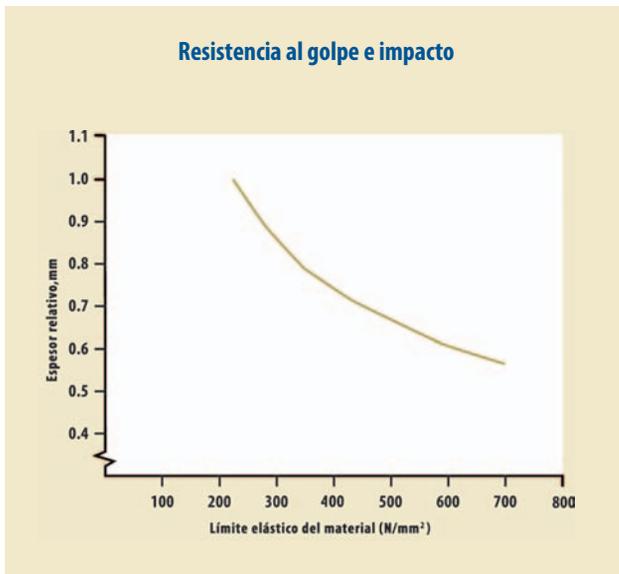


Fig. 11.

Fatiga

Una correcta utilización de las propiedades de los aceros de alta resistencia debe de estar basada en un cuidadoso análisis de las cargas de fatiga -distribución y número de ciclos de carga dentro del espectro de carga-, junto a un buen diseño -disminución de la concentración de tensiones en soldaduras -.

Si se asume constante la máxima amplitud de carga, se produciría un sustancial sobredimensionamiento en diseño, dado que en la vida real los componentes están normalmente sometidos a cargas de amplitud variable, (espectro estrecho de carga). La mayor suavidad del espectro de carga y el menor número de ciclos de carga es el escenario más favorable para la utilización de los aceros de alta resistencia, incluso cuando se trata de estructuras soldadas.

Para obtener un buen diseño:

- Use el efecto membrana en la aplicación de cargas, siempre que sea posible.
- Asegure una distribución uniforme de carga a través de la estructura.
- Evite súbitos cambios de rigidez o cambios abruptos en la geometría de secciones transversales.
- La aplicación de carga es a menudo crítica, diseñe con cuidado.
- Asegúrese que las uniones soldadas están bien localizadas y diseñadas correctamente.
- La acumulación de zonas de tensión elevadas deben de ser evitadas en todas las estructuras.
- Asegúrese que la calidad de la soldadura es buena (la calidad de la producción debe mantenerse bajo control).

En chapas finas de materiales como los aceros Dogal® DP un buen diseño incluiría, además de lo anterior:

- Uso de refuerzos tales como buñas y refuerzos en bordes con el fin de contrarrestar el pandeo y así mejorar la utilización del material.
- Usar refuerzos para prevenir el colapso local por doblado de la chapa, p.e., en áreas de aplicación puntual de carga.
- En la soldadura por puntos, incrementar el diámetro del botón y disminuir el espaciado entre puntos de soldadura. Así, se disminuirán las tensiones de la soldadura y aumentará la resistencia a la fatiga de la estructura completa.
- Usar soldadura por puntos en combinación con uniones pegadas (soldadura por adhesivos), es una buena práctica para mejorar la resistencia a la fatiga.
- Usar soldadura por láser, dado que ésta tiene mayor resistencia a la fatiga que la soldadura por puntos.

Soldadura de los aceros de alta resistencia Dogal® DP

Las técnicas de soldadura que pueden ser usadas con aceros recubiertos de zinc son prácticamente las mismas que las usadas para soldar aceros de alta resistencia laminados en frío. El control de los parámetros de soldadura son uno de los factores que ayudan a asegurar mejores resultados durante la soldadura. En la industria del automóvil, la soldadura por resistencia en general, y la soldadura por puntos en particular, son los métodos de soldadura más usados. Actualmente, los métodos de unión mecánica son cada vez más usados y nacen como consecuencia del desarrollo de nuevos procedimientos de unión. La soldadura MAG es la técnica de soldadura por fusión más común cuando se sueldan aceros recubiertos con zinc.



Soldadura por puntos

Para la soldadura por puntos de los aceros Dogal® DP, recomendamos el mismo tipo de electrodos de Cu-Cr-Zr, recomendados para los aceros sin recubrir (A2 de acuerdo a la norma ISO 5182). En la soldadura de los aceros Dogal® de alta resistencia se seguirán las mismas pautas de cambio de los parámetros de soldadura por puntos que en los aceros suaves recubiertos. Así:

- Incrementar la fuerza del electrodo (aprox. entre 20-70%)
- Incrementar el tiempo de soldadura (aprox. 20-50%)
- Incrementar la intensidad de corriente de soldadura (por encima 50%)

La diferencia entre aceros de alta resistencia y aceros suaves recubiertos de zinc radica en que la fuerza del electrodo y el tiempo de soldadura deben ser mayores cuando se trate de aceros de alta resistencia. Resultados de los rangos de corriente permitidos y que producen una buena calidad de soldadura en aceros Dogal® se muestran en la Tabla 11.

Resistencia de la soldadura por puntos

La resistencia a cizalladura de la soldadura por puntos en los aceros Dogal® DP es mayor que en la soldadura por puntos en aceros de menor resistencia. La resistencia a cizalladura de la soldadura por puntos aumenta con el aumento de la resistencia de los aceros a ser soldados. En la soldadura por puntos la resistencia al ensayo de cincelado es menor que la resistencia de cizalladura, y es por tanto una regla de oro para el diseño que las soldaduras por puntos que estén sometidas a cargas de cizalladura. La mayor resistencia de los aceros Dogal® DP permite potenciar lo anterior, al tratarse de aceros con mayor resistencia.

Soldadura por fusión

El método más común de soldadura por fusión en los aceros recubiertos con zinc es el MAG (soldadura por arco con gas protector). La soldadura MMA (soldadura manual por arco) puede ser utilizada a veces.

En la industria del automóvil la soldadura por láser se usa cada vez más frecuentemente. La soldadura TIG (electrodo de tungsteno y gas inerte) resulta de difícil utilización, dado que el

Rangos de corriente permitidos en soldadura por puntos de aceros Dogal® de alta resistencia										
Acero 1	Acero 2	Espesor (acero 1/ acero 2) (mm)	Datos de soldadura					Corriente de soldadura permitida ¹⁾		Tipo de fallo
			Diámetro del electrodo (mm)	Fuerza del electrodo (N)	Tiempo de presión (ciclos)	Tiempo de enfriamiento (ciclos)	Tiempo de soldadura (ciclos)	Rango kA	Min-max kA	
Dogal® 450 YP ²⁾	Dogal® 450 YP	2.0/2.0	8.0	5000	30	10	20	1.5	9.4-10.9	Botón completo
Dogal® 500 YP ²⁾	Dogal® 500 YP	1.5/1.5	6.0	4000	99	10	23	1.2	6.2-7.4	Botón completo
Dogal® 600 DP ²⁾	Dogal® 600 DP	1.0/1.0	6.0	3500	99	10	14	1.3	7.6-8.9	Botón completo
Dogal® 600 DP ²⁾	Dogal® 600 DP	1.5/1.5	6.0	4500	30	20	19	2.0	6.9-8.9	Botón completo
Dogal® 800 DP ²⁾	Dogal® 800 DP	1.2/1.2	6.0	4000	99	10	18	1.7	6.7-8.4	Botón completo
Dogal® 800 DP ³⁾	Dogal® 800 DP	1.5/1.5	8.0	4000	30	10	17	3.0	9.8-12.8	Botón completo
Dogal® 800 DPX ²⁾	Dogal® 800 DPX	1.2/1.2	6.0	4000	99	10	18	1.7	6.7-8.4	Botón completo
Dogal® 800 DPX ³⁾	Dogal® 800 DPX	1.5/1.5	8.0	4000	30	10	17	3.0	9.8-12.8	Botón completo

Tabla 11. ¹⁾ Valor mínimo: Corriente que origina un botón con diámetro mínimo del 70% del diámetro del electrodo. Valor máximo: máxima corriente sin proyecciones. ²⁾ Espesor de revestimiento Z 100, 7µm (ambas caras). ³⁾ Espesor de revestimiento Z 140, 10µm (ambas caras).



