

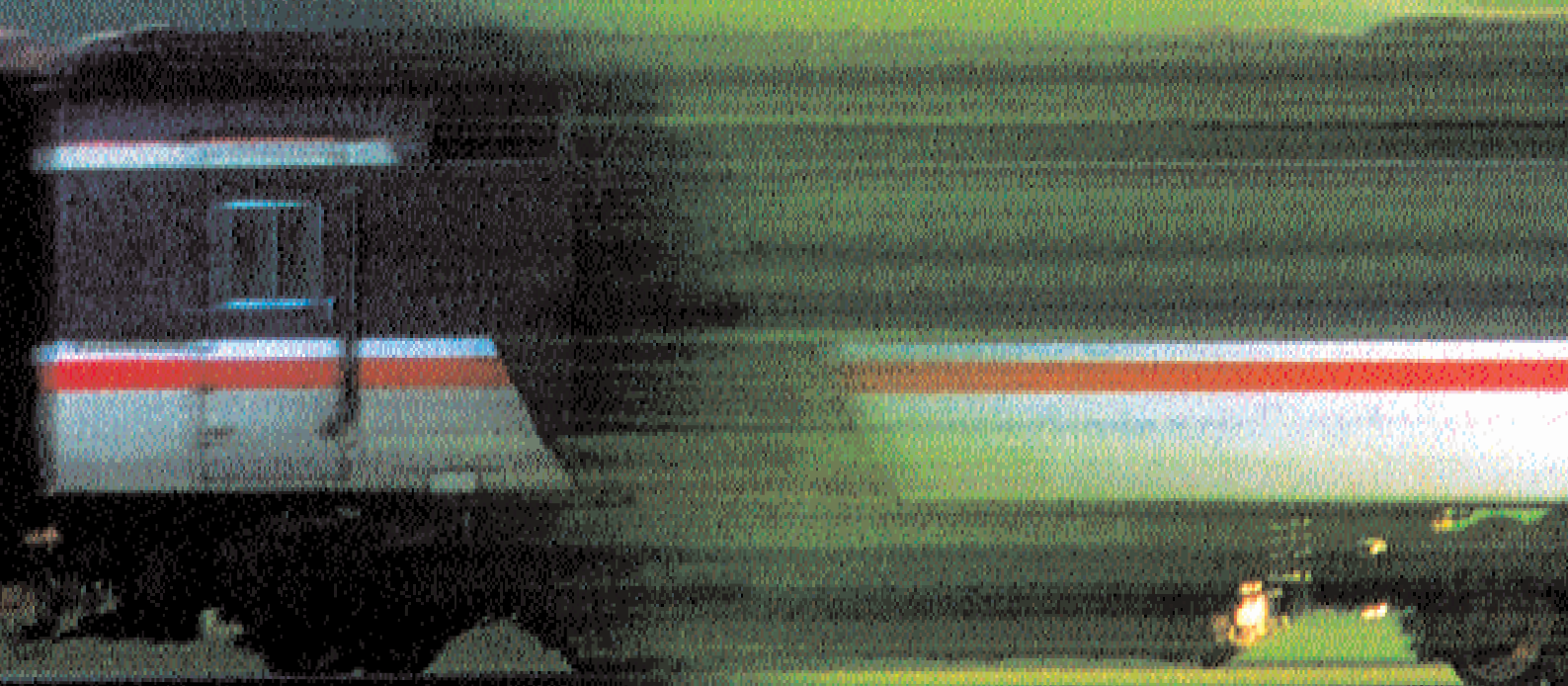


Docol®

**Docol UHS –
laminados a frio
aços de ultra
resistência**

Leves – Fortes – Conformáveis

SSAB
SWEDISH STEEL





Os aços ultra-resistentes laminados a frio da SSAB Swedish Steel, denominados Docol UHS, têm tensões de ruptura mínimas entre 800 N/mm² e 1400 N/mm², e tensões de cedência a partir de 550 N/mm². Os aços Docol UHS oferecem muitos benefícios competitivos.

A elevada tensão de cedência dos aços Docol UHS permite-lhe reduzir a espessura de chapa do seu produto, e pode reduzir custos de fabrico e logísticos. Em certas aplicações, poderá reduzir os custos de funcionamento dos produtos (vagões, contentores, carroçarias, chassis,...).

Sendo a resistência uma propriedade importante, e que é paga quando se compra aço, pense no custo de cada N/mm² em vez do custo por kg: quanto maior for a tensão de cedência que escolher, mais baixo será o custo por N/mm²! Para o mesmo valor de tensão suportada, o custo (N/mm²) será inferior. Em suma, ao optar pelos aços Docol UHS, adquirirá maior resistência a um menor custo.

ÍNDICE

- 2-3 **Novos limites na resistência, na redução de peso e nas vantagens ambientais**
- 4-5 **Propriedades únicas proporcionam oportunidades únicas**
- 6-7 **Aços avançados para inúmeras aplicações**
- 8-9 **Docol UHS – qualidades e dimensões**
- 10-25 **Propriedades técnicas**
Corte e puncionamento, Corte a laser, Conformação, Absorção de energia, "Envelhecimento", Resistência ao choque e ao impacto, Encruamento mecânico, Encruamento térmico, Tratamento térmico, Fadiga, Soldadura e Tratamento superficial.
- 26-29 **Aços para ferramentas**
- 30-31 **O Docol UHS no seu projecto**
- 32-33 **Serviço de Apoio Técnico ao Cliente**
- 34 **Informação Importante**
- 35 **O Ambiente e a Reciclagem**

Propriedades únicas proporcionam oportunidades únicas

Os aços laminados a frio, ultra-resistentes, denominados Docol UHS, adquirem as suas propriedades únicas na linha de recozimento contínuo da SSAB Swedish Steel.

Os aços são recozidos a temperaturas entre 750°C e 850°C, dependendo do tipo de aço, e depois são endurecidos através de têmpera em água.

O revenido é a fase seguinte, na qual o aço é aquecido entre 200–400°C e depois adquire a sua estrutura final. Nesta fase, o aço adquire a sua resistência e a sua formabilidade. Este processo de recozimento único produz uma estrutura martensítica, resultando daqui a elevada resistência do aço.

Tanto o recozimento, como o revenido, são executados numa atmosfera controlada para evitar que o aço oxide. A banda passa por um banho de decapagem entre a têmpera e o revenido, para remover a película oxidada formada no processo de têmpera.

Micro-estrutura dos aços

A micro-estrutura dos aços contém duas fases: a fase mar-

tensítica, responsável pela dureza, e a ferrite, a fase mais macia. A resistência do aço aumenta com o aumento da percentagem de martensite presente na micro-estrutura.

A proporção de martensite é determinada pela percentagem de carbono do aço e pelo ciclo de temperaturas, ao qual o aço é sujeito no processo de recozimento contínuo.

Material puro com boas propriedades

Devido ao rápido processo de têmpera com água, são necessárias baixas percentagens de elementos de liga para produzir os aços Docol UHS. Apenas pequenas quantidades de carbono, silício e manganês são adicionadas para alcançar a dureza exigida.

O aço resultante possui propriedades mecânicas homogêneas em toda a banda e uma boa aptidão quer para a soldadura, quer para a conformação. Os aços Docol UHS podem ser cortados, estampados e soldados através dos meios tradicionais.

Adequado para produção contínua

Os aços Docol UHS são adequados à produção de grandes séries, na qual as peças podem ser produzidas numa linha de produção contínua, sem intervalos para tratamento térmico.

Neste tipo de fabrico em série, os aços Docol UHS poderão ajudar a cortar nos custos de produção, baixar os custos de energia para o aquecimento, melhorar a eficiência, encurtar os tempos de entrega e diminuir a percentagem de peças rejeitadas.

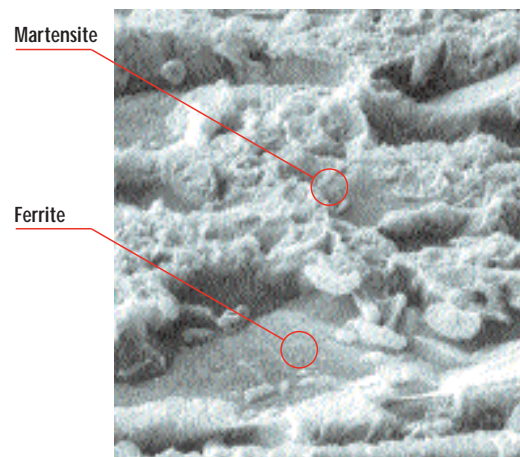
Como os aços Docol UHS já estão endurecidos e temperados antes de serem entregues, eles não necessitam de tratamento térmico e podem, por isso, substituir os aços com elevado teor de carbono, destinados a temperar após o fabrico das peças.

Boa formabilidade

Apesar da sua elevada resistência, os aços Docol UHS possuem uma boa formabilidade e podem ser conformados através dos processos tradicionais.

Em muitos casos, o aço Docol UHS é utilizado para reduzir peso ao substituir um material mais espesso e de inferior resistência. Os aços Docol UHS podem muitas vezes ser trabalhados da mesma forma do material que substituem, pois a espessura é um dos factores que determinam a estampagem, a quinagem e as forças de corte.

Os aços Docol UHS têm uma boa performance na perfilagem. A título de exemplo, alguns pára-choques de automóveis são perfilados a partir do aço Docol 1400 DP.



Micrografia do Docol 800 DP tirada através de um microscópio electrónico de varrimento (X 500). A micrografia mostra a martensite e a ferrite.



Benéfico para o ambiente

Utilizar os aços Docol UHS oferece muitas vantagens ambientais, dado que se o peso de um produto for diminuído, menos material é necessário e poupa-se energia na produção. Para além disso, menos energia será necessária para transportar o aço.

No caso de se utilizar o Docol UHS para reduzir o peso de um veículo, o consumo de energia e as emissões do escape do veículo também serão reduzidas.

Como o Docol UHS é pré-temperado, durante a sua produção, eliminam-se riscos ambientais, bem como os

custos de aquecimento das fornalhas de tratamento térmico, após o fabrico das peças.

Para além disso, o aço é 100% reciclável nos sistemas existentes, o que reduz o impacto ambiental.

Diversas aplicações

A elevada resistência torna os aços Docol UHS adequados a muitas aplicações na indústria automóvel, particularmente em peças de segurança.

A indústria automóvel utiliza os aços Docol UHS para componentes, tais como, barras de impacto lateral, pára-choques, assentos traseiros e outras peças que exigem a

maior resistência possível, o menos peso possível e grande capacidade de absorção de energia.

Os aços Docol UHS são também utilizados em aplicações que exigem elevada resistência ao impacto, choques e abrasão, como as protecções à prova de roubo para computadores e transportadores de correias. Para mais exemplos de aplicações, por favor considere a informação que se segue.

Aços avan- çados para inúmeras aplicações

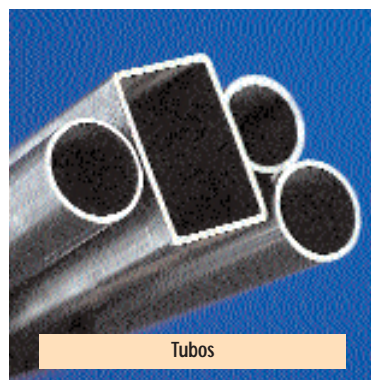
Os aços Docol UHS são de elevada tecnologia com propriedades avançadas, mas isto não condiciona a sua utilização apenas para aplicações avançadas: os aços Docol UHS podem ser aplicados nas peças mais simples!

Optar pelos aços Docol UHS é fácil, pois podem ser conformados e trabalhados da mesma forma que os materiais correntes, com os mesmos processos e os mesmos equipamentos que utiliza actualmente.

Estes aços permitem-lhe reduzir os seus custos de material e produção e, em paralelo, obtém um produto mais leve e mais resistente que possui melhores vantagens ambientais.

As seguintes ilustrações mostram diversos exemplos de aplicações de Docol UHS, desde peças simples às mais complexas.

Mas provavelmente terá outros exemplos bem perto de si...



