



**Docol<sup>®</sup>**

**Docol UHS –  
extrémně pevné  
za studena  
válcované oceli**

**Lehké – pevné – tvárné**

**SSAB**  
SWEDISH STEEL







Za studena válcované oceli s extrémně vysokou pevností od společnosti SSAB Tunnpłat, označované jako Docol UHS, zaručují nejvyšší pevnosti v tahu mezi 800 N/mm<sup>2</sup> a 1 400 N/mm<sup>2</sup> a pevnosti v kluzu více než 500 N/mm<sup>2</sup>. Oceli Docol UHS nabízejí celou řadu konkurenčně výhodných vlastností.

Vysoké hodnoty pevnosti v tahu u ocelí Docol UHS umožňují snížit tloušťku plechu ve Vašem výrobku a současně i snížit náklady na materiál.

Vzhledem k tomu, že je pevnost důležitou vlastností, za kterou se při nákupu oceli platí, zvažte, kolik platíte za každý N/mm<sup>2</sup> místo nákladů za kilogram. Čím vyšší pevnost v kluzu si zvolíte, tím nižší je cena za N/mm<sup>2</sup>. Když se proto rozhodnete pro oceli Docol UHS, koupíte si mnohem vyšší pevnost v kluzu s nižšími náklady.

Vysoká pevnost oceli Docol UHS nabízí možnosti pro velké snížení hmotnosti a s tím spojené úspory, které dále nabízejí velké výhody z hlediska ochrany životního prostředí jak při výrobě oceli, tak i během životnosti dokončeného produktu.

## O B S A H

4–5 **Jedinečné vlastnosti otevírají jedinečné možnosti**

6–7 **Moderní oceli pro mnoho použití**

8–9 **Oceli Docol UHS – jakosti a rozměry**

10–25 **Technické vlastnosti**

Stříhání a děrování, laserové řezání, tváření, absorpce energie, stárnutí, odolnost vůči otřesům a nárazům, mechanické a tepelné tvrzení, tepelné zpracování, únava materiálu, svařování, povrchová úprava

26–29 **Nástrojové oceli**

30–31 **Oceli Docol UHS v konstrukční práci**

32–33 **Dovolte nám, abychom Vám pomohli využít výhody ocelí s extrémně vysokou pevností**

34 **Co je důležité vědět**

35 **Životní prostředí a recyklování**



## Jedinečné vlastnosti otevívají jedinečné možnosti

Za studena válcované oceli s extrémně vysokou pevností, označované jako Docol UHS, získávají své jedinečné vlastnosti v kontinuální žíhací lince SSAB Tunnpłat.

Ocel se žihá při teplotách mezi 750 °C a 850 °C podle třídy oceli a potom se zpevňuje kalením ve vodě.

Dalším stupněm je temperování, při němž se ocel zahřeje na 200–400 °C a tím získá svoji konečnou strukturu, které vděčí za svou houževnatost a dobrou tvárnost. Tento unikátní žíhací proces vytváří temperovanou martenzitovou strukturu, která je základem pro vysokou pevnost oceli.

Jak žihání, tak i temperování, se provádí v inertní atmosféře, která zabraňuje, aby ocel oxidovala, a pás oceli mezi kalením a temperováním probíhá mořicí lázní, aby se odstranil tenký oxidový film, který se vytvořil během kalení.

### Mikroskopická struktura oceli

Mikroskopická struktura oceli se skládá z martenzitu, který tvoří tvrdou fázi, a feritu, který je měkký. Pevnost oceli roste se vzrůstajícím obsahem tvrdé martenzitové fáze.

Podíl martenzitu určuje obsah uhlíku v oceli a tepelný cyklus, kterému je ocel vystavena v kontinuálním žíhacím procesu.

### Čistý materiál s dobrými vlastnostmi

Vzhledem k tomu, že je proces kalení ve vodě rychlý, je k výrobě oceli Docol UHS zapotřebí jenom velmi málo legur. Aby se docílila potřebná kalitelnost, přidává se jenom malé množství uhlíku, křemíku a manganu.

Výsledkem je ocel s dobrou svařitelností a tvárností a trvalými vlastnostmi. Oceli Docol UHS je možné stříhat, tvarovat a svařovat tradičními metodami.

### Vhodné v sériové výrobě

Oceli Docol UHS jsou vhodné pro použití v moderním sériovém způsobu výroby, při němž se součásti mohou vyrábět v nepřerušovaném toku bez přestávek na tepelné zpracování.