Resultados de soldadura MAG en junta solapada en aceros avanzados de alta resistencia Dogal®									
Calidad	Espesor de chapa mm	Espesor de Zinc µm	Material de aporte	Voltaje V	Corriente A	Velocidad del sondeo cm/min	Límite Elástico, Rp _{0.2} MPa	Carga de Rotura R _m MPa	Comentarios sobre material aporte
Dogal® 450 YP	2.0	7	OK Autrod 12.51	18.1	91	36	342	509	Similar a mat. base
Dogal® 500 YP	1.5	7	OK Autrod 12.51	18.1	89	50	446	567	Similar a mat. base
Dogal® 800 DP	1.2	7	OK Autrod 12.51	15.8	62	25	586	838	Similar a mat. base
Dogal® 800 DP	1.2	7	OK Autrod 13.31	17.6	84	43	486	766	Inferior a mat. base
Dogal® 450 YP	2.0	7	Safdual Zn	15.2	122	50	330	500	Alambre tubular
Dogal® 500 YP	1.5	7	Safdual Zn	15.3	121	60	493	541	Alambre tubular
Dogal® 600 DP	1.2	20	Safdual Zn	14.7	132	80	500	628	Alambre tubular
Dogal® 800 DP	1.0	20	Safdual Zn	14.6	129	80	590	725	Alambre tubular
Dogal® 600 DP	1.2	20	OK Autrod 19.40	15.4	80	43	220	258	Soldadura fuerte
Dogal® 800 DP	1.0	20	OK Autrod 19.40	15.4	74	43	269	403	Soldadura fuerte
Dogal® 800 DPX	1.0	20	OK Autrod 19.40	15.4	74	43	269	403	Soldadura fuerte

Tabla 12.

óxido de zinc procedente de los gases de soldadura puede adherirse al electrodo y causar una pobre estabilidad de arco y por ende una mala calidad en la soldadura.

La mejor solución desde el punto de vista de la soldadura es limpiar localmente por métodos mecánicos la capa de Zinc.

Para mantener la protección contra la corrosión del acero después del proceso de soldadura resulta fundamental conocer si se ha eliminado el revestimiento de zinc por medios mecánicos en la zona de soldadura. En caso afirmativo deberá de ser aplicado algún tipo de tratamiento anticorrosión después de la soldadura, como por ejemplo, aplicar en la zona una pintura rica en zinc.

De no ser posible esmerilar el revestimiento, se recomienda una o más de las siguientes medidas:

- Use el revestimiento de zinc lo más fino posible.
- Disminuya la velocidad de soldeo.
- Cuando se suelde mediante MAG, utilice un gas con alto contenido en CO₂.
- Use separaciones pequeñas entre chapas.
- Pulverice las chapas antes de la soldadura con un aceite o producto anti-proyecciones.
- Si la soldadura MAG utiliza un electrodo hueco con flux intente que sea específico para soldadura de aceros recubiertos.
- Use soldadura fuerte MIG con alambre de cobre.

Resistencia de la soldadura MAG

Cuando un acero galvanizado se suelda con MAG, la calidad de la soldadura es uno de los factores más importantes que determina la resistencia de la junta soldada.

La porosidad de la soldadura

aumenta con el aumento de espesor de la capa de zinc, por lo que es importante usar un material de aporte que produzca baja porosidad y las mínimas proyecciones. Esto es más importante que usar un material de aporte de las mismas características del material base. En la anterior tabla se muestran los resultados de usar diferentes materiales de aporte en la soldadura MAG de aceros Dogal®.

Soldadura láser

La soldadura láser puede ser usada para la unión de aceros Dogal®, tanto en soldadura de ensamble como para la soldadura de tailor blanks. En la soldadura de ensamble normalmente se utilizan soldaduras a solape. El tipo de soldadura utilizado suele ser, o bien, una soldadura convencional con un 100% de penetración y cordón en ambas caras, o una

Conformabilidad en soldaduras por láser en aceros de alta resistencia Dogal® (Ensayo Erichsen)				
Calidad	Espesor de chapa mm	Potencia de láser kW	Velocidad de soldadura m/min	Valor Erichsen ⁽¹⁾
Dogal® 450 YP	1.9	2.6	2.0	0.78
Dogal® 600 DP, Z 140	1.2	6.0	5.5	0.82
Dogal® 800 DP, Z 100	1.2	6.0	10.0	0.82

Tabla 13. ¹⁾ Valor Erichsen= estiramiento de la soldadura/estiramiento del material base.

Resistencia estática de aceros DP con soldadura MIG

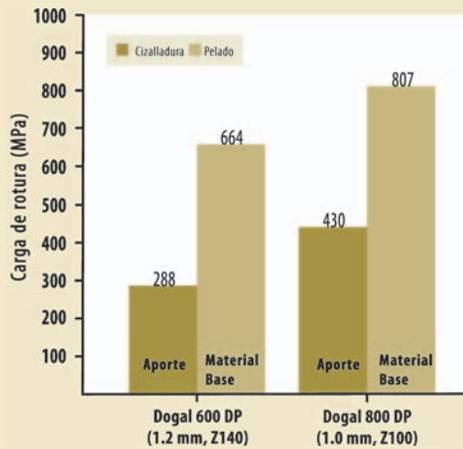


Fig.12. Tensión de cizalladura (unión solapada en T) y tensión de pelado (unión solapada en canto) en unión fuerte MIG en Dogal® 600DP y Dogal® 800DP. Material de aporte/gas protector: SG-CuSi3/Ar.

soldadura en ángulo. La soldadura láser de los aceros Dogal® se realiza como si se tratara de aceros suaves, pero las fuerzas de embridamiento necesarias para la realización de una buena junta de Dogal® de alta resistencia son mayores que para los aceros suaves. Para alcanzar unos buenos resultados mediante soldadura láser en uniones a solape de aceros Dogal® de alta resistencia se recomienda una separación de 0,1-0,2 mm entre

chapas, al igual que ocurre con aceros suaves galvanizados. Esto permite liberar los gases de zinc y de este modo la porosidad y otros defectos serán prácticamente obviados. No se recomienda una separación excesiva con el fin de evitar el riesgo de aparición de mordeduras en la cara superior de la soldadura.

Los aceros Dogal® pueden ser utilizados en aplicaciones con soldaduras de tailor blanks. En este caso se utilizará la soldadura

a tope. La preparación de bordes para los aceros Dogal® será la misma que la requerida para otros aceros galvanizados.

En cualquier caso, una alta calidad de bordes y una buena preparación son necesarias para alcanzar buenos resultados en soldadura láser. Si los productos tailor blanks soldados van a ser conformados en la zona de la soldadura, se debería realizar, a modo preventivo un ensayo de estiramiento (Ensayo Erichsen) con el fin de asegurar la conformabilidad de la soldadura por láser. Todos los aceros Dogal® presentan altas valoraciones en dicho ensayo (Número Erichsen=Estiramiento de la soldadura/estiramiento del material base). Ver tabla 13.

Soldadura fuerte MIG (Brazing) de aceros galvanizados DP

La soldadura fuerte MIG puede ser usada para la unión de aceros galvanizados de alta resistencia. El mismo equipo utilizado para soldadura MIG/MAG podrá ser válido para la soldadura fuerte MIG. Como material de aporte se utilizará un electrodo base cobre con un bajo punto de fusión, junto a un gas inerte protector.

El metal de aporte mas usual para la soldadura fuerte MIG en aceros galvanizados es el SG-CuSi3 (s/DIN 1733). Esto es debido a su baja dureza y su amplio intervalo de punto de fusión, lo que reduce el riesgo de aparición de defectos durante la realización de la soldadura fuerte. Algunas de las ventajas de la soldadura fuerte MIG comparada con la soldadura MAG son:

- Menor aportación de calor.
- Menor deformación de las chapas.
- Menos proyecciones y mejor apariencia.

Una desventaja de la soldadura fuerte MIG es la menor resistencia del material de aporte dependiendo del material base a unir. Los resultados del ensayo de tensión de cizalladura y el ensayo de pelado en el Dogal® 600 DP Z140 (1,2 mm) y en el Dogal® 800 DP Z100 (1,0 mm de espesor) son mostrados en la figura 12. La resistencia en soldadura solapada en canto (ensayo de pelado) es muy resistente y la rotura se localiza en el material base. La resistencia de uniones solapadas (ensayo de cizallado) es menor que la resistencia del material base debido a la baja resistencia del material de aporte.



Corrosión

Introducción

Los metales están generalmente expuestos a la atmósfera más que a cualquier otro ambiente corrosivo.

La corrosión atmosférica es un proceso que ocurre en una fina lámina de agua en la superficie del metal. Esta lámina puede ser tan fina que es invisible al ojo humano.

Los principales componentes atmosféricos que causan la corrosión son el oxígeno (aprox. 20%), agua (2,3% a 20°C) y dióxido de carbono (0,03%).