Tubos



Contentores de transporte



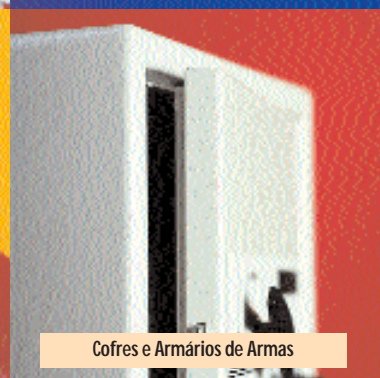
Anilhas



Abraçadeiras



Pás



Cofres e Armários de Armas



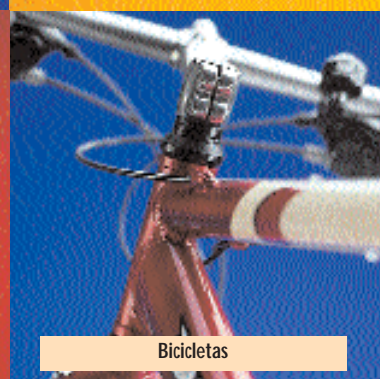
Escadas



Orings Metálicos



Pára-choques



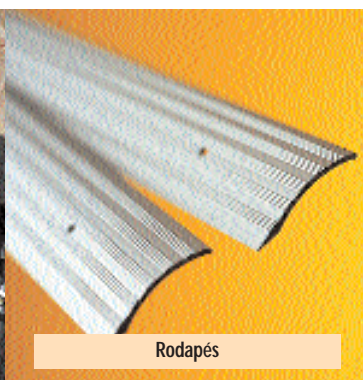
Bicicletas



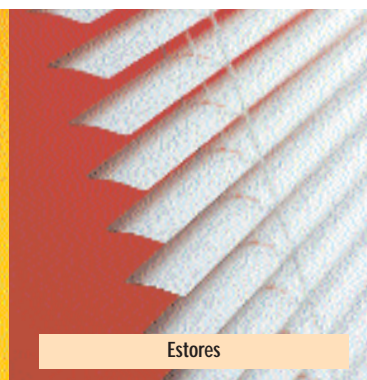
Assentos de Criança para Automóveis



Vagões de Cambiões



Rodapés



Estores



Pratos de Embraiagem



Lâminas para Corta-Sebes



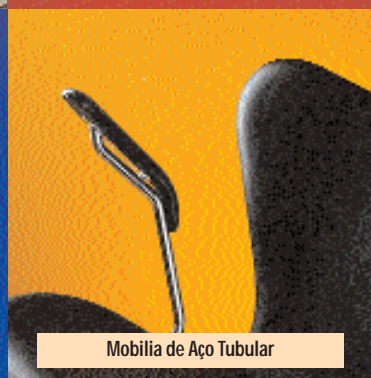
Betoneiras



Molas



Facas



Mobília de Aço Tubular



Fitas Métricas



Assentos de Comboio



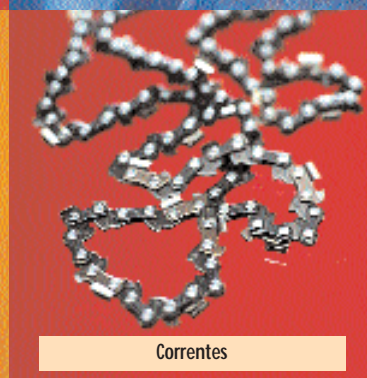
Lâminas de Serras



Barras de impacto lateral



Biqueiras de Sapatos



Correntes



Carrinhos de bebé



Corrediças para assentos de automóvel



Contentores



Clipes

Docol UHS – Qualidades e Dimensões

Os aços Docol UHS combinam elevada resistência com excelente formabilidade.

Os aços são fornecidos com uma tensão de ruptura mínima garantida que vão desde 800 N/mm² até 1400 N/mm².

Uma tensão de ruptura mais elevada na peça final poderá ser alcançada ao utilizar as propriedades de encruamento mecânico e térmico destes aços.

Aços DP/DL

O grupo de aços Docol UHS inclui os tipos DP e DL.

Os aços DP possuem uma diferença considerável entre a tensão elástica e a tensão de ruptura, o que significa que têm uma grande capacidade

de distribuir a deformação durante o trabalho de conformação.

Os aços DL são produzidos de forma a que a diferença entre a tensão de cedência e a tensão de ruptura seja ainda maior do que nos aços DP. Como resultado, os aços DL possuem uma melhor formabilidade do que os aços DP.

O número que designa o aço especifica a tensão de ruptura mínima. A diferença entre a tensão de cedência e a tensão de ruptura é normalmente elevada no estado laminado, mas é reduzida substancialmente após a conformação.



Propriedades Mecânicas					
Qualidade	Limite Elástico R_p 0.2, N/mm ² min.–max	Limite Elástico após encruamento R_p 0.2 + BH**, N/mm ² min.	Tensão de Ruptura R_p 0.2, N/mm ² min.–max.	Elasticidade A_{80} min.(%)	Raio de quinagem min. recomendado para 90°
Docol 800 DP	500–(650)	650	800–950	8	1 x espessura 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

*em desenvolvimento

**BH = Encruamento mecânico após 2% de alongamento e encruamento térmico após aquecimento a 170 °C durante 20 min

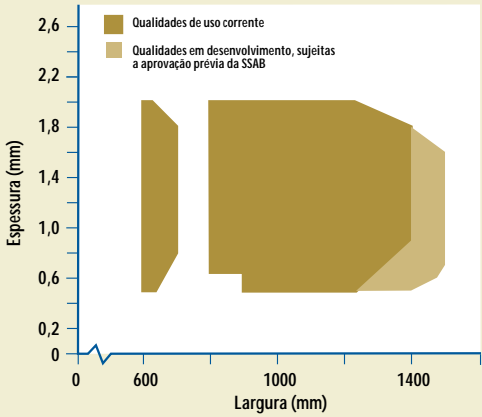
() = Valores que não são garantidos

Composição Química (Valores Típicos) em %							
Qualidade	% 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

* Em desenvolvimento

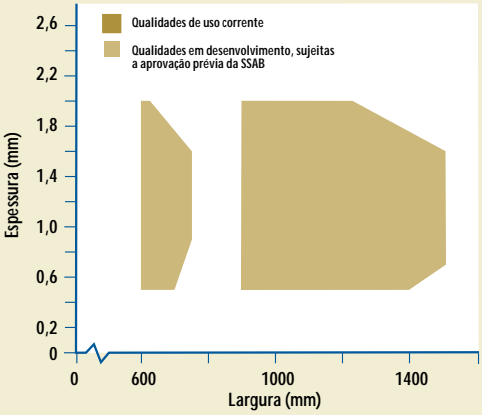


Características Técnicas



Docol 800 DL e Docol 1000 DP

Corte e funcionamento



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

Características técnicas



Corte e punção

Quando um material de elevada resistência é cortado, a operação de corte deverá ser adaptada tendo em conta: a dureza; a espessura; a tensão de corte do aço; a geometria; a rigidez e o desgaste das lâminas ou punções.

É particularmente importante ter a folga de corte das lâminas correcta. A folga de corte está condicionado pela espessura da chapa, pela resistência do aço e pelos requisitos ao nível da aparência da

superfície cortada. Quanto mais espesso for o material e quanto maior for a carga de ruptura, maior deverá ser a folga de corte. Uma folga de corte de 6% da espessura da chapa é o valor normalmente utilizado para aços macios e de média resistência. Para os aços Docol UHS recomenda-se uma folga de corte de cerca de 10% da espessura de chapa. Uma folga de corte possibilita uma superfície de corte mais precisa, e implica de certa forma, um raio de corte superior.

importante quando se analisa o desgaste durante o punção. Um chanfro no punção pode reduzir a força de corte necessária até 50 %.



Corte a laser

As peças produzidas em Docol UHS po-

derão ter, com frequência, formas geométricas complexas. O corte a laser permite que estas formas sejam conseguidas directamente no processo de corte, dispensando a necessidade de uma maquinaria ou corte subsequente. O corte a laser é um processo de elevada qualidade que produz uma superfície de corte de qualidade superior e com grande exactidão dimensional. Para obter estas características, os parâmetros do equipamento de corte e o material a cortar têm de estar nas melhores condições. Relativamente ao material a cortar, um dos factores que mais afectam os resultados do corte é a qualidade da superfície do material.

Qualidade superficial

A limpeza da superfície da chapa é um dos factores mais importantes para alcançar uma aresta de corte de grande

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

onde, F = Força de Corte (N)
 K_{sk} = Resistência ao Corte (e x tensão de ruptura)
 η = Ângulo de Corte nas lâminas
 t = Espessura da Chapa

O factor e varia com a tensão de ruptura do material. Os aços macios, tal como o DC01 possuem um $e = 0.8$, enquanto que os aços Docol UHS possuem um $e = 0.6$. A força de corte necessária aumenta com a tensão de ruptura.

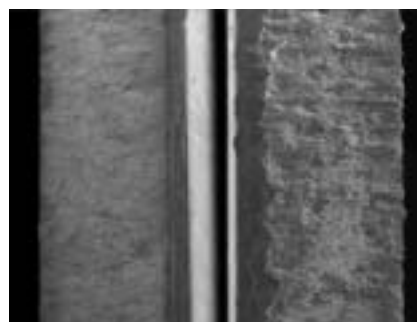
Mudar para um aço com uma maior resistência implica normalmente redução de es-

pesura. Para obter a mesma resistência entre dois aços, um macio e um UHS, é necessário que este último tenha uma espessura menor. Esta, influenciará de forma exponencial o F , superando o aumento de K_{sk} , o que irá originar uma menor força de corte.

A folga de corte é muito

Propriedades Técnicas

Corte e Puncionamento	10
Corte a Laser	10
Conformação	12
Absorção de Energia	16
"Envelhecimento"	16
Resistência ao choque e ao impacto	17
Encruamento mecânico e térmico	18
Tratamento térmico	19
Fadiga	20
Soldadura	20
Tratamento superficial	25



10% da espessura de chapa 6% da espessura de chapa

A importância da folga de corte no aspecto da aresta de corte no Docol 1400 DP

Espessura Relativa											
Para qualidade	De qualidade										
	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

Força 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

Como utilizar a tabela: ao trocar de DC04, por exemplo, para Docol 800 DP, a espessura pode ser reduzida até 60 % da espessura original. Como resultado, a força de corte irá ser 80% da necessária para cortar o material DC04.

qualidade, isto é, um pequeno ângulo de corte (conicidade μ) e uma superfície suave do corte (Rz). Uma superfície limpa conduz às melhores condições de corte laser, sobretudo no que diz respeito à qualidade do corte e à diminuição dos custos de produção.

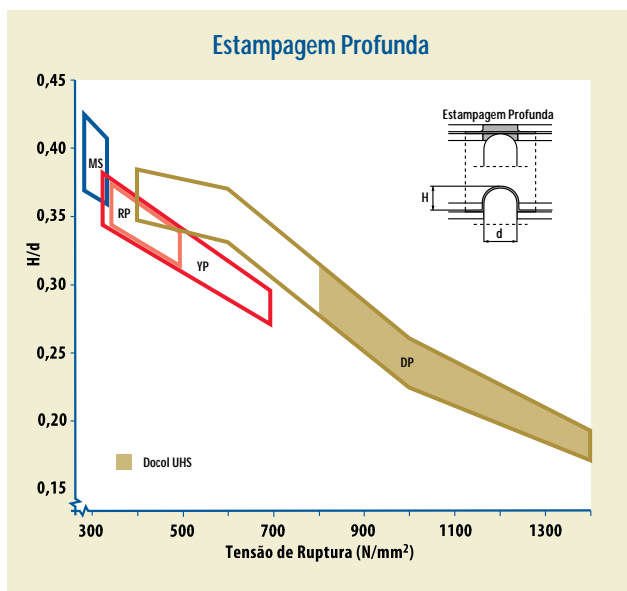
Resultados dos Ensaios de Corte Laser

O corte por laser tornou-se muito conhecido enquanto método de corte nos últimos anos. A SSAB Tunnplåt desenvolveu, por isso, estudos sobre as propriedades do corte por

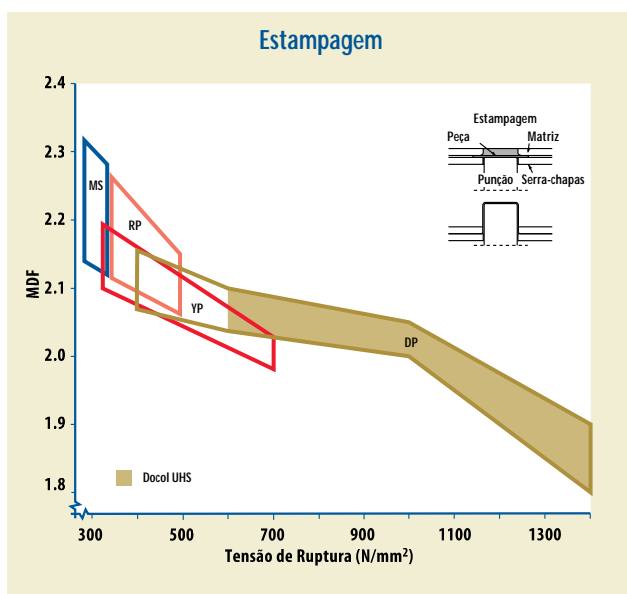
laser nos aços Docol UHS, impulsionando a pesquisa interna e reunindo a experiência de empresas que recorrem ao corte por laser. Os resultados destes estudos podem ser resumidos do seguinte modo:

- Não são necessários parâmetros de corte especiais para os aços Docol UHS.
- Os aços Docol UHS estão classificados na categoria de “classe superior” segundo a norma DIN 2310, parte 5, para arestas cortadas a laser. Esta situação aplica-se tanto à aparência da superfície, como ângulo de corte.

- Estes aços não contêm macro inclusões que poderiam ser nefastos para os resultados do corte.
- O aumento de dureza ocorre apenas numa zona estreita, perto da extremidade de corte. A zona afetada pelo calor do corte a laser é muito pequena. A zona está tão próxima à aresta de corte que, caso haja soldadura, será completamente eliminada.



Estampagem profunda, H/d , em função da tensão de ruptura dos aços macios (MS) e dos aços Docol YP, RP e DP. O gráfico indica-nos a propensão dos aços Docol UHS para a estampagem profunda.



Limite de estampagem (LDR), em função da tensão de ruptura dos aços macios (MS) e dos aços Docol YP, RP, DP. O gráfico indica-nos a propensão dos aços Docol UHS para a estampagem.



Formabilidade

Apesar da sua elevada dureza, os aços Docol

UHS possuem uma boa formabilidade e podem ser conformados pelos processos tradicionais. Ainda que a formabilidade destes aços possa não parecer tão boa quanto a dos aços macios, esta diferença pode ser superada com a modificação da geometria (ou da concepção do projecto) do componente.

