

SSAB Tunnpåt AB est le plus grand fabricant scandinave de tôles d'acier et c'est un leader en Europe dans le développement d'aciers à haute limite d'élasticité avancée.

SSAB Tunnpåt, qui est un membre du Groupe SSAB Swedish Steel, possède un chiffre d'affaire annuel de 10 milliards de couronnes suédoises (SEK) et emploie près de 4 400 personnes en Suède. La capacité de production annuelle de la compagnie approche les 2,8 millions de tonnes de tôles d'acier.

Notre politique environnementale cherche continuellement à améliorer les conditions du milieu du processus de fabrication et du matériel antipollution. Nos produits sont constamment améliorés dans le but de minimiser leur impact sur l'environnement au cours de toute leur durée de vie.

Nous fabriquons les aciers suivants, dans nos chaînes de production modernes et hautement efficaces, ainsi que dans nos laminaires pour les produits en bandes :

DOMEX[®]

tôle d'acier laminée à chaud

DOCOL[®]

tôle d'acier laminée à froid

DOGAL[®]

tôle d'acier galvanisée à chaud

DOCOL[®]

tôle d'acier pré-laquée

Nous aidons nos clients à choisir les meilleurs aciers qui leur permettront d'améliorer leur compétitivité. Notre force réside dans la qualité de nos produits, la fiabilité de nos prestations ainsi que dans notre service technique client très flexible.

ssabtunnplat.com

SSAB
SWEDISH STEEL

SSAB Swedish Steel SA

114, avenue Charles de Gaulle
FR-92522 NEUILLY SUR SEINE
CEDEX
Tel +33-1-55 61 91 00
Fax +33-1-55 61 91 09
ssab.fr

SSAB Tunnpåt 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

South Africa

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

China

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

Korea

SSAB Swedish Steel Ltd
Tel +822 761 6172

Docol®

**Docol UHLE –
Laminé à froid
Aciers à ultra haute
limite d'élasticité**

Léger – Résistant – Formable

SSAB
SWEDISH STEEL



**Docol®**

Les aciers à ultra haute limite d'élasticité, laminés à froid, de SSAB Tunnpilåt – désignés Docol UHLE – sont dotés de résistances minimum à la traction qui vont de 800 N/mm² à 1400 N/mm² et de limites d'élasticité qui dépassent les 550 N/mm².

Les limites d'élasticité élevées des aciers Docol UHLE vous permettent de réduire les épaisseurs des tôles de vos produits et en même temps d'abaisser vos coûts de matière première.

La haute résistance des aciers Docol UHLE offre des possibilités de fortes économies de poids qui en retour apportent de grands bienfaits écologiques, à la fois au cours de la production de l'acier et durant la vie utile du produit fini.

TABLE DES MATIERES

- 2-3 Docol UHLE fait reculer les limites de l'élasticité, de l'économie de poids et des bienfaits écologiques**
- 4-5 Des propriétés uniques qui présentent des possibilités uniques**
- 6-7 Des aciers de pointe pour de multiples applications**
- 8-9 Docol UHLE – nuances et dimensions**
- 10-25 Propriétés techniques**
Cisaillage et emboutissage, découpage au laser, formage, absorption d'énergie, vieillissement, résistance aux chocs et aux impacts, écrouissage et durcissement secondaire, traitement thermique, fatigue, soudage, traitement de surface
- 26-29 Aciers à outils**
- 30-31 Docol UHLE dans vos études techniques**
- 32-33 Laissez-nous vous aider à tirer parti des avantages des aciers à haute limite d'élasticité**
- 34 Bon à savoir**
- 35 L'environnement et le recyclage**

Des propriétés uniques qui présentent des possibi- lités uniques

Les aciers à ultra haute limite d'élasticité, laminés à froid – désignés Docol UHLE – acquièrent leurs propriétés exceptionnelles dans la ligne de recuit en continu de SSAB Tunnpålt.

Les aciers sont recuits à des températures qui varient entre 750°C et 850°C, selon la nuance de l'acier, et sont par la suite durcis par une trempe à l'eau.

Le revenu constitue l'étape suivante, au cours duquel l'acier est chauffé à 200–400°C et acquiert sa structure finale d'où il tire sa résistance et sa bonne aptitude au formage. Cette procédure unique de recuit donne naissance à une structure martensitique revenue qui explique la haute limite d'élasticité de l'acier.

Le recuit et le revenu sont tous deux menés dans une atmosphère inerte pour éviter l'oxydation de l'acier, et la bande d'acier traverse un bain de décapage entre la trempe et le revenu en vue d'enlever la couche d'oxyde fine qui se forme lors du processus de trempe.

Microstructure des aciers

La microstructure des aciers se compose de martensite pour la phase dure et de ferrite pour la phase tendre. La résistance de l'acier s'accroît avec l'augmentation de la teneur en phase dure martensitique.

La proportion de martensite est déterminée par la teneur en carbone de l'acier et par la température du cycle à laquelle l'acier est soumis au cours du processus de recuit continu.

Des matériaux purs dotés d'excellentes propriétés

A cause du processus rapide de trempe dans l'eau, la production des aciers Docol UHLE requiert une quantité minimale d'éléments d'alliage. Seulement des petites quantités de carbone, de silicium et de manganèse sont ajoutées pour atteindre la trempabilité souhaitée.

L'acier final possède d'excellentes qualités de soudabilité et de formabilité ainsi que des propriétés mécaniques uni-

formes. Les aciers Docol UHLE peuvent être coupés, profilés et soudés au moyen des procédés classiques.

Convient à la production à la chaîne

Les aciers Docol UHLE conviennent très bien pour les systèmes modernes de production à la chaîne, au cours desquels les pièces sont travaillées à la chaîne de façon ininterrompue, sans périodes d'arrêt pour des traitements thermiques.

Utilisés en production à la chaîne, les aciers Docol UHLE peuvent réduire les coûts de manutention, baisser les coûts de l'énergie utilisée pour les traitements thermiques, améliorer l'efficacité et réduire les délais de réalisation.

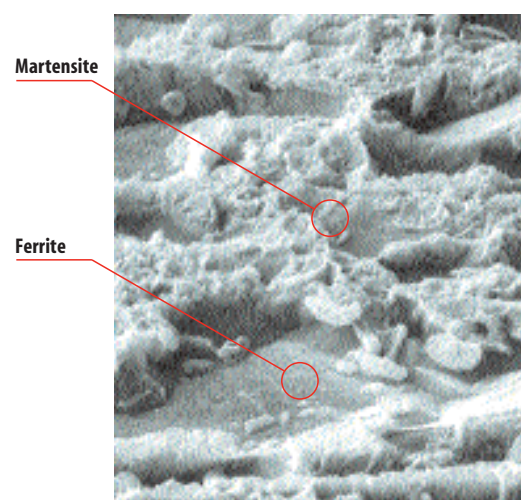
Les aciers Docol UHLE étant déjà trempés et revenus avant leur livraison, ils n'ont plus besoin de subir de traitements thermiques et peuvent ainsi remplacer les aciers à forte teneur en carbone.

Excellente formabilité

En dépit de leur haute limite d'élasticité, les aciers Docol UHLE possèdent une grande aptitude au formage qui peut se réaliser au moyen de procédés classiques.

Dans la plupart des cas, les aciers Docol UHLE sont utilisés pour économiser du poids en remplaçant les matériaux plus épais, de résistance moindre. Les aciers Docol UHLE peuvent être traités de la même manière que les matériaux qu'ils remplacent, vu que l'épaisseur est l'un des facteurs qui détermine les forces d'emboutissage, de pliage et de cisaillement.

Les aciers Docol UHLE sont excellents pour le profilage. Par exemple, l'acier Docol



Micrographie de l'acier Docol 800 DP prise dans un microscope électronique à balayage (x 500). Elle met en évidence les phases martensite et ferrite de l'acier.



1400 DP subit un formage aux galets pour produire des pare-chocs de voiture.

Benefique à l'environnement

Les aciers Docol UHLE apportent de nombreux bienfaits pour l'environnement. En diminuant le poids d'un produit, on aura besoin de moins de matériau et on économisera de l'énergie pour sa production.

On aura besoin également de moins d'énergie pour le transport de l'acier.

Lorsque l'acier Docol UHLE est utilisé pour diminuer le poids d'un véhicule, la consommation d'énergie ainsi que l'émission de gaz d'échap-

pement de ce véhicule subissent également une réduction.

L'acier Docol UHLE est durci en cours de production, ce qui élimine les coûts de fonctionnement des fours de traitement thermique ainsi que les risques que présentent de tels fours. En outre, l'acier est entièrement recyclable selon les moyens actuels.

Applications diverses

La haute résistance des aciers Docol UHLE convient pour diverses applications dans l'industrie automobile, notamment pour la construction des parties qui ont trait à la sécurité.

L'industrie automobile fait appel aux aciers Docol UHLE pour des composants tels que les poutres pour les chocs latéraux, les pare-chocs, les sièges et autres composants qui exigent la plus haute résistance possible, le poids le plus faible possible ainsi que la plus grande capacité d'absorption d'énergie.

Les aciers Docol UHLE sont également employés dans des dispositifs qui requièrent une forte résistance aux chocs et à l'abrasion tels que les boîtiers anti-effraction pour ordinateurs et les bandes transporteuses. Pour plus d'exemples, voir la page suivante.

Des aciers de pointe pour diverses applications

Les aciers Docol UHLE sont des aciers haute technologie dotés de propriétés évoluées.

Cependant, ceci ne limite pas l'emploi des aciers Docol UHLE aux technologies de pointe.

Au contraire, vous pouvez utiliser les aciers Docol UHLE même pour vos produits les plus simples.

Il est simple de passer à l'utilisation des aciers Docol UHLE, puisqu'ils peuvent être profilés et travaillés de la même façon que les matériaux que vous utilisez actuellement, avec les mêmes procédés et équipements.

Les aciers Docol UHLE vous aident à réduire vos coûts de matière première et de production, tout en vous permettant de développer des produits plus légers et résistants et plus écologiques.

Les illustrations suivantes apportent des exemples d'utilisation des aciers Docol UHLE, à la fois dans des éléments simples et des éléments d'avant-garde.

Cependant, les meilleurs exemples se trouvent probablement dans votre environnement proche...





Docol UHLE – nuances et Dimensions

Les aciers Docol UHLE allient la haute résistance à l'excellente capacité d'emboutissage.

Les aciers sont fournis avec des résistances minimums à la traction garanties qui vont de 800 N/mm² à 1400 N/mm².

Une limite d'élasticité sensiblement plus élevée de la pièce finie peut être atteinte en utilisant les propriétés d'écrouissage et de durcissement secondaire des aciers.