Otros agentes corrosivos aparecen a menudo debido a procesos naturales o a actividades humanas, p.e., dióxido de azufre, hollín, sulfuro de hidrógeno, ozono, cloruro sódico, óxidos de nitrógeno, etc. Factores tales como dirección predominante del viento, temperatura, precipitaciones y partículas sólidas, también juegan un papel importante.

La velocidad de corrosión aumenta debido a los siguientes factores:

- Incremento de la humedad relativa.
- Presencia de condensación (cuando la superficie alcanza el punto de rocío o esta por debajo de él).
- Incremento de la cantidad de contaminación en la atmósfera.

La experiencia demuestra que una corrosión significativa ocurre si la humedad relativa está por encima del 80% y la temperatura supera los 0°C. Sin embargo, si la contaminación y/o sales higroscópicas están presentes, la corrosión puede ocurrir a niveles de humedad relativa más bajos. Los revestimientos de zinc han sido utilizados, hace ya más de 100 años, como solución para proteger a los aceros contra la corrosión. Los revestimientos son bastante efectivos y actúan con un doble cometido, por un lado como barrera y por otro como protección galvánica de la superficie del acero. Las propiedades frente a la corrosión de los aceros Dogal®DP están determinadas por la resistencia a la corrosión del revestimiento de zinc, el cual resulta ser el mismo que la capa de galvanizado existente en los aceros suaves galvanizados. Es por eso, que los aceros galvanizados DP tendrán la misma resistencia a la corrosión de otros aceros galvanizados en caliente. El revestimiento de zinc es eficaz en un amplio rango de pH, entre 4 y 12 (ver fig.13), lo cual supone una útil protección en diferentes clases de atmósferas y en distintas soluciones acuosas de distintas características.

Corrosión atmosférica

El Instituto Sueco de la Corrosión ha investigado las propiedades anticorrosión a largo plazo del Dogal® en varios medios.

El resultado se muestra en la fig.14. Se realizó la exposición de las probetas- paneles de acero galvanizado durante un año, en ambientes de ensayo clasificados de acuerdo con la norma SS EN ISO 12944-2. La clasificación de acuerdo a los últimos datos se muestra en la tabla 15.

La norma SS EN ISO 12944-2 describe diferentes ambientes en detalle (ver tabla 16).

El tipo de ambiente se divide en 5 categorías, cubriendo desde muy baja corrosividad (C1) a muy alta corrosividad (C5). En cada una de las categorías se indica la pérdida de peso y la reducción media de espesor. Estos valores podrían ser usados para calcular la vida útil en una determinada categoría corrosiva. (ver tabla 16).

Según la norma SS EN ISO 14 713 el acero Z 275 producido en una línea continua de galvanizado en caliente con espesor de capa de 20 µm/cara está certificada como categoría C2, lo que indica un periodo de vida útil de al menos, 15 años.

Velocidad de corrosión del Dogal® según pH de soluciones acuosas

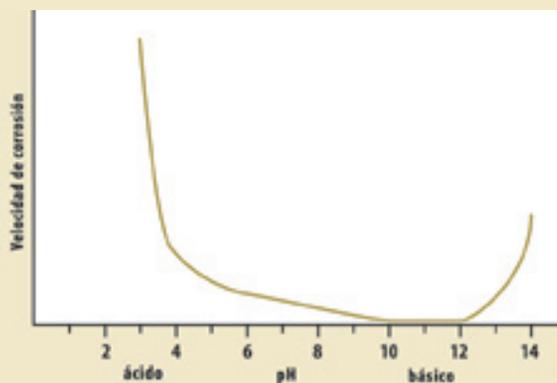


Fig. 13.

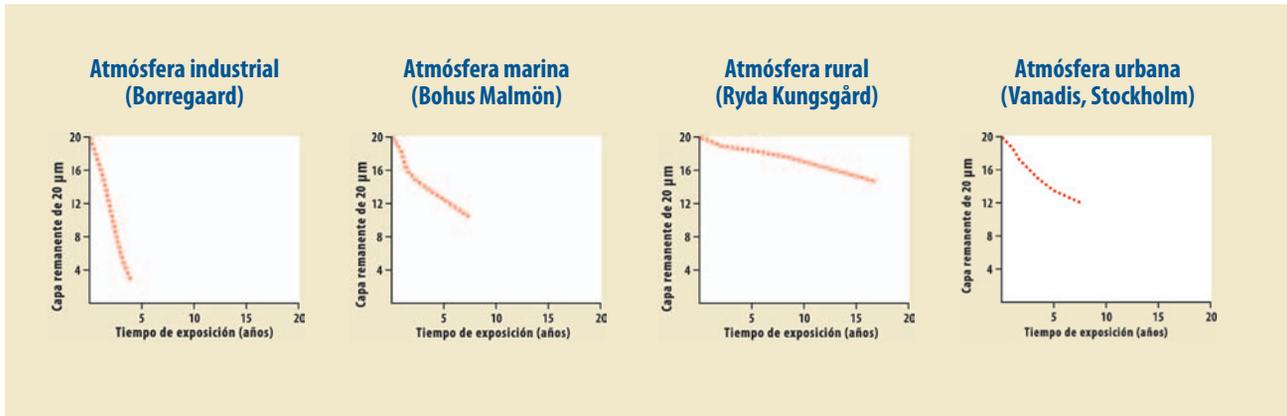
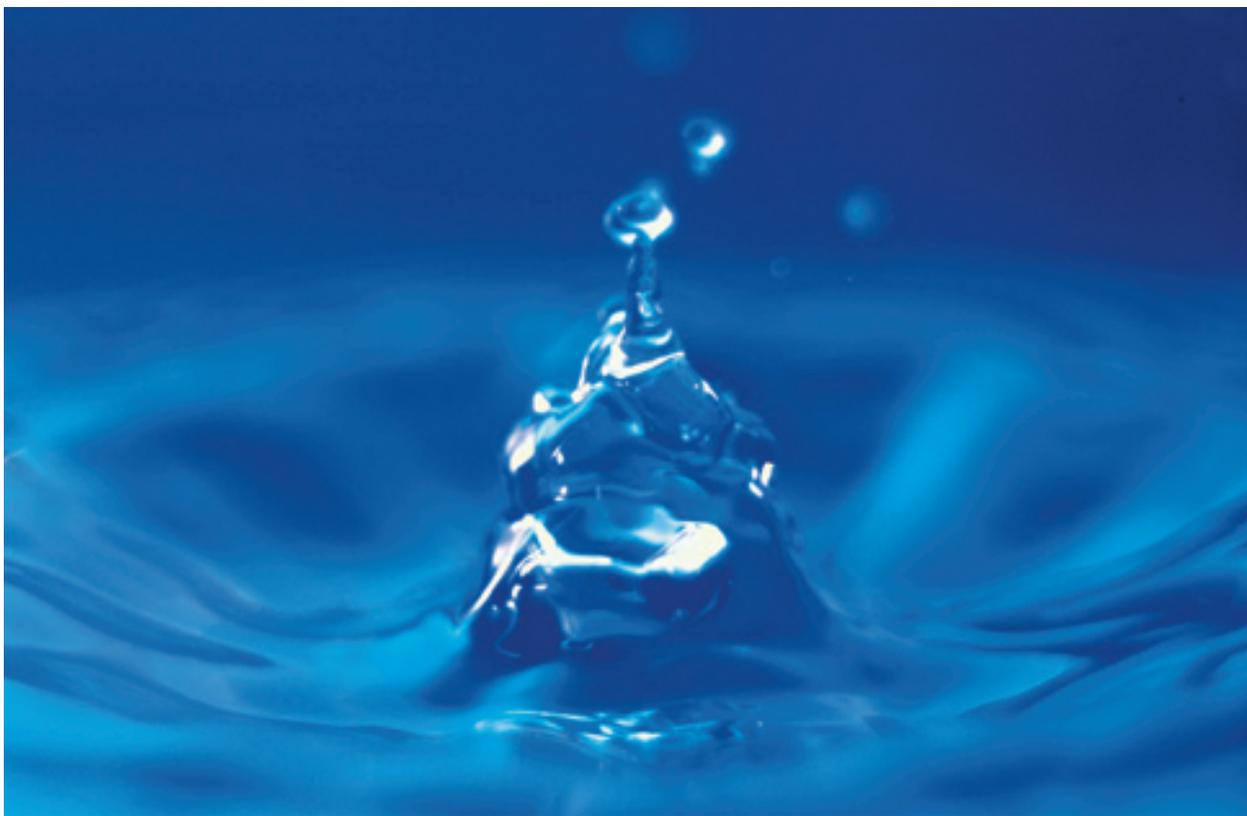


Fig. 14.