Estampagem profunda

Na estampagem profunda, o material é fixado pelo serra chapas e toda a deformação plástica ocorre devido à acção do punção. O material é sujeito a uma tensão biaxial, que resulta numa redução de espessura. Caso a deformação local seja excessiva, dar-se-á uma ruptura. A compatibilidade para a estampagem profunda depende principalmente da capacidade que o material possui, para distribuir as tensões internas.

Existe uma relação directa entre a propensão para a estampagem profunda e as propriedades do material para o encruamento mecânico. Deste modo, quanto maior for a capacidade de encruamento do material, melhor será a redistribuição das tensões internas e consequentemente, melhor serão as propriedades propícias à embutissagem. Quando sujeitos a encrua-

mento mecânico, os aços Docol UHS têm melhor comportamento do que outros materiais de igual resistência.

Estampagem

A estampagem traduz-se pela operação em que o material (platina) é pressionado contra a matriz pelo punção, e onde a função do calcador serve apenas para evitar o encurrilhamento das abas ou flanges, evitando fissuras na platina.

A propensão para a estampagem está condicionada por dois factores:

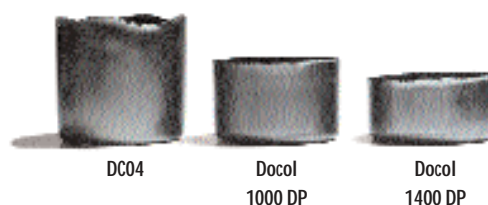
- Da capacidade do material em se deformar plasticamente no plano da chapa, ou seja, da facilidade com que se molda durante a estampagem;
- Da capacidade do material em se deformar plasticamente na direcção da espessura, para que o risco de rasgar seja reduzido.

A propensão para a estampagem dos aços Docol UHS é igual, ou até mesmo, melhor do que a de outros aços de igual resistência.

Flangeamento

O rácio entre o diâmetro do furo na platina e o diâmetro do furo depois de se fazer a flange é conhecido como o rácio da flange.

As platinas deverão ser posicionadas com a rebarba de



A imagem traduz a excelente propensão para a estampagem dos aços Docol UHS.

corte voltada para o punção, isso para evitar a fissuração da aresta depois da flange ser feita. A explicação para este facto deve-se ao encruamento provocado pelo processo de corte, no lado oposto à rebarba na aresta de corte. Estas fibras exteriores ficam sujeitas a grande tensão, após o flangeamento e assim têm propensão a fissurar.

Uma vez que a fibra exterior de um material fino deforma menos do que a de um material mais grosso, um material mais fino pode suportar um rácio de flange maior do que um material mais grosso, para um mesmo diâmetro de furo da flange.

Para conseguir os melhores resultados em operações de flangeamento nos aços Docol UHS, recomenda-se um raio de quinagem maior (entre 1.5 a 2 vezes a espessura) do que aquele usado para aços macios. Na prática, recomenda-se também uma folga punção matriz maior.

Quinagem

Durante a quinagem, a parte exterior da chapa sofre uma deformação por tracção, enquanto que a parte interior sofre uma compressão. A propensão para a quinagem é tanto menor, quanto maior for a resistência do material.

Os aços Docol UHS são anisotrópicos e como tal apresentam comportamentos diferentes quando quinados na direcção da laminagem ou na direcção oposta. Deste modo, é muito importante ter um raio de quinagem correcto, combinado com uma folga punção/matriz correcta.

Resultados obtidos de um estudo efectuado sobre diferentes quinagens obtidas em Docol UHS, com espessura 1.5 mm. Por razões de segurança, recomendamos que a operação de quinagem seja realizada com o raio interior mínimo indicado na tabela da página 9.

Quinagem Transversal (a 90° do sentido de laminagem) 1.5 mm espessura

Raio de punção R (mm)	R/t	Abertura da matriz Largura, 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				

■ Satisfatório

■ Contracções/fissuras locais

t = espessura

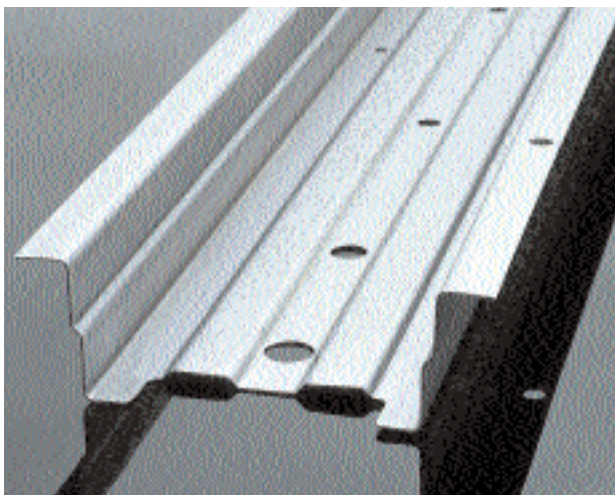
Quinagem Longitudinal (no sentido da laminagem) 1.5 mm espessura

Raio de punção R (mm)	R/t	Abertura da matriz Largura 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				

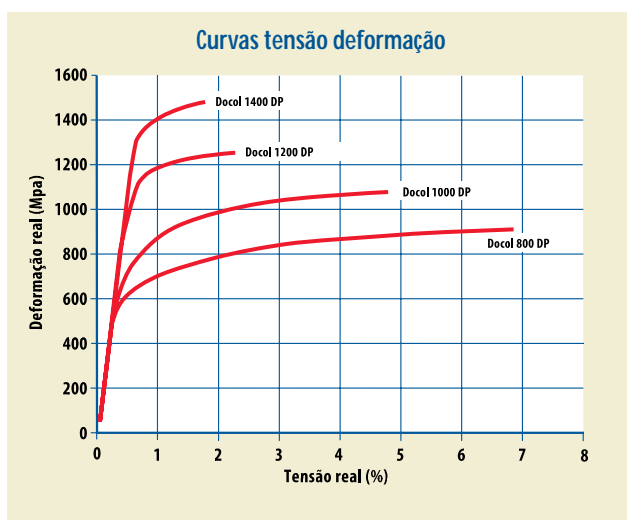
■ Satisfatório

■ Contracções/fissuras locais

t = espessura



Travessa para camião Volvo, em Docol 800 DP, espessura 1.25 mm



Perfilagem

A perfilagem é uma operação que se adequa perfeitamente aos aços Docol UHS. O processo é menos exigente para o material do que a quinagem e, por isso, permite perfis de secções transversais complicadas e raios apertados.

As linhas para perfilar o Docol UHS, não necessitam de ser maiores ou mais caras do que as utilizadas para os aços macios. Pelo contrário, a experiência mostra que são conseguidos perfis iguais com um menor número de rolos, utilizando Docol UHS.

A perfilagem pode ser combinada com operações simultâneas ou posteriores como é o caso do puncionamento, da soldadura e da quinagem.

Devido à elevada resistência do aço Docol UHS, o retorno elástico é maior do que nos aços macios, verificando-se este efeito igualmente na perfilagem. Ainda que originalmente pensada para transformar aços macios, é possível adaptar uma linha de produção compatibilizando-a com o Docol UHS.

Curvas de Tensão/Deformação

Este tipo de curvas é utilizado pela análise do Método dos Elementos Finitos (FEM), como por exemplo, os cálculos da capacidade de carga ou absorção de energia numa peça em fase de projecto. Nas curvas de alongamento, os níveis de tensão e alongamento são compensados pela redução da secção durante os ensaios. É compreensível que um aço de maior resistência tenha um maior nível de tensão para um dado alongamento.

Curvas de Limite de Deformação (FLD)

As Curvas de Limite de Deformação demonstram o grau de deformação que o material pode suportar, mediante um determinado tipo de deformação e mediante determinadas condições de deformação.

As FLD poderão ser utilizadas como documentação ou como suporte na selecção de operações de estampagens difíceis.

Um padrão quadriculado é desenhado na amostra de material, que é depois estampada. As alterações das dimensões são quantificadas em duas direcções: o e-máx representa a direcção de maior deformação e o e-min a direcção perpendicular a esta.

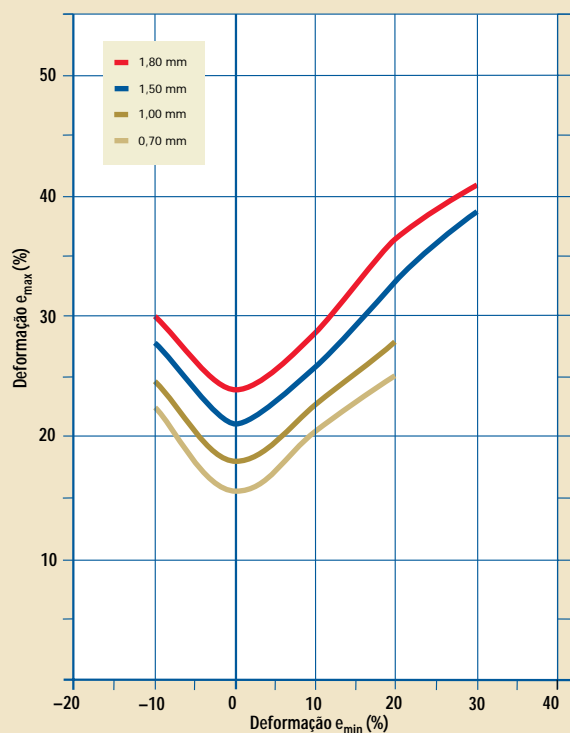
Se há um aumento de tamanho do quadriculado nas duas direcções, o material sofreu um estiramento e representa-se num ponto da curva à direita do zero no gráfico FLD.

Os valores que possuem um e-min negativo e um e-máx positivo são indicados à esquerda da linha do zero, e denotam um processo de estampagem/quinagem.

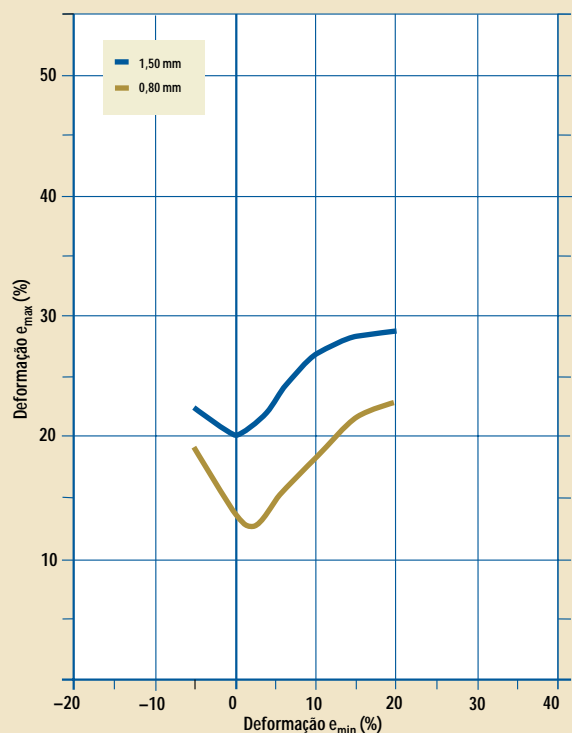
As curvas estão dependentes da espessura do material e deverão, por isso, ser calculadas para cada espessura. Os resultados para uma dada operação de estampagem são traçados no gráfico e são comparados com a curva do material. Caso o resultado esteja abaixo da curva, o material em causa pode ser usado para a peça em questão.