Oceli Docol UHS použité v sériové výrobě mohou snížit náklady na manipulaci, snížit náklady na energii potřebnou pro ohřev, zlepšit produktivitu a zkrátit výrobní časy.

Vzhledem k tomu, že jsou oceli Docol UHS již vytvrzené a temperované před dodávkou, není třeba je tepelně zpracovávat a mohou proto nahradit oceli s vysokým obsahem uhlíku.

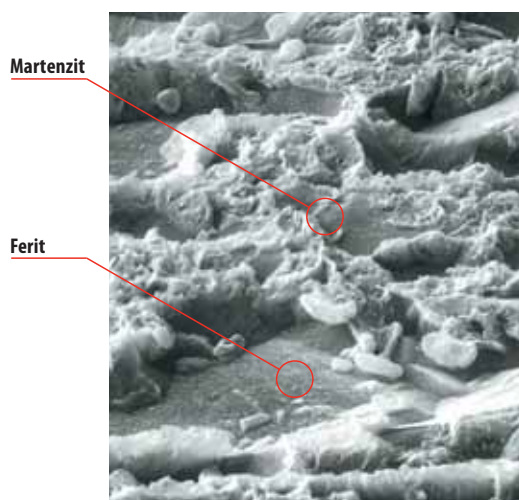
### Dobrá tvářitelnost

I když jsou velmi pevné, přesto jsou oceli Docol UHS dobře tvařitelné a mohou se tvářet v běžných tradičních procesech.

V mnoha případech se oceli Docol UHS používají pro snížení hmotnosti tím, že se jimi nahradí silnější materiál s nízkou pevností. Ocel Docol UHS se může často zpracovávat stejným způsobem, jako materiál, který nahrazuje, protože tloušťka je jedním z činitelů, jež určují síly pro lisování, ohýbání a stříhání.

### Šetrné k životnímu prostředí

Použití ocelí Docol UHS s sebou přináší i řadu výhod ve vztahu k životnímu prostředí. Je-li snížena hmotnost produktu, je třeba méně



Mikrografický snímek oceli Docol 800 DP v řádkovacím elektronickém mikroskopu (X 500). Na snímku jsou vidět martenzitové a feritové fáze.



materiálu a tím lze ušetřit energii při výrobě.

Méně energie bude rovněž třeba při přepravě oceli.

Jestliže se oceli Docol UHS použijí pro snížení hmotnosti automobilu, dojde také ke snížení spotřeby energie a množství emitovaných výfukových plynů vozidla.

Ocel Docol UHS se vytvrzuje již při výrobě. To eliminuje náklady na ohřev v hutnické peci a nepříznivý vliv, které takové pece mají na životní prostředí. Navíc je ocel

možné zcela vrátit zpět do výroby dalších produktů v již existujících systémech.

#### **Mnoho typů použití**

Svou vysokou pevností jsou oceli Docol UHS vhodné pro mnoho různých použití v automobilovém průmyslu, zvláště pro součásti zajišťující bezpečnost.

Automobilový průmysl používá oceli Docol UHS pro součásti jako jsou výztuhy dveří, nárazníky, sedadla a ostatní části,

které vyžadují nejvyšší možnou pevnost, nejnižší možnou hmotnost a vysokou schopnost absorbovat rázovou energii.

Oceli Docol UHS se rovněž používají tam, kde se vyžaduje vysoká odolnost vůči nárazu, otřesům a opotřebení, např. pouzdra pro počítače zabezpečená proti krádeži a rozvodové pásy. Další příklady použití jsou na další stránce.



## Moderní oceli pro mnoho použití

Oceli Docol UHS jsou oceli velmi dokonalé technologie s vynikajícím vlastnostmi.

To ovšem neodsuzuje oceli Docol UHS jenom pro moderní použití.

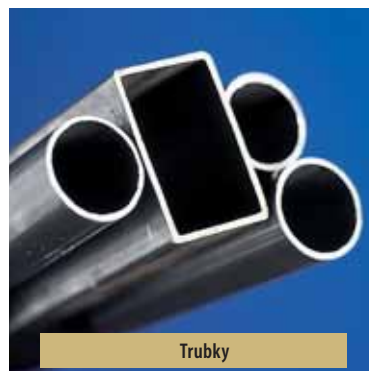
Právě naopak, oceli Docol UHS je možné použít i pro nejjednodušší produkty.