Clasificación de los niveles de corrosión en estaciones de ensayo			
Estación de ensayo	Ambiente	Acero al Carbono	Zinc
Ryda	Rural	C2	C2
Stockholm, Vanadis	Urbana	C2	C2
Borregaard	Industrial	C3	C4
Bohus Malmön	Marina	C5	C3

Tabla 14. Datos basados en exposición realizada en año 2002, excepto Borregaard, que están basados en datos de 1995.

Vida útil para Dogal® Z275										
Calidad	Vida útil estimada (años)									
	C1		C2		C3		C4		C5	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Dogal® Z275	∞	∞	18	130	6	18	3	6	1	3

Tabla 15.

Categorías de corrosión atmosférica				
Nivel de Corrosión	Pérdida de masa/unidad área, espesor perdido después de 1 año			
	Acero		Zinc	
	Peso perdido (g/m ²)	Espesor perdido (µm)	Peso perdido (g/m ²)	Espesor perdido (µm)
• C1 (muy bajo) Interior	≤ 10	≤ 1.3	≤ 0.7	≤ 0.1
• C2 (bajo) Áreas rurales	>10 a 200	>1.3 a 25	>0.7 a 5	>0.1 a 0.7
• C3 (medio) Áreas urbanas con baja a moderada contaminación	>200 a 400	>25 a 50	>5 a 15	>0.7 a 2.1
• C4 (alto) Áreas industriales y de costa con contaminación moderada	>400 a 650	>50 a 80	>15 a 30	>2.1 a 4.2
• C5 (muy alta) Áreas industriales y de costa con alta humedad y atmósfera agresiva	>650 a 1500	>80 a 200	>30 a 60	>4.2 a 8.4

Tabla 16.

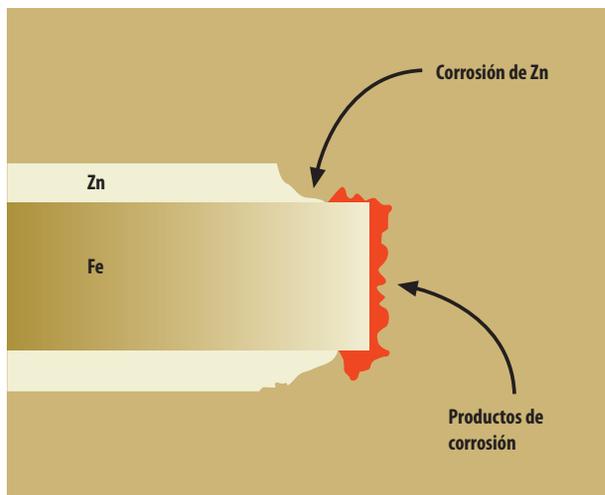


Fig.15. Corrosión en bordes en el Dogal®.

NOBLE	Oro
	Grafito
	Plata
	Acero inoxidable (pasivado*)
	Cobre
	Níquel
	Estaño
	Acero inoxidable (sin pasivar*)
	Plomo
	Acero
MENOS NOBLE	Cadmio
	Aluminio
	55 Aluminio.zinc (Aluzink)
	Acero galvanizado (Dogal®)
	Zinc
	Magnesio

* En estado pasivado, el material presenta un capa de óxido inhibitor en su superficie. Este no es el caso al no estar pasivado.

Tabla 17. Series electroquímicas de materiales metálicos.

Corrosión en bordes cortados

Un borde cortado de acero Dogal® es mostrado esquemáticamente en la figura 15. El revestimiento de zinc es menos noble que el borde de acero y se convierte en el ánodo del par galvánico formado, mientras que el borde de acero es el cátodo. La protección del borde dependerá de la agresividad del medio, p.e., la conductividad de la película húmeda en el borde, el espesor del revestimiento y el espesor del acero.

La conductividad de la película que cubre el borde depende de la cantidad de sales disueltas. Una alta conductividad incrementa la protección de borde cortado y se podría proteger una pieza de acero de un espesor mas grueso. Una lamina de agua pura, p.e., agua condensada, tiene muy baja conductividad, lo que da lugar a una protección muy baja en el borde cortado. Se formaría óxido rojo en el borde cortado después de un corto periodo de tiempo. Este efecto puede ser observado cuando un producto ha estado expuesto a una alta humedad o condensación durante el almacenaje o el transporte. Una capa de zinc no puede proteger un borde cortado mas grueso de 1 o 2 mm. El límite más bajo de 1mm es válido en ambientes donde el borde está sometido a un alto grado de humedad o agua condensada (condiciones de baja conductividad). En ambientes mas contaminados o ricos en sales (condiciones de altas conductividad), la protección podría ser extendida hasta espesores de 2 mm.

Como consecuencia del mecanismo de protección descrito en la Fig.15, el revestimiento metálico empieza a disolverse en la proximidad del borde. Resulta obvio pensar que un espesor de revestimiento más grueso daría protección por más tiempo al disponer de más

material anódico. El ancho del área disuelta está determinado por la conductividad de la lámina húmeda y la capacidad del objeto para mantener la condición de humedad, p.e., el borde inferior de un panel vertical o un panel perforado expuesto horizontalmente.

Compatibilidad de materiales

La corrosión galvánica puede ocurrir si el acero Dogal® está en contacto eléctrico directo con otro metal o aleación y cierra con él un circuito eléctrico. Dado que el revestimiento de zinc es normalmente el menos noble del par (ver tabla 17), actuará como ánodo y se corroerá más rápidamente que si hubiera estado en una situación aislada. La tabla 17 presenta un ranking de algunos de los materiales más comunes, desde el más al menos noble. Cuando dos materiales están conectados, el ánodo es el metal menos noble y el que se corroe más rápido.

Si el acero Dogal® está en contacto con metales muy nobles el par creado daría lugar a una combinación severa y peligrosa. En tales casos, el proceso regulador de la corrosión galvánica es muy activo y el ataque en el material anódico (Dogal®) sería mucho más rápido que en una condición en la que no existiera par.

Dogal® no debería ser usado junto con plomo o cobre, incluyendo las aleaciones que lleven esos elementos tales como latón. Así mismo, se deberá evitar la presencia en la superficie del Dogal® de soluciones acuosas que hayan estado en contacto con partes en las que el cobre esté presente, dado que tanto corrosión como decoloraciones pueden ser potenciadas. Combinaciones con aceros inoxidables o níquel en medios agresivos pueden ser también peligrosas.

La madera es un material que puede absorber agua y retener una alta humedad durante un largo periodo de tiempo. El área de contacto entre la madera y el Dogal® puede formar un resquicio y el óxido blanco podría aparecer. Este proceso es similar a la formación de óxido blanco entre chapas durante el almacenaje o el transporte en condiciones de humedad.

La madera tratada es incluso peor, dado que las impregnaciones químicas normalmente contienen sales de cobre, que en parte están disueltas y rezuman desde la madera. Este tipo de disolución es bastante agresiva y causa un severo ataque al Dogal®. Si utilizamos madera para el almacenaje y transporte, los anteriores aspectos habrán de tenerse en cuenta y se deberán tomar las medidas necesarias para evitar el deterioro del producto. Para más detalles, ver la sección que trata de transporte y almacenamiento.

La tabla 18 muestra que el grafito es un material muy noble y que por lo tanto incrementa la corrosión del Dogal®, si ambos materiales están en contacto. El carbono negro es a veces usado como pigmento en distintos tipos de goma. El carbono negro químicamente es lo mismo que el grafito. De forma que si un material de caucho contiene carbón negro en contacto con Dogal® este puede aumentar significativamente su velocidad de corrosión.

Algunos selladores y telas asfálticas para techos son productos de origen petroquímico que contienen materiales bituminosos. Si el sellante o el material del tejado son expuestos a la radiación UV, alguno de sus componentes podrían descomponerse y filtrarse a través del agua de lluvia o el agua condensada, produciéndose así, una solución ácida. Si esta disolución entra en contacto con el Dogal®, se producirá un aumento de la corrosión en las áreas de contacto. Es por ello, que

deberemos de estar seguros de que tan solo sean filtradas sustancias no corrosivas desde aislantes o materiales del tejado, y además, que estos contengan un estabilizador de rayos UV, o bien, que estén recubiertos por una lámina superficial que inhiba los efectos de la radiación.

Protección de las soldaduras

Durante la soldadura, la mayor parte de la capa de revestimiento de zinc se vaporiza y la protección contra la corrosión en la soldadura queda bastante limitada.