Les aciers DP et DL

Le groupe d'aciers Docol UHLE comprend à la fois des aciers DP et des aciers DL.

Les aciers DP possèdent un rapport élevé entre leur limite d'élasticité et leur résistance à la traction, ce qui signifie

qu'ils possèdent une bonne aptitude à distribuer la tension créée lors du travail.

Les aciers DL sont fabriqués de sorte que la différence entre leur limite d'élasticité et leur résistance à la traction soit plus importante que pour les aciers DP. Il en résulte que les aciers DL possèdent une formabilité encore meilleure que les aciers DP.

Les nombres compris dans l'appellation des aciers correspondent à leurs résistances minimums à la traction. La différence entre la limite d'élasticité et la résistance à la traction est normalement élevée dans l'état laminé, mais est considérablement réduite par le formage à froid.



Propriétés mécaniques					
Nuance des aciers	Limite d'élasticité R _p 0.2, N/mm ² min.-max	Limite d'élasticité après durcissement secondaire R _p 0.2 + BH**, N/mm ² min.	Résistance à la traction R _p 0.2, N/mm ² min.-max.	Allongement A ₈₀ min.(%)	Rayon de pliage minimum recom- mandé dans un pliage à 90 degrés
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

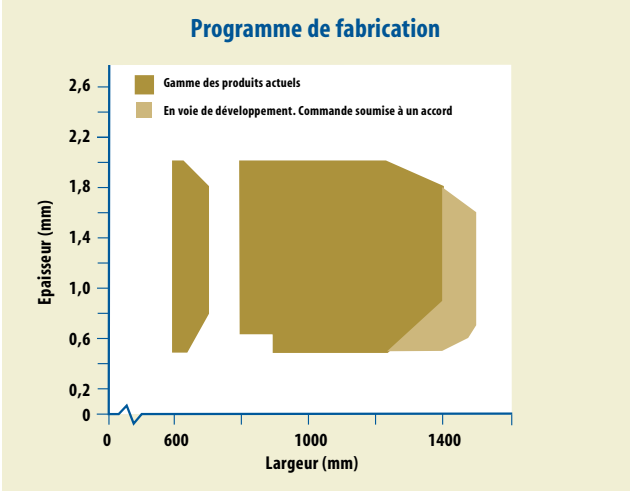
* En cours de développement

** BH = durcissement secondaire après 2 % d'allongement et chauffage à 170° pendant 20 min

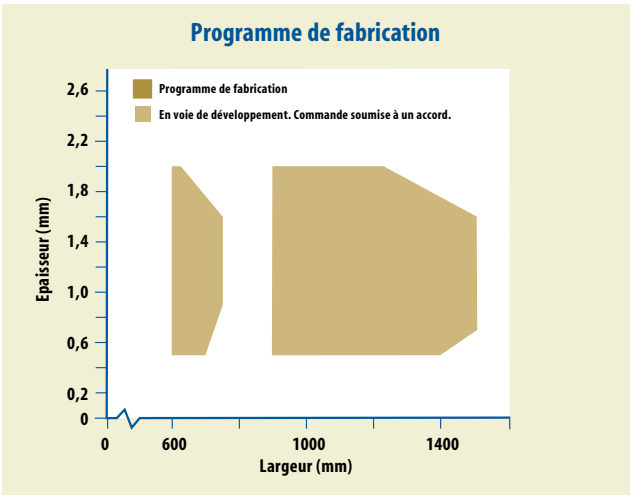
() = valeurs qui ne sont pas garanties

Composition chimique (valeurs habituelles)							
Nuance des aciers	% 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 cours de développement



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



Docol 1200 DP et Docol 1400 DP

Propriétés techniques

Propriétés techniques

Cisaillage et poinçonnage	10
Découpage au laser	10
Formage	12
Absorption d'énergie	16
Vieillessement	16
Résistance aux chocs et aux impacts ..	17
Ecrouissage et durcissement	
secondaire	18
Traitement thermique	19
Fatigue	20
Soudage	20
Traitement de surface	25



Cisaillage et poinçonnage

Lorsqu'un matériau à haute

limite d'élasticité est cisaillé, l'opération de cisaillement doit être adaptée pour convenir à la dureté, à l'épaisseur et à la résistance au cisaillement de l'acier, ainsi qu'à la conception, la rigidité et l'usure de la cisaille mécanique ou de la machine utilisée. Une dépouille correcte des lames de la cisaille mécanique est particulièrement importante. La dépouille est déterminée par l'épaisseur de la tôle, la résistance de l'acier ainsi que par les exigences concernant

l'aspect de la rive cisaillée. Plus le matériau est épais et résistant, plus importante doit être la dépouille. Une dépouille de 6 % de l'épaisseur de la tôle est normalement utilisée pour les aciers doux et les aciers à résistance moyenne. Une dépouille d'environ 10 % de l'épaisseur de la tôle est recommandée pour les aciers Docol UHLE. Une dépouille plus importante engendre une meilleure qualité de coupe, mais une zone de tombée de découpage quelque peu plus grande.

L'effort de coupe en Newtons peut-être calculé à partir de l'expression suivante :

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

Donde, F = Effort de coupe (N)

K_{sk} = Résistance au cisaillement (e fois la résistance à la traction)

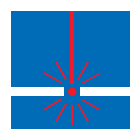
h = Angle de coupe des cisailles mécaniques

t = Épaisseur des tôles

Le facteur e varie avec la résistance à la traction du matériau. Les aciers doux tels que les DC01 possèdent un e égal à 0,8 alors que les aciers Docol UHLE ont un e égal à 0,6. L'effort de coupe nécessaire s'accroît avec la résistance à la traction. Passer à un acier

de résistance plus élevée conduit habituellement à une réduction de l'épaisseur et par conséquent à un effort de coupe nécessaire considérablement amoindri. Un poinçon chanfreiné peut réduire l'effort nécessaire jusqu'à 50 %.

La dépouille est déterminante pour l'usure durant l'emboutissage. Une dépouille faible accroît l'usure des outils ce qui signifie qu'ils doivent être plus souvent affûtés.



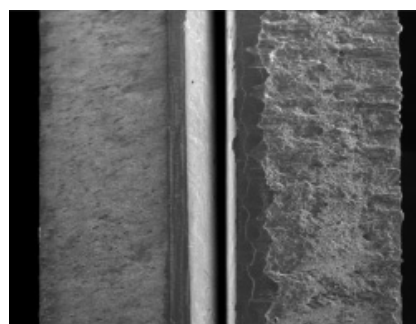
Découpage au laser

Les pièces fabriquées avec

de l'acier Docol UHLE peuvent souvent avoir des formes géométriques complexes. Le découpage au laser permet de créer de telles formes directement au cours du processus de découpe sans qu'un usinage ultérieur soit nécessaire. Le découpage au laser est un processus de découpe de haute qualité qui produit une surface de coupe parfaite ainsi qu'une haute précision quant aux dimensions. Pour atteindre cela, des exigences strictes sont requises de la part des réglages de l'équipement de découpe ainsi que de la part du matériau à couper. L'un des facteurs qui influe sur les résultats de la découpe est la surface du matériau de la pièce de fabrication.

Surface

La propreté de la surface de la tôle représente l'un des plus importants facteurs pour atteindre une surface de



10 % de l'épaisseur de la tôle 6 % de l'épaisseur de la tôle

Importance de la dépouille sur l'aspect du bord de coupe dans le cas de l'acier Docol 1400 DP

Epaisseur relative											
A la nuance d'acier	De la nuance d'acier										
	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

Effort de coupe relatif											
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

Se servir du tableau : En passant, par exemple, du matériau DC04 au matériau Docol 800 DP, on a une réduction d'épaisseur de 60 %. Il en résulte que l'effort de coupe sera égal à 80 % de celui nécessaire pour couper le matériau DC04.

coupe de haute qualité, c'est-à-dire un écart angulaire (conicité μ) faible et une surface lisse de la coupe (Rz). Une surface propre engendre les meilleures propriétés de coupe en ce qui concerne aussi bien la qualité de coupe que l'économie de production.

Résultats des essais

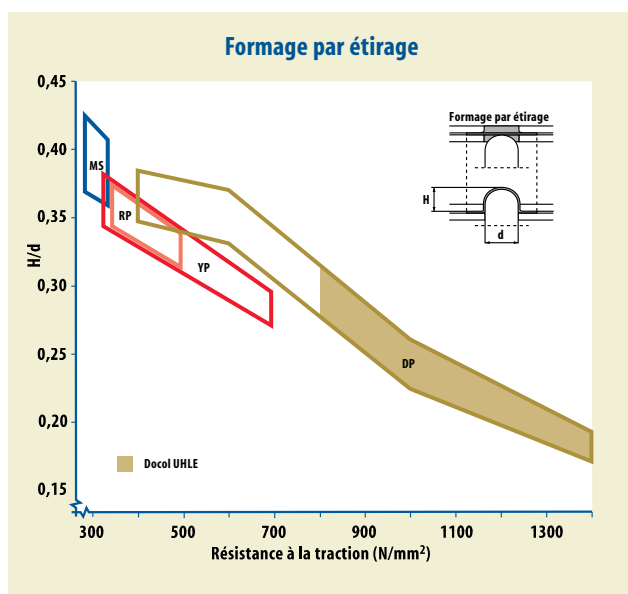
Au cours de ces dernières années, le découpage au laser est devenu la méthode de coupe par excellence. SSAB Tunnpilät a par conséquent mené des études sur les propriétés de découpage au laser des aciers Docol UHLE en

tenant compte de ses propres recherches ainsi que des expériences d'autres compagnies qui utilisent le découpage au laser. Les résultats de ces études peuvent être résumés comme suit :

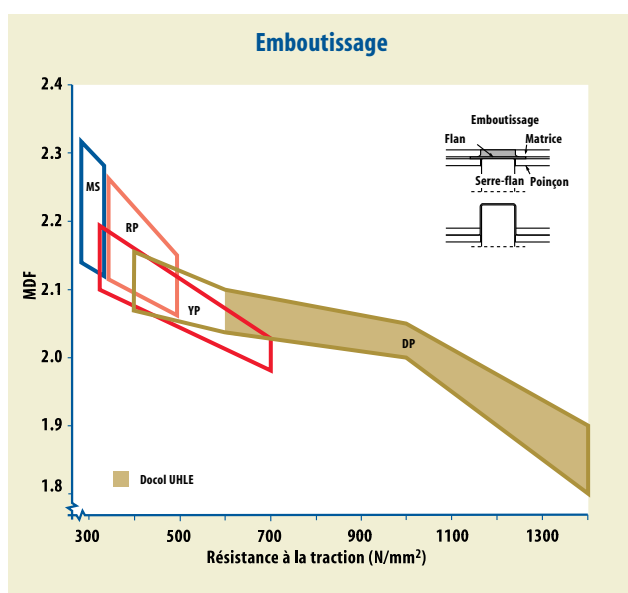
- Les aciers Docol UHLE ne requièrent aucun paramètre de coupe spécial.
- Les aciers UHLE répondent à la norme de classe supérieure DIN 2310, section 5 en ce qui concerne les bords de coupe au laser. Ceci s'applique

à la fois à la finition de surface et à la conicité.