Curvas de Limite de deformação (FLD) para Docol UHS Deformação real

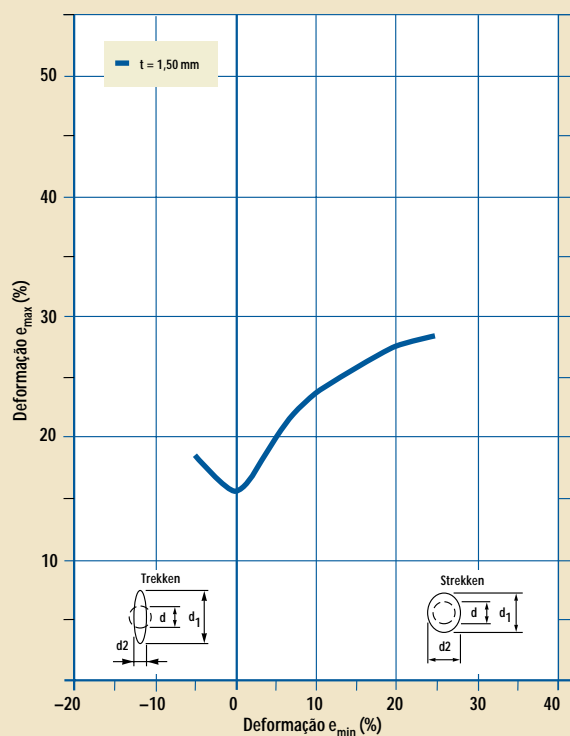
Docol 800 DP



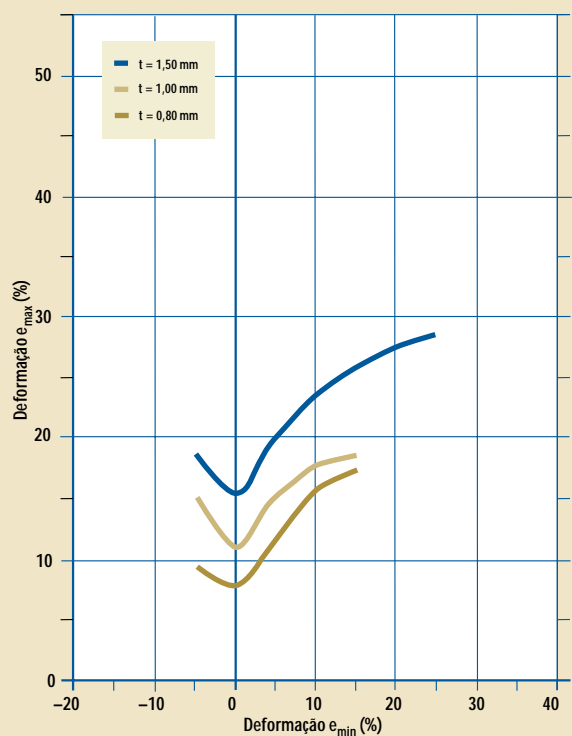
Docol 1000 DP



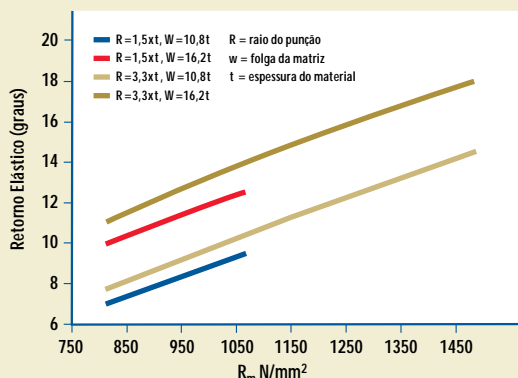
Docol 1200 DP



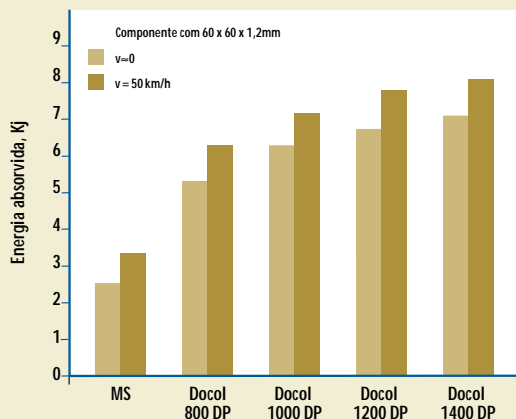
Docol 1400 DP



O retorno elástico do Docol UHS quando quinado a 90° (esp. = 1,5 mm)



Absorção de Energia Capacidade do Docol UHS



O gráfico indica-nos a energia absorvida de um componente com 60x60x1,2 mm, a duas velocidades diferentes.

O efeito de retorno elástico

Verifica-se um aumento do retorno elástico quando se muda de aço macio para um aço de resistência superior. O “efeito de mola” é condicionado não só pela resistência do material, mas também pelas ferramentas utilizadas.

Destacamos alguns dos factores que fazem aumentar o retorno elástico: um aumento da resistência do material; um raio de punção maior; uma maior abertura da matriz e uma diminuição da espessura do material.

O efeito “de mola” poderá ser compensado através das seguintes acções: esmagamento do raio de quinagem / estampagem; redução do raio de quinagem; quinagem com um ângulo maior; redução do raio do punção; introdução de nervuras nos raios; diminuição da folga punção/matriz e diminuição da abertura da matriz.



Absorção de energia

A capacidade de absorção de

energia das várias peças de segurança do automóvel, depende da resistência do material usado no fabrico dessas peças. Deste modo, a espessura da chapa dos componentes, tal como o pilar lateral (pilar B) e as barras de protecção lateral das portas, poderá ser substancialmente reduzida se produzidas em Docol UHS, em vez de aços macios, aumentando assim a capacidade de absorção.

Se considerarmos as peças que absorvem o impacto, podemos aceitar como regra, que o peso destas peças poderá ser reduzido até 30–40 % se pensarmos em Docol 1000 DP, e

40-50% se tratar de Docol 1400 DP.

A geometria da secção, a espessura da chapa e a resistência do aço são os principais factores que condicionam a capacidade de resistência ao impacto do componente.

As propriedades mecânicas do aço podem ser melhoradas conseguindo elevados níveis de deformação, o que permite que a capacidade de absorção do impacto aumente numa situação de acidente.

A capacidade de absorção de energia de um componente pode ser estimada através da análise do Método de Elementos Finitos. Várias combinações de materiais e geometrias poderão ser simuladas antes da produção do protótipo.

A capacidade de resistência ao impacto de uma porta de um carro, pode ser calculada através de um teste de dobra-gem em três pontos. Vai-se medindo a força e a deformação provocada por essa força, até um valor predeterminado. Com essa informação calcula-se o valor da energia absorvida.



Envelhecimento

O aço Docol UHS não envelhece devido à

sua micro-estrutura. Este tipo de aço contém duas fases, uma das quais é dura (martensite) e a outra é macia (ferrite).

A diferença de dureza entre estas duas fases trava a ocorrência do fenómeno do envelhecimento normal, impedindo o aumento da tensão de cedência e o deslocamento do ponto de limite elástico, após armazenagem prolongada à temperatura ambiente.

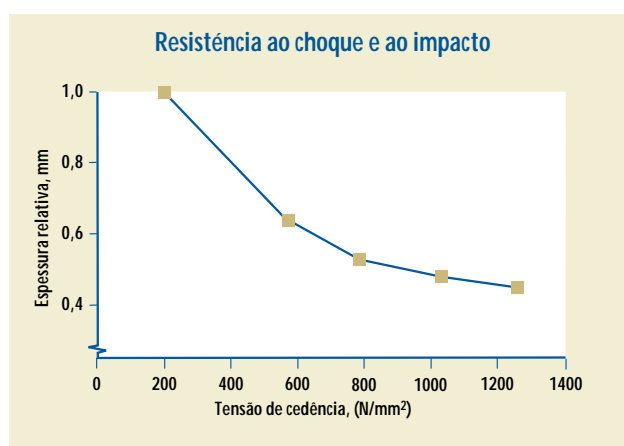


Resistência aos choques e ao impacto

Grandes painéis de chapa de aço, sujeitos ao choque e ao impacto, correm um sério risco de deformação permanente. O tecto de um carro, por exemplo, deverá ser capaz de suportar o choque moderado ou um impacto sem deformação permanente. A tensão de cedência do material determina a resistência ao impacto de um painel em chapa.

A figura indica a espessura relativamente à qual o aço Docol UHS garante a mesma resistência ao choque, quando comparado a uma chapa de aço macio. A tensão de cedên-

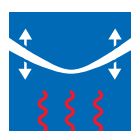
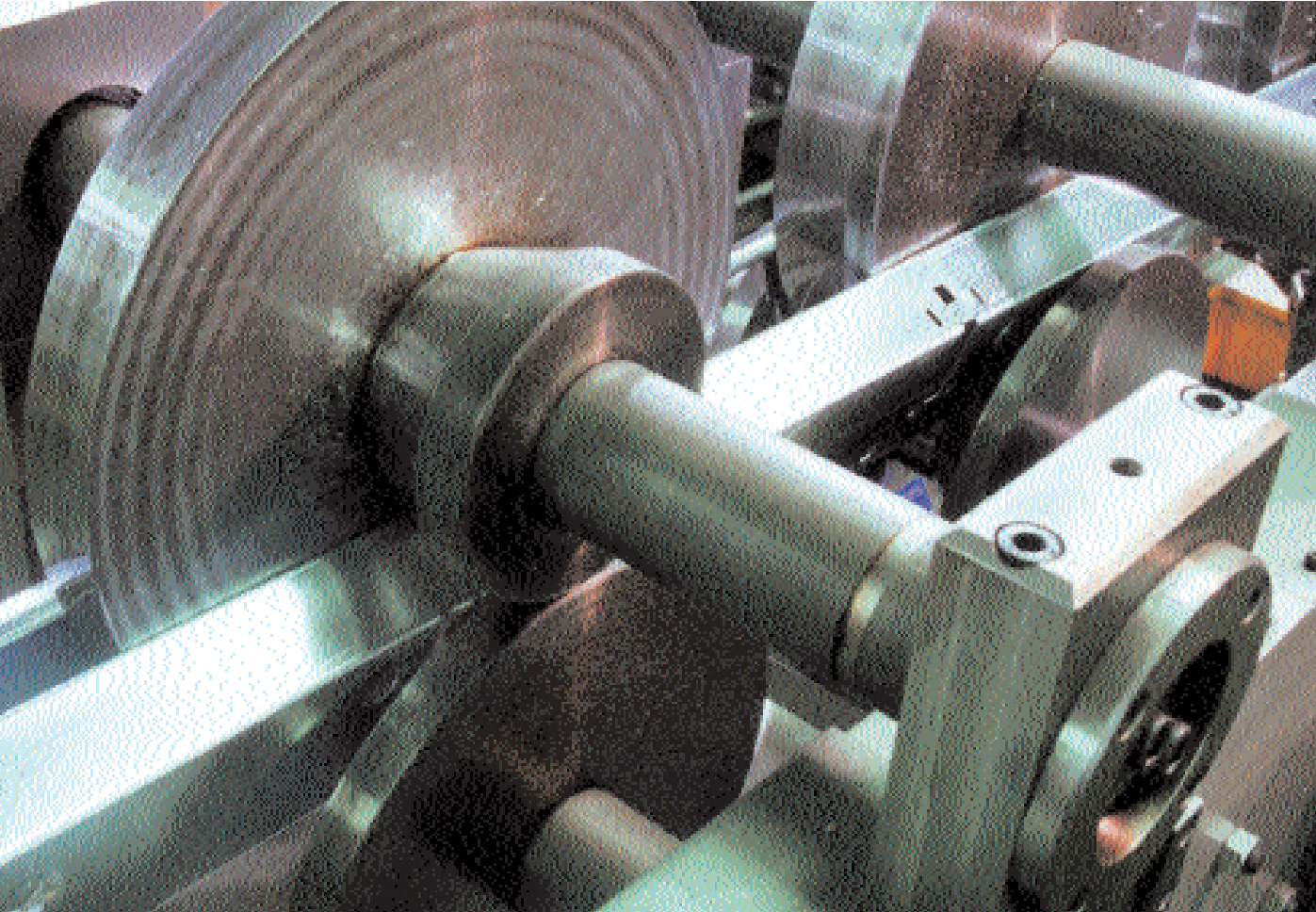
cia de 220 (N/mm²) acaba por demonstrar, ainda que indirectamente, a quantidade de material que poderá ser poupado quando se selecciona o Docol UHS. A título de exemplo, uma chapa de Docol 1200, com 0.42 mm de espessura, tem a mesma resistência ao impacto que uma chapa de aço macio de 1.0 mm.



A recuperação elástica de Docol UHS pode ser utilizada da melhor forma em determinados produtos. A título de exemplo, o cofre à prova de roubo para computadores é feita de Docol 1000 DP ou Docol 1400 DP. Além ser muito mais

difícil de serrar do que um aço macio, a recuperação elástica do Docol UHS torna a mala muito mais difícil de abrir. Recupera a forma inicial com a rapidez de uma mola.





Encruamento mecânico e encruamento térmico

Encruamento mecânico

Um aumento substancial da tensão de cedência poderá ser conseguido utilizando as propriedades de encruamento mecânico e térmico dos aços Docol UHS.

O encruamento mecânico, causado por uma deformação mínima de 2%, poderá aumentar a tensão de cedência final do Docol UHS, para mais de 100 N/mm². O encruamento é altamente dependente da quantidade de deformação e do tipo de aço.

O encruamento mecânico tem mais influência no aumento de tensão, do que o en-

cruamento térmico. A título de exemplo, um encruamento de 10 % aumenta a tensão de cedência do Docol 800 DP até 400 N/mm². O encruamento térmico conseguido com a permanência do material durante 20 minutos a 170° apenas aumenta 30 N/mm².

Encruamento térmico – Pintura após estampagem

Sempre que peças são estampadas e depois pintadas, as propriedades do Docol UHS resultantes do encruamento térmico e do encruamento mecânico podem continuar a ser aplicadas. É necessário ter atenção à temperatura mínima (e ao tempo de exposição das peças a essa dada temperatura), para que o aumento de

tensão desejado seja conseguido.

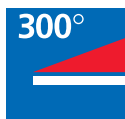
Perfilagem a fabrico de tubo

O fabrico de tubo e perfilagem são processos produtivos através do qual se poderá tirar proveito do encruamento mecânico. Dado que nestes processos, a deformação é provocada e controlada com grande precisão, o aumento de tensão pode entrar nos cálculos iniciais de definição das peças.

Se as peças acabadas recebem tratamento superficial que envolva temperatura, deve-se, também, ter em conta o encruamento térmico no projecto.

Dimensionamento estático e dinâmico

No dimensionamento estático, pode-se e deve-se sempre fazer uso do aumento de tensão, originado pelo encruamento. Relativamente ao dimensionamento à fadiga, nem sempre se poderá utilizá-lo, especialmente quando a variação da amplitude das cargas for muito grande.

