

**Docol UHS – Aceros
Laminados en
Frío de Ultra Alta
Resistencia**

Ligeros – Resistentes – Conformables





Los aceros de ultra alto límite elástico laminados en frío que SSAB Tunnpåt produce –DOCOL UHS- ofrecen resistencias a la tracción mínimas garantizadas en un rango entre 800 N/mm² y 1400 N/mm² y límites elásticos superiores a 550 N/mm².

Los aceros Docol UHS ofrecen importante ventajas competitivas.

El alto límite elástico de los aceros DOCOL UHS permite reducir el espesor de chapa en sus productos, a la vez que le ayuda a disminuir el coste de los materiales.

Dado que la resistencia es una propiedad importante por la que se paga cuando se compra la chapa de acero, considere cuánto va a pagar por cada N/mm² en lugar de pensar sólo en el coste por kilogramo. A mayor límite elástico que Ud. elija, menor coste por N/mm². A la hora de determinar el grado de Docol UHS a utilizar, deberá comprar el mayor límite elástico permitido en su diseño, disminuyendo así, sus costes.

INDICE

- 2-3 **Docol UHS amplían los límites de la resistencia, la reducción de peso y las ventajas medioambientales**
- 4-5 **Propiedades únicas que abren oportunidades únicas**
- 6-7 **Aceros avanzados para multitud de aplicaciones**
- 8-9 **Docol UHS- calidades y dimensiones**
- 10-25 **Propiedades Técnicas**
Cizallado y punzonado, Corte por láser, Conformación, Energía de absorción, Envejecimiento, Resistencia a los golpes e impactos, Endurecimiento por deformación, Endurecimiento por "bake hardening", Tratamiento térmico, Fatiga, Soldadura y Tratamiento superficial.
- 26-29 **Acero de utillaje**
- 30-31 **Docol UHS en la elaboración de sus diseños**
- 32-33 **Permítanos ayudarle a poner en práctica las ventajas de los aceros de ultra alta resistencia**
- 34 **Evidencias a considerar**
- 35 **Reciclado y medioambiente**

La alta resistencia de los aceros Docol UHS ofrece oportunidades por su gran ahorro en peso, lo que se traduce en mayores ventajas medioambientales, tanto durante la fabricación como a lo largo de la vida útil de los productos acabados. A través del suministro de aceros Docol UHS con la resistencia necesaria, se observan otras ventajas medioambientales; así se garantizan ahorros de energía y se reducen emisiones en la planta del cliente, dado que no es necesaria la presencia de hornos para tratamiento térmico, baños de decapado u otras operaciones pesadas de manipulado.

Un material más delgado le permitirá desarrollar, en su totalidad, nuevos diseños que habrían resultado imposibles en el pasado.

Propiedades únicas que abren oportunidades únicas

El acero laminado en frío de extra alta resistencia denominado Docol UHS adquiere sus exclusivas propiedades en el tren de recocido continuo de SSAB Tunnplåt.

El acero es recocido a temperaturas entre los 750 °C y los 850 °C, dependiendo de la calidad del acero, y posteriormente es bonificado mediante temple por agua.

El revenido es la siguiente etapa, en la que el acero se calienta entre 200–400 °C y es donde el acero adquiere su estructura final a la que debe su tenacidad y su buena conformabilidad. Este singular proceso de recocido produce una estructura con martensita revenida que explica la alta resistencia del acero.

Tanto el recocido como el revenido se llevan a cabo en una atmósfera inerte que salva-guarda al acero de la oxidación a alta temperatura.

Entre el proceso de temple y el de revenido final, el acero pasa a través de una línea de decapado. Con el fin de eliminar la delgada capa de óxido formada durante el proceso de temple.

Microestructura de los aceros

La microestructura de estos aceros consiste en martensita, que es la fase dura, y ferrita, que es la fase blanda. La resistencia de estos aceros aumenta según se incrementa el porcentaje de la fase martensítica dura.

La proporción de martensita viene determinada por el contenido en carbono del acero y por el ciclo térmico al que se le haya sometido durante su paso por la línea de recocido continuo.

Material limpio con buenas propiedades

La producción de los aceros Docol UHS requiere muy bajos contenidos en elementos de aleación debido al severo proceso de temple en agua.

Sólo se añaden pequeñas cantidades de carbono y silicio para alcanzar la templabilidad requerida.

El acero resultante se caracteriza por una buena soldabilidad y conformabilidad, así como unas propiedades mecánicas repetitivas. Los aceros

Docol UHS pueden ser cortados, conformados y soldados mediante los métodos convencionales.

Pensados para una producción continua

Los aceros Docol UHS están concebidos para ser usados en los más modernos sistemas de producción continua, en los que las piezas se producen en un proceso progresivo sin paradas para tratamiento de bonificación.

Los aceros Docol UHS utilizados en procesos continuos reducen los costes de manipulación, desaparece el consumo de energía para su tratamiento térmico y mejoran la eficacia y duración del proceso de fabricación.

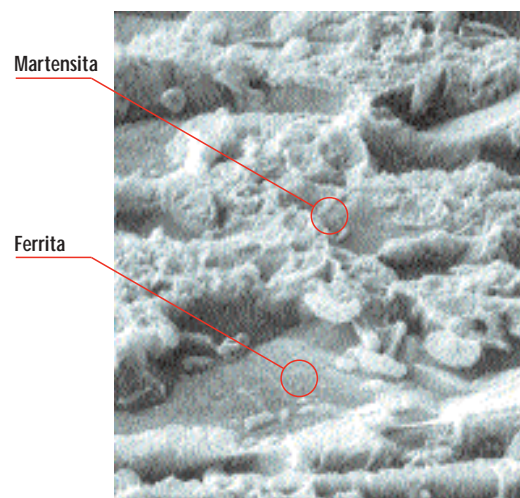
Dado que los aceros Docol UHS han sido bonificados y revenidos antes de su suministro, no necesitan ser tratados térmicamente, pudiendo reemplazar a los aceros altos en carbono bonificables.

Buena conformabilidad

A pesar de su alta resistencia, los aceros Docol-UHS tienen una buena conformabilidad y pueden ser conformados mediante los procesos convencionales.

En muchas ocasiones, el acero DOCOL UHS se utiliza para reducir peso, sustituyendo a un acero de mayor espesor y menor resistencia. El Docol UHS se procesa, a menudo, como el material que reemplaza, dado que es el espesor uno de los factores que determina la fuerza necesaria en los procesos de estampación, doblado y corte.

Los aceros Docol UHS presentan un comportamiento excelente en el perfilado con rodillos. Así, se utiliza un pro-



Micrografía de un acero Docol 800 DP. Tomado en un microscopio electrónico de barrido (X 500). La microestructura muestra las fases martensítica y ferrítica.



ceso de perfilado con el acero Docol 1400 DP para fabricar parachoques de automóviles.

Ventajas para el medio ambiente

El uso de aceros Docol UHS ofrece muchas ventajas medioambientales. Si se alivia el peso de un producto, será necesario el uso de menos material y esto significa un ahorro de energía en producción.

Durante el transporte del acero se requerirá, también, un menor consumo de energía.

Si un acero Docol-UHS es usado para reducir el peso de un vehículo, el consumo de energía y las emisiones de com-

bustión de dicho vehículo se verán también reducidas.

El acero Docol UHS se bonifica mientras se fabrica. Esta circunstancia elimina los costes de calentamiento de los hornos de tratamiento térmico y los riesgos medioambientales asociados a dichos hornos. Además, el acero es completamente reciclable con los métodos actuales.

Muchas aplicaciones

Su alta resistencia hace que los aceros Docol UHS puedan ser utilizados en multitud de aplicaciones en la industria del automóvil, particularmente para piezas de seguridad.

La industria del automóvil usa aceros Docol UHS para componentes como barras de refuerzo lateral, parachoques, asientos y otras partes que exigen la mayor resistencia posible, menor peso posible y mayor capacidad de absorción de energía.

Los aceros Docol UHS se usan también para aplicaciones que demanden una alta resistencia al impacto, golpes y abrasión, tales como cajas antirrobo para ordenadores o cintas transportadoras. Más ejemplos de posibles aplicaciones se pueden ver en el siguiente desplegable.

Aceros avanzados en muchas aplicaciones

Los aceros Docol UHS son aceros de alta tecnología con propiedades avanzadas.

Esto no quiere decir que el uso de los aceros Docol UHS tan solo esté confinado a aplicaciones avanzadas.

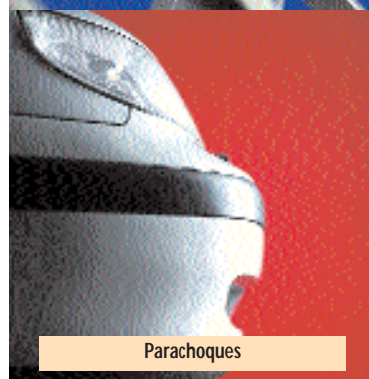
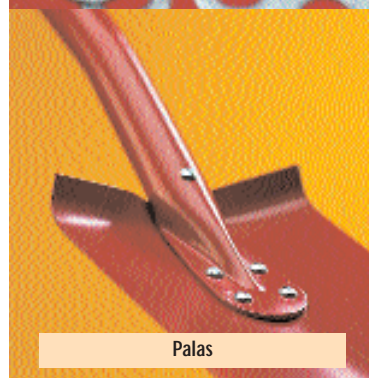
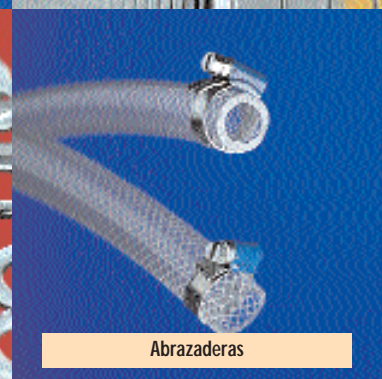
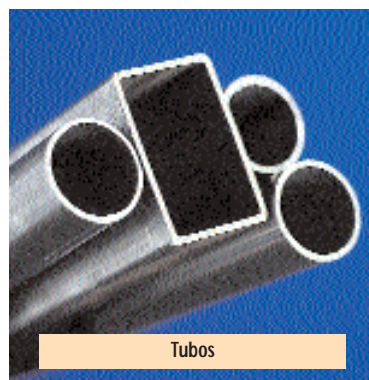
Al contrario, Ud. puede usar los aceros Docol UHS hasta en sus productos más simples.

El cambio al acero Docol UHS es viable, máxime cuando puede ser estampado y trabajado de manera parecida al material usado actualmente, con similar proceso y el mismo equipo que usa en la actualidad.

Los aceros Docol UHS le permiten reducir el coste de material y también el de su producción, mientras logra un producto más ligero y resistente, que ha contribuido a una mejora de las propiedades medioambientales.

Las siguientes ilustraciones muestran ejemplos del uso de los aceros Docol UHS tanto en aplicaciones sencillas como avanzadas.

Pero probablemente usted encontrará mejores ejemplos que le sean más próximos.





Docol UHS Calidades y Dimensiones

Los aceros Docol UHS combinan su alta resistencia con su excelente capacidad para la conformación.

Estos aceros se suministran con cargas de rotura mínimas garantizadas entre 800 N/mm² y 1400 N/mm².

Se puede conseguir un apreciable aumento en el límite elástico de la pieza acabada mediante la utilización de las propiedades de endurecimiento inherentes a estos aceros. Así, hablamos del endurecimiento por deformación en combinación con el endurecimiento por "bake hardening".

Aceros DP y DL

El grupo de aceros Docol UHS incluye dos tipos de aceros los "DP" y los "DL".

Los aceros DP presentan una gran diferencia entre el límite

elástico y la carga de rotura, lo que significa que tienen una buena predisposición a distribuir uniformemente la deformación aplicada durante el trabajado.

Los aceros DL están concebidos de forma que la diferencia entre el valor de su límite elástico y el de su carga de rotura es mayor que en los aceros DP. Como resultado, los aceros DL tienen incluso mejor conformabilidad que los aceros DP.

El número que aparece en la designación del acero se corresponde con la mínima carga de rotura garantizada. La mayor diferencia entre los valores de límite elástico y carga de rotura se da normalmente en las condiciones en que el material se suministra, dicha diferencia se reduce sustancialmente durante la conformación en frío.