- Les aciers Docol UHLE ne contiennent aucune macro-inclusion qui pourrait avoir une conséquence néfaste sur les résultats de la découpe.
- Des changements de dureté ne s'établissent que dans une zone limitée la plus proche du bord de coupe. La zone détériorée par la chaleur du laser est limitée. Cette zone est si proche du bord et si petite qu'elle est éliminée ultérieurement par l'opération de soudage.



Aptitude au formage par étirage, H/d , en fonction de la résistance à la traction des aciers doux (AD) et des aciers Docol YP, RP et DP. La figure montre l'excellente aptitude au formage par étirage des aciers Docol UHLE.



Rapport d'emboutissage limité (LDR) en fonction de la résistance à la traction des aciers doux (AD) et des aciers Docol YP, RP et DP. La figure montre l'excellente aptitude à l'emboutissage des aciers Docol UHLE.



Formage

En dépit de leur dureté élevée, les aciers Docol

UHLE possèdent une grande aptitude au formage et peuvent être formés de manière classique. La formabilité quelque peu faible par rapport aux aciers doux peut, presque toujours, être compensée en modifiant la forme de la pièce.

Formage par étirage

Dans le formage par étirage, le matériau est retenu par le serre-flan, et toutes les déformations plastiques prennent place pendant l'emboutissage. Le matériau subit une contrainte bi-axiale qui entraîne une réduction de l'épaisseur. Il y aura rupture si la déformation locale est excessive. Les propriétés de formage par étirage dépendent essentiellement de la capacité du matériau à redistribuer la tension.

Il existe une relation étroite entre les propriétés de formage par étirage du matériau et ses propriétés d'écrouissage, c'est-à-dire que plus les propriétés d'écrouissage du matériau seront importantes, meilleure sera la distribution des tensions et par conséquent meilleure seront les propriétés de formage par étirage.

Vu que les aciers Docol UHLE subissent un écrouissage élevé, ils possèdent égale-

ment de meilleures propriétés de formage par étirage que les autres aciers de limite d'élasticité comparable.

Emboutissage

L'emboutissage se caractérise par le fait que le flan, dans sa totalité ou en grande partie, soit introduit en force dans la matrice et que la pression du serre-flan soit réglée pour éviter un plissage.

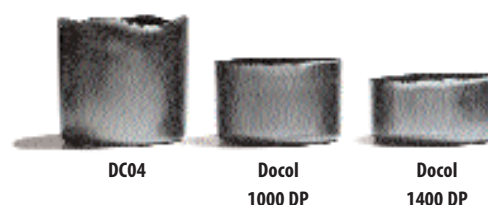
L'aptitude du matériau à résister à l'emboutissage dépend essentiellement de deux facteurs :

- L'aptitude du matériau à se déformer plastiquement dans le plan de la tôle, à savoir la facilité avec laquelle le rebord du matériau coule et se transforme en piedroit au cours de l'emboutissage.
- Les piedroits du matériau doivent être capables de résister à la déformation plastique dans le sens de l'épaisseur afin de réduire les risques de rupture.

L'aptitude à l'emboutissage des aciers Docol UHLE est aussi bonne, ou quelque peu meilleure, que celle des autres aciers de limite d'élasticité comparable.

Bordage

Le rapport des diamètres des trous d'avant et d'après le bordage est appelé rapport de bordage.



La figure montre l'excellente aptitude à l'emboutissage des aciers Docol UHLE.

Les flans doivent être positionnés de telle manière que les bavures de découpage soient vis-à-vis du poinçon, parce que ce sont les fibres extérieures du matériau qui subissent le plus de déformation, et que le formage à froid au cours du cisailage réduit la ductilité du bord de coupe.

Vu que les fibres extérieures d'un matériau mince se déforment moins que celles d'un matériau épais, les matériaux minces peuvent donc mieux résister à un rapport de bordage élevé que les matériaux épais de même diamètre intérieur de trou bordé.

Pour atteindre les meilleurs résultats de bordage des aciers Docol UHLE, il est recommandé d'utiliser un rayon à fond de dent plus grand (1,5–2 t) que celui utilisé pour les aciers doux. Dans la pratique, on prévoit une dépouille plus grande entre le poinçon et la matrice.

Pliage

Dans le pliage, un moment de flexion est imposé à la tôle, sa partie externe expérimente un effort de traction en même temps que sa partie interne subit une compression. L'aptitude au pliage diminue avec l'augmentation de la limite d'élasticité. La différence

entre les aptitudes au pliage des aciers Docol UHLE parallèlement à la direction du laminage et perpendiculairement à celle-ci, est relativement importante. Il est donc particulièrement important pour le pliage des aciers Docol UHLE, que le bon rayon de poinçon soit combiné au bon écartement de la matrice.

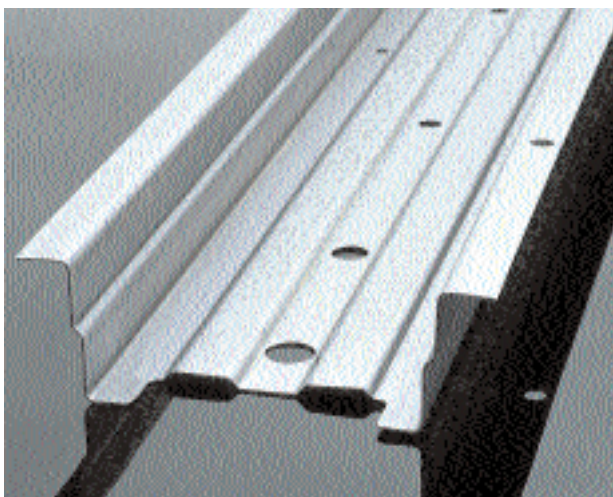
Résultats d'une recherche sur l'aptitude au pliage des aciers Docol UHLE de 1,5 mm d'épaisseur. Pour des raisons de sécurité, nous recommandons que l'opération de pliage se fasse avec le rayon interne minimum indiqué dans le tableau de la page 9.

Aptitude au pliage perpendiculairement à la direction du laminage. Tôle de 1,5 mm d'épaisseur							
Rayon de poinçon R (mm)	R/t	Largeur de l'écartement de la matrice, 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				

Satisfaisant
 Contraction locale/ruptures transversales
 t = épaisseur

Aptitude au pliage parallèlement à la direction du laminage. Tôle de 1,5 mm d'épaisseur							
Rayon de poinçon R (mm)	R/t	Largeur de l'écartement de la matrice, 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				

Satisfaisant
 Contraction locale/ruptures transversales
 t = épaisseur



Poutre pour camion Volvo en Docol 800
DP de 1,25 mm d'épaisseur.

Profilage

Le profilage est une méthode de formage qui convient très bien aux aciers Docol UHLE. Le processus est moins exigeant pour le matériau que dans le pliage à la presse plieuse, et par conséquent il permet la production de profilés de sections transversales compliquées et de rayons de petites dimensions.

Le profilage peut-être combiné à des opérations simultanées ou ultérieures de poinçonnage, soudage et pliage.

A cause de la haute limite d'élasticité de l'acier Docol UHLE, son retour élastique est plus grand que celui des aciers doux, et ceci s'applique également pour le profilage. Si une ligne de production destinée à l'origine pour un matériau doux est utilisée pour de l'acier Docol UHLE, il faudra alors l'ajuster afin de convenir à la limite d'élasticité plus élevée des aciers Docol UHLE.

Courbes des déformations-limites

La courbe des déformations-limites (FLC) indique le degré de déformation que peut supporter le matériau dans un parcours de déformation particulière ou une condition de déformation particulière.

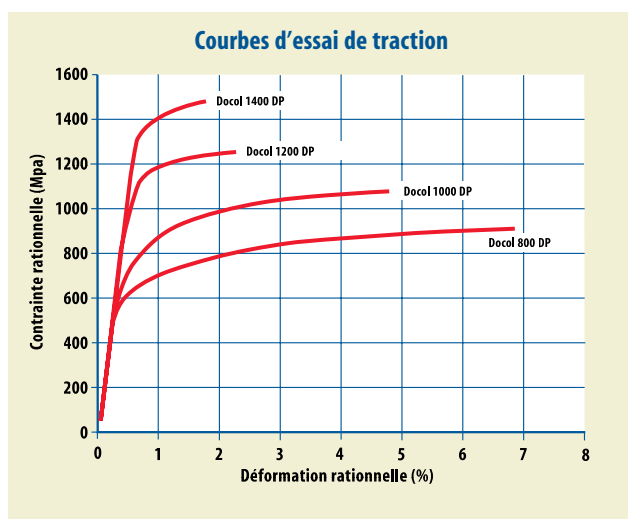
On peut se servir de la courbe FLC comme documentation ou comme aide pour résoudre des opérations difficiles d'emboutissage peu profond.

Un modèle en damier est gravé sur le matériau d'échantillon qui est ensuite embouti. Les changements dimensionnels sont mesurés suivant deux directions, c'est-à-dire que la taille la plus importante est appelée e-max, et celle perpendiculaire à cette direction est appelé e-min.

S'il y a eu un changement positif pour les deux directions, le processus est un formage par étirage et il est tracé point par point à droite de la ligne du zéro de la courbe FLC.

Les valeurs qui possèdent un e-min négatif et un e-max positif sont tracées point par point à gauche de la ligne du zéro et dénotent un processus d'emboutissage.

Les courbes dépendent de l'épaisseur du matériau et doivent par conséquent être recalculées en tenant compte des épaisseurs appropriées. Les résultats pour une opération donnée d'emboutissage peu profond sont tracés point par point dans le graphique et sont comparés à la courbe du matériau. Si le résultat est au-dessous de la courbe, le matériau en question peut résister à la déformation.