Las soldaduras por puntos son demasiado grandes para obtener una protección galvánica completa desde la capa protectora de zonas aledañas (Fig.16). En las soldaduras por puntos se podría formar óxido rojo, dependiendo del tamaño de los botones. Una pintura rica en zinc o un aerosol de zinc puede aplicarse a los puntos de soldadura con el fin de mejorar su protección contra la corrosión.

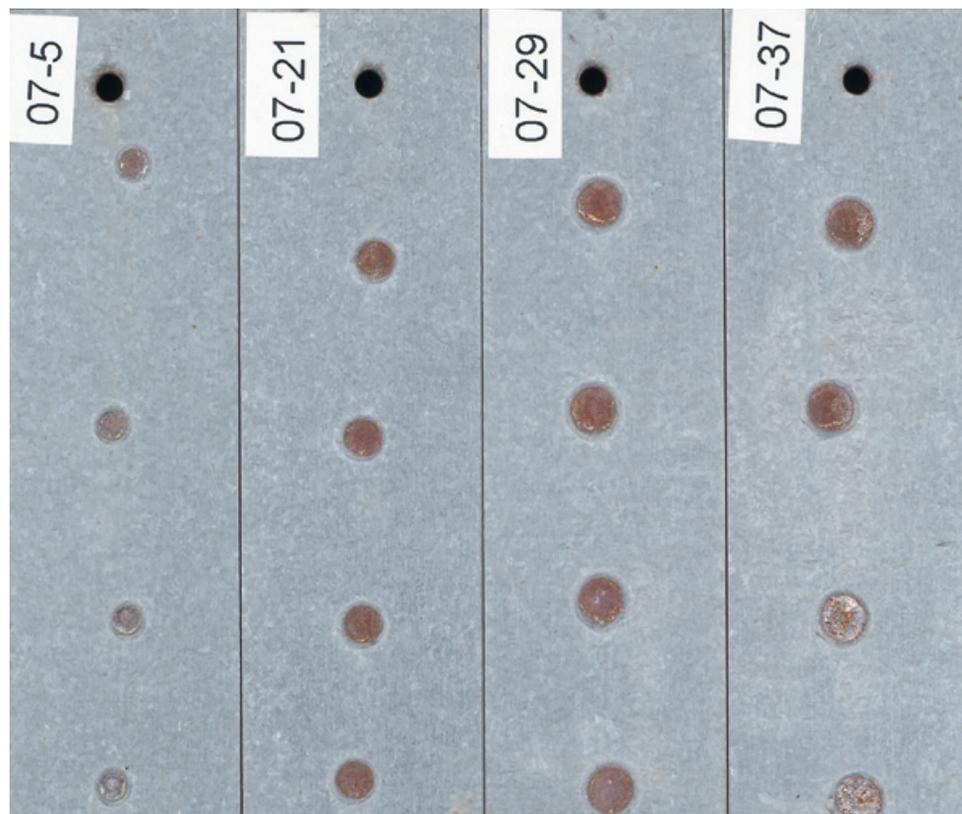


Fig.16. Soldadura por puntos en Dogal® con varios diámetros de botón después de 5 años de exposición a una atmósfera urbana. Los diámetros de los botones aumentan de izquierda a derecha. Es de remarcar, que en función del tamaño de los puntos de soldadura, la presencia de óxido rojo ocurre en los botones.

Tratamiento superficial

El aspecto y la funcionalidad del Dogal® puede ser mejorada mediante un tratamiento superficial. Son muchos los posible pre-tratamientos y sistemas de revestimiento para uso en los aceros galvanizados. El sistema de protección a aplicar está determinado por la combinación entre la demanda al producto y la agresividad del medio al que se verá expuesto.

Limpieza

La superficie del metal debe estar limpia antes de aplicar la pintura, dado que de no ser así sería imposible lograr un buen sistema de revestimiento. Los limpiadores más comunes usados actualmente son acuosos; generalmente soluciones acuosas aplicadas mediante rociado o baño. La composición del limpiador dependerá de la cantidad de suciedad presente en la superficie. Para más detalle en el proceder en la limpieza se recomienda consultar al suministrador de los pre-tratamientos químicos. Si el producto va a ser usado en interiores o en medios exteriores suaves, una limpieza antes de la aplicación de la pintura es suficiente. En medios más agresivos, se necesitará una preparación química de la superficie antes de la pintura.

Acondicionamiento químico de la superficie

Un frecuente tratamiento superficial es el fosfatado al hierro, que puede aplicarse tanto en combinación con la limpieza o mediante un proceso separado. El fosfatado al hierro produce una fina capa de fosfato de zinc (menos de 1 µm) en la superficie galvanizada.

Otro tratamiento de acondicionamiento químico superficial es el fosfatado al zinc, con o sin la adición de níquel y manganeso. El baño de fosfatado al zinc requiere un estricto control y una mayor atención que si se tratase de un baño de fosfatado al hierro y produce una capa cristalina más gruesa. Se utiliza este proceso cuando existe una demanda muy alta de adherencia en la capa de pintura y de las propiedades anticorrosión.

Todas capas de fosfatado mejoran la adhesión de la pintura y reducen el riesgo de corrosión bajo capa (p.e., corrosión por debajo de la capa de pintura).

Sistemas de pintado

El acero galvanizado admite dos tipos de pintado, las pinturas con vehículo líquido, bien sea agua o disolvente, y la pintura en polvo. Un regla nemotécnica es que una gruesa capa de pintura mejora la protección contra la corrosión.

En ambientes agresivos, el sistema de pintado deberá incluir una primera capa con un pigmento inhibidor de la corrosión. Con el fin de optimizar la vida del producto, es esencial que la capa final de pintura mantenga una correcta estabilidad en el exterior.

Imprimación

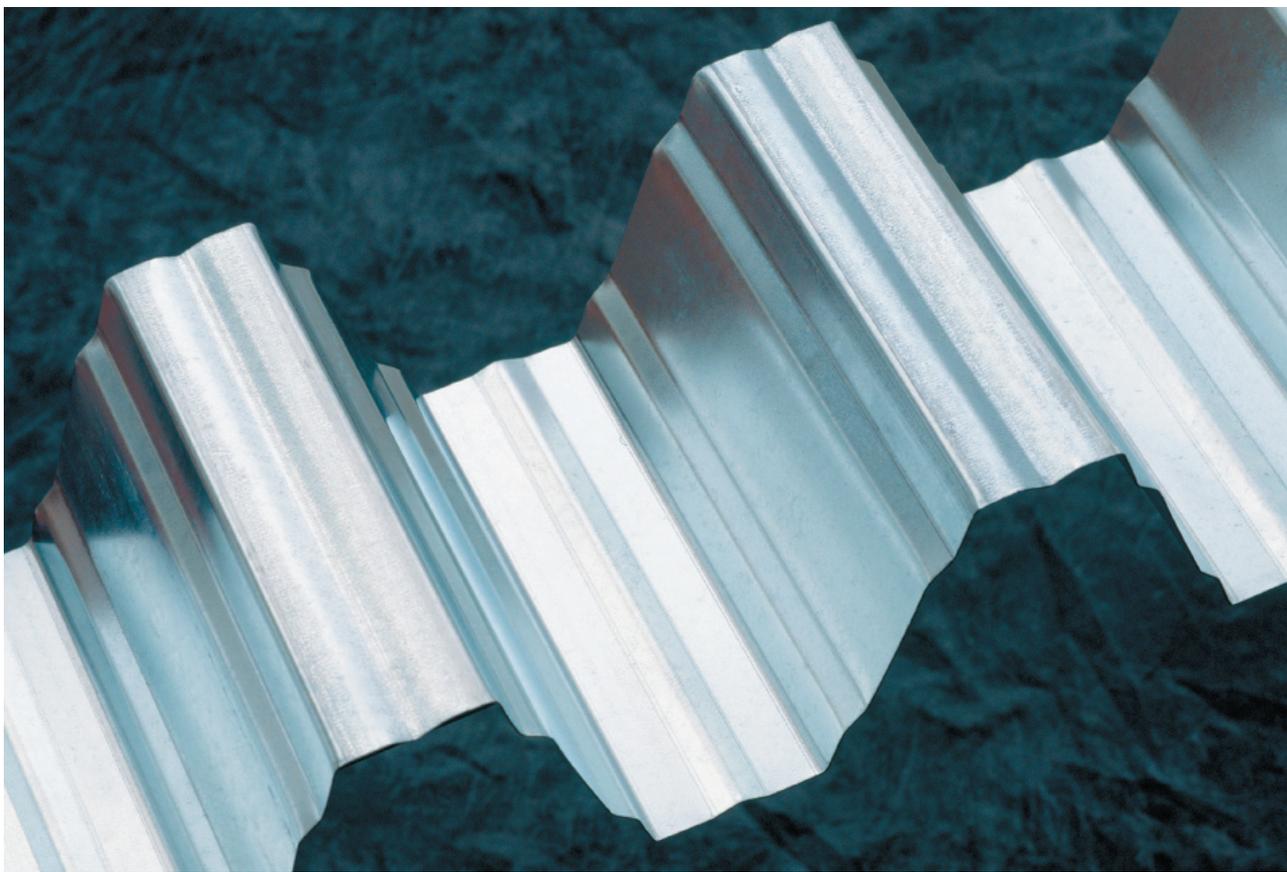
La función de la imprimación es proporcionar una buena adherencia al metal y una buena protección contra la corrosión. La imprimación debería contener un pigmento activo contra la corrosión, como un fosfato de zinc. Entre las imprimaciones adecuadas están las alquídicas resistentes a las bases y las epoxídicas. Dado que la imprimación epoxy se degrada por la acción directa del sol, la capa final deberá ser aplicada antes de exponer el producto a la luz del sol. La imprimación puede obviarse cuando se trata de pintar productos que van a ser usados en ambientes de baja agresividad.