Propiedades mecánicas					
Calidad	Límite Elástico $R_p 0.2$, N/mm ² mín.–máx	Límite Elástico después del Bake Hardening $R_p 0.2 + BH^{**}$, N/mm ² mín.	Límite Elástico $R_p 0.2$, N/mm ² mín.–máx.	Alargamiento A_{80} mín.(%)	Radio de doblado recomendado mín. para doblado a 90°
Docol 800 DP	500–(650)	650	800–950	8	1 x Espesor de chapa
Docol 800 DL*	390–(540)	550	800–950	13	1 x
Docol 1000 DP	700–(950)	850	1000–1200	5	3 x
Docol 1000 DL*	500–(750)	650	1000–1200	8	3 x
Docol 1200 DP	950–(1200)	1150	1200–1400	4	4 x
Docol 1400 DP	1150–(1400)	1350	1400–1600	3	4 x

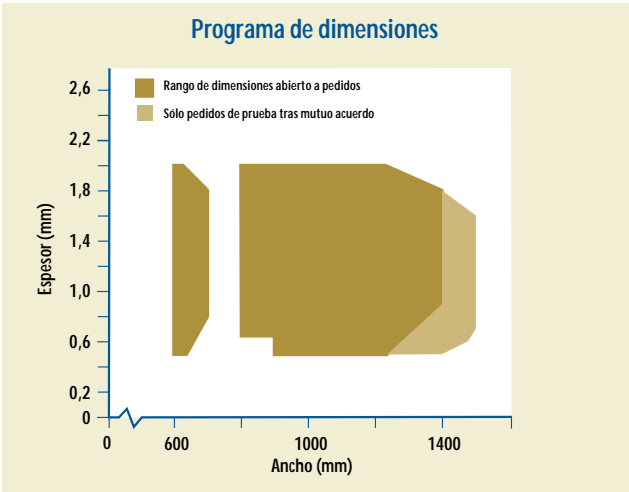
(*) En desarrollo.

(**) BH=Bake Hardening después de 2% de alargamiento y calentamiento a 170°C durante 20 minutos.

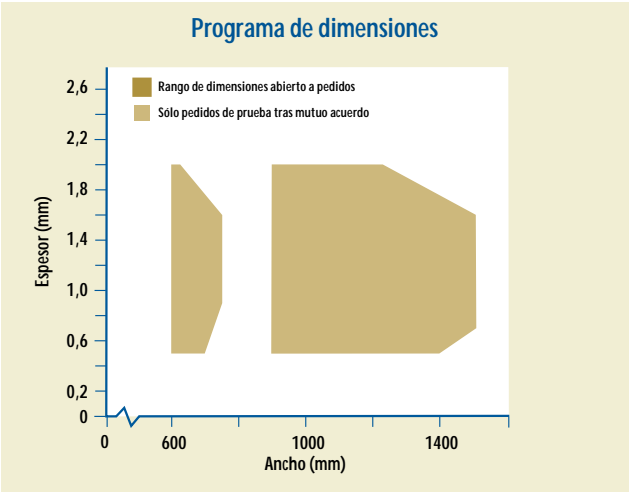
() = Valores no garantizados.

Composición química (valores típicos)							
Calidad	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Nb	% Al _{total}
Docol 800 DP	0,12	0,20	1,50	0,015	0,002	0,015	0,04
Docol 800 DL*	0,14	0,20	1,70	0,015	0,002	0,015	0,04
Docol 1000 DP	0,15	0,50	1,50	0,015	0,002	0,015	0,04
Docol 1000 DL*	0,18	0,20	1,60	0,015	0,002	0,015	0,04
Docol 1200 DP	0,12	0,20	1,60	0,015	0,002	–	0,04
Docol 1400 DP	0,17	0,50	1,60	0,015	0,002	0,015	0,04

(*) En desarrollo.



Docol 800 DL, Docol 1000 DL, Docol 1200 DP y Docol 1400 DP



Docol 1200 DP y Docol 1400 DP

Propiedades Técnicas

Propiedades Técnicas

Cizallado y punzonado	10
Corte por láser	10
Conformado	12
Absorción de energía	16
Envejecimiento	16
Resistencia a golpes e impactos	17
Envejecimiento por deformación y bake hardening	18
Tratamiento térmico	19
Fatiga	20
Soldadura	20
Tratamiento superficial	25



Cizallado y punzonado

Cuando un acero de alta resistencia es cizallado, los parámetros de la operación de cizallado deben de ser adaptados para que se ajusten a la dureza, espesor y resistencia de corte del acero y también el diseño, la rigidez y el desgaste de la cizalla o la máquina que vaya a utilizarse.

La correcta separación entre las cuchillas de la cizalla es particularmente importante. 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 Docol UHS, la separación recomendada entre cuchillas será de aproximadamente un 10% del espesor de la chapa. Una mayor distancia daría lugar a una pulcra superficie de corte, pero también una zona de deformación mayor. La fuerza de corte requerida en Newtons puede ser calculada mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{K_{sk} \cdot t_2}{2 \cdot \tan \eta}$$

Donde, F = Fuerza de corte (N)

K_{sk} = Resistencia de corte ("e" veces la carga de rotura del material)

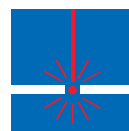
η = Angulo de corte entre los brazos de cizalla

t = Espesor de la chapa

El factor "e" varía con la resistencia a la tracción del material. Los aceros suaves como el DC 01 tienen un $e=0,8$, mientras que en los aceros Docol UHS el valor "e" es de 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 durante el punzonado. Una pequeña holgura incrementa el desgaste de la herramienta lo que significa que las herramientas deben de ser afiladas más a menudo.



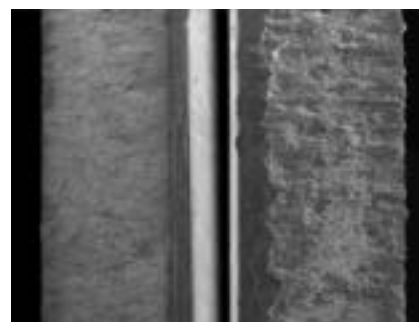
Corte por láser

Las partes realizadas con aceros Docol UHS

pueden tener a menudo geometrías complejas. El corte por láser permite obtener esas complejas formas directamente en el proceso de corte, sin necesidad del consiguiente mecanizado. 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, se han de cumplir estrictos requisitos durante la preparación del equipo de corte, así como en el material que va a cortarse. Uno de los factores que más afecta a los resultados finales del corte por láser es la calidad superficial de la chapa.

Superficie

La limpieza de la superficie de la chapa es uno de los factores más importantes para alcanzar una alta calidad en la superfi-



10% del espesor de la chapa 6% del espesor de la chapa

La importancia de la correcta holgura entre cuchillas queda reflejada en la apariencia del borde cortado en el Docol 1400 DP

Calidad inicial	Espesor relativo										
	Calidad final										
	DC01	DC04	Docol 220 BH	Docol 260 BH	Docol 300 BH	Docol 280 YP	Docol 350 YP	Docol 800 DP	Docol 1000 DP	Docol 1200 DP	Docol 1400 DP
DC01	1,00	1,14	1,03	0,95	0,89	0,92	0,82	0,69	0,58	0,50	0,45
DC04	0,88	1,00	0,90	0,83	0,77	0,80	0,72	0,60	0,51	0,44	0,40
Docol 220 BH	1,12	1,12	1,00	0,95	0,90	0,96	0,91	0,65	0,58	0,53	0,49
Docol 260 BH	1,05	1,20	1,09	1,00	0,93	0,96	0,86	0,72	0,61	0,52	0,48
Docol 300 BH	1,13	1,29	1,17	1,07	1,00	1,04	0,93	0,77	0,65	0,56	0,51
Docol 280 YP	1,09	1,25	1,13	1,04	0,97	1,00	0,89	0,75	0,63	0,54	0,49
Docol 350 YP	1,22	1,39	1,26	1,16	1,08	1,12	1,00	0,84	0,71	0,61	0,55
Docol 800 DP	1,46	1,67	1,51	1,39	1,29	1,34	1,20	1,00	0,85	0,73	0,66
Docol 1000 DP	1,73	1,97	1,78	1,64	1,53	1,58	1,41	1,18	1,00	0,86	0,78
Docol 1200 DP	2,01	2,30	2,08	1,91	1,78	1,84	1,65	1,38	1,16	1,00	0,91
Docol 1400 DP	2,21	2,53	2,29	2,10	1,96	2,03	1,81	1,52	1,28	1,10	1,00

Fuerza de corte relativa											
DC01	1,00	1,31	1,35	1,27	1,22	1,15	1,02	1,04	0,93	0,82	0,79
DC04	0,77	1,00	1,03	0,97	0,93	0,88	0,78	0,80	0,71	0,63	0,61
Docol 220 BH	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75
Docol 260 BH	0,79	1,03	1,06	1,00	0,96	0,90	0,80	0,82	0,73	0,65	0,62
Docol 300 BH	0,82	1,07	1,10	1,04	1,00	0,94	0,84	0,86	0,77	0,68	0,65
Docol 280 YP	0,87	1,14	1,17	1,11	1,06	1,00	0,89	0,91	0,81	0,72	0,69
Docol 350 YP	0,98	1,28	1,32	1,25	1,20	1,13	1,00	1,02	0,91	0,81	0,78
Docol 800 DP	0,96	1,25	1,29	1,22	1,17	1,10	0,98	1,00	0,89	0,79	0,76
Docol 1000 DP	1,07	1,40	1,44	1,36	1,31	1,23	1,09	1,12	1,00	0,88	0,85
Docol 1200 DP	1,21	1,58	1,63	1,54	1,48	1,39	1,24	1,27	1,13	1,00	0,96
Docol 1400 DP	1,26	1,64	1,69	1,60	1,53	1,45	1,28	1,31	1,17	1,04	1,00

Uso de la tabla: En un cambio de calidad desde un DC04 a un Docol 800 DP, el espesor puede reducirse en un 60%. Como resultado, la fuerza de corte sería un 80% de la que se necesitaría para el DC04.

cie cortada, p.e., una pequeña desviación angular (conicidad μ) y una superficie de corte lisa (Rz). Una superficie limpia produce las mejores propiedades de corte, es decir, calidad de corte y economía de producción.

Resultado de Ensayos

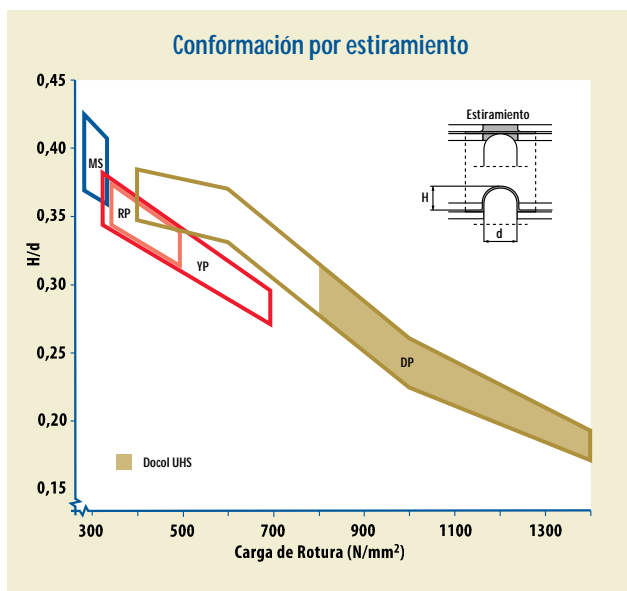
La popularidad del corte por láser como método de corte ha aumentado significativamente durante los últimos años. Debido a este hecho, SSAB Tunnplåt ha realizado estudios sobre el comportamiento y propiedades de los aceros Docol UHS cuando son corta-

dos por láser. 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 compañías que se dedican a esa actividad. Los resultados de estos estudios podrían resumirse como sigue:

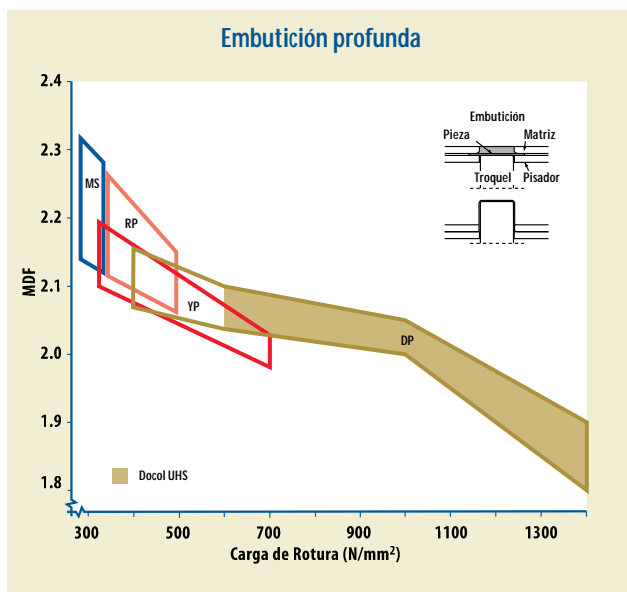
- No es necesario el establecimiento de parámetros especiales para el corte de aceros Docol UHS.
- Los aceros Docol UHS cumplen con los requisitos de la mayor calidad de bordes cortados por láser, recogida por la norma DIN 2310,

parte 5. Esta aplica tanto a la rugosidad superficial como a la conicidad.

- Los aceros Docol UHS no contienen inclusiones que pudieran ir en detrimento de los resultados del 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. La zona está tan próxima al borde y es tan estrecha que será eliminada durante el subsiguiente proceso de soldadura.



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 Docol YP, RP y DP. La figura muestra la buena conformabilidad de los aceros Docol UHS.



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 Docol YP, RP y DP. La figura muestra la buena embutibilidad de los aceros Docol UHS.