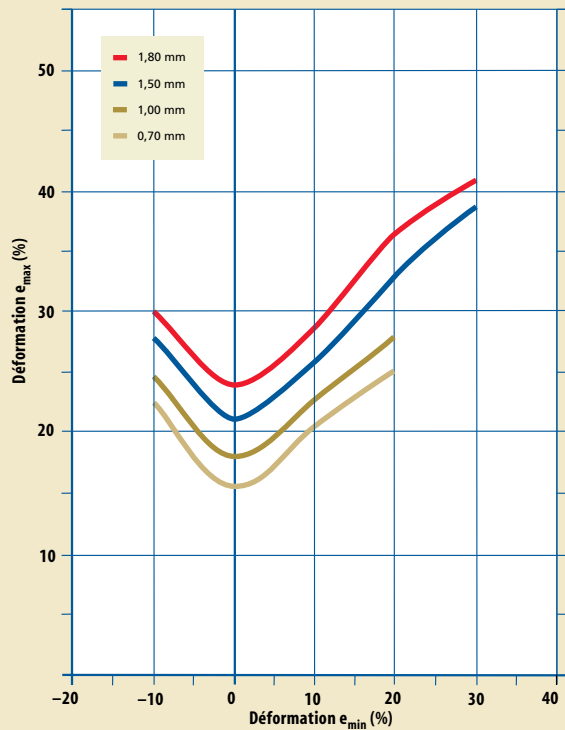


Courbes d'essais de traction

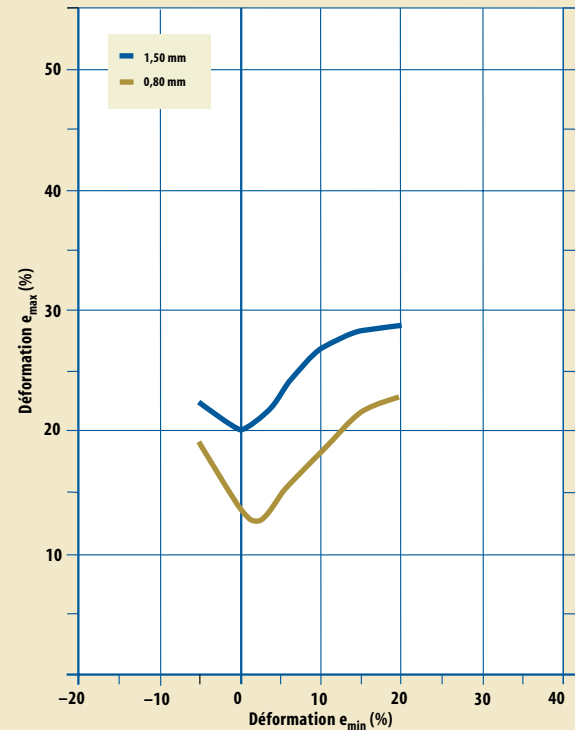
Des courbes résultant d'essais ordinaires de traction sont exploitables pour divers types d'analyses FEM (Méthode des éléments finis), à savoir les estimations de la capacité de charge ou de l'absorption d'énergie pour une pièce en voie d'élaboration. Dans les courbes de contrainte/déformation rationnelles, les niveaux de contrainte et de déformation compensent les rapports de réduction au cours des essais. Les aciers à limite d'élasticité plus élevée posséderont un niveau supérieur de contrainte pour une déformation donnée.

Courbes des déformations-limites (FLC) pour les déformations rationnelles des aciers Docol UHLE

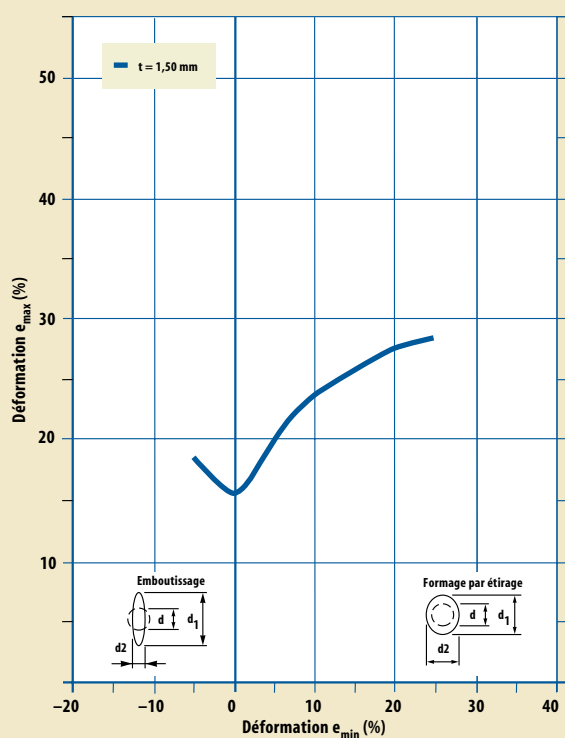
Docol 800 DP



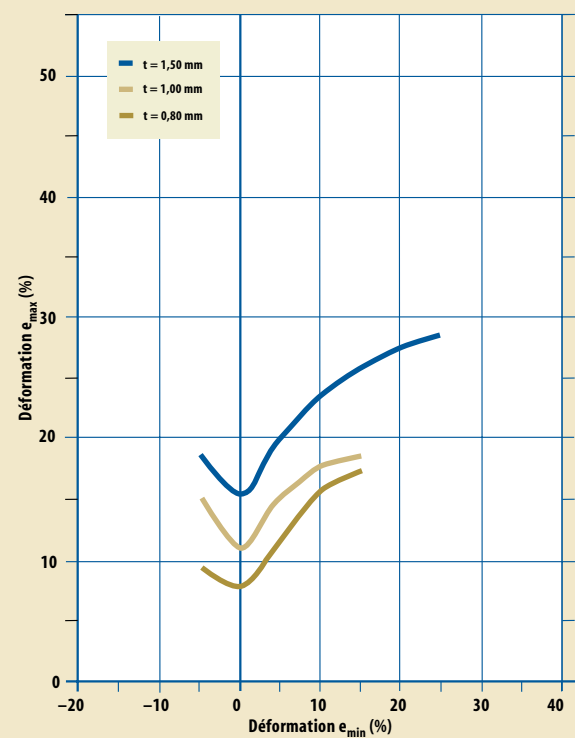
Docol 1000 DP



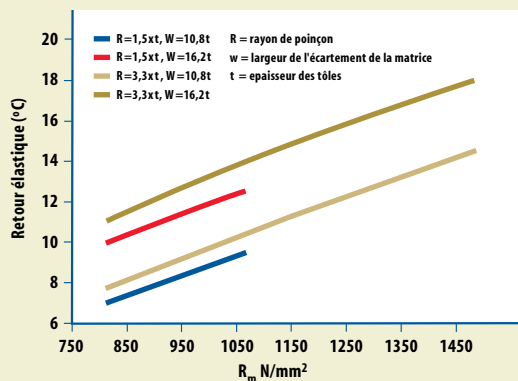
Docol 1200 DP



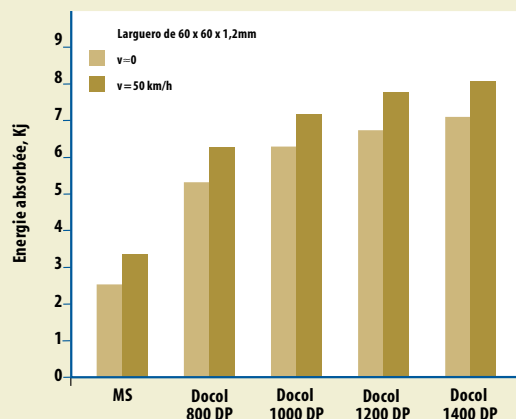
Docol 1400 DP



Retour élastique des aciers Docol UHLE lorsqu'ils sont pliés A 90 degrés ($t=1,5$ mm)



Capacité d'absorption d'énergie des aciers Docol UHLE



Le graphique en barres montre l'absorption d'énergie d'une pièce mécanique 60 x 60 x 1,2 mm pour deux vitesses différentes.

Retour élastique

Le retour élastique augmentera en passant d'un acier doux à un acier à limite d'élasticité plus élevée. Le retour élastique est influencé non seulement par la limite d'élasticité du matériau mais également par l'outillage utilisé. Une augmentation de la limite d'élasticité, du rayon du poinçon ou de la largeur de l'écartement de la matrice, entraînera une augmentation du retour élastique. Une diminution de l'épaisseur augmentera également le retour élastique pour un rayon donné.

On peut compenser le retour élastique en accentuant la déformation plastique du matériau au niveau du pli. Il est possible de réaliser cela par un pliage avec correction du matériau ou en réduisant soit le rayon du poinçon, soit la largeur de l'écartement de la matrice. Il peut être également réduit en introduisant des raidisseurs.



Absorption d'énergie

La capacité d'absorption

d'énergie de diverses pièces de sécurité de voitures dépend de la limite d'élasticité de l'acier utilisé pour ces structures. Il s'ensuit que l'épaisseur des tôles des structures telles que les poutres latérales de charges axiales et les poutres de chocs de portes, peut être considérablement réduite en utilisant les aciers Docol UHLE au lieu des aciers doux.

En règle générale, le poids des pièces d'absorption d'énergie peut être réduit de 30 à 40 %, si l'on utilise de

l'acier Docol 1000 DP et de 40 à 50 %, si l'on utilise de l'acier Docol 1400 DP, à la place d'aciers doux.

La géométrie transversale, l'épaisseur de la tôle et la limite d'élasticité de l'acier forment les facteurs qui influencent la capacité d'absorption de la pièce.

Les propriétés mécaniques de l'acier sont améliorées par des vitesses élevées de déformation. En conséquence, la capacité d'absorption d'énergie augmente dans une situation réelle de collision.

Il est possible d'évaluer la capacité d'absorption d'énergie d'une pièce en utilisant la méthode d'analyse FEM. Diverses combinaisons de matériaux et de géométries peuvent être simulées avant la fabrication du prototype.

Une façon de mesurer la capacité d'absorption d'énergie de renforts de portes de voitures, est de procéder à un essai statique de flexion en trois points. La force est mesurée en fonction de la déformation par rapport à une valeur de déformation prédéterminée, et l'énergie se calcule sur cette base.



Vieillissement

De par leur structure, les aciers Docol

UHLE ne vieillissent pas. Ils sont composés de deux phases, une dure (la martensite) et une autre tendre (la ferrite).

La différence de dureté entre ces deux phases neutralise le phénomène normal de vieillissement tel que l'augmentation de la limite d'élasticité et la restauration de l'extension de la limite d'élasticité apparente après stockage dans des conditions de température normales.