Capa final

El fundamento de la última capa es dar a la superficie pintada el aspecto estético requerido, así como aumentar la resistencia a los arañazos y los golpes. Pueden también añadir un valor o característica técnica, como

Aglutinante	Propiedades
Acrílico	Buena estabilidad en exteriores, color inalterable y buenas propiedades mecánicas. Limitada resistencia a disolventes. Secado al aire o curado en horno.
Alquídico	Las pinturas alquídicas no están recomendadas para el Dogal®.
Epoxy	No se debe usar en exteriores, debido al riesgo de volverse polvo. Buenas propiedades mecánicas y buena resistencia química. Disponible tanto en polvo o con disolvente como vehículo. (curado en horno).
Poliéster	Aglutinante común para pinturas en polvo. Buenas propiedades mecánicas y estabilidad exterior.
Poliuretano (PUR)	Excelente resistencia química y estabilidad exterior. Disponible tanto en vehículo acuoso como en disolvente. También para pintura en polvo.

Tabla 18.



por ejemplo protección eléctrica o propiedades antideslizantes. Un breve resumen de los tipos de pintura en base a su tipo de sustrato y sus principales propiedades se encuentra en la tabla 18.

Sistemas de pintado recomendados para el Dogal®

Basada en las diferentes categorías de corrosividad, la tabla 19 da algunas recomendaciones de sistemas de protección para el Dogal®. Para una mejor selección de sistemas consulte al suministrador de la pintura.

Transporte y almacenaje

Con el fin de evitar problemas durante la fabricación y el

tratamiento superficial del producto final, es importante proteger los productos del agua y la humedad a lo largo de la cadena de manipulación, producción y almacenaje; es decir durante todo el trayecto entre la acería y el usuario final.

Si las chapas o las bobinas son expuestas al agua o a la humedad durante el transporte o el almacenamiento, pueden aparecer manchas de humedad. Esta forma de corrosión se manifiesta como manchas blancas o grises en superficies y se da cuando bobinas, chapas o paneles correctamente empacadas o también algunos paneles están expuestos al agua o la humedad.

El agua puede entrar entre las vueltas de la bobina o las chapas por acción capilar y ser la posterior causa del ataque por corrosión y de la decoloración superficial.

Pequeñas áreas deterioradas pueden ser reparadas por un ligero chorreado de limpieza. Se pueden encontrar, también, algunos pre-tratamientos capaces de eliminar los productos de corrosión. En tales casos, la superficie puede ser pintada de la forma usual. Sin embargo si los productos de corrosión no pueden ser eliminados, no trate de pintar la superficie, dado que la adhesión será siempre insatisfactoria.

Categoría de corrosividad	Pre-tratamiento	Sistema de pintado
C2	Desengrasado	Revestimiento en polvo, epoxy * o poliéster. Espesor de capa de al menos 60 µm.
	Desengrasado + fosfatado al hierro	Revestimiento en polvo, epoxy * o poliéster. Espesor de capa de al menos 40 µm.
C3	Desengrasado	Imprimación con vehículo acuoso con pigmento anti-corrosión activo+ revestimiento de poliéster en polvo de al menos 60 µm de espesor.
	Desengrasado + fosfatado al hierro	Revestimiento en polvo, poliéster. Espesor de capa de al menos 60 µm.
C4	Desengrasado + fosfatado al hierro	Imprimación con vehículo acuoso con pigmento anti-corrosión activo+ revestimiento de poliéster en polvo, de al menos 60 µm de espesor.
	Desengrasado + fosfatado al zinc	Revestimiento en polvo, poliéster. Espesor de capa de al menos 60 µm.

Tabla 19. *) Solo uso interior.



Consejos para aceros de utilajes

Aceros de utilaje para punzonado y conformado de aceros de alta resistencia Dogal®

Como en toda producción industrial, es importante que las operaciones de corte y conformado de las chapas de acero estén libres de problemas. La cadena desde el diseño del utilaje hasta su mantenimiento consta de muchas etapas, como ilustra el esquema de la figura 17.

Un prerrequisito para alcanzar una buena productividad y una buena economía de costes en producción es que todas las etapas del proceso estén correctamente diseñadas y encajadas. Es por ello de vital importancia seleccionar los correctos aceros de utilaje para realizar las operaciones de corte y cizallado.

Para poder seleccionar el acero correcto, es importante identificar los mecanismos de fallo que pueden aparecer durante las operaciones de corte y/o conformado y que pueden inutilizar el utilaje o forzar su rotura después de un corto periodo de uso. Existen básicamente cinco tipos de fallos en que pueden incurrir las partes más activas de la matriz:

- El **desgaste**, bien sea abrasivo o adhesivo, está asociado con el material de la pieza, el tipo de operación de conformado y las fuerzas de rozamiento durante el contacto por deslizamiento.
- La **deformación plástica**, ocurre en el caso de una inapropiada relación entre las tensiones y el límite elástico compresivo (dureza) del material de utilaje.
- Las **melladuras**, pueden ocurrir como resultado de un inapropiado encaje entre las tensiones y la ductilidad del acero de utilaje.
- El **agrietamiento**, puede ocurrir como resultado de un inapropiado encaje entre las tensiones y la tenacidad del acero de utilaje.
- Las **adherencias** pueden ocurrir como resultado de un inapropiado encaje entre el material de la pieza a trabajar y las fuerzas de rozamiento que se generan por contacto durante el deslizamiento. El mecanismo por adherencias está muy relacionado con el desgaste por adhesión.

Deformación plástica, melladuras de bordes y agrietamientos son formas de fallos que a menudo

derivan en serias y costosas paradas en producción. Desgaste y adherencias son más predecibles y pueden evitarse mediante un mantenimiento preventivo sistemático de los utilajes. Una consecuencia de esto es que puede merecer la pena permitir más desgaste en detrimento de la aparición de melladuras o el agrietamiento.

Durante la conformación y cizallado de los aceros Dogal® DP, se ha de tener en cuenta que para un determinado espesor de chapa, las fuerzas aplicadas deben de ser mayores que para un acero suave, dado que debe ser superado un mayor límite elástico durante la conformación e igualmente una mayor resistencia durante el corte. Esto significa que la resistencia aumenta y que las demandas en la resistencia al desgaste y la resistencia del material del utilaje también deben de aumentar. La operación de corte es más sensible, dado que se requiere una combinación de alta resistencia al desgaste y alta resistencia a la melladura de bordes/rotura de utilaje, mientras que la operación de conformado requiere solo resistencia al desgaste.