Přechod na oceli Docol UHS je jednoduchý, protože je možné je tvarovat a zpracovat stejným způsobem jako materiály, které používáte dosud, ve stejných procesech a se stejným zařízením, které používáte i dnes.

Oceli Docol UHS Vám umožní snížit náklady na materiál a výrobu a současně vyrobit produkt, který je lehčí a pevnější a má vlastnosti, jež ho činí mnohem šetrnějším k životnímu prostředí.

Na obrázcích ve vedlejším sloupci jsou uvedeny příklady použití ocelí Docol UHS jak pro jednoduché, tak mnohem složitější součásti.

Vy však jistě objevíte mnohem lepší příklady ve svém výrobním okolí...



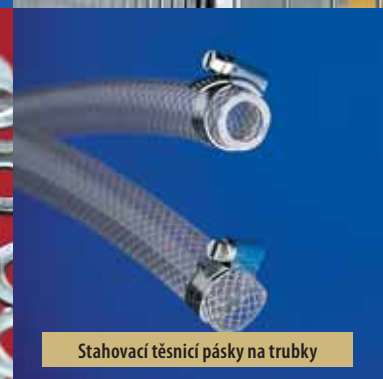
Trubky



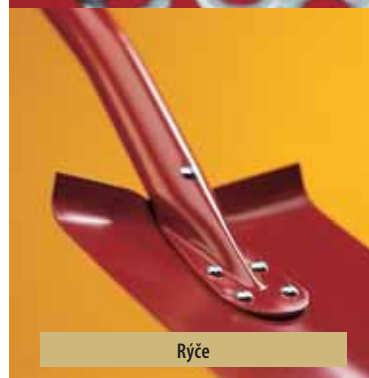
Přepravní klece



Podložky



Stahovací těsnící pásy na trubky



Rýče



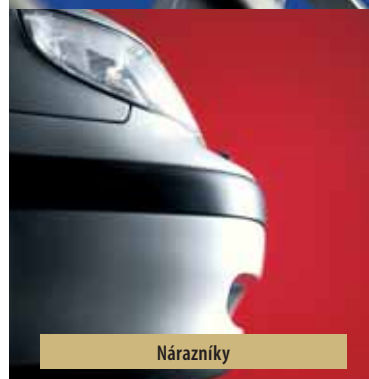
Úložné skříně na zbraně a sejfy



Žebříky



Pojistné kroužky



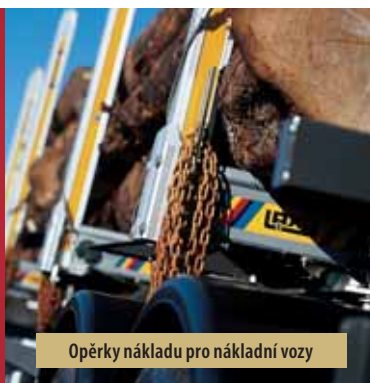
Nárazníky



Jízdní kola



Dětské sedačky pro osobní vozy



Opěrky nákladu pro nákladní vozy



Ochranné plechy na spodní část dveří



Žaluzie



Spojkové kotouče



Sekačky na živé ploty



Mícháčky betonu



Pružiny



Nože



Nábytek z ocelových trubek



Pásková měřidla (ocelové měřicí pásy)



Vlaková sedadla



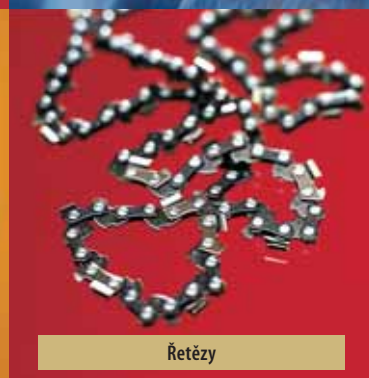
Pilové listy



Nosníky chráničů před účinky nárazu



Ocelové špičky bot



Řetězy



Dětské kočárky



Vodítka sedadel v osobním vozu



Kontejnery



Svorky



## Oceli Docol UHS – jakosti a rozměry

Oceli Docol UHS v sobě spojují vysokou pevnost a vynikající tažnost.

Oceli se dodávají se zaručenou minimální pevností v tahu mezi  $800 \text{ N/mm}^2$  a  $1\,400 \text{ N/mm}^2$ .