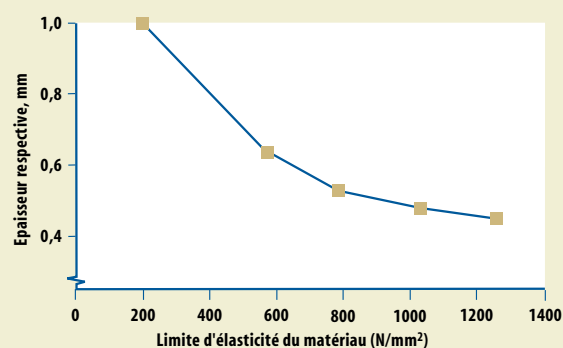


Résistance aux chocs et aux impacts

Les surfaces étendues des tôles d'acier qui sont exposées aux chocs et aux impacts courent de sérieux risques de déformation permanente. Le toit d'une voiture, par exemple, doit être capable de résister aux chocs et aux impacts de charges modérées sans connaître de déformation permanente. La limite d'élasticité du matériau détermine la résistance aux impacts de la surface de la tôle. La figure montre les épaisseurs respectives pour lesquelles les aciers

Docol UHLE ont une résistance aux chocs et aux impacts équivalente ou égale à celle des aciers doux (limite d'élasticité égale à 220 N/mm^2), à savoir, indirectement, quelle quantité de matériau peut être économisée en passant aux aciers Docol UHLE.

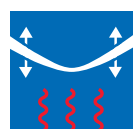
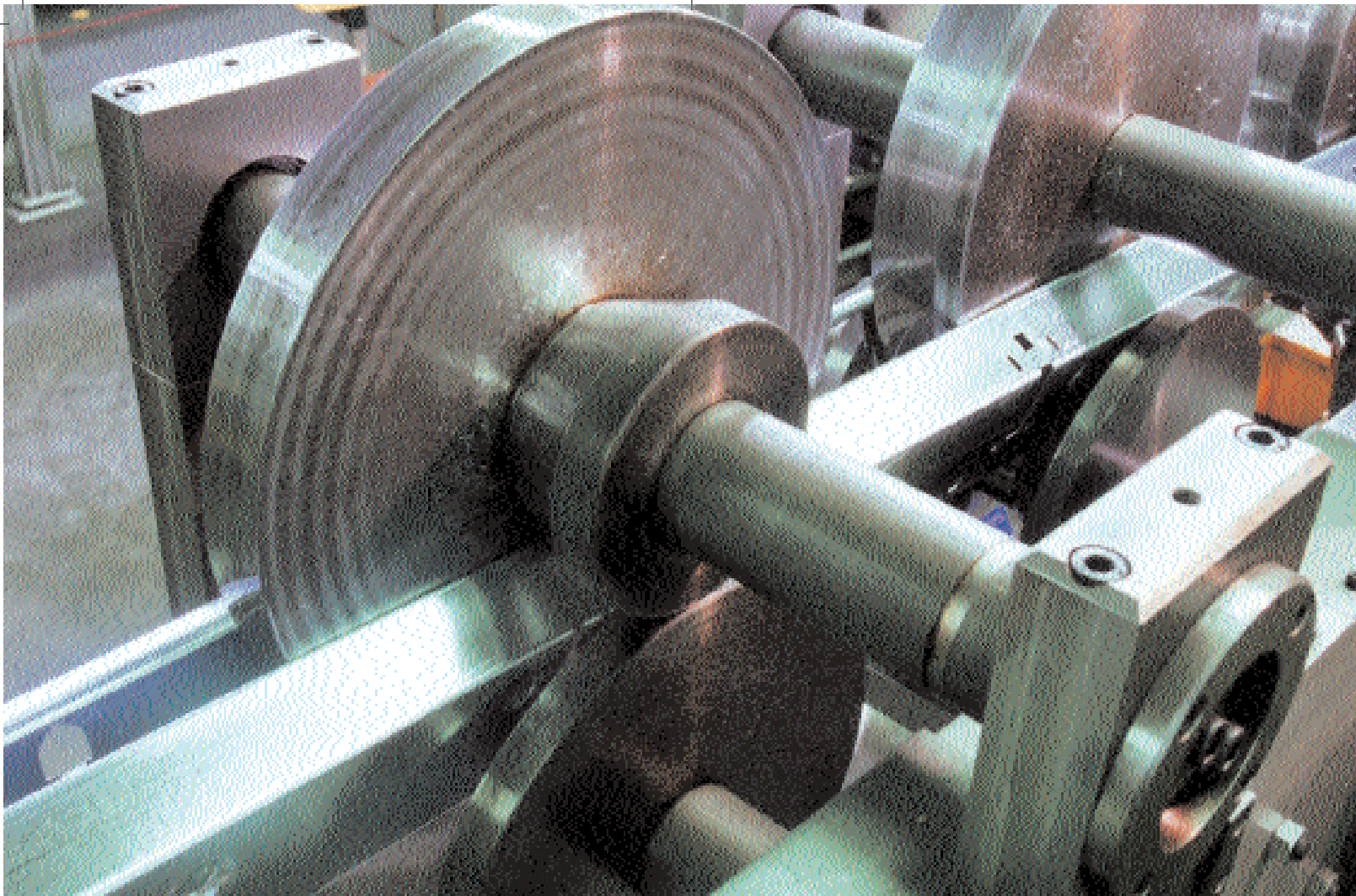
Résistance aux chocs et aux impacts



On peut faire usage du retour élastique plus élevé des aciers Docol UHLE pour améliorer un produit. Le boîtier antivolt pour les ordinateurs est fabriqué en aciers Docol 1 000 DP et Docol 1400 DP. En plus d'être beaucoup plus

difficile à scier que les aciers doux, le retour élastique des aciers Docol UHLE rend le boîtier beaucoup plus difficile à forcer. Il revient en place brusquement avec un claquement comme dans le cas d'une souris.





Écrouissage et durcissement secondaire

On peut obtenir une augmentation considérable de la limite d'élasticité en utilisant les propriétés d'écrouissage et de durcissement secondaire des aciers Docol UHLE.

L'écrouissage opéré par une déformation de 2 % peut accroître la limite d'élasticité des aciers Docol UHLE de plus de 100 N/mm². L'écrouissage dépend fortement de l'importance de la déformation ainsi que du type d'acier.

Le degré d'écrouissage tient une place beaucoup plus importante dans l'augmenta-

tion totale de la limite d'élasticité des aciers Docol UHLE que le temps et la température des traitements thermiques.

Un écrouissage à 10 % augmente la limite d'élasticité de l'acier Docol 800 DP d'environ 400 N/mm².

Un durcissement secondaire en trempant le matériau à 170° C pendant 20 minutes accroît encore la limite d'élasticité d'environ 30 N/mm².

Formage à la presse et vernissage

On peut tirer profit des propriétés d'écrouissage et de durcissement secondaire des aciers Docol UHLE quand les pièces subissent un formage à la presse et un vernissage.

L'écrouissage s'opère lors du formage à la presse, et le dur-

cissement secondaire prend place lorsque le vernis est traité, si le traitement est réalisé à température élevée.

Formage de tubes et profilage

Le formage de tubes et les autres profilages sont des opérations au cours desquelles on peut tirer profit des propriétés d'écrouissage et de durcissement secondaire des aciers Docol UHLE.

Au cours de ces opérations, il s'opère une déformation contrôlée du matériau ce qui conduit à une augmentation de la limite d'élasticité ainsi que de la résistance à la traction de la pièce finie.

Vu que l'importance de la déformation est connue et

contrôlée, la limite d'élasticité peut être exploitée dans la conception de la pièce finie.

Si les pièces finies sont traitées thermiquement, par exemple conjointement avec un traitement de surface, on peut s'attendre à une augmentation additionnelle de la limite d'élasticité.

Calibrage

On peut toujours mettre entièrement en application les propriétés d'écrouissage et de durcissement secondaire au cours des études statiques.

En principe, on peut également exploiter l'augmentation de la limite d'élasticité lors de l'élaboration de la pièce sur le plan de la fatigue.

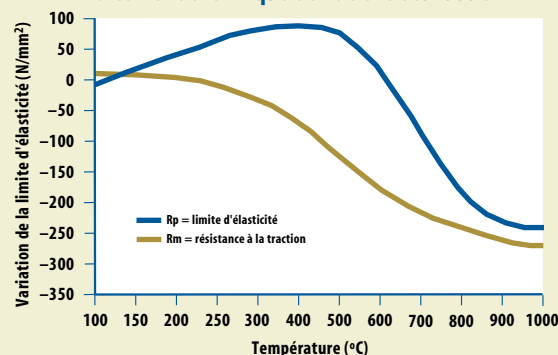
300° Traitement thermique

Les aciers Docol 800 DP et 1000

DP peuvent être chauffés jusqu'à 300° C sans que leurs propriétés d'élasticité ne soient dégradées. S'ils sont chauffés au-delà de ce point, leurs limites d'élasticité chutent graduellement à mesure que la température augmente.

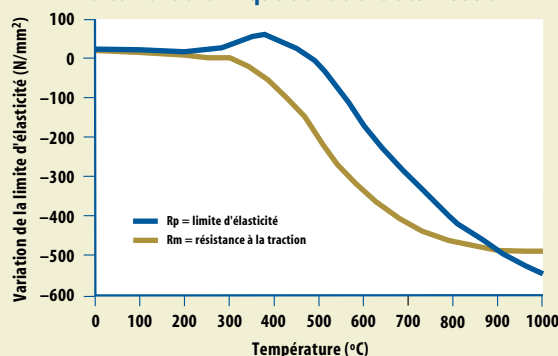
Les aciers Docol 1200 DP et 1400 DP peuvent être chauffés jusqu'à environ 200° C, mais leurs propriétés d'élasticité seront affaiblies. Au-delà de 200° C, les limites d'élasticité de ces aciers diminuent beaucoup plus que celles des aciers Docol 800 DP et Docol 1000 DP.

Traitement thermique de l'acier Docol 800 DP



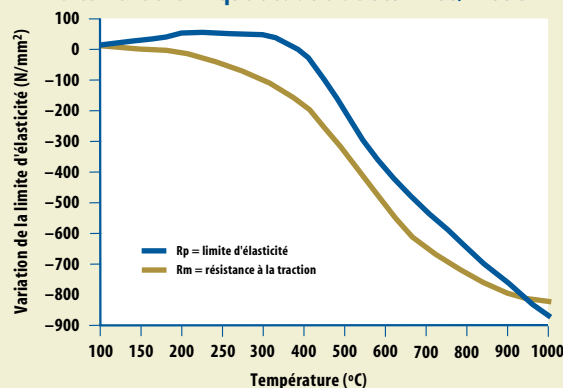
Le diagramme montre comment la limite d'élasticité de l'acier Docol 800 DP varie avec la température du traitement thermique.

Traitement thermique de l'acier Docol 1000 DP

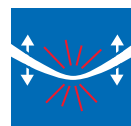


Le diagramme montre comment la limite d'élasticité de l'acier Docol 1000 DP varie avec la température du traitement thermique.

Traitement thermique des aciers Docol 1200/1400 DP



Le diagramme montre comment la limite d'élasticité des aciers Docol 1200 DP et Docol 1400 DP varient avec la température du traitement thermique.