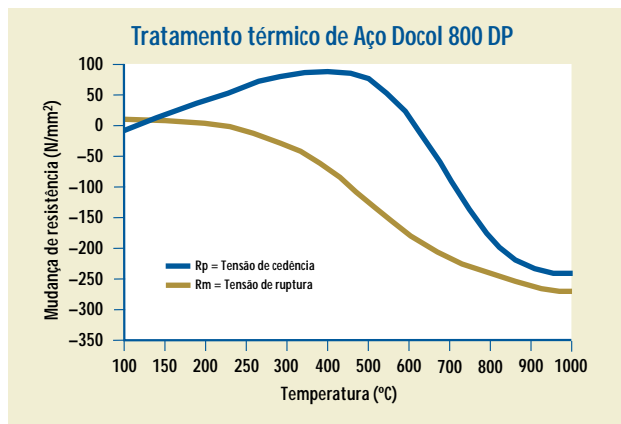


Tratamento térmico

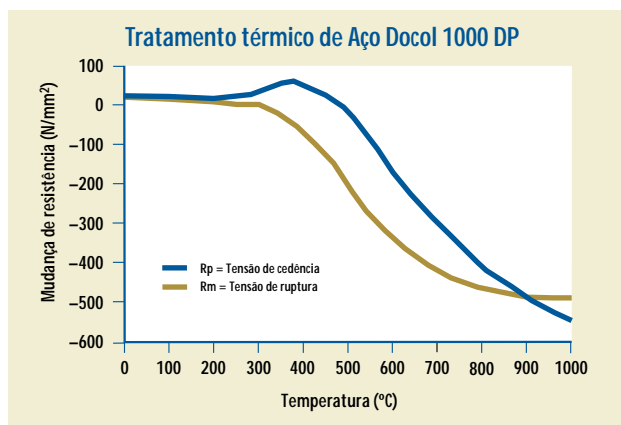
Os aços Docol 800 DP e Docol

1000 DP podem ser aquecidos até 300 °C, sem danos para as suas propriedades de resistência. Se o aço for aquecido para além deste ponto, a sua resistência irá gradualmente diminuir com o aumento da temperatura.

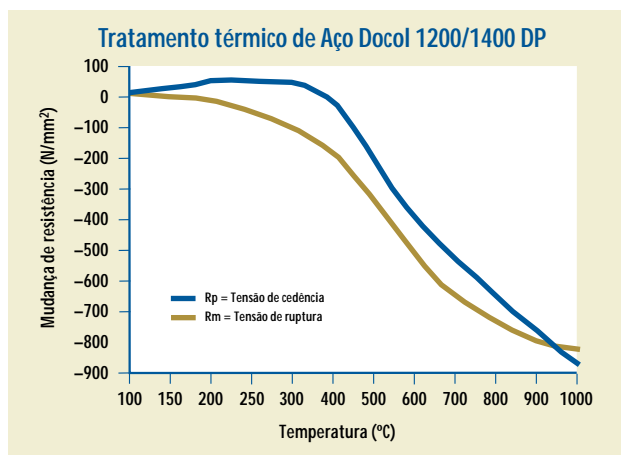
Os aços Docol 1200 DP e Docol 1400 DP poderão ser aquecidos até temperaturas de cerca de 200 °C, mas as suas propriedades de resistência sofrerão danos (diminuirão mais do que as do Docol 800 DP e Docol 1000 DP).



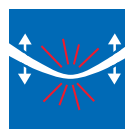
O gráfico indica como as tensões de cedência e de ruptura do Docol 800 DP são alteradas pelo aquecimento.



O gráfico indica como as tensões de cedência e de ruptura do Docol 1000 DP são alteradas pelo aquecimento.



O gráfico indica como as tensões de cedência e de ruptura do Docol 1200/1400 DP são alteradas pelo aquecimento.



Fadiga

A base para uma boa aplicação dos aços de alto limite elástico, deverá passar por uma análise cuidadosa à fadiga (seja o modo de carga e o número de ciclos de carga), aliada a uma boa concepção do projecto (em especial, baixas tensões nas juntas).

No caso de se assumir uma amplitude de carga máxima constante, poderá resultar num sobredimensionamento do projecto em si, dado que na prática, as peças estão sujeitas a amplitudes muito variáveis.

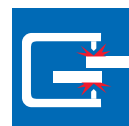
Quanto menor for a carga e os números de ciclos de carga, maiores serão os benefícios dos aços de alto limite elástico, sobretudo em estruturas soldadas.

Para uma boa concepção do seu projecto, deverá:

- Conceber ligações por forma a que os carregamentos sejam complanares à chapa;
- Assegurar uma distribuição de carga uniforme pela estrutura;
- Evitar mudanças bruscas de rigidez ou mudanças abruptas na secção transversal;
- Considerar a influência do processo de fadiga, especialmente nos pontos de aplicação das cargas;
- Assegurar que as juntas soldadas estão correctamente localizadas e dimensionadas, fora das zonas de alta concentração de tensões;
- Evitar, em todas as estruturas, a acumulação de elementos de concentração de tensões;
- Assegurar que a qualidade da soldadura seja boa (mantendo os parâmetros de produção sob controlo).

No caso de utilizar chapas finas de Docol UHS, um bom projecto deverá:

- utilizar reforços (nervuras e canelados), de forma a evitar empenos e otimizar a utilização do material;
- utilizar reforços para evitar empenos localizados da chapa, como por exemplo nos pontos de aplicação de carga;
- aumentar os diâmetros dos pontos de soldadura, e reduzir o espaçamento entre os pontos, de forma a baixar a concentração de tensões na soldadura e aumentar a resistência à fadiga da estrutura inteira;
- utilizar soldaduras por pontos em combinação com juntas rebitadas ou coladas, de forma a aumentar a resistência à fadiga global;
- recorrer, se possível, a juntas soldadas a laser, pois estas possuem maior resistência à fadiga, do que as soldaduras por pontos.



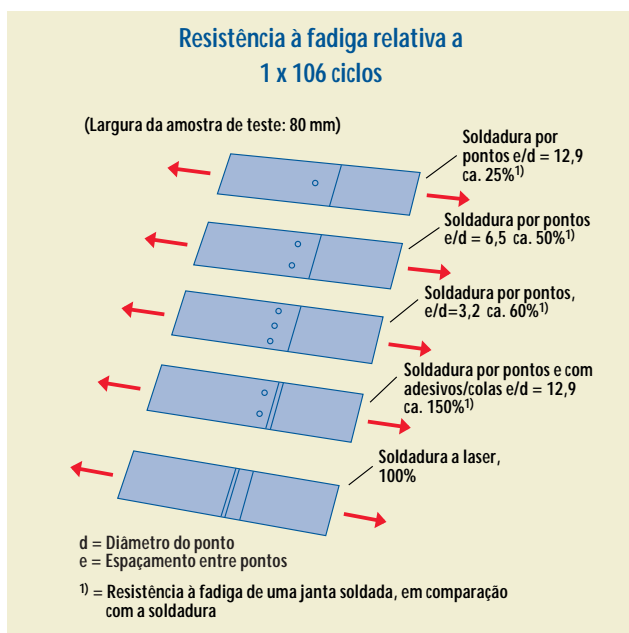
Soldadura do Docol UHS

Os aços Docol UHS são normalmente soldados a chapa de aços macios (soldadura de aço duro com aço macio). Estes aços são igualmente soldados a aços similares (soldadura de duro com duro), e com diversos tipos de perfis fechados.

Estes aços são igualmente soldados a aços similares (soldadura de duro com duro), e com diversos tipos de perfis fechados.

Todos os métodos convencionais de soldadura poderão ser utilizados com Docol UHS

Os aços Docol UHS podem ser soldados segundo os métodos de soldadura comuns, tal como a soldadura por pontos, a soldadura MIG/MAG/TIG, a soldadura a laser, e, a soldadura por frequência.



O aço Docol UHS deve a sua boa aptidão para soldadura ao facto de estes aços terem um conteúdo muito baixo de elementos de liga em relação à sua resistência elevada, o que minimiza o risco de fissuras ou outros defeitos.

Soldadura por pontos

A soldadura por pontos é uma forma de soldadura por resistência, e é um método muito utilizado para a soldadura de aços laminados a frio de elevada resistência.

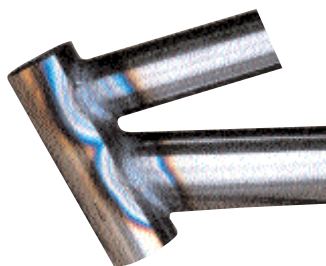
Para permitir que um aço seja satisfatoriamente soldado por pontos, é importante que a gama de corrente admitida seja suficientemente grande. A amplitude da corrente deverá ser de pelo menos 1 kA.

A soldadura por pontos de aços Docol UHS a aços macios

faz-se sem problemas. A gama de corrente permitida é significativa e o arrebentamento total é conseguido no ensaio de arrancamento (isto é, o núcleo será arrancado de uma das chapas durante o ensaio). A resistência da soldadura é a mesma de aço macio.

Quando um aço UHS é soldado ao mesmo tipo de aço (soldadura de duro com duro), a amplitude da corrente permitida é grande. Nos aços Docol UHS de resistência mais elevada, o arrancamento nem sempre é total, dado que por vezes, ocorre arrancamento parcial.

Na tabela que se segue, indicam-se as gamas de corrente aconselhadas para se conseguirem soldaduras de qualidade. Os resultados estão disponíveis em soldadura de



Detalhe da soldadura de tubos em Docol UHS

duro com macio e de duro com duro. As gamas de correntes consideradas são muito grandes, isto é, maiores do que 2.0 kA em todos os casos.

Correntes indicadas para a soldadura por pontos³⁾ de Docol UHS

Aço 1	Aço 2	Espessura Aço ¹⁾ Aço ²⁾ (mm)	Corrente de soldadura disponível 1		Dados de soldadura				
			amplitude (kA)	min-máx (kA)	Eléctrod. diameter (mm)	Eléctrod. Força (N)	De aperto. Soldadura (ciclos)	No de ciclos (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/macio
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/macio
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/macio
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/macio
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/macio
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/macio
Docol 1400 DP	Docol 1400 DP	1,5/1,5	3,2	8,6-11,8	8	6000	17	10	duro/duro

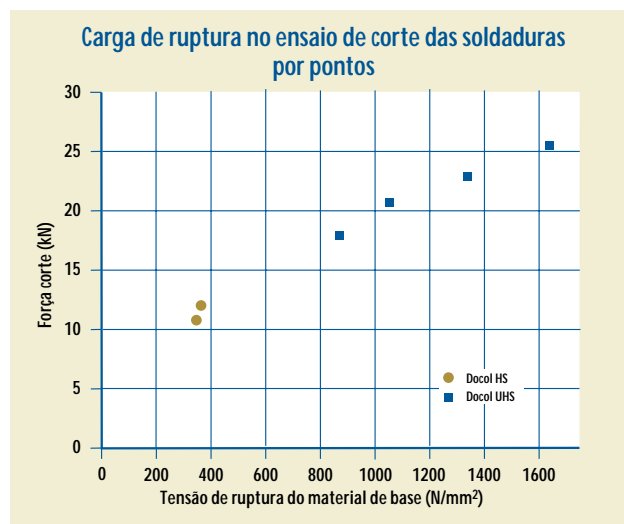
1) Valor mínimo: corrente que dá um diâmetro do núcleo de 70% do diâmetro do eléctrodo. Valor máximo: a maior corrente possível, sem produção de salpicos

2) Galvanizado a zinco Z140 (10 µm)

3) As soldaduras por pontos são produzidas em máquinas de corrente alternada monofásica. As dimensões estão baseadas no ensaio de arrancamento

Força de corte no ensaio de corte das soldaduras por pontos nos aços Docol UHS comparada a outros aços de elevada resistência.

Diâmetro do núcleo aproximadamente 5.5 mm. Espessura de chapa: 1.5-1.6 mm



Resistência da soldadura por pontos nos aços Docol UHS

Como poderá verificar no gráfico acima indicado, as forças de corte das soldaduras por pontos são mais elevadas, quando comparadas com as forças de corte das soldaduras por pontos nos aços de resistências mais baixas.

Os diferentes aços foram soldados aos mesmos tipos de aços, isto é, duro com duro. Este facto ilustra claramente que a força de corte das soldaduras por pontos, aumenta com o aumento da resistência dos aços que estão a ser soldados. A resistência ao arranque do Docol UHS é mais

baixa do que a resistência ao corte. Neste sentido, deve tentar-se, sempre que possível, dimensionar as peças ou a estrutura considerando que estas estarão sujeitas a esforços de corte, em vez de sujeitas a esforços do tipo de arranque. Este princípio permite-nos tirar maior partido da elevada resistência do Docol UHS.

Recomendações para a soldadura por pontos

Quando os aços Docol UHS são soldados por pontos a aços macios, pode utilizar-se os parâmetros normalmente utilizados para os aços macios.

No entanto, um aumento de 20-30% na força de aperto dos eléctrodos, levará a melhores resultados. Para assegurar bons resultados de soldadura entre aços Docol UHS (duro com duro), a força do eléctrodo deverá ser aumentada em cerca de 40 a 50% e o ciclo de soldadura deverá ser também mais longo, comparativamente aos parâmetros utilizados na soldadura de dois aços macios.

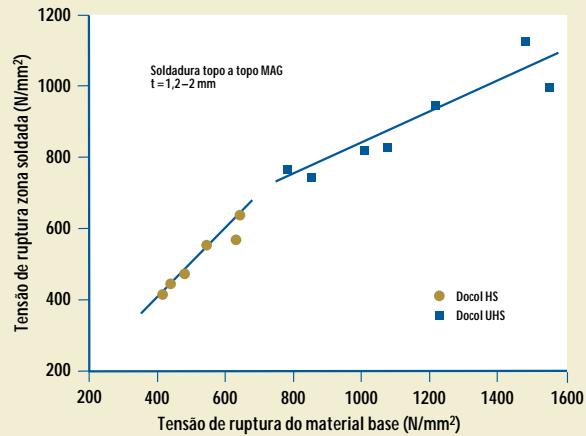
Soldadura por fusão

Normalmente não ocorrem problemas de fissuras ou outros defeitos na soldadura por fusão normal dos aços Docol UHS, tais como MIG, MAG, TIG, ou plasma, pois os aços possuem baixos conteúdos de elementos de liga.