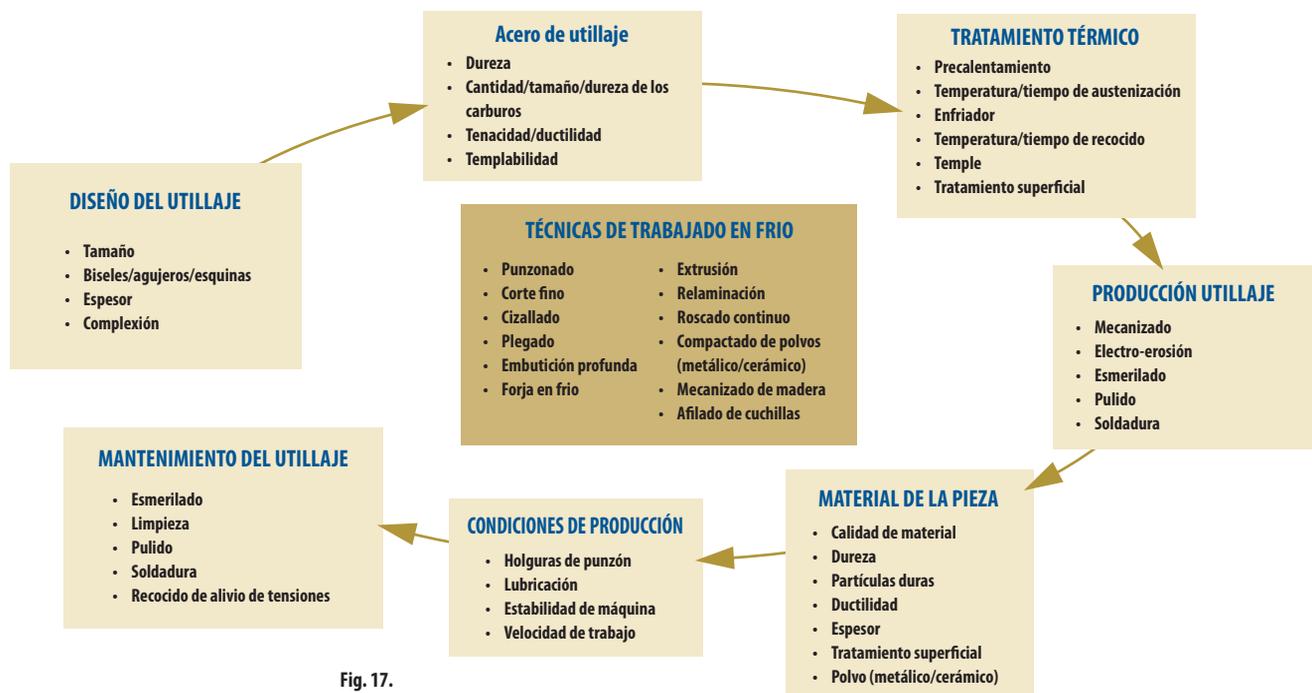


Fig. 17.

Resistencia relativa al mecanismo de fallo								
Calidad del acero de utillaje	Normas			Dureza Deformación plástica	Resistencia al desgaste		Resistencia a la fatiga	
	SS	ISO	DIN		Abrasivo	Adhesivo	Iniciación de grieta	Propagación de grieta
							Ductilidad resistencia al mellado	Tenacidad resistencia total a la rotura
Arne	2140	W.-Nr. 1.2510	AISI 01	██████████	██	██	██████████	██████████
Calmax	2260	W.-Nr. 1.2358	AISI A2	██████████	██	██████████	██████████	██████████
Rigor		W.-Nr. 1.2363		██████████	██	██████████	██████████	██████████
Sleipner		██████████		██	██████████	██████████	██████████	██████████
Sverker 21	2310	W.-Nr. 1.2379	AISI D2	██████████	██████████	██	██████████	██████████
Sverker 3	2312	W.-Nr. 1.2436	AISI D6	██████████	██████████	██	██████████	██████████
Vanadis 4	W.-Nr. 1.3344	AISI M3:2		██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Vanadis 23				██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Vanadis 6				██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Vanadis 10				██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
				██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

Tabla 20.

La tabla 20, nos muestra una comparativa del comportamiento de los aceros de utillaje Uddelhom para trabajo en frío, frente a los mecanismos de deterioro presente en los utillajes.

Condiciones de producción

Comparado a otros aceros el Vanadis presenta una buena combinación de resistencia al desgaste y resistencia al mellado de bordes. La razón es que este acero se produce mediante procedimientos de pulvi-metalurgia, mientras que otros aceros de utillaje se producen mediante procesos metalúrgicos convencionales. La diferencia en propiedades se debe principalmente a que en el método de la pulvi-metalurgia se producen pequeños carburos uniformemente distribuidos que actúan contra la abrasión. Sin embargo, por ser tan pequeños estos carburos pueden, también, actuar como iniciadores de grietas de fatiga. En contraposición, los aceros convencionales con buena resistencia al desgaste presentan grandes carburos que están repartidos en bandas, que confieren la resistencia mecánica al acero de utillaje.

Guía de selección de acero para el cizallado de los aceros Dogal® de alta resistencia

Resulta difícil dar el consejo adecuado en la selección del acero de utillaje correcto en una determinada situación de producción, máxime cuando el entorno productivo no resulta ser el mismo en operaciones consecutivas. Es posible tener una mejor aproximación a la realidad basada en experiencias pasadas de producción en el mismo equipo y mejorar gradualmente el método de elección del acero por comparación de la eficacia de la actuación de diferentes aceros. Si el usuario no dispone de experiencia propia, la tabla 20 podría servirle como guía. Todos los aceros de utillaje en la tabla 20 pueden ser usados con los aceros Dogal® de menor resistencia, espesores finos de chapa y geometrías simples, mientras que solo unos pocos de estos aceros serían válidos para ser usados con las calidades de mayor resistencia, debido al riesgo de roturas prematuras de utillaje, por la presencia de melladuras en sus bordes. En el diseño y producción de utillajes, es importante evitar

esquinas abruptas, pequeños radios y mal acabado superficial. Las altas tensiones creadas durante las operaciones de conformación combinadas con la alta dureza de los aceros de utillaje aumenta la concentración de tensiones en dichas áreas.

Guía de selección de acero para el conformado de los aceros Dogal® de alta resistencia

El desgaste, que es abrasivo por naturaleza, es el principal mecanismo de daño en operaciones de conformado, aunque el desgaste por adhesión puede también presentarse debido a las altas fuerzas de fricción que aparecen cuando se conforman los aceros Dogal®. Los aceros procedentes de la compactación de polvos son los que presentan mejor productividad, no siendo necesaria para la selección del acero información más específica que aquella incluida en la tabla de mecanismos de fallo. Debido al hecho de que los aceros de extra alta resistencia no conforman tan bien como los aceros suaves, las partes a producir no deberán tener radios tan justos como en el caso de los aceros suaves, lo que es beneficioso en el contexto del utillaje.

Punzonado de aceros de alta resistencia
Guía para aceros de utillaje

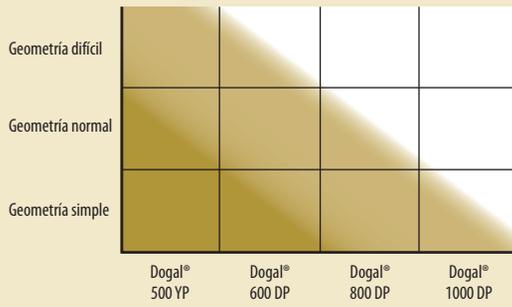


Fig. 18.