Fatigue

L'analyse minutieuse de la charge de

fatigue, c'est-à-dire la forme et le nombre de cycles de charge du spectre des charges, accompagnée d'une bonne conception, par exemple des effets minimes des pics de contrainte au niveau des joints, sert de base pour une utilisation correcte des matériaux en aciers à haute limite d'élasticité.

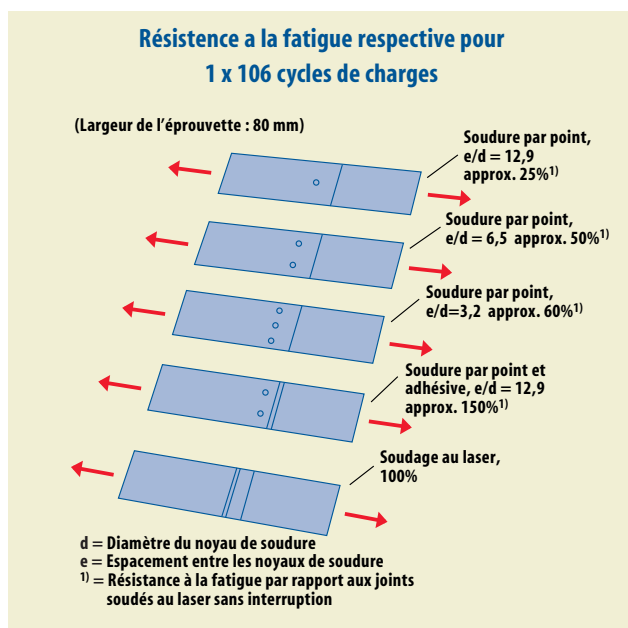
En adoptant une amplitude de charge maximale constante, il en résulterait une conception hautement abusive, vu que les composants réels sont sujets habituellement à des charges d'amplitude variée (un spectre faible de charges). Plus le spectre de charges est faible et plus le nombre de cycles de charges est minime, plus il sera avantageux d'utiliser des aciers à haute limite d'élasticité, même pour les structures soudées.

Une bonne conception:

- utilisez l'action du revêtement travaillant partout où c'est possible
- assurez-vous que la distribution des charges est uniforme sur toute la structure
- évitez de changer brusquement de rigidité ou d'apporter des modifications abruptes dans le sens travers
- l'application des charges est souvent critique – prenez la en compte dans la conception
- assurez-vous que les joints soudés sont bien placés et bien conçus
- l'accumulation de pics de contrainte est à éviter pour toutes les structures
- assurez-vous que la qualité de soudure est bonne (la qualité de production doit être maîtrisée).

Pour les tôles fines de matériaux tels que les aciers Docol UHLE, une conception classique correcte inclura:

- l'usage de renforcements (tels que les cannelures et les cornières de renfort) en vue de neutraliser le flambage et ainsi d'améliorer l'utilisation du matériau
- l'usage de renforcements pour empêcher des plissements localisés de la tôle, par exemple aux points d'application des charges.
- l'élargissement des diamètres du noyau des soudures par points et la réduction de l'espace entre les points de soudure en vue de diminuer la contrainte au niveau de la soudure et par là accroître la résistance à la fatigue de toute la structure
- l'usage de la soudure par points conjointement au processus de joints encollés (soudure par collage) en vue d'accroître la résistance à la fatigue
- l'usage d'assemblages soudés au laser vu que ceux-ci possèdent une résistance à la fatigue nettement supérieure à celle des assemblages soudés par points.



Les aciers Docol UHLE sont normalement soudés aux tôles en aciers doux (soudage du dur au doux). Cependant, ils sont parfois soudés à des aciers similaires (soudage du dur au dur) tels que les différents types de profils protégés.

Les aciers Docol UHLE se présentent à toutes les méthodes ordinaires de soudage

Les aciers Docol UHLE peuvent être soudés à l'aide de toutes les méthodes courantes de soudage telles que la soudure par points, le soudage mag, le soudage au laser ou le soudage par haute fréquence.

Les aciers Docol UHLE doivent leur bonne soudabilité à leur faible teneur en éléments d'alliage, compte tenu de leur haute résistance, ce qui minimise les risques de fissuration et d'autres défauts.

Soudure par points

La soudure par points est une forme de soudage par résistance ; elle est le plus fréquemment utilisée pour souder les aciers laminés à froid et à haute limite d'élasticité.

Afin de permettre à de l'acier d'être soudé par points de manière satisfaisante, il est important que l'écart entre les

courants électriques tolérés soit suffisamment important. L'écart doit être au moins de 1 kA.

On ne rencontre aucun problème à souder les aciers Docol UHLE aux aciers doux. L'écart entre les courants électriques tolérés est important, et on obtient une rupture complète du bouchon lors d'un essai de pelage (c'est-à-dire qu'un bouchon sera enlevé de l'une des tôles durant l'essai). La limite d'élasticité de la soudure est identique à celle de l'acier doux.

Lorsqu'un acier UHLE est soudé à un acier identique (soudage du dur au dur), l'écart entre les courants électriques tolérés est également important. Pour les aciers UHLE qui possèdent les plus hautes résistances, la rupture complète du bouchon lors de l'essai de pelage n'est pas toujours systématique. Parfois, la soudure connaît une rupture



Aspects d'une soudure d'acier Docol UHLE

partielle, ce qu'on appelle une rupture partielle de bouchon.

Dans le tableau suivant vous trouverez des valeurs typiques d'écarts entre courants électriques de soudure qui produisent de bons soudages par points des aciers Docol UHLE. Les résultats couvrent le soudage du dur au doux et le soudage du dur au dur. Les écarts mesurés sont très importants, ils dépassent les 2,0 kA dans tous les cas.

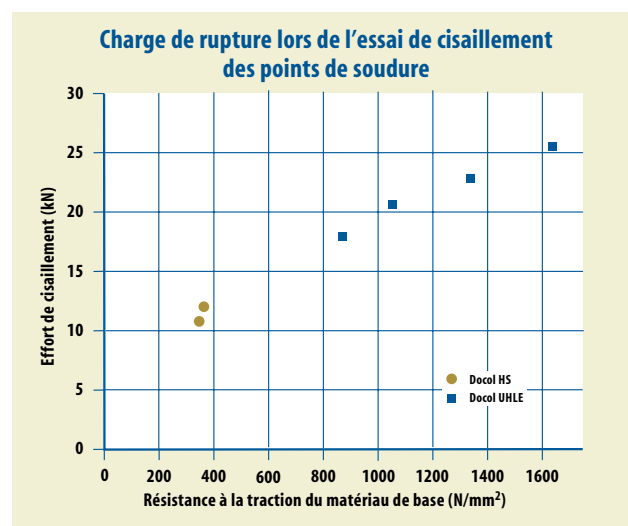
Écarts de mesures entre courants électriques tolérés pour le soudage ³⁾ par points des aciers Docol UHLE									
Acier 1	Acier 2	Épaisseur (acier 1/ acier 2) (mm)	Courant électrique ¹⁾ de soudure disponible		Données de soudage				Remarques
			Ecart (kA)	Min-max (kA)	Diamètre des électrodes (mm)	Effort sur les électrodes (N)	Temps de soudage (cycles)	Temps de maintien (cycles)	
Docol 800 DP	Docol 800 DP	1,0/1,0	2,0	6,4–8,4	6	4000	12	10	Dur/Dur
Docol 800 DP	Docol 220 DP	1,5/1,5	2,6	5,9–8,5	6	3500	15	10	Dur/Doux
Docol 800 DP	Docol 800 DP	1,5/1,5	2,1	5,7–7,8	6	4000	20	10	Dur/Dur
Docol 800 DP	DC01	2,0/2,0	3,4	9,9–13,3	9	6300	20	10	Dur/Doux
Docol 800 DP	Docol 800 DP	2,0/2,0	3,0	7,8–10,8	9	6300	20	10	Dur/Dur
Docol 1000 DP	DC01	0,8/0,8	2,5	5,2–7,7	5	3000	8	10	Dur/Doux
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	0,8/0,8	3,0	4,7–7,7	5	3000	11	10	Dur/Dur
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	1,5/1,5	2,2	5,8–8,0	6	4500	19	10	Dur/Dur
Docol 1000 DP	Dogal 220 RP2)	2,0/2,0	3,0	7,4–10,4	8	5600	19	10	Dur/Doux
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	2,0/2,0	2,4	7,8–10,2	9	6300	20	10	Dur/Dur
Docol 1200 DP	DC01	1,5/1,5	2,7	9,4–12,1	8	5000	15	10	Dur/Doux
Docol 1200 DP	Docol 1200 DP	1,5/1,5	2,5	6,2–8,7	6	4500	15	10	Dur/Dur
Docol 1400 DP	Docol 220 DP	1,5/1,5	2,5	7,5–10,0	8	3500	15	10	Dur/Doux
Docol 1400 DP	Docol 1400 DP	1,5/1,5	3,2	8,6–11,8	8	6000	17	10	Dur/Dur

1) Valeur minimum : Courant électrique qui donne un diamètre de bouchon égal à 70 % du diamètre des électrodes. 1) Valeur Maxi. : Courant électrique le plus élevé sans crachements

2) Galvanisé Z140 (10 µm)

3) Les soudages par points sont effectués à l'aide de machines à courant monophasé. Les mesures sont basées sur des essais de tensions transversales.

Charge de rupture lors de l'essai de cisaillement des points de soudure pour les aciers Docol UHLE comparée à d'autres aciers à haute limite d'élasticité. Diamètre du bouchon : approx. 5,5 mm. Epaisseur des tôles : 1,5-1,6 mm.



Résistances des points de soudure

Les résistances au cisaillement des points de soudure des aciers Docol UHLE sont plus élevées que celles des points de soudure des aciers de résistances inférieures. Ceci est illustré dans le graphique ci-dessus. Les divers aciers ont été soudés à des aciers de nuances identiques, c'est-à-dire du dur au dur. Ceci montre clairement que la résistance au cisaillement des points de soudure est fonction de la résistance à la rupture de l'acier soudé. La résistance au pelage étant inférieure à la résistance au cisaillement des points de soudure, la conception de la pièce devrait être telle que ces derniers soient

capables d'être soumis à des charges de cisaillement. Ceci permet également de tirer parti de la haute limite d'élasticité des aciers Docol UHLE.

Les données recommandées pour le soudage par points

Lorsque les aciers Docol UHLE sont soudés par points aux aciers doux, on utilise les mêmes données propres aux aciers doux. Cependant, on devrait augmenter l'effort sur les électrodes de 20 à 30 %. Afin de garantir de bons résultats de soudure lorsque de l'acier Docol UHLE est soudé à de l'acier Docol UHLE (dur au dur), l'effort sur les électrodes devrait être augmenté de 40 à 50 % par rapport à l'effort utilisé lorsque l'on soude des

aciers doux. De même, le temps de soudure devrait être allongé.