Conformación

A pesar de su alta dureza, los aceros Docol

UHS tienen una buena conformabilidad y pueden ser deformados en la forma tradicional. Su algo menor conformabilidad comparada con los aceros suaves se puede compensar, casi siempre, mediante una modificación del diseño del componente.

Conformado por Estiramiento

En la conformación 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 del espesor. La rotura se producirá si la deformación local es excesiva. Las propiedades de la conformación por alargamiento dependen principalmente de la capacidad del material en redistribuir la tensión.

Existe una relación próxima entre las propiedades de conformación del material por alargamiento y su capacidad de endurecimiento por deformación, p.e., cuanto mayor sea el endurecimiento por deformación de un material, mejor será la distribución de las tensiones y también mejores serán las propiedades de conformación por estiramiento.

Como quiera que los aceros Docol UHS admiten un alto endurecimiento por deformación, el material tendrá también mejores propiedades de conformación por estiramiento que otros aceros de resistencia comparable.

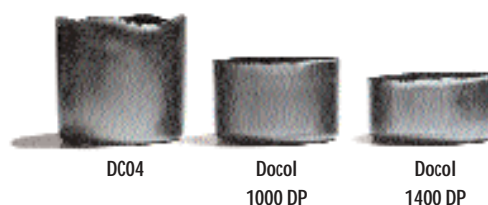
Embutición Profunda

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 de presión tan solo sujeta para que no se produzcan arrugas.

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 cambia la pared 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 al fallo.

La conformabilidad de los aceros Docol UHS es tan buena como, o en cierta manera mejor, que la de otros aceros de resistencia comparable.



La figura muestra la buena embutibilidad de los aceros Docol UHS.

Expansionado de Agujeros

La relación entre el diámetro después del expansionado y el diámetro original es conocido 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 es 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.

Como quiera que la fibra externa de un material fino de forma menos que la de un material grueso, un material más

fino puede resistir un mayor índice de expansión que un material más grueso con el mismo diámetro interno del agujero expandido.

Para alcanzar los mejores resultados en operaciones de expansión en aceros Docol UHS, se recomienda un mayor radio en el cuello (1,5–2xt) que el usado para los aceros suaves. Desde el punto de vista práctico se recomienda una mayor holgura entre la matriz y el punzón.

Doblado

Durante el proceso de doblado se aplica un momento flector a la chapa y la cara externa de la

chapa experimenta un tensión de tracción mientras que la cara interna esta sometida a compresión. La plegabilidad disminuye con el incremento de la resistencia del material. La capacidad de plegabilidad de los aceros Docol UHS entre la dirección longitudinal y trasversal a la dirección de la laminación es relativamente grande. El correcto radio del punzón combinado con una correcta abertura de la matriz resultan particularmente importantes cuando plegamos aceros Docol UHS.

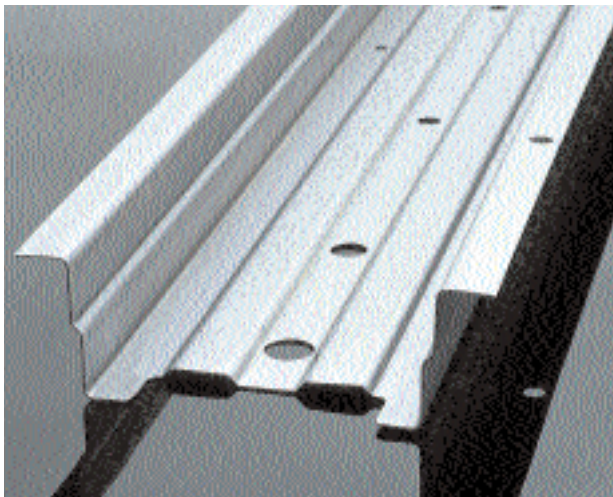
Resultado de una investigación sobre la plegabilidad de los aceros Docol UHS en 1,5 mm. Por razones de seguridad recomendamos que la operación de doblado se realice con el mínimo diámetro interno mostrado en la tabla de la página 9.

Plegabilidad en la dirección transversal a la laminación. Chapas de 1,5 mm de espesor							
Radio del Punzón R (mm)	R/t	Apertura de Matriz Ancho, W (mm)	W/t	Docol 800 DP	Docol 1000 DP	Docol 1200 DP	Docol 1400 DP
1	0,67	9	6,0				
1		12	8,1				
1		16	10,8				
1		24	16,2				
3	2,00	12	8,1				
3		16	10,8				
3		24	16,2				
5	3,33	12	8,1				
5		16	10,8				
5		24	16,2				

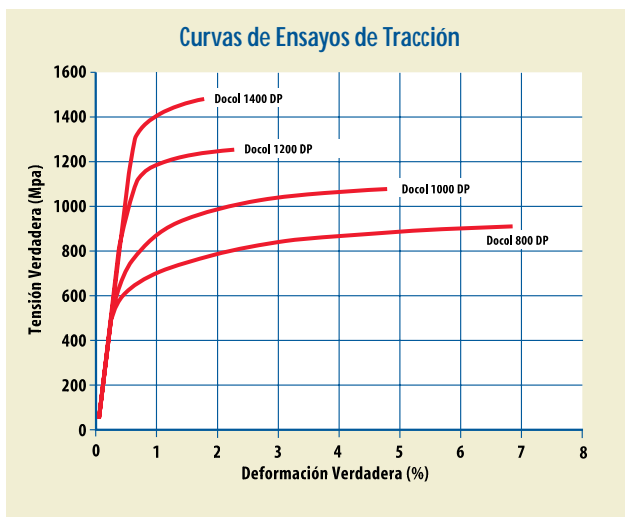
Satisfactorio Contracciones locales/Grietas t = espesor

Plegabilidad en la dirección transversal a la laminación. Chapas de 1,5 mm de espesor							
Radio del Punzón R (mm)	R/t	Apertura de Matriz Ancho, W (mm)	W/t	Docol 800 DP	Docol 1000 DP	Docol 1200 DP	Docol 1400 DP
1	0,67	9	6,0				
1		12	8,1				
1		16	10,8				
1		24	16,2				
3	2,00	12	8,1				
3		16	10,8				
3		24	16,2				
5	3,33	12	8,1				
5		16	10,8				
5		24	16,2				

Satisfactorio Contracciones locales/Grietas t = espesor



Larguero para camión Volvo en Docol 800 DP, espesor 1,25



Perfilado por Rodillos

El perfilado es la técnica de conformación que mejor encaja con los aceros Docol UHS. 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 simultáneas, o progresivas, tales como, punzonado, soldadura y plegado.

Debido a la alta resistencia de los aceros Docol UHS, su retorno elástico es mayor que el de los aceros suaves, y esto también 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 Docol UHS.

Curvas de tracción

Las curvas procedentes del ensayo convencional de tracción se utilizan para diferentes tipos de ensayos por el método de análisis por elementos finitos (FEM), e.g. cálculos de 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 niveles de tensión y deformación están compensados por los efectos de reducción de área durante el ensayo de tracción. Aceros con mayor resistencia tendrán un mayor nivel de tensión para una deformación dada.

Curvas de Máxima Deformación

Las curvas de máxima deformación (FLC) muestran la cantidad de deformación que el material puede soportar durante la aplicación de una defor-

mación o bajo un determinado estado tensional.

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, p.e., aquella en la cual se ha producido la mayor deformación, que se designa e_{max} , y la que resulta en la dirección perpendicular a la primera, que se designa e_{min} .

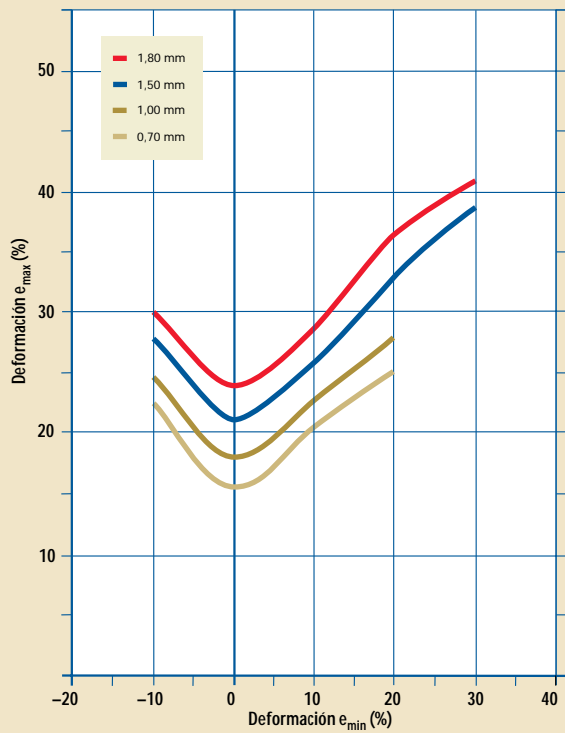
Si se produce un aumento en ambas direcciones, se trata de un proceso de estiramiento, y su representación estaría en la parte positiva del eje de abcisas en la curva FLD.

Las medidas con un valor negativo de e_{min} y un incremento positivo de la e_{max} estarían representadas a la izquierda de la línea cero de abcisas en la curva FLD y definen un proceso de embutición profunda.

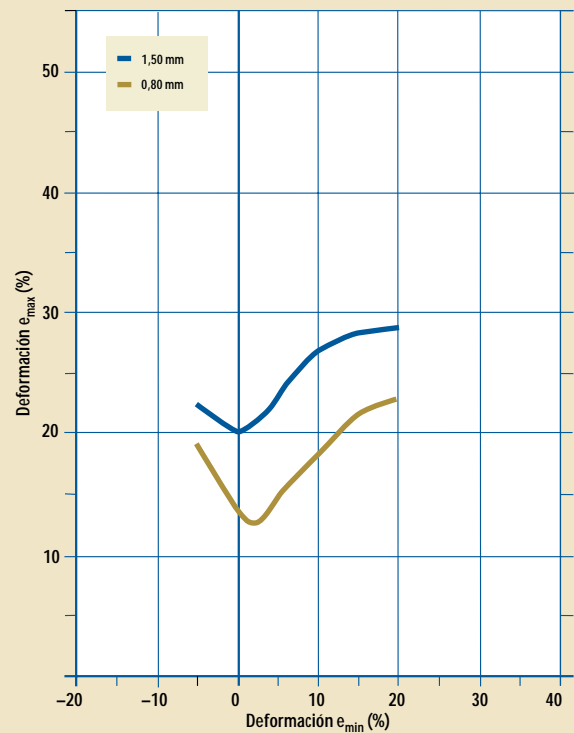
Las curvas dependen del espesor del material y, por tanto, deberían ser calculadas para los espesores mas relevantes. El resultado para una determinada operación de estampación será representado y comparado con la curva del material-espesor de que se trate. Si el resultado está por debajo de la curva del material elegido, este podrá soportar la deformación.