Značně vyšší pevnost v kluzu je možné u konečné součásti docílit využitím vlastností ocelí jako je deformační a tepelné zpevnění.

### Oceli typu DP a DL

Skupina ocelí Docol UHS zahrnuje i oceli typu DP a DL.

Oceli DP mají vysoký poměr mezi pevností v kluzu a pevností v ta-

hu, což znamená, že mají dobrou schopnost rozložit napětí vzniklé během zpracování.

Oceli DL se vyrábějí tak, aby rozdíl mezi pevností v kluzu a pevností v tahu byl větší než u ocelí typu DP. Výsledkem je, že oceli DL jsou dokonce ještě tvárnější než oceli DP.

Čísla v označení oceli udávají minimální pevnost v tahu. Rozdíl mezi pevností v kluzu a pevností v tahu je normálně velký ve stavu po válcování, ale podstatně se snižuje při tváření za studena.





Mechanické vlastnosti					
Jakost oceli	Pevnost v kluzu $R_{p0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> ) min – max	Pevnost v kluzu po tepelném tvrzení, $R_{p0.2} + BH^{**}$ (N/mm <sup>2</sup> ) min	Pevnost v tahu, $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> ) min – max	Tažnost $A_{80}$ min (%)	Minimální doporučený poloměr ohybu při ohybu 90°
Docol 800 DP	500 – 650	650	800 – 950	8	1 x tloušťka plechu
Docol 800 DL*	390 – (540)	550	800 – 950	13	1 x
Docol 1000 DP	700 – 950	850	1000 – 1200	5	3 x
Docol 1200 M	950 – (1200)	1150	1200 – 1400	4	4 x
Docol 1400 M	1150 – (1400)	1350	1400 – 1600	3	4 x

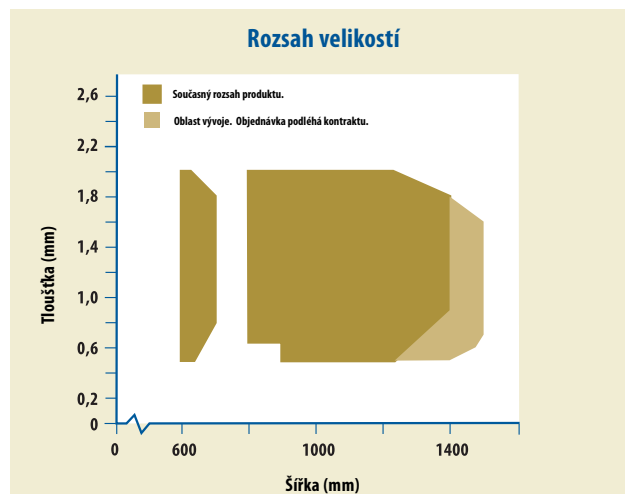
\* Ve vývoji

\*\* BH = tepelné tvrzení po prodloužení 2 % a ohřevu na 170 °C po dobu 20 min.

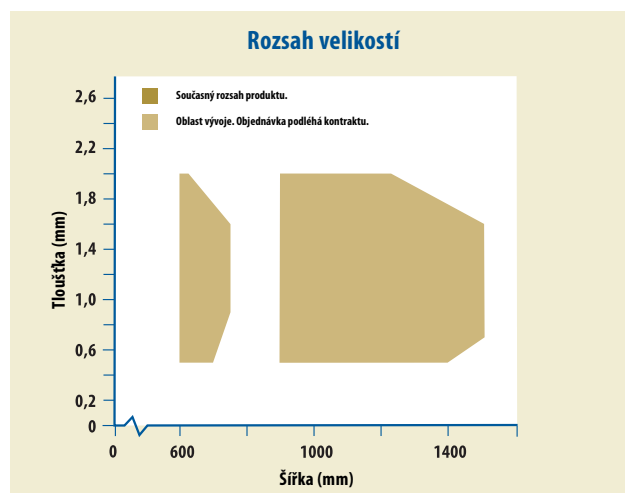
( ) = hodnoty v závorkách jsou nezaručené

Chemické složení (typické hodnoty)							
Jakost oceli	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Nb (%)	Al <sub>celk.</sub> (%)
Docol 800 DP	0,13	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 1200 M	0,12	0,20	1,60	0,015	0,002	–	0,04
Docol 1400 M	0,17	0,50	1,60	0,015	0,002	0,015	0,04