Soudage par fusion

On ne rencontre normalement aucun problème de fissuration ni d'autres défauts au cours du soudage ordinaire par fusion des aciers Docol UHLE, tel que le soudage MAG, le soudage à l'arc TIG ou le soudage à l'arc plasma, vu que la teneur des aciers en éléments d'alliage est faible. Ceci s'applique à la fois pour le soudage à un acier doux et à de l'acier de nuance identique.

Lorsque la soudure est à un acier doux, la limite d'élasticité des points de soudure sera fonction de celui-ci.

Lorsque les aciers Docol UHLE sont soudés par fusion à de l'acier de nuance identique, la limite d'élasticité des points de soudure est beaucoup plus élevée que celle des points de soudures des autres aciers à haute limite d'élasticité.

Le graphique ci-dessus montre les résultats du soudage MAG des aciers Docol UHLE et d'autres aciers à haute limite d'élasticité. Il illustre clairement que les aciers Docol UHLE possèdent une limite d'élasticité bien plus élevée que les autres aciers.

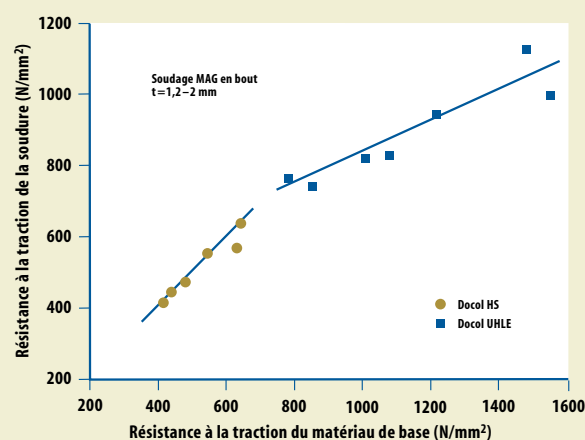
Exemples de métaux d'apport pour les aciers Docol UHLE		
Soudage manuel à l'arc métallique (MMA)	Soudage à l'arc sous protection gazeuse (MAG) avec fil plein	Fabricant
OK 75.75	OK Autrod 13.13 OK Autrod 13.29 OK Autrod 13.31	ESAB
Filarc 118 P 110 MR Maxeta 110 Tenacito 80	Elgamatic 135	Filarc ELGA
	Carbofil NiMoCr Spoolcord TD-T90	Oerlikon

Cependant, la limite d'élasticité de la soudure avec des aciers Docol UHLE n'atteint pas le même niveau de celle du matériau de base.

Cela s'explique par le fait que des zones tendres se créent contre la soudure, ce qui diminue la limite d'élasticité (voir les courbes de dureté du graphique ci-dessus). L'acier Docol 1400 DP possède la résistance à la rupture la plus élevée ainsi que la limite d'élasticité la plus haute en tant que matériau de base.

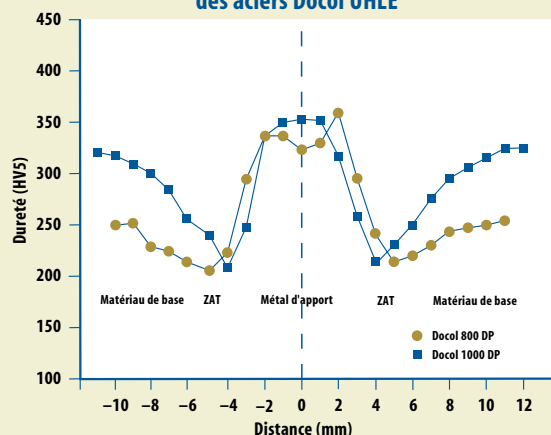
Lorsque les aciers Docol UHLE sont soudés par soudage mag, on utilise les mêmes paramètres que pour les aciers doux ou les aciers à haute limite d'élasticité.

Limite d'élasticité des points de soudure

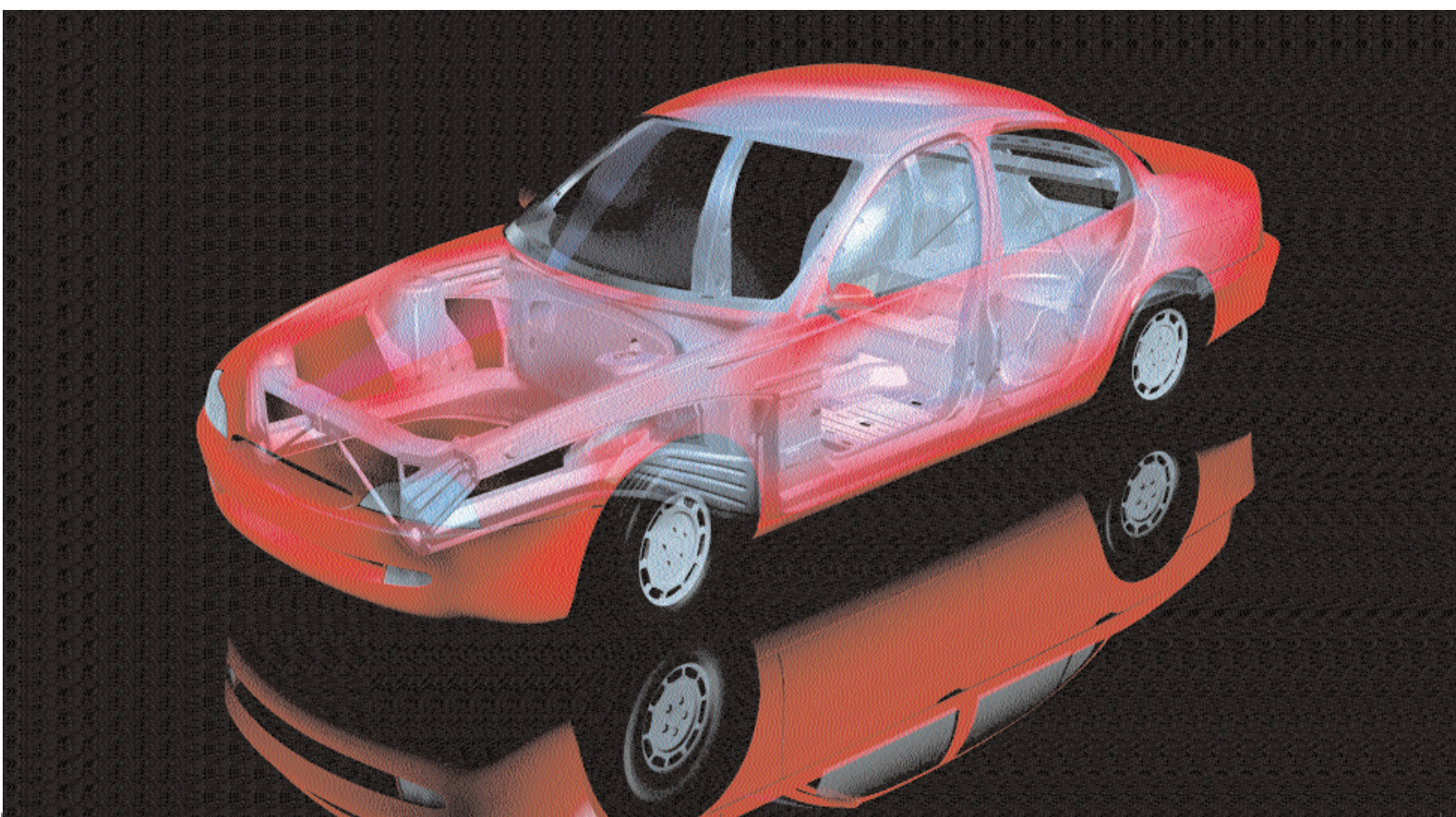


Résistances des joints de soudure des aciers Docol UHLE comparées à d'autres aciers Docol à haute limite d'élasticité (deux aciers identiques soudés l'un à l'autre, chargés au niveau de la soudure et avec les surépaisseurs de soudure enlevées). Données de soudage : Arc MAG, fil plein assorti, en une traite, écran de gaz inerte mélangé, débit de chaleur de 0,11 à 0,17 kJ/mm.

Courbes de dureté pour soudage à l'arc mag des aciers Docol UHLE



Courbes de dureté pour le soudage à l'arc MAG des aciers Docol UHLE (Docol 800 DP, t = 2 mm et Docol 1000 DP, t = 2 mm) Soudage en bout, deux aciers de nuance identique soudés l'un à l'autre. Données de soudage : fil plein assorti, écran de gaz inerte mélangé, en une traite, débit de chaleur d'environ 0,16 kJ/mm.



Soudage au laser

Les aciers Docol UHLE peuvent être soudés au laser à un acier doux ainsi qu'à un acier de nuance identique. Le soudage au laser des aciers Docol UHLE ne diffère pas de celui des aciers doux, en ce qui concerne l'aspect de la soudure. L'un des aspects bénéfiques du soudage au laser est qu'à la différence du soudage ordinaire à l'arc MAG, la limite d'élasticité de la soudure en acier Docol UHLE peut être augmentée.

Les joints soudés au laser en Docol 800 DP et Docol 1000 DP présentent la même limite d'élasticité que le matériau de base. C'est seulement en Docol 1200 DP et Docol 1400 DP que la limite d'élasticité de la soudure n'est pas tout à fait aussi élevée que la limite d'élasticité du matériau de base.

La limite d'élasticité plus élevée pour le soudage au laser s'explique par le fait que le débit de chaleur est nettement

moindre que pour le soudage à l'arc MAG, et par conséquent, le matériau est moins affecté par la chaleur. La figure ci-dessous présente les courbes de dureté pour le soudage au laser des aciers Docol 800 DP et Docol 1000 DP. Les courbes de dureté montrent que les soudures au laser sont plus petites et qu'il n'existe pratiquement aucune zone tendre. En conséquence, la limite d'élasticité des soudures au laser est plus élevée que celle des soudures à l'arc MAG.

Soudage par haute fréquence

Le soudage par haute fréquence est une méthode très courante et très efficace pour souder des tubes.

Le courant électrique à haute fréquence porte très rapidement les bords de la tôle à une température élevée. Sous l'effet d'une haute pression sur les bords, les matières en fusion sont compressées et il en résulte un joint puissant.

On peut utiliser le soudage par haute fréquence pour souder les aciers Docol UHLE. La résistance à la rupture des points de soudure sera fonction des propriétés atteintes au niveau de la zone affectée thermiquement (ZAT).