Este facto aplica-se tanto em soldaduras com aços macios, como em soldaduras com aços de alta resistência. Na soldadura de um aço de alta resistência com um aço macio, a resistência da junta soldada é determinada pelo aço menos resistente, ou seja, o aço macio.

Exemplos de metais de adição para Docol UHS		
Soldadura por arco manual (MMA)	Soldadura por arco em atmosfera protegida (MAG) fio sólido	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	Elgomatic 135	Filarc ELGA
	Carbofil NiMoCr Spoolcord TD-T90	Oerlikon

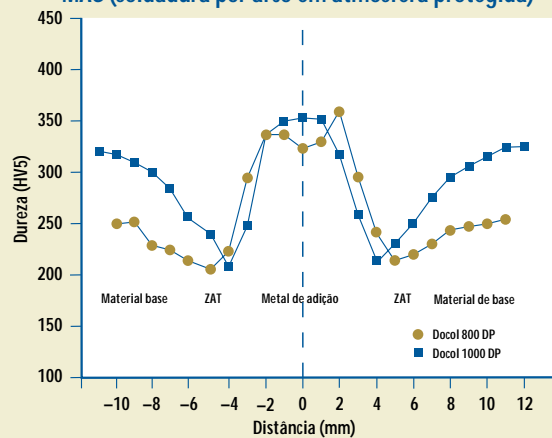
Resistência das juntas soldadas



A resistência da junta soldada com Docol UHS, comparada com outros aços de alta resistência (dois aços idênticos soldados um ao outro, com remoção do excesso do cordão e traccionados perpendicularmente à junta soldada).

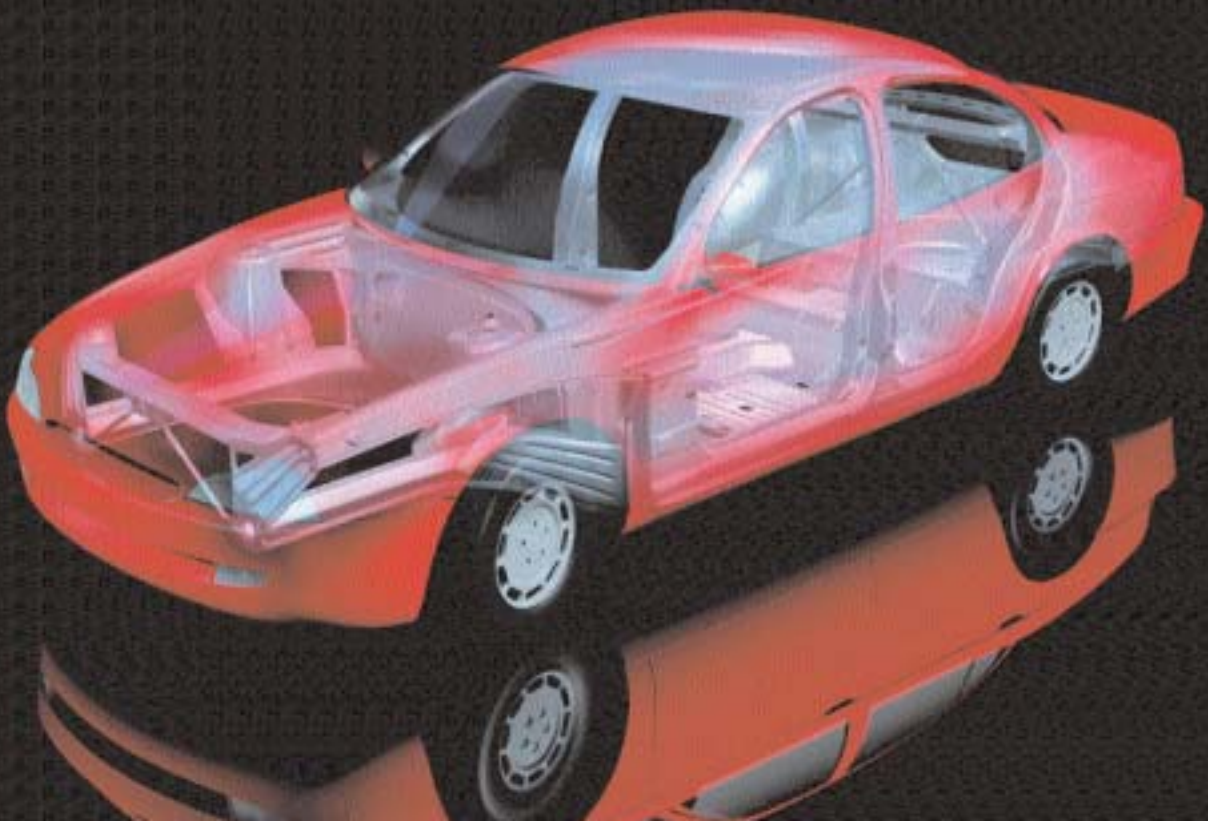
Dados de soldadura: MAG, arame sólido, 1 passagem, protecção com mistura de gases, calor fornecido de 0.11-0.17 kJ/mm.

Curvas de distribuição da dureza, para juntas soldadas por MAG (soldadura por arco em atmosfera protegida)



As curvas de dureza para Docol UHS soldado por MAG (soldadura por arco voltaico em atmosfera protegida) (Docol 800 DP, t = 2.0 mm e Docol 1000 DP, t = 2.0 mm). Soldaduras de topo, dois aços do mesmo tipo soldados um ao outro.

Dados de soldadura: arame sólido, protecção com mistura de gases, uma passagem, calor fornecido aproximadamente 0.16 kJ/mm.



Quando dois aços Docol UHS são soldados por fusão entre si, a resistência da junta soldada será maior do que a junta soldada de dois aços macios.

O 1º gráfico indica os resultados da soldadura MAG do Docol UHS e outros aços de alta resistência. Este gráfico ilustra claramente que os aços Docol UHS possuem uma resistência nas zonas soldadas, superior à dos outros aços.

No entanto, a resistência da soldadura dos aços Docol UHS não alcança o mesmo nível de resistência do material de base. De facto, a resistência das áreas adjacentes (Zonas Afectadas Termicamente - ZAT) ao cordão de soldadura, é mais baixa devido ao amaciamento do material, e devido ao menor calor fornecido pela soldadura (ver as curvas de distribuição da dureza do 2º gráfico).

Comparando as zonas soldadas dos aços Docol 800

DP com o Docol 1000 DP, verifica-se mais resistência da soldadura no Docol 1000 DP, pois o próprio material de base apresenta, à partida, uma tensão maior.

Quando soldados por MAG, os aços Docol UHS podem ser utilizados com os mesmos parâmetros de soldadura dos aços macios ou semi duros.

Contudo, há que ter o cuidado de fornecer o menor calor possível, sobretudo se a resistência das soldaduras forem um factor crítico na peça ou no equipamento, porque desta forma minimiza-se a dimensão da Zona Afectada Termicamente e suas consequências (diminuição da dureza e da resistência).

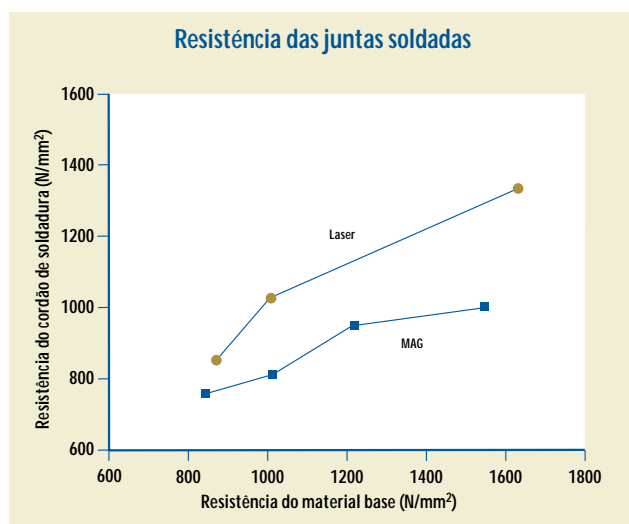
Soldadura a laser

Os aços Docol UHS podem ser soldados por laser, tanto a um aço macio, como a um aço do mesmo tipo. Do ponto de vista do aspecto da soldadura, a soldadura a laser dos aços

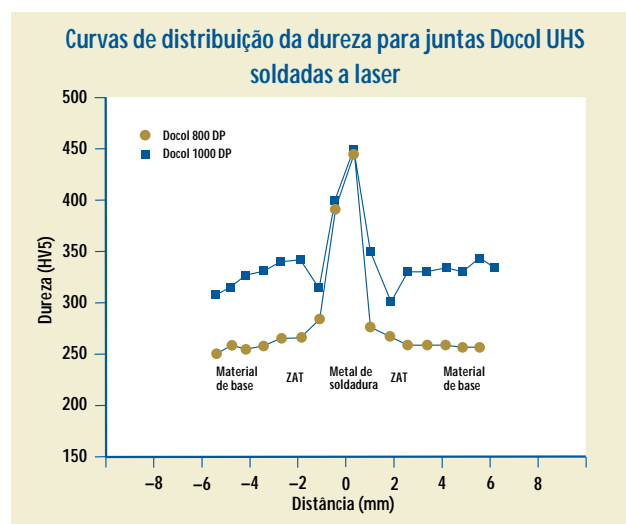
Docol UHS não é em nada diferente da soldadura dos aços macios.

Um dos benefícios da soldadura a laser é que a resistência da soldadura no aço Docol UHS poderá ser aumentada, quando comparada à vulgar soldadura MAG. As juntas soldadas a laser no Docol 800 DP e Docol 1000 DP mostram a mesma resistência do material de base. Relativamente ao Docol 1200 DP e ao Docol 1400 DP, verifica-se uma ligeira diminuição da resistência do cordão, relativamente à resistência do material base.

A razão pela qual a resistência é maior na soldadura a laser é que o calor fornecido é muito menor comparando com a soldadura MAG, e como tal, o material é menos afectado pelo calor. A figura apresentada em baixo indica-nos as curvas de distribuição da dureza na junta soldada para aços Docol 800 DP e



A força da junta soldada no Docol UHS. Comparação entre juntas soldadas a laser e a MAG (soldadura de topo, chapas de 1.5-2.0 mm espessura, dois aços do mesmo tipo soldados um ao outro, tracção na zona perpendicular à junta soldada).



Curvas de distribuição da dureza para aços Docol UHS soldados a laser (Docol 800 DP, 1.0 mm espessura de chapa e Docol 1000 DP, 2.0 mm). Soldaduras de topo, sem metal de adição, calor fornecido cerca de 0.05 kJ/mm.



Cortina de segurança da "Ansa Protection" em Docol 1000 DP. A cortina obteve uma menção honrosa no Swedish Steel Prize 1999.

Docol 1000 DP, soldados a laser. As curvas mostram que as soldaduras a laser são estreitas e que basicamente não existem zonas afectadas termicamente. Como resultado, a resistência das soldaduras a laser é superior à das soldaduras MAG.

Soldadura por ultra sons

A soldadura por ultra sons é um método muito comum e eficiente para soldar tubos.

A corrente de alta-frequência aquece, rapidamente, as extremidades da chapa a uma temperatura elevada. Quando as extremidades são unidas sob elevada pressão, o material fundido é

pressionado um contra o outro e resulta numa junta fortemente ligada.

A soldadura por ultra sons poderá ser utilizada nos aços Docol UHS. A força da junta soldada é determinada principalmente pelas propriedades alcançadas na zona afectada pelo calor (ZAC).



Tratamento superficial

Os aços Docol UHS podem ser protegidos contra a corrosão da mesma forma que os aços macios, isto é, através da pintura, da galvanização ou de outros tipos de revestimentos

contendo zinco e/ou alumínio.

Na electro-galvanização, deve levar-se em conta a sensibilidade do aço à fragilização por hidrogénio.

Estudos realizados em laboratório e experiências à escala real, demonstraram que os aços Docol UHS podem ser electro-galvanizados sem o risco de fragilização por hidrogénio. No entanto, muitos factores poderão afectar a sensibilidade do aço e, para aplicações críticas como peças de segurança, recomendamos uma avaliação do tratamento superficial proposto.

O tratamento de libertação do hidrogénio após a electro-

galvanização, proposto pela ISO 2081, ajuda ao tornar o material menos sensível a este problema.

Como alternativa, poderá ser usado um tratamento superficial que não gere a fragilização por hidrogénio, tal como o Dacromet (Dacrolit) ou Delta MKS. Nestes tratamentos, o risco de fragilização por hidrogénio é totalmente eliminado. Contudo, estes processos incluem uma fase de cura para o revestimento superficial, e a temperatura máxima do processo deverá ser tomada em consideração, caso o aço tenha que manter a sua elevada resistência.

Aços para ferramentas

Aços para corte e estampagem de aços Docol UHS

É importante que as operações de conformação e de corte sejam realizadas sem problemas, durante todo o processo produtivo. As várias fases da vida de uma ferramenta estão ilustradas no esquema apresentado mais abaixo.

Ao executarmos correctamente todas as fases do processo de produção de uma ferramenta, estamos a definir o pré-requisito para a obtenção de uma boa produtividade e de uma gestão dos custos produtivos. Deste modo, é crucial que os aços para ferramentas sejam seleccionados correctamente.