Curvas de deformación límite (FLC) para Docol UHS Deformación verdadera

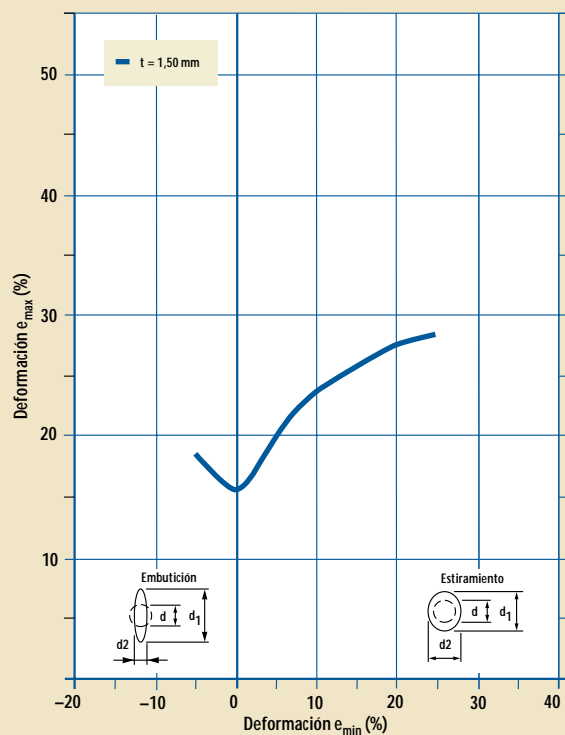
Docol 800 DP



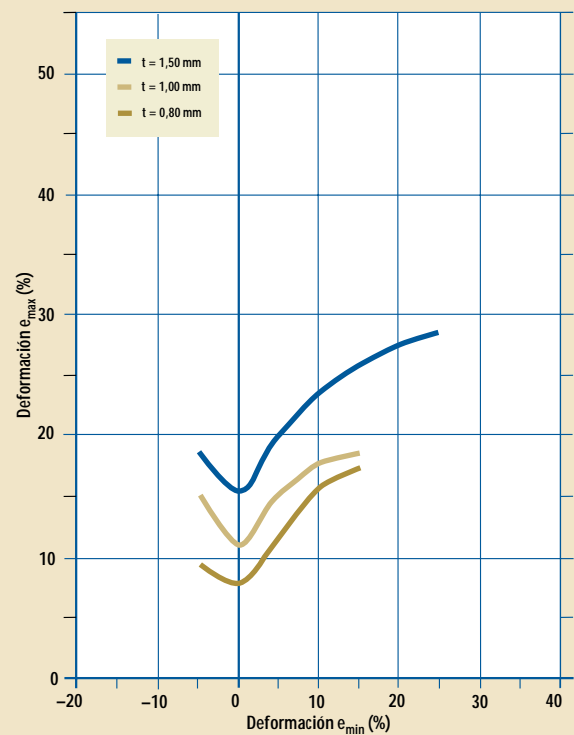
Docol 1000 DP



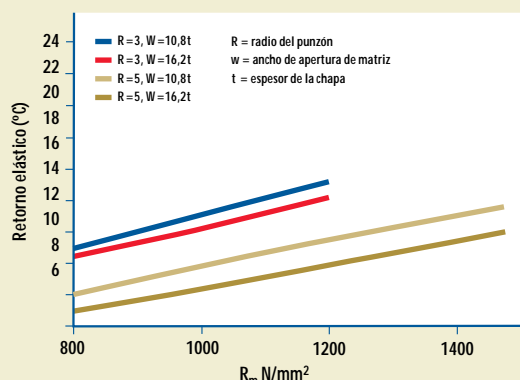
Docol 1200 DP



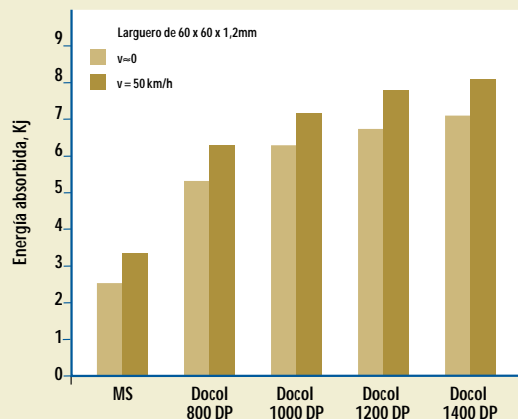
Docol 1400 DP



Retorno elástico en Docol UHS cuando se produce un plegado A 90° (T= 1,5 mm)



Capacidad de absorción de energía Docol UHS



El diagrama de barras muestra la energía absorbida por un larguero de 60x60x1,2 mm a dos velocidades diferentes.

Retorno elástico

El retorno elástico se incrementa cuando se produce el cambio desde un acero suave a un acero de más alta resistencia. El retorno elástico está influido no sólo por la resistencia del material, sino también por el tipo de herramienta utilizado. Un aumento en la resistencia del material, en el radio del punzón o una mayor abertura de la matriz induce un mayor retorno elástico. Una disminución en el 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 la disminución de la distancia entre apoyos en la matriz. También podría ser reducido por la introducción de buñas y otros rigidizadores.



Absorción de energía

La capacidad de absorción de energía de los componentes de seguridad de los coches depende de la calidad del acero utilizado en la fabricación del componente. Como resultado de esto, se podría afirmar que el espesor del acero en componentes tales como barras de refuerzo lateral cargadas axialmente o barra anti-impacto en puertas puede ser reducido sustancialmente mediante el uso de aceros Docol UHS en vez de aceros suaves.

Como regla nemotécnica, se podría reducir el peso en un 30–40% si se usa un Docol 1000 DP y en un 40–50% si se usa un Docol 1400 DP en lugar de aceros suaves en componen-

tes en los que se requiere absorción de energía.

La geometría de la sección transversal, el espesor de la chapa y la resistencia del acero son factores que afectan a la capacidad de absorción de energía en un determinado componente.

Las propiedades mecánicas del acero se mejoran al aplicarle altas velocidades de deformación. Como resultado, la capacidad de absorción de energía aumenta ante un caso de choque.

La capacidad de energía de un componente puede determinarse mediante el llamado método de análisis por elementos finitos (FEM): Varias combinaciones de materiales y geometrías pueden ser simulados con antelación a la producción del prototipo.

Una forma de medir la capacidad de absorción de energía de una barra de refuerzo en una puerta acabada es mediante un ensayo estático de doblado sobre tres puntos de apoyo. La fuerza se mide como una función de la deformación hasta que ésta alcance un valor previamente determinado, pudiendo a partir de aquí calcular la energía.



Envejecimiento

Los aceros Docol UHS no envejecen, lo que

es imputable a la estructura del material. Este tipo de acero consiste en dos fases, una de ellas dura (martensita) y otra blanda (ferrita).

La diferencia en la dureza de estas dos fases contrarresta la aparición del fenómeno de envejecimiento normal, que no es más que el aumento del límite elástico del acero como consecuencia de la existencia de átomos libres de carbono y/o

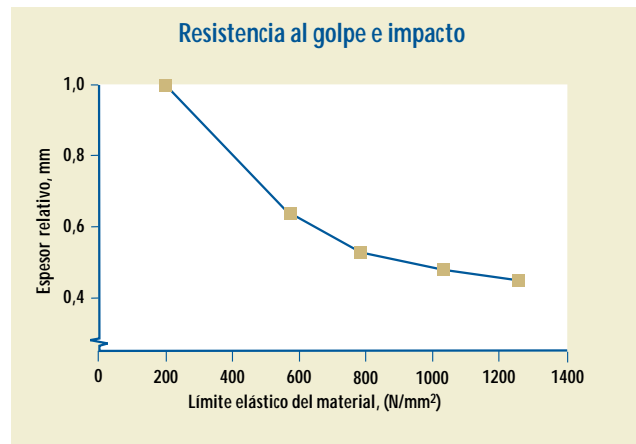
nitrógeno, capaces de producir el anclaje de dislocaciones. Este fenómeno se puede reproducir durante el almacenaje de un acero a temperatura ambiente.



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. El techo de un coche, p.e., debe de ser capaz de admitir una moderada cantidad de golpes e impactos sin que se produzca en él una deforma-

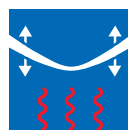
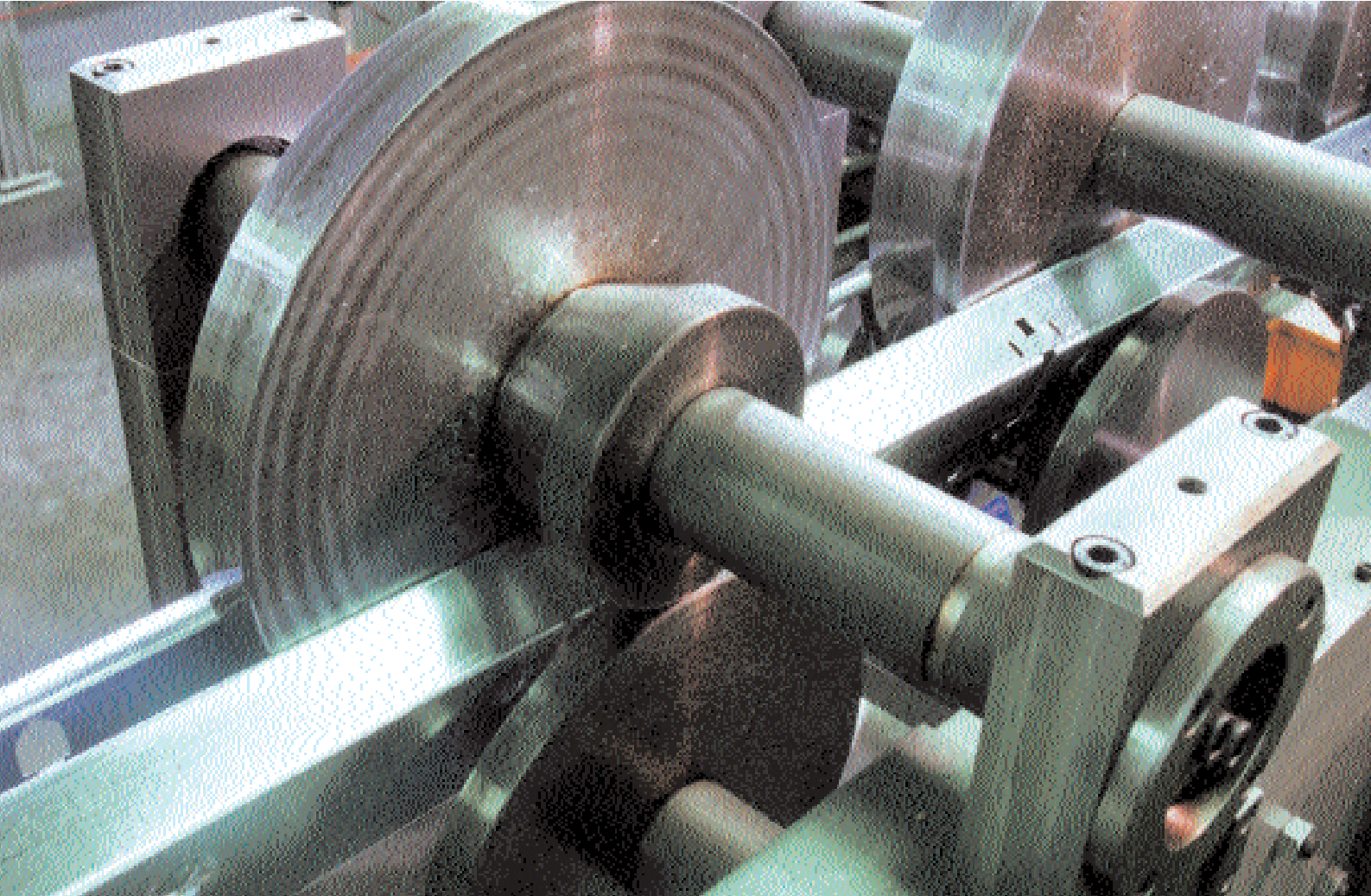
ción permanente. El límite elástico del material determina la resistencia del área objeto de impacto. La figura muestra el espesor relativo en el que el acero Docol UHS tendría igual o equivalente resistencia al impacto que un acero suave (límite elástico de 220 N/mm²). Indirectamente nos diría también cual es el peso de material que puede ser reducido si cambiamos a un Docol UHS.



El incremento de retorno elástico de un acero Docol UHS puede ser utilizado para mejorar un producto. La caja antirrobo para ordenadores está realizada en Docol 1000 DP y Docol 1400 DP. Además de ser más difícil de serrar

que la realizada en acero suave, en esta caja el retorno elástico del acero Docol UHS hace más difícil levantar la tapa. Se recupera como si se tratara de un cepo.





Endurecimiento por deformación y "bake hardening"

Se puede alcanzar un interesante incremento en el límite elástico utilizando las propiedades del endurecimiento por deformación y las del endurecimiento por "bake hardening" de los aceros Docol UHS.

El endurecimiento causado por una deformación del 2% puede incrementar el límite elástico de los aceros Docol UHS en más de 100 N/mm². El endurecimiento por deformación depende del nivel de deformación y de la calidad del acero.

El nivel de endurecimiento

por deformación contribuye más al incremento total del límite elástico alcanzado que el tiempo de tratamiento térmico y la temperatura.

Una deformación del 10% provoca un incremento en el límite elástico en un Docol 800 DP de alrededor de 400 N/mm².

El endurecimiento por Bake hardening obtenido al someter a un acero Docol UHS a una temperatura de 170°C durante 20 minutos incrementa el límite elástico alrededor de 30 N/mm².

Conformado y pintado

Dado que las piezas conformadas son posteriormente pintadas, las ventajas del endurecimiento por deformación y por "bake hardening" en los aceros Docol UHS pueden ser utiliza-

das favorablemente.

El endurecimiento por deformación ocurre durante el proceso de conformado y el "bake hardening" se exterioriza durante la etapa de curado en el proceso de pintado, siempre que éste se realice a alta temperatura.

Conformación de tubos y perfilado con rodillos

La conformación de tubos y otros perfilados son operaciones típicas en las que las propiedades del endurecimiento por deformación de los aceros Docol UHS pueden ser rentabilizadas de la forma más conveniente.

Estas operaciones de deformación se llevan a cabo de

forma controlada, lo que permite un incremento del límite elástico y de la carga de rotura de la pieza acabada.

Dado que la magnitud de la deformación es conocida y controlada, el incremento de la resistencia puede usarse en el diseño de la pieza acabada.

Si las piezas acabadas son tratadas térmicamente, p.e. a la par de un tratamiento superficial, será previsible un aumento en resistencia.

Cálculo Dimensional

El endurecimiento por deformación en combinación con el “bake hardening” pueden ser siempre considerados en el diseño estático.

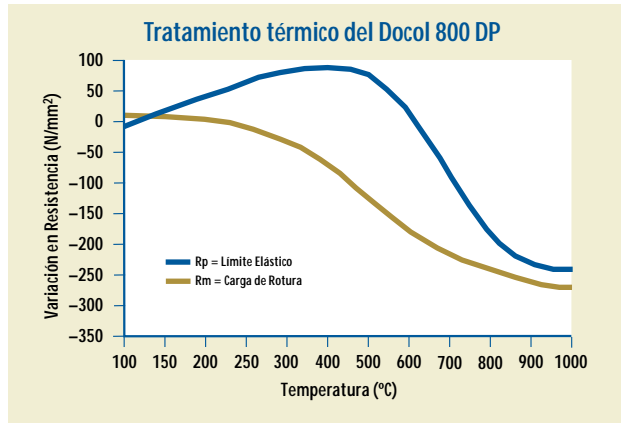
El aumento del límite elástico adquiere también relevancia durante el diseño a fatiga.