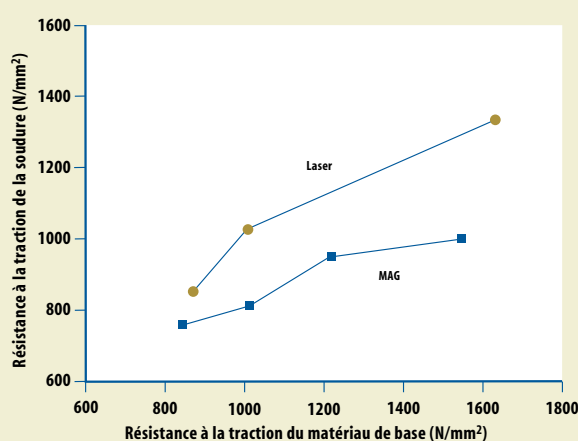
Traitement de surface

Les aciers Docol UHLE peuvent être protégés contre la corrosion par les mêmes méthodes que pour les aciers doux, c'est-à-dire par du vernissage, de l'électrozingage ou par tout autre type de revêtement contenant du zinc et/ou de l'aluminium.

En électrozingage, on doit tenir compte de la sensibilité de l'acier à la fragilisation par l'hydrogène.

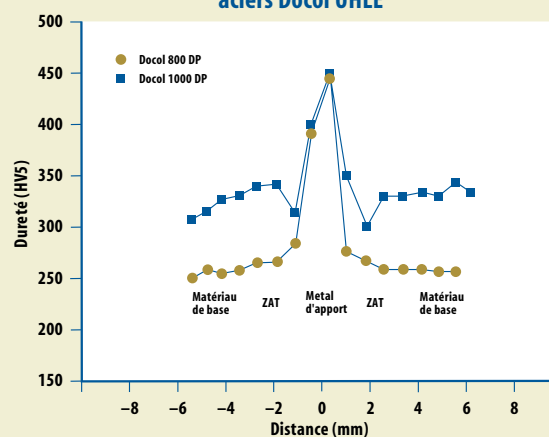
Des études détaillées menées lors d'essais en laboratoires et industriels ont montré que les aciers Docol

Résistances des joints soudés



Résistance des joints soudés en acier Docol UHLE. Comparaison entre les joints soudés à l'arc MAG et ceux soudés au laser (soudage en bout, tôles de 1,5 à 2 mm d'épaisseur, deux aciers de nuance identique soudés l'un à l'autre, chargement au niveau de la soudure).

Courbes de dureté pour soudage au laser des aciers Docol UHLE



Courbes de dureté pour le soudage au laser des aciers Docol UHLE (Docol 800 DP, tôle de 1 mm d'épaisseur, et Docol 1000 DP, tôle de 2 mm d'épaisseur) Soudures bout à bout, pas de métal d'apport, débit de température proche de 0,05 kJ/mm.



Rideau de fer en acier Docol 1000 DP, produit par Ansa Protection. Le rideau a obtenu une citation lors du Swedish Steel Prize en 1999.

UHLE peuvent subir un zingage électrolytique sans risque de fragilisation par l'hydrogène. Cependant, plusieurs facteurs peuvent affecter la sensibilité de l'acier et, pour des applications critiques, telles que les pièces de sécurité, nous recommandons une évaluation au poste de traitement de surface.

Un traitement de dé-fragilisation après un électrozinguage (voir les normes ISO 2081) aide également à rendre le matériau moins sensible à la fragilisation par l'hydrogène.

On peut utiliser comme alternative, les traitements de surface qui n'engendrent pas d'hydrogène, tels que le

Dacromet (Dacrolit) ou le Delta MKS. Cela éliminera entièrement le risque de fragilisation par l'hydrogène.

Cependant, ces procédés incluent un traitement thermique pour le revêtement, et on doit alors tenir compte de la température de traitement thermique maximale recommandée pour la nuance d'acier en question, si l'on veut que celle-ci maintienne sa haute résistance.

Aciers à outils

Aciers à outils pour le poinçonnage et le formage des aciers Doco1 UHLE

De même que pour toute production industrielle, il est important que les opérations de formage et de cisailage des pièces en tôles d'acier se déroulent sans aucun problème. La chaîne, passant de la conception de l'outillage à l'entretien des outils, comporte plusieurs étapes, comme l'illustre le schéma ci-dessous.

Le bon déroulement de toutes les étapes est une condition nécessaire pour atteindre une bonne productivité et une économie de production. Il est par conséquent vital de sélectionner les aciers à outils adéquats pour une opération donnée de découpage ou de cisailage.

Afin de pouvoir sélectionner le bon acier, il est important

d'identifier les mécanismes de défaillances qui pourraient être rencontrés au cours d'un cisailage et/ou d'un formage et qui pourraient rendre l'outil inutilisable ou le casser après seulement une courte période d'utilisation.

Il existe essentiellement cinq mécanismes de défaillances qui peuvent se présenter au niveau des parties actives de l'outil.

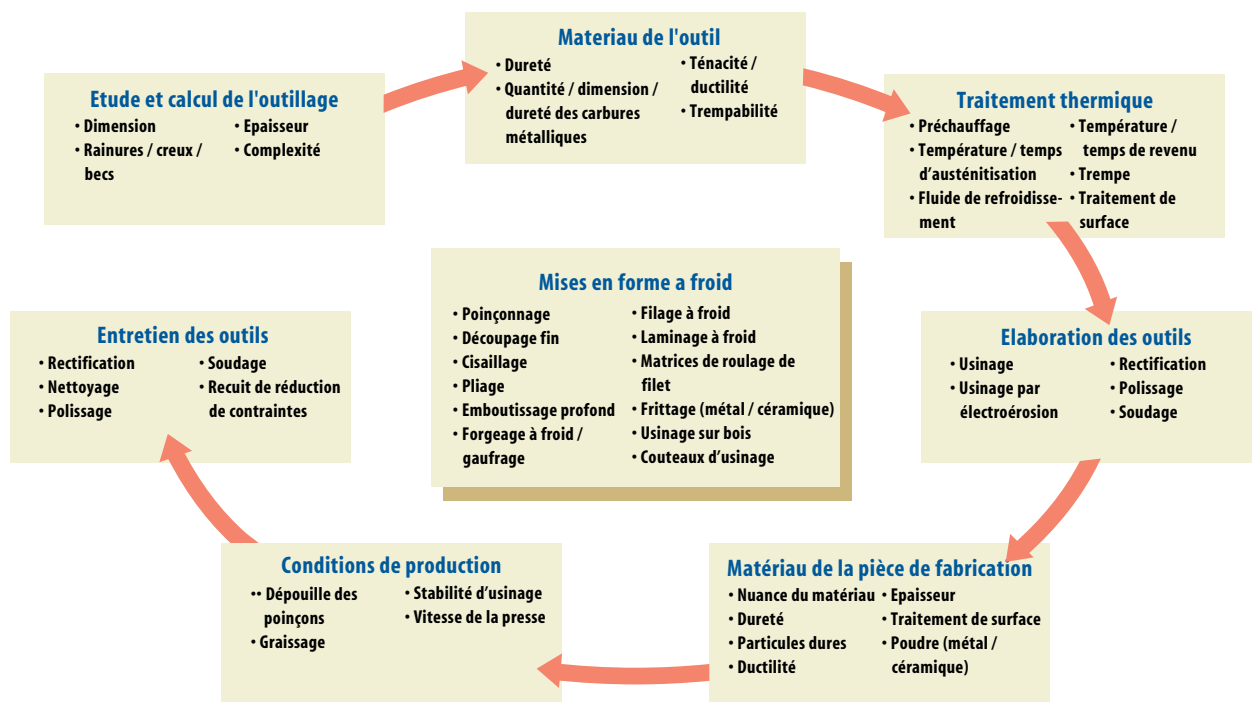
- *L'usure*, qu'elle soit abrasive ou d'adhérence, est associée au matériau de la pièce de fabrication, au type d'opération de formage et aux forces de frottements au niveau des surfaces de glissement.
- *La déformation plastique* se produit en cas de relation inappropriée entre les contraintes et la limite élastique de compression (dureté) du matériau de l'outil.

- *L'écaillage* a lieu suite à une incompatibilité entre les contraintes et la ductilité du matériau de l'outil.

- *La fissuration* résulte d'une incompatibilité entre les contraintes et la ténacité du matériau de l'outil.

- *Le captage* est le résultat d'une incompatibilité entre le matériau de l'outil de fabrication et les forces de frottements qui prennent place au niveau des surfaces de glissement. Le mécanisme de captage est étroitement lié à l'usure d'adhérence.

La déformation plastique, l'écaillage et la fissuration sont des formes de défaillances qui induisent souvent des arrêts de production sérieux et coûteux. L'usure et le captage sont davantage prévisibles et peuvent être largement maîtrisés



Résistance respective aux mécanismes de défaillance								
Nuance de l'acier des outils	Normes			Dureté	Résistance à l'usure		Résistance à la fatigue	
	SS	ISO	DIN	Déformation plastiquee	Abrasive	Adhérence	Amorce de fissure	Propagation de la déchirure
							Ductilité – résistance à l'écaillage	Ténacité – résistance à la dégradation totale
Arne	2140	W.-Nr. 1.2510	AISI 01	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Calmax		W.-Nr. 1.2358		<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	
Rigor	2260	W.-Nr. 1.2363	AISI 02	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Sleipner		<div></div>		<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	
Sverker 21	2310	W.-Nr. 1.2379	AISI D2	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Sverker 3	2312	W.-Nr. 2436	AISI D6	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Vanadis 4		<div></div>		<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	
Vanadis 23	W.-Nr. 1.3344	AISI M3.2	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	
Vanadis 6			<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	
Vanadis 10			<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	

par un entretien systématique des outils. En conséquence, on aurait davantage intérêt à permettre plus d'usure que de se retrouver avec de l'écaillage ou de la fissuration.

La particularité du formage et du cisailage des aciers Docol UHLE est qu'à une certaine épaisseur de tôle, les efforts doivent être plus importants que pour les aciers doux, vu que la haute limite d'élasticité doit être surmontée au cours du formage et que la haute résistance au cisaillement doit être dépassée au cours du cisailage. Ceci signifie que les contraintes augmentent ainsi que les exigences relatives à la résistance

à l'usure et à rupture du matériau de l'outil.

L'opération de cisailage est plus délicate, vu qu'elle requiert une combinaison de haute résistance à l'usure et de haute résistance à l'écaillage / dégradation d'outils, alors que l'opération de formage n'exige qu'une résistance à l'usure.

Une comparaison relative entre les aciers pour travail à froid de Uddeholm Tooling quant à la résistance à ces mécanismes particuliers de dégradation des outils, est présentée dans le tableau ci-dessus.