\* Ve vývoji



Docol 800 DP a Docol 1000 DP



Docol 800 DL, Docol 1200 M a Docol 1400 M

## Technické vlastnosti

### Technické vlastnosti

Stříhání a děrování	10
Laserové řezání	10
Tváření	12
Absorpce energie	16
Stámutí	16
Odolnost vůči nárazu a otřesům	17
Mechanické a tepelné tvrzení	18
Tepelné zpracování	19
Únava materiálu	20
Svařování ocelí Docol UHS	20
Povrchová úprava	25



### Stříhání a děrování

Při stříhání materiálu s vysokou pevností se musí operace stříhání upravit tak, aby odpovídala tvrdosti, tloušťce a pevnosti ve stříhu oceli a konstrukci, tuhosti a opotřebení použitých strojních nůžek nebo použitého stříhacího stroje.

Zvláště důležitá je střížná vůle břitů strojních nůžek. Střížnou vůli určuje tloušťka plechu,

pevnost oceli a požadavky na vzhled střížné plochy. Čím silnější je materiál a čím vyšší je pevnost, tím větší musí být střížná vůle. Za normálních okolností se používá střížná vůle 6 % tloušťky plechu. Pro oceli Docol UHS se doporučuje střížná vůle 10 % tloušťky plechu. Při větší střížné vůli je řezná plocha čistší, ale poněkud se zvětšuje pásmo zaoblení hrany.

Řeznou sílu v newtonech je možné vypočítat pod-

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

$F$  = střížná síla (N)

$K_{sk}$  = střížná pevnost (e-krát pevnost v tahu)

$\eta$  = střížný úhel strojních nůžek

$t$  = tloušťka plechu

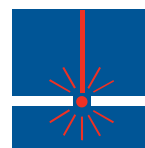
le následujícího vzorce:

Činitel  $e$  se mění s pevností v tahu materiálu. Měkké oceli, jako je DC01, mají  $e = 0,8$ , zatímco oceli Docol UHS mají  $e = 0,6$ . Potřebná střížná síla roste s pevností v tahu. Přejít na ocel s vyšší pevností obvykle

vede ke snížení tloušťky a tím se potřebná střížná síla podstatně snižuje. Zkosené razidlo může snížit potřebnou střížnou sílu až o 50 %.

Střížná vůle je velmi důležitá pro opotřebení během děrování. Menší vůle zvyšuje opotřebení

nástroje, což znamená, že se nástroje musí častěji ostřit.



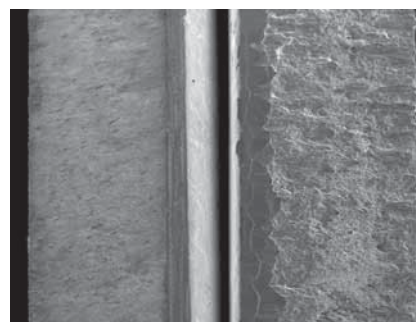
### Laserové řezání

Součásti vyrobené

z oceli Docol UHS mohou mít často složité geometrické tvary. Laserové řezání umožňuje tyto tvary vytvořit již při řezném procesu, aniž by bylo třeba součást dodatečně strojně opracovat. Laserové řezání je řezný proces s vysokou kvalitou, vytvářející řeznou plochu s vysokou kvalitou a přesností. Aby toho bylo možné docílit, kladou se na přísné požadavky na nastavení stříhacího zařízení a také na stříhaný materiál. Jedním z činitelů, které mají na výsledky řezné operace vliv, je povrch materiálu, z něhož se má součást vystříhnout.

### Povrch

Čistota povrchu ocelového plechu je jedním z nejdůležitějších činitelů pro dosažení vysoké kvality řezné plochy, tj. malá



10 % tloušťky plechu

6 % tloušťky plechu

Význam střížné vůle na vzhled ostří řezu u oceli Docol 1400 M.



Relativní tloušťka											
Z třídy oceli	Na třídu oceli										
	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 M	Docol 1400 M
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 M	2,01	2,30	2,08	1,91	1,78	1,84	1,65	1,38	1,16	1,00	0,91
Docol 1400 M	2,21	2,53	2,29	2,10	1,96	2,03	1,81	1,52	1,28	1,10	1,00

Relativní střížná síla											
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 M	1,21	1,58	1,63	1,54	1,48	1,39	1,24	1,27	1,13	1,00	0,96
Docol 1400 M	1,26	1,64	1,69	1,60	1,53	1,45	1,28	1,31	1,17	1,04	1,00

Použití tabulky:

Přechází-li se např. z oceli DC04 na Docol 800 DP, je možné tloušťku zmenšit o 60 % původní tloušťky. Výsledkem je, že střížná síla pro Docol 800 DP bude 80 % střížné síly potřebné pro stříh materiálu DC04.