Tratamiento

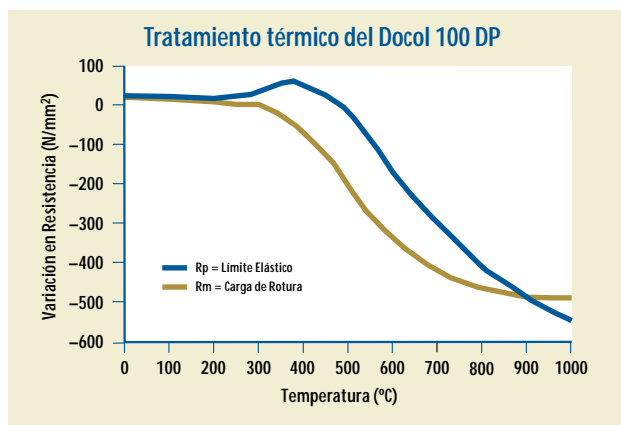
300° **térmico**

Docol 800 DP y Docol 1000 DP pueden ser calentados hasta 300°C sin que sus propiedades sufran alteración alguna. Si el acero es calentado más allá de este punto, su resistencia disminuirá gradualmente con el aumento de la temperatura.

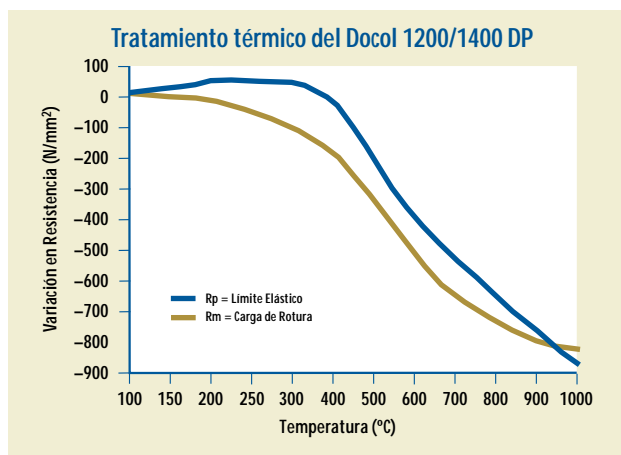
Docol 1200 DP y Docol 1400 DP pueden ser calentados hasta aproximadamente 200°C, pero se corre el riesgo de modificar sus propiedades. Por encima de los 200°C su resistencia disminuirá más deprisa que en el caso del Docol 800 DP y Docol 1000 DP.



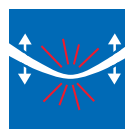
Los diagramas muestran cómo la resistencia del Docol 800 DP cambia por el calentamiento.



Los diagramas muestran cómo la resistencia del Docol 1000 DP cambia por el calentamiento.



Los diagramas muestran cómo la resistencia del Docol 1200 DP y Docol 1400 DP cambia por el calentamiento.



Fatiga

Un cuidadoso análisis de la carga sometida a

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 las soldaduras-, sirven de base para la correcta utilización de los aceros de alta resistencia.

Asumiendo constante la máxima amplitud de carga, se produciría un sustancial sobre-dimensionamiento 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.

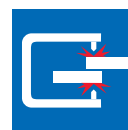
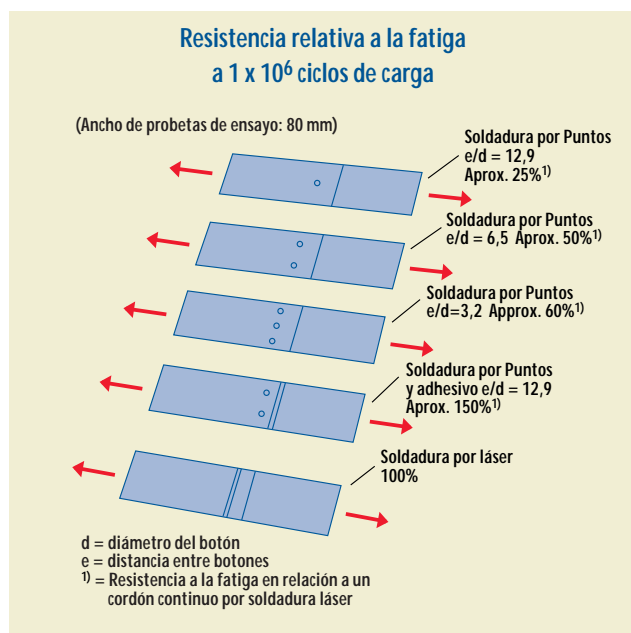
Diseño Correcto:

- Use el efecto loncha en la aplicación de cargas, siempre que sea posible
- Asegure una distribución de carga uniforme a través de la estructura.
- Evite súbitos cambios de rigidez o cambios abruptos de secciones transversales.
- La aplicación de carga es a menudo crítica; diseñe con cuidado.
- Asegúrese de 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 de que la calidad de soldadura es buena (la

calidad de la producción debe mantenerse bajo control).

En chapas finas de materiales como los aceros Docol UHS un buen diseño incluye:

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



Soldadura de los aceros Docol UHS

Los aceros Docol UHS se sueldan

normalmente a los aceros suaves (soldadura duro/blando).

A veces es necesario soldar estos aceros a otros similares (soldadura duro/duro), como por ejemplo diferentes tipos de perfiles cerrados.

Todos los métodos convencionales de soldadura pueden ser usados en los aceros Docol UHS

Los aceros Docol UHS pueden ser soldados usando cualquiera de las técnicas de soldadura más comunes, tales como soldadura por puntos, soldadura MAG, soldadura por láser o soldadura por alta frecuencia.

Los aceros Docol UHS deben su alta soldabilidad a su bajo contenido en elementos de aleación en relación a su alta resistencia, lo que minimiza el riesgo de agrietamientos y otros defectos.

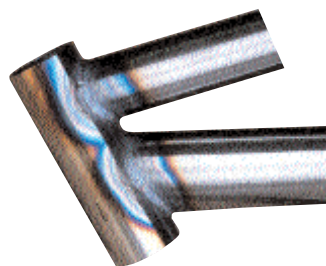
Soldadura por puntos

La soldadura por puntos es una modalidad de soldadura por resistencia, y además es el método más ampliamente utilizado para soldar aceros de alta resistencia laminados en frío.

Para que un acero sea considerado soldable mediante soldadura por puntos, es importante que el rango de corriente permitido sea lo suficientemente amplio. El rango debería ser de al menos 1kA.

La soldadura por puntos de un acero Docol UHS con un acero suave no produce problemas. El rango de corriente permitido es muy amplio, y se produce el arranque de botón completo en el ensayo de tracción en cruz (un botón completo será retirado de una de las chapas durante el ensayo). La resistencia de la soldadura es, al menos, la misma que la del acero suave.

Cuando un acero UHS se suelda a otro acero UHS (soldadura duro/duro), el rango de corriente permitido es también amplio. En aceros Docol UHS de más alta resistencia no



Detalle de soldadura en Docol UHS

siempre se produce el arranque de botón completo durante el ensayo de tracción en cruz. El arranque de material en el botón de soldadura es parcial. A este estadio se le reconoce como arranque parcial de botón.

Rango de corriente permitidos en soldadura por puntos³⁾ en aceros Docol UHS

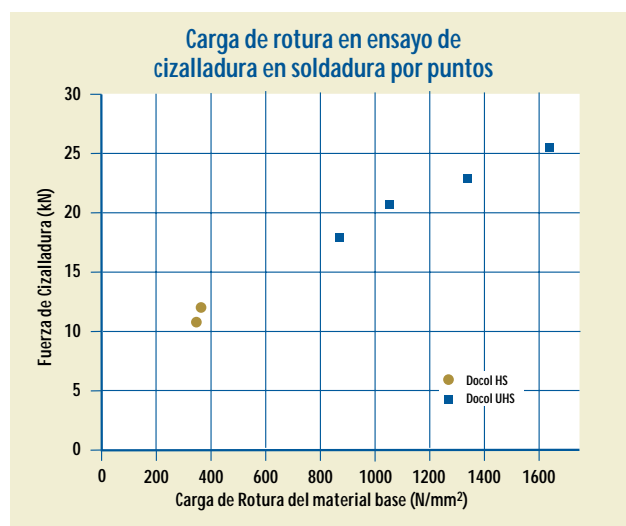
Acero 1	Acero 2	Espesor (Acero 1/ Acero 2) (mm)	Corriente de Soldadura Permitida ¹⁾		Parámetros de Soldadura				Comentarios
			Rango (kA)	Min-max (kA)	Diámetro del electrodo (mm)	Fuerza del Electrodo (N)	Tiempo de Soldadura (ciclos)	Tiempo de mantenimiento (ciclos)	
Docol 800 DP	Docol 800 DP	1,0/1,0	2,0	6,4–8,4	6	4000	12	10	Duro/duro
Docol 800 DP	Docol 220 DP	1,5/1,5	2,6	5,9–8,5	6	3500	15	10	Duro/duro
Docol 800 DP	Docol 800 DP	1,5/1,5	2,1	5,7–7,8	6	4000	20	10	Duro/duro
Docol 800 DP	DC01	2,0/2,0	3,4	9,9–13,3	9	6300	20	10	Duro/duro
Docol 800 DP	Docol 800 DP	2,0/2,0	3,0	7,8–10,8	9	6300	20	10	Duro/duro
Docol 1000 DP	DC01	0,8/0,8	2,5	5,2–7,7	5	3000	8	10	Duro/duro
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	0,8/0,8	3,0	4,7–7,7	5	3000	11	10	Duro/duro
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	1,5/1,5	2,2	5,8–8,0	6	4500	19	10	Duro/duro
Docol 1000 DP	Dogal 220 RP ²⁾	2,0/2,0	3,0	7,4–10,4	8	5600	19	10	Duro/duro
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	2,0/2,0	2,4	7,8–10,2	9	6300	20	10	Duro/duro
Docol 1200 DP	DC01	1,5/1,5	2,7	9,4–12,1	8	5000	15	10	Duro/duro
Docol 1200 DP	Docol 1200 DP	1,5/1,5	2,5	6,2–8,7	6	4500	15	10	Duro/duro
Docol 1400 DP	Docol 220 DP	1,5/1,5	2,5	7,5–10,0	8	3500	15	10	Duro/duro
Docol 1400 DP	Docol 1400 DP	1,5/1,5	3,2	8,6–11,8	8	6000	17	10	Duro/duro

1) Valor mínimo: Corriente que origina un botón con diámetro mínimo del 70% del diámetro del electrodo. Valor máximo: máxima corriente sin proyecciones.

2) Capa de zinc Z 140 (10µm).

3) Las soldaduras por puntos se producen por medio de máquinas de corriente alterna -CA- unifase. Las medidas se basan en el ensayo de tracción en cruz.

Carga de rotura en el ensayo de cizalladura de soldadura por puntos en aceros Docol UHS comparado con otro acero de alta resistencia. Diámetro del botón: aprox. 5,5 mm. Espesor de la chapa 1,5–1.6mm.



Resistencia de la soldadura por puntos

La resistencia a cizalladura de la soldadura por puntos en los aceros Docol UHS es mayor que la soldadura por puntos en aceros de menor resistencia. Esto queda ilustrado en el gráfico anterior. Varios aceros han sido soldados a otros aceros de calidad similar, p.e. duro/duro. Queda claramente ilustrado que la resistencia a cizalladura de la soldadura por puntos aumenta con el aumento de la resistencia de los aceros a ser soldados. La resistencia al ensayo de cincelado es menor que la resistencia de cizalladura en la soldadura por puntos, y el diseño debería ser siempre tal, que las soldaduras por puntos

estuvieran sujetas a cargas de cizalladura. Esto también permite que pueda utilizarse la mayor resistencia de los aceros.

Parámetros recomendados en soldadura por puntos

Cuando se realiza una soldadura por puntos entre aceros Docol UHS y aceros suaves, pueden usarse los mismos parámetros de soldadura que los usados en la soldadura de aceros suaves. Sin embargo, la presión del electrodo deberá de ser incrementada entre un 20%–30%. Para asegurar una buena soldadura cuando un acero Docol UHS es soldado a otro acero Docol UHS (acero duro/duro), la presión del electrodo deberá incrementarse en

un 40–50% respecto a la presión que se aplica cuando se sueldan aceros suaves y el tiempo de soldadura debería ser también mayor.

Soldadura por fusión

En la soldadura por fusión MAG, TIG o soldadura por plasma de los aceros Docol UHS no se producen normalmente problemas de agrietamiento u otros defectos, debido, principalmente, al bajo contenido de elementos de aleación en estos aceros. Esto aplica tanto a la soldadura con aceros suaves como a la soldadura con el mismo tipo de aceros.