Para uma selecção correcta do aço a utilizar, é importante identificar primeiro os eventuais modos de falha que poderão ocorrer durante o corte, e que em última instância poderão danificar a ferramenta, após um curto período de utilização.

Existem basicamente cinco modos de falha que podem surgir nas partes activas da ferramenta:

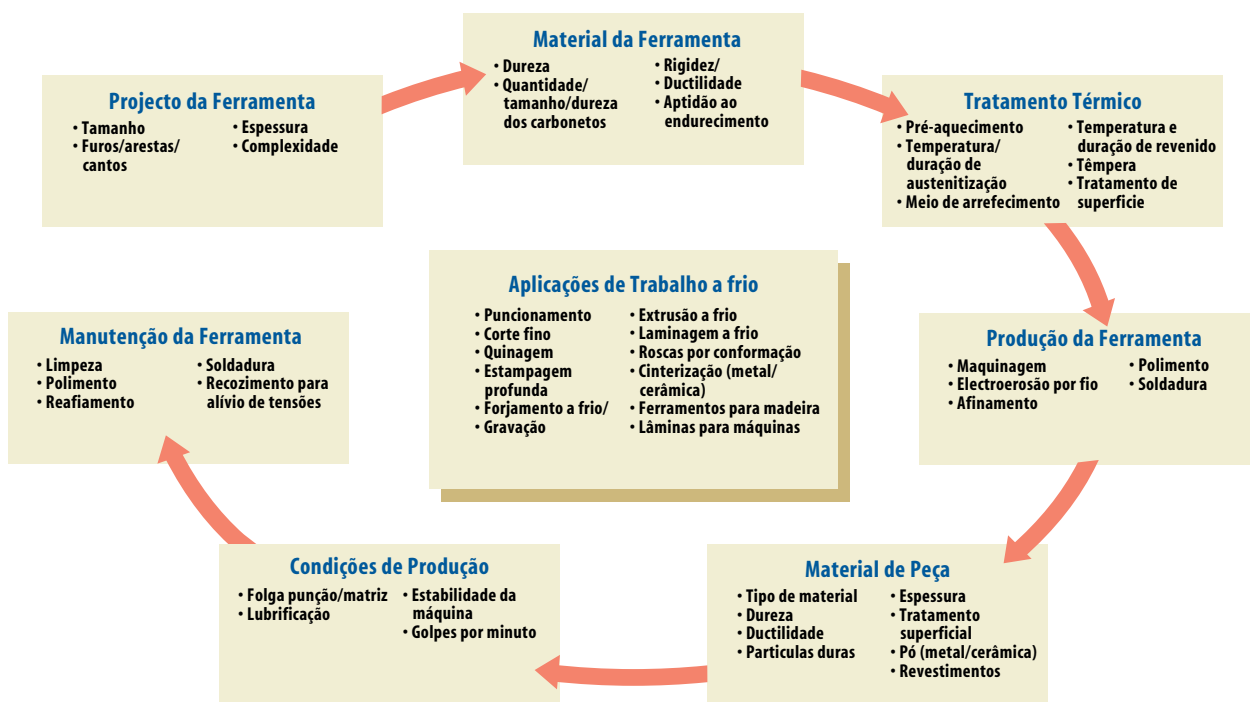
- *Desgaste*, seja abrasivo ou adesivo, está associado ao material da peça em produção, ao tipo de operação de conformação e às forças de atrito no deslizamento.
- *Deformação plástica*, ocorre aquando uma relação inadequada entre as tensões de trabalho e a tensão de cedência à compressão (dureza) do material da ferramenta.
- *O cisalhamento* poderá ocorrer devido a uma incompatibilidade entre a ductilidade do material da ferramenta e as tensões de trabalho
- *As fissuras* ocorrem devido à rigidez do material da ferramenta não ser adequada às tensões de trabalho
- *A adesão* pode ocorrer como resultado das forças de atrito

que surgem no deslizamento entre a peça e a ferramenta. O mecanismo de adesão está relacionado com a compatibilidade entre o material da ferramenta e o da peça a cortar (ou estampar).

A deformação plástica, o cisalhamento e a fissuração são três modos de falhas que muitas vezes resultam em paragens de produção sérias e dispendiosas. O desgaste e a adesão são mais previsíveis e podem ser evitados através da manutenção sistemática das ferramentas.

Consequentemente, poderá compensar permitir um maior desgaste e evitar o aparecimento de cisalhamento e/ou fissuras.

Uma característica especial na conformação e no corte dos aços Docol UHS é que, para uma dada espessura de chapa, as forças deverão ser mais



Tipo de Aço de ferramenta	Resistência relativa aos modos de falha							
	Normas			Dureza	Resistência ao Desgaste		Resistência à Fadiga	
	SS	ISO	DIN	Deformação Plástica	Abrasão	Adesão	Iniciação de fissuras	Propagação de fissuras
							Ductilidade resistência ao cisalhamento	Rigidez – Resistência a quebra total
Arne	2140	W.-Nr. 1.2510	AISI O1					
Calmax		W.-Nr. 1.2358						
Rigor	2260	W.-Nr. 1.2363	AISI O2					
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								

elevadas do que para os aços macios, pois a tensão de cedência do material a cortar é mais elevada, logo terá de ser ultrapassada durante o corte. Deste modo, as tensões aumentam e, consequentemente, as exigências de resistência da ferramenta, de resistência e de desgaste aumentam também.

A operação de corte é muito sensível, pois exige uma combinação entre uma elevada resistência ao desgaste e uma grande resistência ao cisalhamento das arestas, e/ou à falha do material da ferramenta. Pelo seu lado, a operação de conformação exige sobretudo a resistência ao desgaste.

Nesta página, apresenta-se uma tabela que analisa a resistência dos diferentes aços para trabalho a frio da Uddeholm Tooling, tendo em conta os diferentes modos de falha.

Em todos os casos, a dureza deverá ser de pelo menos 58 HRC, pois abaixo deste valor, o risco de deformação plástica é grande.

Guia de selecção do aço para cortar Docol UHS				
Aumento da Espessura de chapa Ou da Complexidade geométrica				
	Docol 800 DP	Docol 1000 DP	Docol 1200 DP	Docol 1400 DP
Séries De produção Curtas	Rigor Arne Calmax	Sleipner Rigor Arne Calmax	Arne	
Séries de Produção Longas	Vanadis 10 Vanadis 23 Vanadis 6 Vanadis 5 Sverker 21 Sleipner	Vanadis 6 Vanadis 23 Vanadis 4	Vanadis 4	

Comparado a outros aços, o VANADIS possui uma boa combinação entre a resistência ao desgaste e a resistência ao cisalhamento. A razão subjacente a esta combinação é que os aços são produzidos por métodos de sinterização, a partir de pó, enquanto que os outros são produzidos a partir de métodos metalúrgicos convencionais. A diferença nas propriedades deve-se principalmente ao facto da sinterização produzir pequenos carbonetos que se distribuem uniformemente e que protegem contra a abrasão. Dado que os carbonetos são pequenos, tornam-se menos danosos se os considerarmos como pontos de iniciação de fissuras de fadiga. Em oposição, os aços convencionais com boa resistência ao desgaste possuem grandes carbonetos, distribuídos em camadas, o que diminui a resistência mecânica do material.

Guia de selecção do aço para corte de chapa Docol UHS

É difícil aconselhar quando está em causa a selecção de aços para ferramentas para uma situação específica, pois nenhum sistema de produção é exactamente igual. A nossa sugestão é a de tentar recolher a experiência adquirida com o equipamento mecânico em causa e comparar as performances dos diferentes aços. Caso esta experiência ainda não seja muito vasta, o quadro que figura nesta página poderá orientar e servir de apoio.

Todos os aços para ferramentas indicados na tabela da página 27 poderão ser utilizados para as resistências mais baixas de Docol UHS, para a chapa fina e geometrias simples. Apenas alguns dos aços indicados são apropriados para as resistências mais elevadas, devido ao risco de quebra da ferramenta causada pelo aparecimento de cisalhamento.

No projecto e produção das ferramentas é importante evitar cantos afiados, raios pequenos e superfícies mal maquinadas. As tensões elevadas de trabalho, combinadas com a elevada dureza dos aços para ferramentas, originam concentrações de tensões.

Guia de selecção do aço para conformação do Docol UHS

O desgaste por abrasão é o principal mecanismo que actua nas operações de conformação, embora o desgaste por adesão possa também ocorrer, devido às elevadas forças de atrito envolvidas neste processo. Os aços sinterizados possuem a melhor performance, mas não é necessária nenhuma informação especial, além daquela que está incluída na tabela dos modos de falha para seleccionar aços para ferramentas. Devido ao facto dos aços ultra-resistentes não serem tão propensos à conformação como os aços macios, as peças produzidas não poderão ter raios tão apertados como as peças produzidas em aços macios (o que é benéfico no contexto das ferramentas).



O Docol UHS no seu projecto

A elevada resistência é a propriedade principal dos aços Docol UHS. Para além disso, os aços podem suportar um elevado grau de deformação elástica antes que a deformação plástica ocorra. Na prática, esta situação traduz-se em benefícios para os projectos em definição e para as próprias peças.

Os novos materiais ultra-resistentes oferecem a possibilidade de se projectarem e fabricar peças com uma performance ainda mais elevada, tanto do ponto de vista do custo como da competitividade.

O que o projectista deve ter em mente

A elevada resistência dos aços Docol UHS proporciona a definição de projectos leves e finos. No entanto, há que ter em mente que as propriedades finais do produto são determinadas pela geometria, combinada com as propriedades do material.

A resistência à flecha, ou encurvadura de perfis, é significativamente afectada pela altura da secção e pelos vários reforços.

Quando é que os aços Docol UHS poderão beneficiá-lo?

Quando procurar:



Redução do peso. Várias peças, incluindo as mais “simples”, podem frequentemente tornar-se mais leves e mais económicas quando produzidas em Docol UHS. Material muito menos espesso é suficiente para suportar a mesma carga, anteriormente suportada por peças produzidas com aços convencionais.



Absorção elevada de energia. Tratando-se de peças de segurança para protecção contra acidentes, estes aços são os mais adequados. Devido à sua elevada resistência, os aços Docol UHS absorvem grandes quantidades de energia ao deformar.



Resistência ao impacto e ao choque. Esta é outra área onde a elevada tensão de cedência tem o papel principal. Os aços Docol UHS podem suportar uma deformação substancial, antes do amolgar ou da mudança de geometria da peça de forma permanente. Em suma, os aços Docol UHS são apropriados quer para peças que têm de suportar um manejado duro, quer para peças expostas ao choque.



Resiliência. Esta propriedade, directamente associada à capacidade do material dobrar sem partir (retorno elástico), pode ser directamente incorporada nas peças quando produzidas em Docol UHS.



Rigidez versus flexibilidade. Os aços Docol UHS podem ser utilizados com o objectivo de fabricar produtos que são mais elásticos e, por isso, possuem uma vida e utilização mais longas. Em muitos casos, uma estrutura mais flexível equilibra melhor as forças do que uma estrutura rígida.



Elevada resistência ao desgaste. Os aços Docol UHS possuem uma elevada resistência à abrasão, logo, são adequados para produtos sujeitos ao uso abrasivo.



Produtos robustos. Neste tipo de produtos, a resistência extrema é obrigatória.

Reforços, como canelados e extremidades dobradas, são utilizados para componentes de chapa de aço fina, pois reduzem a tendência à encurvadura, adicionam rigidez e permitem utilizar o material na sua melhor forma.

Os reforços são particularmente importantes na concepção de peças que tenham a função de absorver energia, tais como barras de impacto lateral nos automóveis, nos quais a encurvadura ou flecha deverão ser evitadas, mesmo durante a deformação plástica.

Os canelados e as nervuras podem ser estampados directamente em peças produzidas em Docol UHS. Considerando a sua elevada resistência, a formabilidade destes materiais é boa. Contudo, é necessário verificar se os raios de quina-gem são suficientemente grandes, e se a profundidade de estampagem é ou não moderada.

A operação de perfilagem é, particularmente, adequada à

produção de perfis em grandes séries. Os canelados e/ou nervuras podem ser colocados em áreas apropriadas, directamente no processo de conformação. Devido à elevada tensão de cedência, o Docol UHS pode ser conformado em menos etapas durante a perfilagem, sem reter tensões residuais.