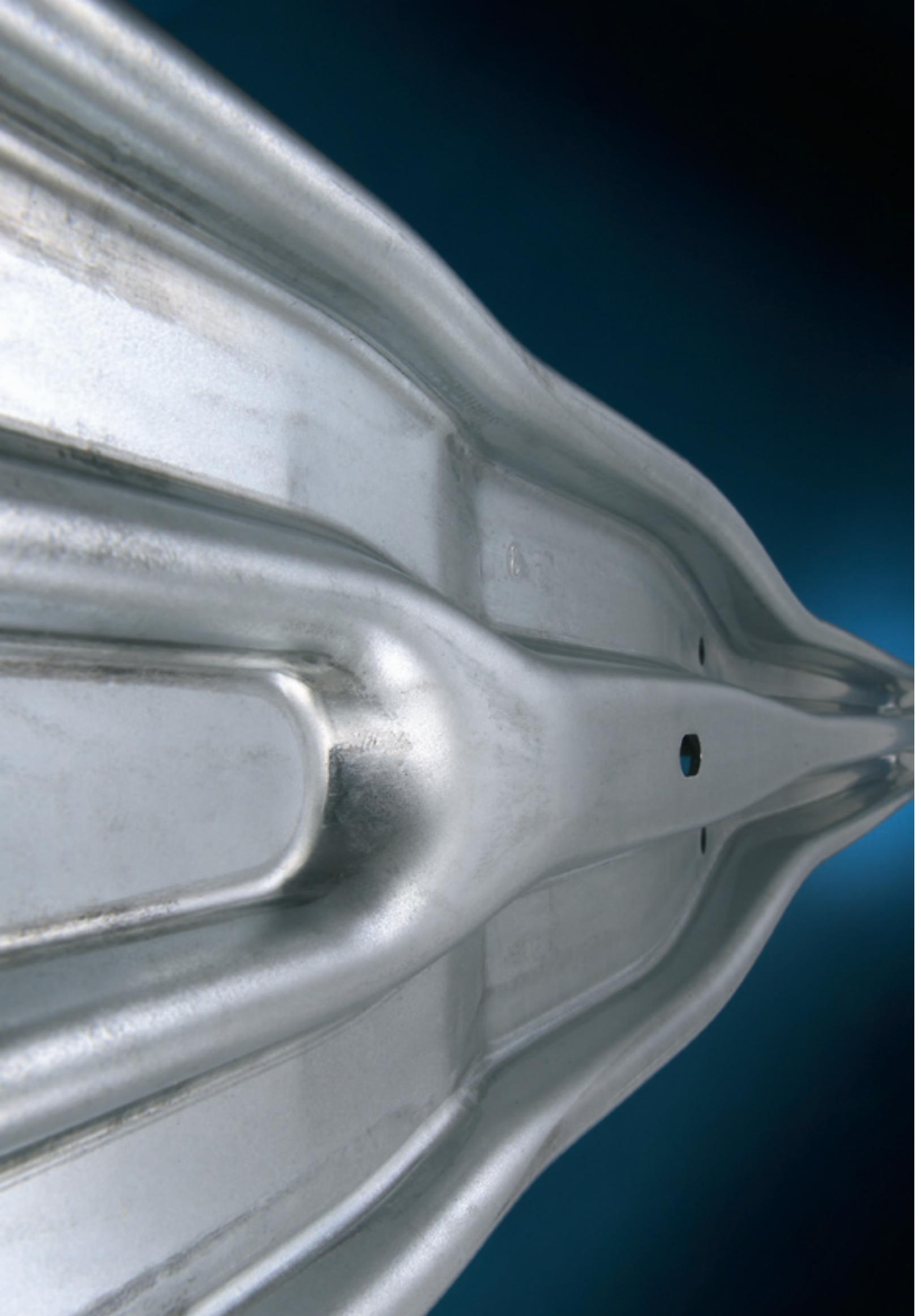
	Shaded	Shaded	White
Serie de producción cortas o medias	Sleipner Rigor Calmax Sverker 21	Sleipner Rigor Calmax	Sleipner Rigor Vanadis 4
Serie de producción largas	Vanadis 10 Vanadis 6 Vanadis 4 Vanadis 23 Sleipner Sverker 21	Vanadis 6 Vanadis 4 Vanadis 23 Sleipner	Vanadis 6 Vanadis 4 Vanadis 23 Sleipner

Tabla 21. En todos los casos, la dureza deberá ser al menos de 58 HRC, para evitar el riesgo de la existencia de deformación plástica.

Guía de selección para aceros de conformación
Guía para aceros de utillaje

Tamaño de la serie de producción	Tipo de desgaste predominante		
	Desgaste adhesivo	Desgaste mixto	Desgaste abrasivo
Pequeña	Arne 54-56 HRC Carmo® 54-61 HRC	Arne 54-58 HRC Calmax 54-59 HRC	Arne 54-60 HRC
Media	Calmax 54-58 HRC Sleipner 56-62 HRC	Rigor 54-62 HRC Sleipner 58-63 HRC	Sverker 21 58-62 HRC Sleipner 60-64 HRC
Larga	Vanadis 4 56-62 HRC	Vanadis 6 60-64 HRC Vanadis 23 60-65 HRC	Sverker 3 58-62 HRC Vanadis 6 60-64 HRC Vanadis 10 60-64 HRC

Tabla 22. Endurecimiento por llama o inducción.



¿Qué es lo que el diseñador debe tener en cuenta?

Los aceros avanzados de alta resistencia Dogal® ofrecen oportunidades para diseñar productos más livianos con espesor reducido. Sin embargo, se ha de tener presente que las propiedades últimas del producto quedan determinadas por la geometría del diseño en combinación con las propiedades del material. La capacidad para soportar cargas y la rigidez de vigas, perfiles, etc, están significativamente afectadas por la altura de la sección y los refuerzos que tenga. Refuerzos tales como buñas, nervios o plegados en bordes son usados en las chapas de acero mas finas de los componentes, dado que disminuyen la tendencia al pandeo, añaden rigidez y permiten usar al

máximo las propiedades del material.

Los refuerzos son particularmente importantes en el diseño de partes para absorción de energía, en las que el pandeo o el plegado deberán ser evitados o al menos controlados, incluso durante la deformación plástica. Nervios y refuerzos pueden ser estampados directamente en las partes fabricadas en aceros de alta resistencia Dogal®.

La conformabilidad de estos aceros es buena en relación a su alta resistencia. Sin embargo, deberemos de estar seguros que los radios de doblado son lo suficientemente grandes y la demanda en embutición profunda moderada. El perfilado en frío está particularmente bien indicado cuando se trata de la producción

de grandes series de perfiles. En el perfilado, nervios, acanaladuras y plegado en bordes pueden ser introducidos directamente durante el proceso de perfilado. Cuando se diseñan partes conformadas en acero Dogal® de alta resistencia se debería prever la adecuada compensación del retorno elástico esperado para el material. Esto también es importante en el diseño de las herramientas de conformado. El uso del efecto membrana durante el diseño con la chapa de acero permite optimizar la utilización del material. Se debe hacer lo posible para evitar que las chapas de acero que actúen como partes estructurales trabajen bajo el efecto placa con deflexiones locales y consecuentemente con altos esfuerzos de flexión.



SSAB Tunnpåt es el mayor fabricante de chapa de acero de Escandinavia y líder europeo en el desarrollo de aceros de alto, extra alto y ultra alto límite elástico.

SSAB Tunnpåt es miembro del Grupo SSAB Swedish Steel. La facturación anual asciende a 10 millardos de SEK y tiene alrededor de 4.400 empleados en Suecia. Cada año producimos 2,5 millones de toneladas de chapa de acero.

Nuestra política medioambiental comporta una reducción continua del impacto de nuestros procesos y plantas sobre el entorno, y el desarrollo de las propiedades medioambientales de nuestros productos desde la perspectiva del ciclo de vida de los materiales.

Fabricamos los siguientes productos en modernas y eficientes cadenas de producción y trenes de laminación para productos de banda:

DOMEX

Banda de acero laminada en caliente

DOCO

Banda de acero laminada en frío

DOMEX

Chapa de acero galvanizada en caliente

PRELAQ

Chapa de acero prepintada

Marcas registradas SSAB Tunnpåt.

Asesoramos a los clientes en la selección del acero más apropiado para incrementar su competitividad. Nos distinguimos por la calidad de nuestros productos, la fiabilidad de nuestros suministros y la flexibilidad de nuestro servicio técnico a clientes.

ssabtunnpåt.com



España

SSAB Swedish Steel S.L.
Manuel Uribe, 13-15
ES-28033 MADRID
Tel +34 91 300 5422
Fax +34 91 388 9697
info.es@ssab.com
ssab.es

SSAB Tunnpåt AB

SE-781 84 Borlänge
Sweden
Tel +46 243 700 00
Fax +46 243 720 00
office@ssabtunnpåt.com
ssabtunnpåt.com

Alemania

SSAB Swedish Steel GmbH
Tel +49 211 91 25-0
Tel +49 711 6 87 84-0
ssab.de

Brasil

SSAB Swedish Steel Ltda.
Tel + 55 41 3014 9070
ssab.com.br

China

SSAB Swedish Steel
Tel +86 10 6466 3441
swedishsteel.cn

Corea

SSAB Swedish Steel Ltd
Tel +822 761 6172

Dinamarca

SSAB Svensk Stål A/S
Tel +45 4320 5000
ssab.dk

España

SSAB Swedish Steel S.L.
Tel +34 91 300 5422
ssab.es

Estados Unidos

SSAB Swedish Steel Inc
Tel +1 412 269 21 20
swedishsteel.com

Finlandia

Oy SSAB Svenskt Stål Ab
Tel +358-9-686 6030
ssab.fi

Francia

SSAB Swedish Steel SA
Tel +33 1 55 61 91 00
ssab.fr

Gran Bretaña

SSAB Swedish Steel Ltd
Tel +44 1905 795794
swedishsteel.co.uk

Holanda

SSAB Swedish Steel BV
Tel +31 24 67 90 550
ssab.nl

Italia

SSAB Swedish Steel S.p.A
Tel +39 030 90 58 81 1
ssab.it

Noruega

SSAB Svensk Stål A/S
Tel +47 23 11 85 80
ssab.no

Polonia

SSAB Swedish Steel Sp.z.o.o.
Tel +48 602 72 59 85

Portugal

SSAB Swedish Steel
Tel +351 256 371 610
ssab.pt

Sudáfrica

SSAB Swedish Steel Pty Ltd
Tel +27 11 827 0311
swedishsteel.co.za