Cuando se sueldan a un acero suave, la resistencia de la junta soldada estará determinada por la del acero suave.

Cuando un acero Docol UHS es soldado por fusión a otro acero de la misma calidad, la resistencia de la junta soldada será mucho mayor que la resultante entre otros aceros de alta resistencia.

El gráfico anterior muestra los resultados de la soldadura MAG entre dos aceros Docol UHS de la misma calidad frente a los resultados obtenidos al soldar dos aceros de alta resistencia. Se ilustra claramente que la soldadura entre aceros Docol UHS tienen una mayor resistencia que la de los otros aceros.

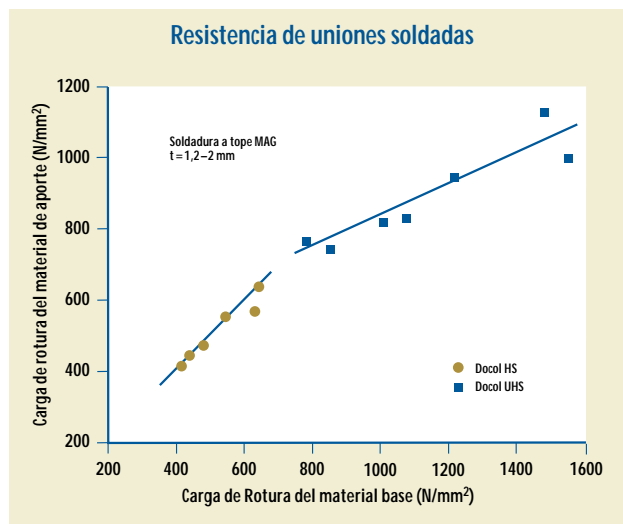
Ejemplos de materiales de aporte para Docol UHS		
Soldadura Manual por arco (MMA)	Soldadura por arco con gas protector (MAG)	Fabricante
OK 75.75	OK Autrod 13.13 OK Autrod 13.29 OK Autrod 13.31	ESAB
Filarc 118 P 110 MR Maxeta 110 Tenacito 80	Elgamatic 135 Carbofil NiMoCr Spoolcord TD-T90	Filarc ELGA Oerlikon

Sin embargo, la resistencia de la soldadura de los aceros Docol UHS no alcanza los valores del material base.

La razón es que se producen zonas blandas adyacentes a la soldadura y en ellas la resistencia es menor (ver curvas de dureza en el gráfico de arriba)

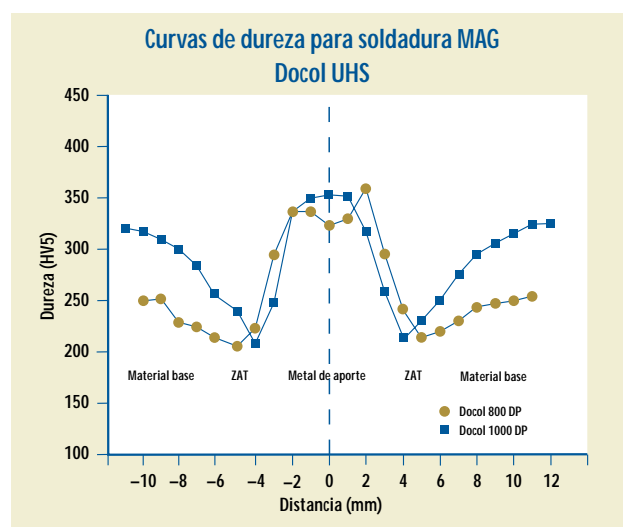
La mayor resistencia es para el Docol 1400 DP, el cual también tiene la mayor resistencia del material base.

Cuando un acero Docol UHS es soldado mediante MAG, se pueden usar los mismos parámetros de soldadura que los usados para aceros suaves o para aceros de alta resistencia.

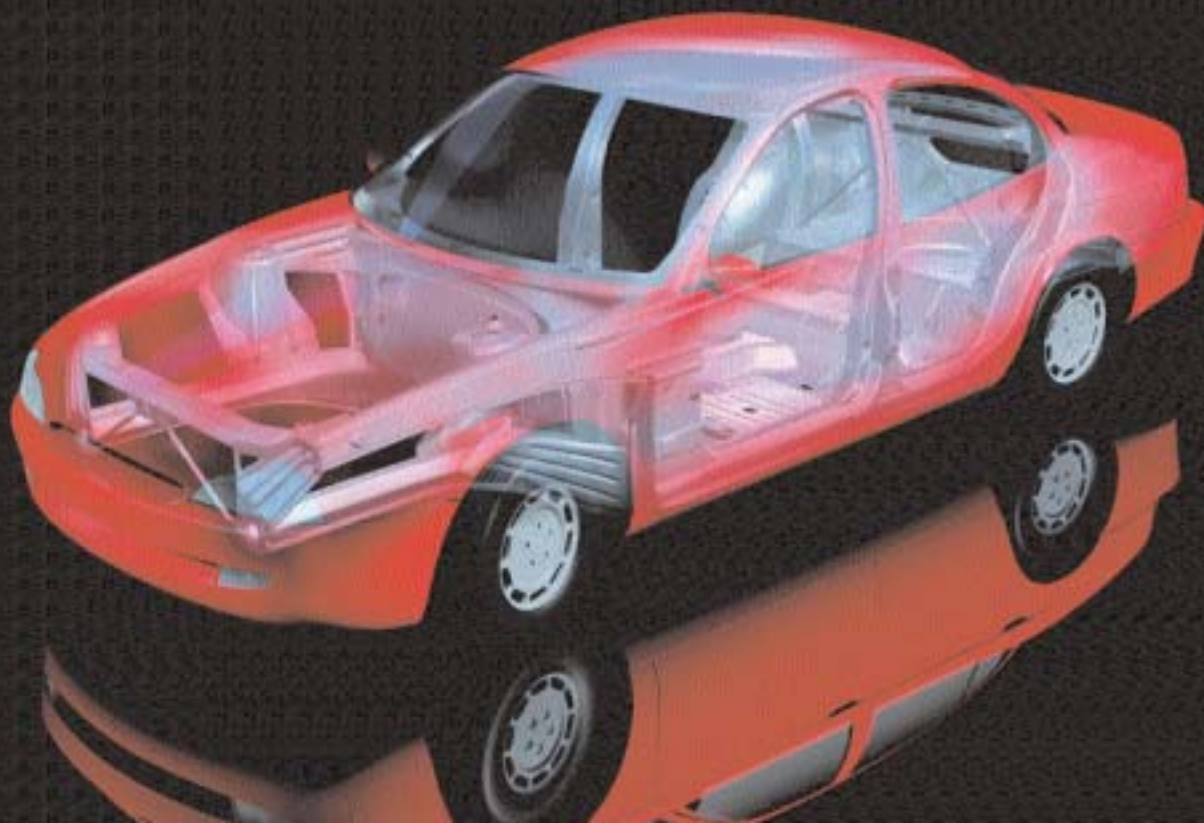


Resistencia de junta soldada en aceros Docol UHS comparada con otros aceros Docol de alta resistencia (dos aceros de la misma calidad soldados entre sí, sometidos a tracción perpendicular a la sección de la soldadura, con sobrecordon de soldadura amolado).

Parámetros de soldadura: MAG, alambre macizo calibrado, una sola pasada, mezcla de gases de protección, aporte de calor de 0,11-0,17 kJ/mm.



Curvas de dureza para una soldadura MAG en aceros Docol UHS (Docol 800DP, t=2,0mm y Docol 1000DP, t=2,0mm). Soldaduras a tope, dos aceros de la misma calidad soldados entre sí. Parámetros de soldadura: MAG, alambre macizo calibrado, una sola pasada, mezcla de gases de protección, aporte de calor de 0,16 kJ/mm.



Soldadura por láser

Los aceros Docol UHS pueden ser soldados por láser tanto a aceros suaves como a aceros de su misma calidad. Desde el aspecto de la soldadura, la soldadura por láser de los aceros Docol UHS es similar a la soldadura de los aceros suaves. Una de las ventajas de la soldadura láser es que la resistencia en la soldadura de los aceros Docol UHS puede ser más elevada que la obtenida mediante el proceso de soldadura MAG.

Las uniones soldadas por láser en el Docol 800 DP y en el Docol 1000 DP muestran la misma resistencia que el material base. En el Docol 1200 DP y en el Docol 1400 DP la resistencia de la soldadura es algo menor que la resistencia del material base.

La razón de que la resistencia sea mayor en la soldadura por láser es que el aporte de calor es más bajo que en la soldadura

MAG, y el material está por tanto menos afectado térmicamente. La figura de más abajo muestra las curvas de dureza para la soldadura láser realizada sobre Docol 800 DP y también sobre Docol 1000DP. Las curvas de dureza muestran que la soldadura por láser es estrecha y prácticamente las zonas afectadas térmicamente desaparecen. Como resultado, la resistencia de las soldaduras por láser es mayor que la de soldaduras por MAG.

Soldadura por alta-frecuencia

La soldadura por alta frecuencia es una técnica usada muy a menudo y con eficacia para la producción de tubos soldados. La corriente a alta frecuencia calienta rápidamente los bordes de la chapa a muy alta temperatura. Los bordes se juntan y son solapados y presionados a alta presión, el material fundido de los bordes difundirá y resultará una fuerte unión.

La soldadura por alta frecuencia puede ser usada para soldar aceros Docol UHS. La resistencia de la junta soldada está determinada principalmente por las propiedades alcanzadas en la zona afectada térmicamente (ZAT).



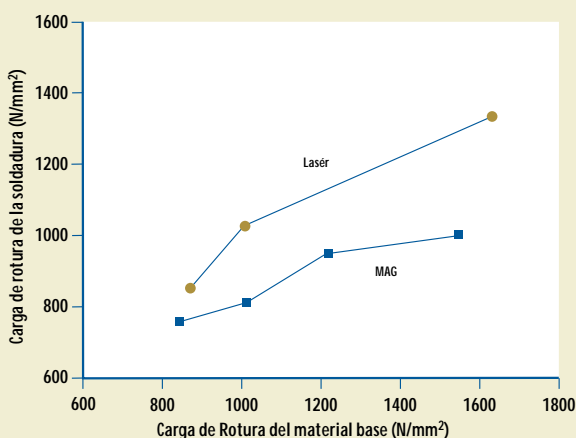
Tratamiento superficial

Los aceros Docol UHS pueden ser

protegidos contra la corrosión de la misma forma que los aceros suaves, i.e. por pintado, electrogalvanizado, u otro tipo de revestimiento conteniendo zinc y/o aluminio.

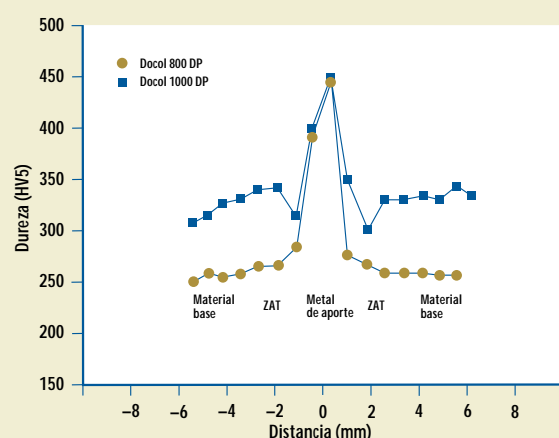
En el electro-galvanizado, se deberá tener en cuenta la sensibilidad del acero a la fragilización por hidrógeno. Estudios de laboratorio y también pruebas reales han demostrado que los aceros Docol UHS pueden ser electro-galvanizados sin

Resistencia de uniones soldadas



Resistencia de la unión en Docol UHS. Comparación entre uniones realizadas por MAG y láser (soldadura a tope, 1.5–2,0 mm de espesor de chapa). Dos aceros de la misma calidad soldados entre sí, sometidos a tracción perpendicular a la sección de la soldadura.

Curvas de dureza en soldadura por láser



Curvas de dureza para la soldadura por láser en aceros Docol UHS (Docol 800 DP, $t=1,0$ mm y Docol 100 DP, $t=2,0$ mm). Soldaduras a tope, sin material de aporte, aporte de calor de 0,05 kJ/mm.



Cortina de seguridad fabricada por Ansa Protection en Docol 1000DP. Este tipo de cortina obtuvo una mención en el Swedish Steel Prize de 1999.

riesgo de fragilización por hidrógeno. Sin embargo, muchos factores pueden afectar esta sensibilidad del acero, y en aplicaciones críticas como la fabricación de piezas para componentes de seguridad, nuestra recomendación es evaluar la línea en la que va a realizarse el recubrimiento.

El tratamiento para eliminar la fragilización por hidrógeno después del electro-galvanizado (Norma ISO 2081) sirve también para hacer el material menos sensible al fenómeno de fragilización por hidrógeno.