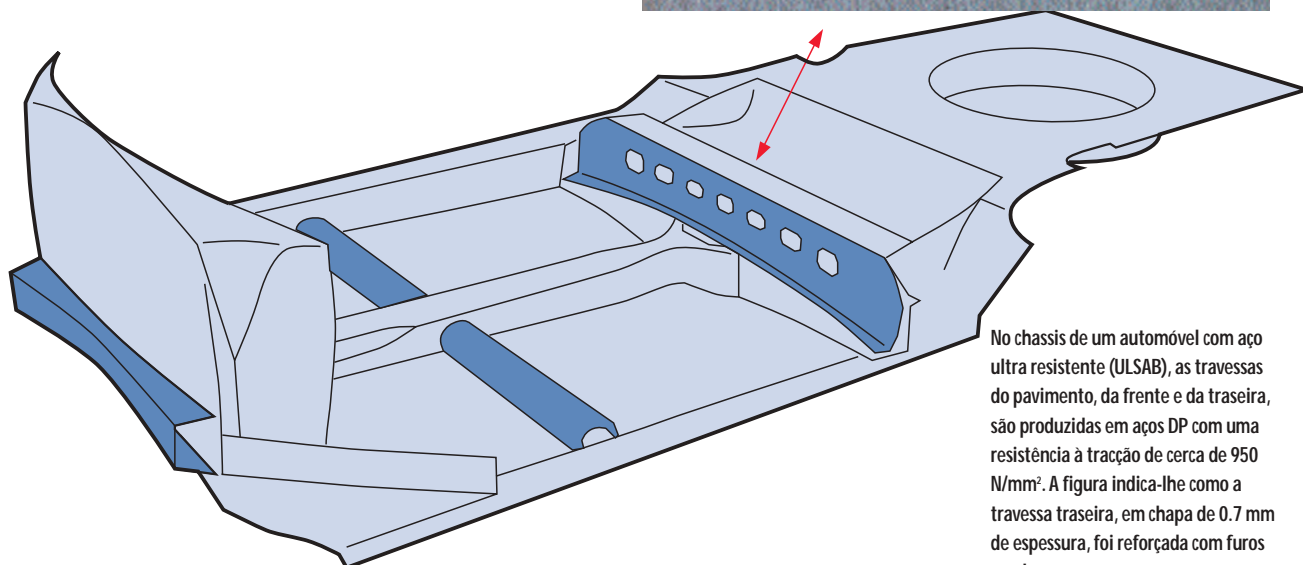
Na concepção de peças perfiladas em Docol UHS, deve garantir-se uma compensação adequada à elevada recuperação elástica do material. Este facto é sobretudo importante no fabrico dos rolos.

Nos projectos de chapa de aço, a utilização do material à tracção permite utilizar melhor as suas características. É importante evitar, a todo o custo, que partes estruturais de chapa de aço trabalhem à encurvadura ou flexão. Assim, evita-se a concentração local de tensões nas zonas quina-das.

Podemos ajudá-lo a pôr em prática os benefícios dos aços de ultra resistência!



Ao seleccionar os aços Docol UHS, é importante conjugar logo de início a selecção do material com o projecto e com os meios de produção. Deste modo, quer a produção, quer o próprio produto final, são técnica e economicamente optimizados.



No chassis de um automóvel com aço ultra resistente (ULSAB), as travessas do pavimento, da frente e da traseira, são produzidas em aços DP com uma resistência à tracção de cerca de 950 N/mm². A figura indica-lhe como a travessa traseira, em chapa de 0.7 mm de espessura, foi reforçada com furos na alma.

Serviço de Apoio Técnico ao Cliente

Os especialistas da SSAB Swedish Steel, e a sua longa experiência com aços laminados a frio, estão à disposição dos Clientes.

Estes especialistas do Serviço de Apoio Técnico ao Cliente, possuem uma ampla experiência em materiais e engenharia de produção.

Os nossos Engenheiros de Aplicações são especialistas em conformação, processos de união, tratamentos de superfície.

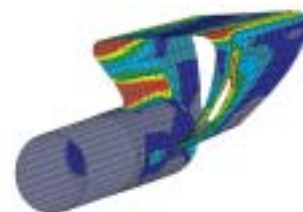
Disponha das nossas ferramentas de análise!

A SSAB Swedish Steel utiliza as ferramentas mais modernas para auxiliar os seus Clientes na selecção do aço indicado, para o projecto mais apropriado. Nestas ferramentas estão incluídas:

A análise pelo método de elementos finitos (FEM) pode ser usada para simular todas as fases do desenvolvimento de uma peça, tais como a selecção do tipo de aço, a forma

da platina, o processo de produção e a geometria final da peça. A análise FEM também poderá ser utilizada para calcular a absorção de energia de uma peça no caso de um acidente. Muitas das variantes de concepção (ferramentas, raio, espessura e tipo de aço) poderão ser simuladas no computador para assim se encontrar a solução perfeita.

ASAME é um equipamento que nos permite verificar rapidamente se um Cliente conseguiu a combinação certa entre um tipo de aço e a geometria final da peça. ASAME mede a distribuição da deformação em peças estampadas. Esta deformação é recolhida por câmaras e processada num programa informático complexo que, rapidamente, descreve como as ferramentas, os processos produtivos e o projecto final afectam o material. ASAME pode lidar com análises muito detalhadas de operações de conformação muito complexas.



A análise FME mostra que as tensões no material são demasiado elevadas em vários pontos.



Após algumas modificações relativamente simples de geometria, e do processo de produção, a análise demonstra que a peça satisfaz todas as exigências.



Cursos e Seminários

A SSAB Tunnplåt organiza regularmente cursos e seminários sobre as vantagens dos aços laminados a frio, como por exemplo:

Curso sobre Fabrico de Aço

Fornece conhecimento fundamental sobre a produção do aço, as propriedades e as aplicações dos diferentes tipos de aço.

Seminários que fornecem um conhecimento profundo sobre projecto, processos de produção, conformação, processos de união, aplicados aos aços de elevada resistência. Seminários à medida das necessidades das empresas.

Manuais

Os nossos manuais descrevem, com alguma profundidade, as muitas oportunidades oferecidas pelos aços laminados a frio:

“The Sheet Steel Handbook” (Manual da Chapa de Aço) fornece informação sobre dimensões e projectos, bem como conselhos destinados à engenharia de produção.

“The Sheet Steel Forming Handbook” (Manual de conformação de Chapa de Aço) fornece extensa informação sobre a conformação plástica.

Chapas para ensaios

Encomende amostras do nosso stock de chapa para ensaios, e descubra como um novo tipo de aço se pode adequar ao seu equipamento de produção e ao produto final.

Informação sobre materiais

Informação adicional sobre todos os nossos tipos de aço de alto limite elástico, e a forma de os utilizar e traba-

lhar, é apresentada nas nossas brochuras com os títulos *Alto Limite Elástico*, *Extra Alto Limite Elástico* e *Ultra Alto Limite Elástico*.

Certificação

SSAB Tunnplåt está certificada pela SS-EN ISO 9001:2000, ISO/TS 16949:2002 e SS-EN ISO 14001:1996.

Visite as nossas páginas web.

www.ssab.pt
www.ssabtunnplat.com
www.businesssteel.com
www.steelprize.com



Recomendações para a sua encomenda

A quantidade de cada item da encomenda resulta da multiplicação de 18 Kg/mm pela largura de banda ou chapa. Ao fazer a sua encomenda, lembre-se que deverá especificar sempre as suas exigências ou requisitos, nomeadamente sobre:

- Tipo de aço (descrição, a nossa designação, n.º da norma, etc)
- Adequação para galvanização a quente
- Adequação para esmaltação
- Qualidade de superfície
- Aparência da superfície
- Rugosidade da superfície
- Dimensões, incluindo tolerâncias
- Bordos cortados, ou não
- Quantidade
- Prazo de entrega
- Protecção com óleo de estampagem anticorrosivo
- Peso máx. e/ou min. do malote
- Tamanho da bobine máx. e/ou min. (peso e/ou diâmetro exterior)
- Embalagem
- Certificado de ensaio
- Outros requisitos

Informação importante

- Optar pelos aços Docol UHS, raramente exige investimentos em novos equipamentos. Na maioria dos casos, necessita-se apenas de ajustar correctamente as definições das máquinas.

- Não existem grandes diferenças entre utilizar aços Docol UHS ou aços macios. Contudo, há que considerar o seguinte:

- *Optando pelos aços Docol UHS, o desgaste das ferramentas aumenta. Este desgaste poderá ser reduzido através de uma melhor lubrificação, e de uma melhor qualidade do aço da ferramenta.*

- *A recuperação elástica é maior do que nos aços macios. Na quinagem, este facto poderá ser compensado através da quinagem que deverá ir além do ângulo pretendido, ou, através da redução do raio de punção ou da abertura da matriz. Em operações de estampagem, a recuperação elástica poderá ser reduzida vincando o punção, ou, aumentando a força do serra-chapas.*

- *A conformabilidade do Docol UHS não é tão boa como a dos aços macios. Este facto poderá ser muitas vezes compensado com um raio maior de quinagem/estampagem, com uma fricção reduzida (aumento de lubrificação), ou, com o ajustamento dos parâmetros de estampagem (folgas).*

- *Os aços Docol UHS podem ser soldados por pontos entre si. No entanto, os dados de soldadura (força do eléctrodo/tempo de soldadura) deverão ser alterados comparativamente aos aços macios. As propriedades mecânicas das juntas são boas mas, poderá ser difícil medir o núcleo do ponto, quando arrancado de modo convencional.*

- O módulo de elasticidade dos aços Docol UHS é o mesmo dos aços macios, e a rigidez da peça irá, por isso, ser mais baixa se a espessura do material for reduzida. No entanto, se a flecha não for aceite, a perda de rigidez poderá ser compensada por mudanças na geometria da secção transversal da viga. Em adição, poder-se-á aumentar a rigidez com a introdução de nervuras.

- Vigas e perfis com a alma cerca de 20 vezes a espessura de chapa poderão sustentar o empeno/encurvadura. A encurvadura ocorre quando é aplicada uma carga compressiva. Quando a carga é aliviada, os empenos desaparecem.

- Quando o tratamento térmico dos aços DOCOL UHS é processado a uma temperatura acima da temperatura de revenido, a resistência acaba por sofrer uma redução. Quanto maior for a temperatura, maior será a redução da resistência. Nos processos de tratamento superficial, tais como Dracomet ou Delta MKS, as temperaturas máximas recomendadas não deverão ser excedidas, caso se pretenda manter a tensão de ruptura inalterada.

- Se o Docol UHS for aplicado em peças sujeitas a cargas de fadiga, há que ter alguns cuidados, sobretudo quando aplicados particularmente em estruturas soldadas. É necessário planejar a localização das juntas soldadas, uma vez que as soldaduras não deverão localizar – se em áreas sujeitas a muitas tensões.

O ambiente e a reciclagem

O aço é um dos materiais mais reciclados do mundo se pensarmos que, aproximadamente, metade da produção mundial de aço traduz-se em aço reciclado.

Actualmente, a SSAB Swedish Steel já está a fornecer aços Docol UHS a Clientes com exigências ambientais rígidas, e a empresas que planeiam a sua certificação ambiental.

Os produtos de hoje deverão ter a capacidade de se tornarem nos produtos que vamos utilizar no futuro. A solução está em projectar produtos que possam no futuro ser reciclados. Neste âmbito, é necessário passar por processos de selecção que envolvem: os materiais, a produção, o tratamento superficial, o processo

de união. Todos estes processos poderão atender as exigências de hoje e a reciclagem de amanhã, dado que a redução do consumo de material é alcançada.

Os benefícios ambientais

O aço é 100% reciclável e tem propriedades magnéticas que lhe permite, por isso, ser facilmente separado de outros materiais.

A infra-estrutura de recolha de sucata, com o intuito de reciclar, é económica e está organizada há bastante tempo. Cerca de 90% de toda a sucata de veículos automóveis é recuperada.

Na reciclagem do aço, é necessária menos energia do que aquela que é exigida para produzir materiais virgens.



A SSAB Swedish Steel é o maior fabricante de chapa de aço da Escandinávia e um líder na Europa, quando se fala em desenvolvimento de aços extra e ultra- resistentes.

A SSAB Tunnplåt, membro do SSAB Swedish Steel Group, tem um volume de negócios de mil milhões de euros e emprega cerca de 4400 pessoas na Suécia. A produção anual desta empresa é de mais de 2.8 milhões de toneladas de chapa de aço.

A SSAB Swedish Steel possui uma política ambiental que envolve melhoramentos contínuos nas condições ambientais dos processos e equipamentos. A melhoria contínua dos nossos aços tem como objectivo, minimizar os impactos ambientais que lhes são inerentes, ao longo dos ciclos de vida de cada um deles.

Nas nossas linhas de produção, fabricamos os seguintes aços:

DOMEX®

Chapa de aço laminada a quente

DOCOL®

Chapa de aço laminada a frio

DOGAL®

Chapa de aço galvanizada a quente

PRELAQ®

Chapa de aço pré-pintada

Marcas registadas da SSAB Tunnplåt.

Ajudamos os nossos Clientes na selecção do aço mais adequado, para melhorar a sua competitividade. A nossa aposta está na qualidade dos nossos produtos, na confiança do nosso fornecimento, e na flexibilidade do nosso Serviço de Apoio Técnico ao Cliente.

ssabtunnplat.com



SSAB Swedish Steel
Rua São Nicolau N.2,
Sala 407
PT-4520-248 Santa Maria
da Feira
Portugal
Tel +351 256 371 610
Fax +351 256 371 619
info.pt@ssab.com
ssab.pt

SSAB Tunnplåt AB
SE-781 84 Borlänge
Sweden
Tel +46 243 700 00
Fax +46 243 720 00
office@ssabtunnplat.com
ssabtunnplat.com

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

Finland
OY SSAB Svenskt Stål AB
Tel +358-9-686 6030
ssab.fi

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

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

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

Italy
SSAB Swedish Steel S.p.A
Tel +39 030 90 58 811
ssab.it

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

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

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

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

Spain
SSAB Swedish Steel SL
Tel +34 91 300 5422
ssab.es

USA
SSAB Swedish Steel Inc
Tel +1 412-269 21 20
swedishsteel.us

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

South Africa
SSAB Swedish Steel Pty Ltd
Tel +27 11 822 2570/3/8
Tel +27 11 822 2580
swedishsteel.co.za

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

Korea
SSAB Swedish Steel Ltd
Tel +822 761 6172