Como alternativa, a un tratamiento superficial que no genere hidrógeno, se puede usar la aplicación de Dracomet

(Dacrolit) o Delta MKS. Con estos procedimientos el riesgo de fragilización se eliminará por completo. Sin embargo, este proceso incluye una etapa de curado para la capa de recubrimiento, y la máxima temperatura recomendada en este tratamiento térmico deberá ser elegida de modo que el acero mantenga sus propiedades de alta resistencia.

Aceros de utilajes

Aceros de utilaje para punzonado y conformado de Docol UHS

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 más abajo.

Un prerequisite 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.

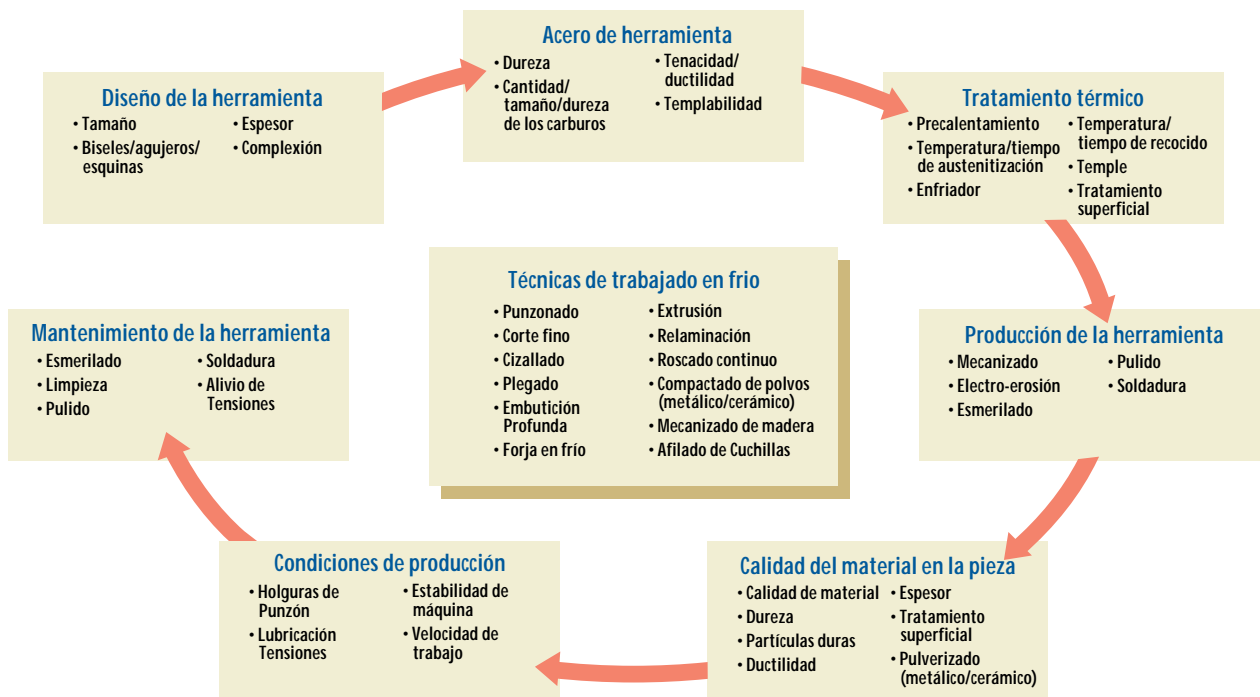
Para poder seleccionar el acero correcto, es importante identificar los mecanismos de fallo que puedan aparecer du-

rante las operaciones de corte y/o conformado y que pueden inutilizar el utilaje o forzar su rotura después de solo un corto periodo de uso.

Existen básicamente cinco tipo de fallos en que pueden incurrir las partes más activas de la matriz:

- **El desgaste**, bien sea abrasivo o adhesivo, está asociado con el trabajado 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 la pieza de material 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 alargarse mediante un mantenimiento preventivo



Calidad de acero de utillaje	Resistencia relativa al mecanismo de fallo							
	Normas			Dureza	Resistencia al desgaste		Resistencia a la fatiga	
	SS	ISO	DIN	Deformación plástica	Abrasivo	Adhesivo	Iniciación de grieta	Propagación de grieta
							Ductilidad – resistencia al mellado	Tenacidad – resistencia a la rotura total
Arne	2140	W.-Nr. 1.2510	AISI 01					
Calmax		W.-Nr. 1.2358						
Rigor	2260	W.-Nr. 1.2363	AISI 02					
Sleipner								
Sverker 21	2310	W.-Nr. 1.2379	AISI D2					
Sverker 3	2312	W.-Nr. 2436	AISI D6					
Vanadis 4								
Vanadis 23		W.-Nr. 1.3344	AISI M3.2					
Vanadis 6								
Vanadis 10								

sistemático de los utillajes. Una consecuencia de esto es que puede merecer la pena permitir más desgaste que acabar con las melladuras o el agrietamiento.

El rasgo especial en la conformación y cizallado de los aceros Docol UHS es que, para un determinado espesor de chapa, las fuerzas deben de ser mayores que para un acero suave, dado que un mayor límite elástico debe de ser superado durante la conformación e igualmente una mayor resistencia deberá ser superada durante el corte. Esto significa que las resistencia aumenta y que las demandas en la resistencia al desgaste y la resistencia del material del utillaje

también deben aumentar. La operación de corte es más sensible, dado que requiere una combinación de alta resistencia al desgaste y alta resistencia a la melladura de bordes/rotura del utillaje, mientras que la operación de conformado requiere sólo resistencia al desgaste.

Una comparación relativa entre aceros de utillaje para trabajado en frío de Uddeholm relativa a la resistencia a los mecanismos de deterioro presente en los utillajes se muestra en la tabla anterior.

En todos los casos la dureza debería ser al menos de 58 HRC, dado que el riesgo de deformación plástica podría estar presente.

Guía de selección para cizallado				
Incremento del espesor del formato/ complejidad geométrica				
	Docol 800 DP	Docol 1000 DP	Docol 1200 DP	Docol 1400 DP
	Series de baja producción	Rigor Arne Calmax	Sleipner Rigor Arne Calmax	Arne
	Series de larga producción	Vanadis 10 Vanadis 23 Vanadis 6 Vanadis 5 Sverker 21 Sleipner	Vanadis 6 Vanadis 23 Vanadis 4	Vanadis 4

Comparado a otros aceros, el Vanadis tiene 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 para el cizallado del Docol UHS

Resulta difícil dar el consejo adecuado en la selección del correcto acero de utillaje 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 en 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, el diagrama de la izquierda podría servirle como guía.

Todos los aceros de utillaje en la tabla de la página 27 pueden ser usados, también, con todos los aceros de menor resistencia que los aceros Docol UHS, espesores menores de chapa y geometrías simples,

mientras que sólo unos pocos aceros son válidos para ser usados con las calidades de mayor resistencia, debido principalmente al riesgo de una prematura rotura del utillaje debido a 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. La alta tensión de trabajado combinada con la alta dureza de los aceros de utillaje aumenta la concentración de tensiones en dichas áreas.

Guía de selección para el conformado del Docol UHS

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 Docol UHS. 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.



Docol UHS en la elaboración de sus diseños

La alta resistencia es la propiedad más destacada de los aceros Docol UHS. El acero puede soportar un alto grado de deformación antes que ocurra la deformación plástica.

Esto podrá utilizarse de forma ventajosa en una amplia gama de productos y diseños.

Los nuevos materiales de extra alta resistencia ofrecen oportunidades para el diseño y la fabricación de productos con altos resultados, tanto en lo que se refiere a costes como a competitividad.

¿Qué es lo que el diseñador debería tener en mente?

La alta resistencia de los aceros Docol UHS ofrece un amplio campo para diseñar productos más livianos. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que las propiedades finales del producto están determinadas por el diseño geométrico del producto en combinación con las propiedades del material.

La capacidad para soportar cargas y la rigidización de vigas plegadas, perfiles, etc, están significativamente afectadas

¿Cuándo puede el acero Docol UHS ser ventajoso para usted?

Siempre que quiera alcanzar:



Reducción de peso. Varios productos, incluso aquellos que son catalogados como simples, pueden hacerse, a menudo, más ligeros y económicos mediante el uso de los aceros Docol UHS. Un material mucho más delgado puede ser suficiente para soportar la misma carga que un producto realizado con aceros convencionales.



Alta absorción de energía, p.e. partes y componentes de seguridad en el automóvil resistentes al impacto. Debido a su alta resistencia los aceros Docol UHS absorben grandes cantidades de energía mientras deforman.



Resistencia a los golpes e impactos. Esta es otra área donde el alto límite elástico juega un papel importante. Los aceros Docol UHS pueden soportar una deformación sustancial antes de que se produzcan marcas permanentes y se produzcan cambios dimensionales. Como resultado, los aceros Docol UHS son aptos para productos que han de soportar una severa manipulación en partes montadas en áreas expuestas.



Resiliencia y efecto muelle. Estas pueden ser incorporadas directamente dentro de los productos realizados en base a aceros Docol UHS debido a las propiedades de retorno elástico de estos aceros.



Reducción de tensiones locales. Los aceros Docol UHS pueden ser usados con el objetivo de fabricar productos que sean más elásticos y de ese modo tener una mayor vida útil. En muchos casos, una estructura elástica equilibra más los flujos de fuerzas que una estructura rígida.



Alta resistencia al desgaste. Los aceros Docol UHS presentan una alta resistencia a la abrasión. Son por tanto recomendables para productos que están sujetos a un desgaste abrasivo.



Productos robustos en los que se requiere una alta resistencia.

por la altura de la sección y por los diferentes refuerzos. Refuerzos tales como nervios, buñas y bordes plegados son ampliamente utilizados en componentes realizados con chapa fina, dado que es la mejor forma de reducir la tendencia al pandeo, mejorar la rigidez y permitir usar el material en su plenitud.

Los refuerzos son particularmente importantes en el diseño de partes con capacidad de absorción de energía, tales como una barra anti-impacto en los chasis de coches, en la que el pandeo debe de ser evitado, incluso durante la deformación plástica.

Los nervios, buñas y refuerzos puede ser conformados directamente en las partes realizadas en acero Docol UHS. La conformabilidad de estos materiales es buena en relación a su alta resistencia. Pero deberemos de estar seguros de que los radios de doblado son lo sufi-

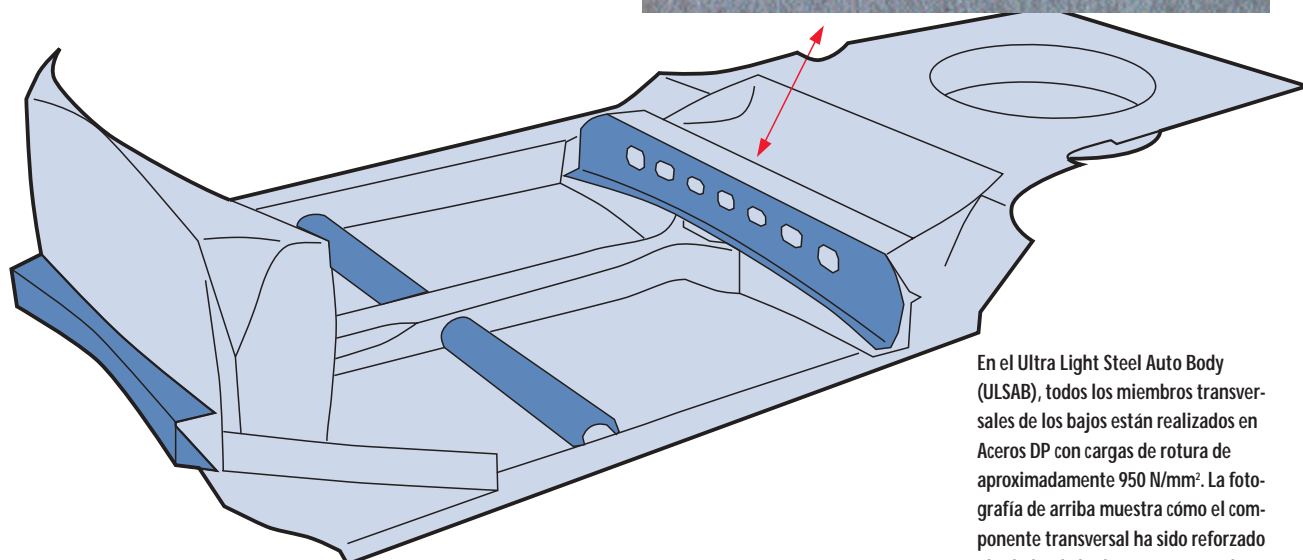
cientemente grandes y que la demanda de embutición profunda es moderada.

El perfilado en frío está particularmente bien indicado cuando se trata de la producción de grandes series de perfiles. En el perfilado en frío, acanaladuras y bordes doblados pueden ser introducidos directamente durante el proceso de conformado. Debido a su alto límite elástico, los aceros Docol UHS pueden ser conformados en unos pocos pasos durante el perfilado en frío, sin que se creen tensiones residuales durante la fabricación.

Durante el diseño de partes conformadas en acero Docol UHS 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 loncha durante el diseño con la chapa de acero permite optimizar la utilización del material. Se debe hacer lo posible por evitar que partes estructurales de la chapa de acero trabajen bajo el efecto plancha con deflexiones locales y en consecuencia dé lugar a una alta concentración de tensiones por pandeo.



En el Ultra Light Steel Auto Body (ULSAB), todos los miembros transversales de los bajos están realizados en Aceros DP con cargas de rotura de aproximadamente 950 N/mm². La fotografía de arriba muestra cómo el componente transversal ha sido reforzado alrededor de los huecos punzonados.

Información y Servicio Técnico a Clientes

Un gran número de expertos de SSAB Tunnplåt con larga experiencia práctica en los aceros laminados en frío se encuentran a disposición de nuestros clientes.

Nuestros expertos en el departamento de Servicio Técnico a Clientes tienen una amplia experiencia en materiales y en ingeniería de producción.

Nuestros Ingenieros de Aplicaciones son especialistas en dimensionado, conformación, unión y tratamiento superficial.

Utilice nuestras modernas herramientas de análisis

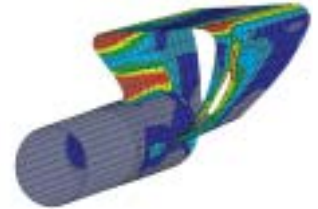
Utilizamos las últimas herramientas para asistir a nuestros clientes en la selección de la calidad de acero y del diseño más adecuados, incluyendo:

El análisis por Método de los Elementos Finitos (FEM) que puede ser utilizado para simular todas las fases del desarrol-

lo de una pieza, como la selección de la calidad del acero, geometría del formato, método de trabajado y diseño final de la pieza

El análisis FEM también se puede emplear para calcular la energía de absorción en una pieza de automóvil en caso de impacto. Muchas de las variables concebibles como el diseño del utillaje, radios, diseño, espesor y calidad del acero pueden ser simuladas en un entorno informático para encontrar la solución óptima.

ASAME es un equipo que nos permite comprobar rápidamente si un cliente ha elegido la combinación correcta de calidad de acero y diseño. ASAME mide la distribución del alargamiento en la pieza conformada. La información se procesa en un potente programa informático e inmediatamente produce información sobre cómo el utillaje, método productivo y diseño afectan al material. ASAME puede operar análisis muy detallados de complejas operaciones de conformación.



El análisis FEM muestra que las tensiones en el material son demasiado elevadas en algunas zonas.



Tras varias modificaciones relativamente simples en el diseño y planificación de la producción, el análisis muestra que el soporte para el zuncho de remolque cumple con todas las demandas.



Nuestros cursos y seminarios atraen a muchos participantes. Aquí vemos cómo Lars Ståhlberg ha captado la atención del grupo.

Cursos y Seminarios

SSAB Tunnplåt organiza regularmente cursos y seminarios sobre cómo aprovechar las oportunidades que ofrecen los aceros laminados en frío, como:

Curso de la chapa de acero, que transmite un conocimiento fundamental sobre la producción con acero, y las propiedades y aplicaciones de las diferentes calidades de acero.

Seminarios de conocimientos específicos, sobre diseño, dimensionado, trabajado, conformación y unión de los aceros de ultra alta resistencia.

Seminarios a medida para empresas.

Manuales

El conocimiento en detalle de las oportunidades que nos ofrecen los aceros laminados en frío se recoge en nuestros manuales:

El Manual de la Chapa de Acero incluye información acerca del dimensionado y diseño, así como consejos sobre ingeniería de producción.

El Manual de Conformación del Acero suministra información extensa y detallada sobre la conformación plástica y mecanizado.

Chapas para pruebas

Pida chapas de nuestro Stock de Chapas de Prueba si está interesado en comprobar el comportamiento de una nueva calidad de acero en sus equipos de producción o en el producto que ya fabrica.

Información de producto

Más información sobre nuestros aceros de alto límite elástico, su utilización y traba-

jado, se presenta en nuestros catálogos titulados Aceros de Extra Alta Resistencia y Aceros de Ultra Alta Resistencia.

Certificaciones

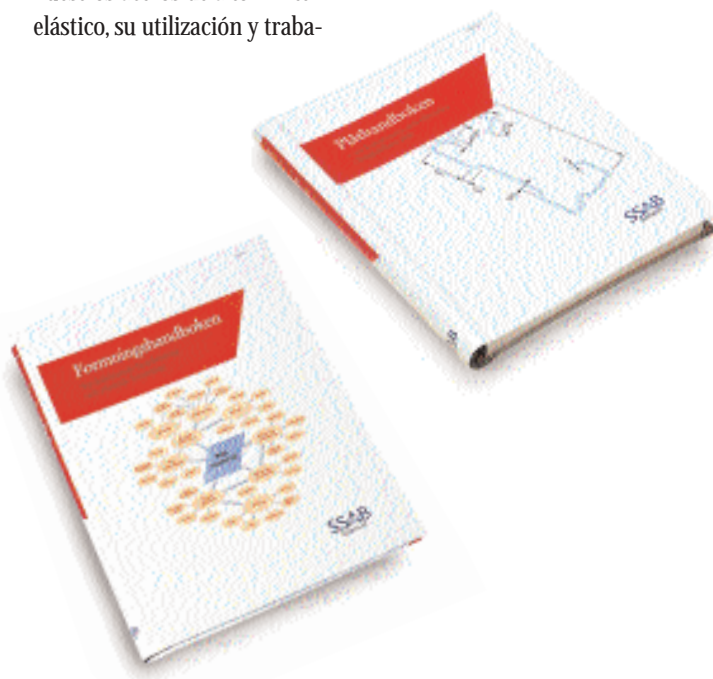
SSAB Tunnplåt cuenta con las certificaciones ISO 9002, QS 9000 e ISO 14001.

Visite nuestras páginas web.

www.ssabtunnplat.com

www.businesssteel.com

www.steelprize.com



Recomendaciones para pedidos

Cada ítem del pedido deberá ser habitualmente múltiplos de 18 Kg por mm de anchura de banda. Cuando remita su pedido, siempre recuerde especificar sus demandas y requerimientos sobre:

- calidad del acero (descripción, número de EN, nuestra denominación, número de estándar, etc.)
- aptitud para galvanización en caliente

- aptitud para esmaltado
- calidad superficial
- aspecto superficial
- rugosidad superficial
- dimensiones, incluyendo tolerancias
- cizallado de bordes
- cantidad
- plazo de entrega

- aceitado o seco
- peso máximo y/o mínimo de paquete
- peso máximo y/o mínimo de bobina (peso y/o diámetro)
- embalaje
- certificados de ensayos
- otros requerimientos

Evidencias a considerar

- El cambio hacia aceros Docol UHS raras veces implica inversiones en máquinas nuevas. En la mayoría de los casos tan sólo es necesaria la puesta a punto de la máquina.

- No hay grandes diferencias entre la ingeniería de producción de los aceros Docol UHS y los aceros suaves. No obstante es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- *El desgaste del utillaje aumenta después del cambio a los aceros Docol UHS. El desgaste puede reducirse mediante una mejor lubricación y una mayor calidad del acero de utillaje.*

- *El retorno elástico es mayor que en los aceros suaves. En el plegado, esto podría ser compensado mediante un sobredimensionado del ángulo de doblado o por la reducción del radio del punzón y/o la distancia de apoyos en la matriz. En operaciones de conformado el retorno elástico puede ser reducido por sobre-curvado del punzón que da origen a la auto-compensación o también por un aumento de la fuerza en los pisadores.*

- *La embutibilidad de los aceros Docol UHS no es tan buena como la de los aceros suaves. Esta se compensa a menudo, con radios más amplios, reducción de la fricción o el ajuste de los parámetros de conformado.*

- *Los aceros Docol UHS pueden ser soldados por puntos a un material similar. Sin embargo, los parámetros de soldadura (fuerza del electrodo, tiempo de soldadura) deberán de ser modificados respecto a los utilizados con los aceros suaves. Las propiedades mecánicas en la unión son buenas, pero puede ser difícil medir el diámetro del botón de soldadura en la forma usual.*

- El módulo de elasticidad de los aceros Docol UHS es el mismo que para los aceros suaves, y por tanto la rigidez de la pieza será menor, siempre que se reduzca su espesor. Sin embargo, si un aumento de la deflexión es no aceptable, la rigidez perdida puede ser compensada por cambios en la geometría de la sección transversal. Además, las superficies planas de la pieza pueden ser rigidizadas por la aplicación de buñas.

- Vigas y perfiles con un ancho mínimo de aproximadamente 20 veces el espesor de la pieza pueden minimizar el pandeo. El pandeo aparecerá siempre

que una chapa de acero cree flecha cuando le sea aplicada una fuerza compresiva. Cuando la carga es aliviada el efecto del pandeo remite.

- El tratamiento térmico de los aceros Docol UHS a una temperatura superior de la temperatura martensítica provoca una reducción en la resistencia del acero, que aumenta según se incrementa la temperatura. En los procesos de tratamientos superficial que implican el curado del material, tales como el Dracomat o el Delta MKS, las máximas temperaturas recomendadas para el tratamiento superficial no deben ser excedidas en ningún caso si se quiere mantener su alta resistencia.

- Es necesaria una precaución especial cuando los aceros Docol UHS son usados en productos que están sometidos a ciclos de fatiga, especialmente si aplican en estructuras con uniones soldadas. Se requiere un buen conocimiento a la hora de distribuir la localización de las uniones soldadas. Las soldaduras no deberán estar localizadas en zonas de alta concentración de tensiones.

Reciclado y medio ambiente

El acero es uno de los materiales más ampliamente reciclados. Casi la mitad de la producción mundial de acero proviene del reciclado.

SSAB Tunnplåt está ya suministrando aceros Docol UHS a clientes que tienen estrictos requisitos medioambientales y a compañías que tienen planeado obtener certificados por su respeto al medio ambiente.

Los productos de hoy en día serán los productos del futuro. La clave se basa en el diseño de productos aptos para reciclado. Esto implica la selección de los materiales, procesos de producción, tratamientos superficiales y métodos de unión que cubran los actuales y futuros requisitos de reciclado y que reduzcan el consumo de material.

Ventajas medioambientales del acero

El acero es magnético y por tanto puede ser fácilmente separado y clasificado. El acero siempre contiene una parte reciclada. El acero es 100% reciclable. La infraestructura para recoger y reciclar chatarra de acero tiene un viejo bagaje y resulta económica. Sobre el 90% de toda la chatarra procedente del automóvil es regenerada. Tanto si se trata de acero de nueva fabricación como de acero reciclado, se necesita menos cantidad de energía que en la producción de sus materiales homólogos competidores.



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 9.000 millones 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 y chapa de acero laminada en caliente

DOCOL

Banda y chapa de acero laminada en frío

DOGAL

Banda y chapa de acero galvanizada en caliente

PRELAQ

Banda y chapa de acero prepintada

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 los suministros y nuestra flexible asistencia técnica al cliente.

ssabtunnplat.com

SSAB Tunnpåt AB

SE-781 84 Borlänge
Suecia
Tel +46 243 700 00
Fax +46 243 720 00
office@ssabtunnplat.com
www.ssabtunnplat.com

China:

SSAB Swedish Steel
Tel +86 10 6466 3441
Fax +86 10 6466 3442

Dinamarca:

SSAB Svensk Stål A/S
Tel +45 4320 5000
Fax +45 4320 5018, -5019

Finlandia:

OY SSAB Svenskt Stål AB
Tel +358-9-686 6030
Fax +358-9-693 2120

Francia:

SSAB Swedish Steel SA
Tel +33 1 55 61 91 00
Fax +33 1 55 61 91 09

Alemania:

SSAB Swedish Steel GmbH
Tel +49 211 91 25-0
Fax +49 211 91 25-129
Tel +49 711 6 87 84-0
Fax +49 711 6 87 84-13

Gran Bretaña:

SSAB Swedish Steel Ltd
Tel +44 1905 795794
Fax +44 1905 794736

Italia:

SSAB Swedish Steel S.p.A.
Tel +39 030 90 58 811
Fax +39 030 90 58 930

Japón:

SSAB Swedish Steel Ltd
Tel +81 33 456 3447
Fax +81 33 456 3449

Corea:

SSAB Swedish Steel Ltd
Tel +822 761 6172
Fax +822 761 6173

Holanda:

SSAB Swedish Steel BV
Tel +31 24 67 90 550
Fax +31 24 67 90 555

Noruega:

SSAB Svensk Stål A/S
Tel +47 23 11 85 80
Fax +47 22 83 55 90

Polonia:

SSAB Swedish Steel Sp. z o.o.
Tel +48 602 72 59 85
Fax +48 22 825 36 36

Portugal:

SSAB Swedish Steel
Tel +351 256 371 610
Fax +351 256 371 619

Sudáfrica:

SSAB Swedish Steel Pty Ltd
Tel +27 11 827 0311
Fax +27 11 824 2169

España:

SSAB Swedish Steel SL
Tel +34 91 300 5422
Fax +34 91 388 9697

EEUU:

SSAB Swedish Steel Inc
Tel +1 412-269 21 20
Fax +1 412-269 21 24