úhlová odchylka (kuželovitost  $\eta$ ) a hladký povrch řezu (Rz). Čistý povrch vytváří nejlepší podmínky pro stříhání s ohledem na kvalitu řezu a výrobní hospodárnost.

#### Zkušební výsledky

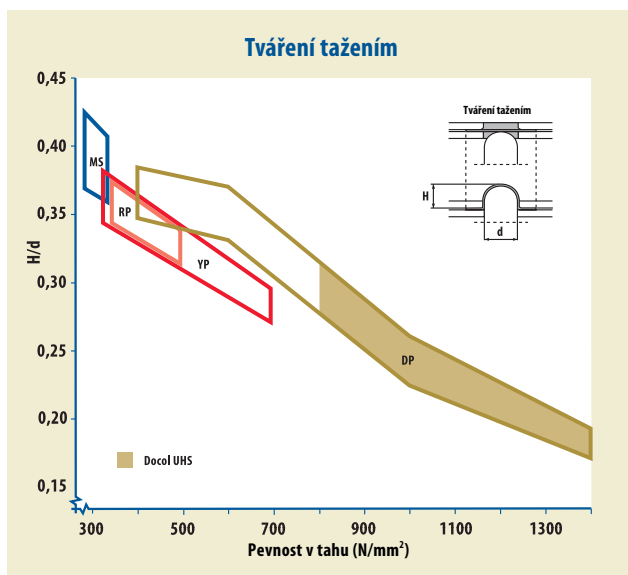
V posledních letech vzrostla obliba laserového řezání jako řezné metody. SSAB Tunnpłat proto podnikl studie vlastností laserového řezání ocelí Docol UHS jak vlastním výzkumem, tak i shromážděním zkušeností, které získaly společnosti, jež laserové řezání po-

užívají. Výsledek těchto studií je možné shrnout následujícím způsobem:

- Pro oceli Docol UHS není třeba používat zvláštní parametry pro řezání.
- Oceli Docol UHS odpovídají normě pro nejvyšší třídu v souladu s normou DIN 2310, část 5, pro řezné hrany laserového řezání. To platí jak pro povrchovou hladkost, tak i pro kuželovitost.
- Oceli Docol UHS neobsahují žádné velké vměstky, které by mohly mít poškozující

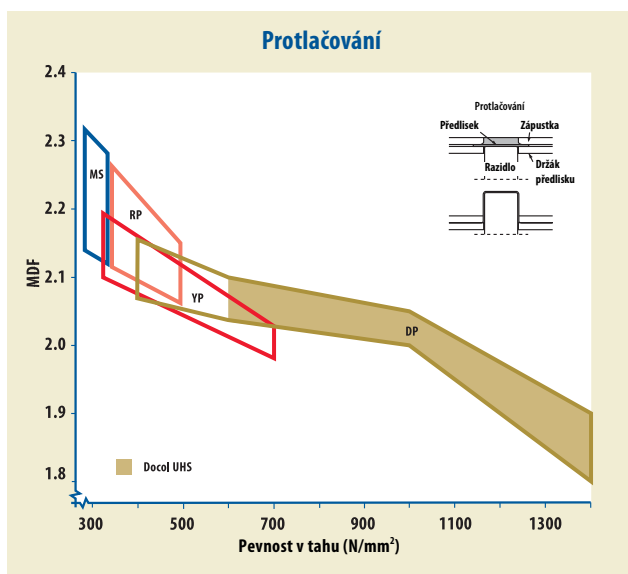
vliv na výsledky řezné operace.

- Změny v tvrdosti vznikají jenom v úzké oblasti nejbližší k řeznému okraji. Oblast ovlivněná teplem laserového paprsku při laserovém řezání je velmi úzká. Tato oblast je tak blízko k hraně řezu a je tak úzká, že ji následující svařovací operace úplně eliminuje.



Tvárnost tažením,  $H/d$  jako funkce pevnosti v tahu měkkých ocelí (MS) a ocelí Docol YR, RP, DP a M.

Z grafu je patrná dobrá tvárnost tažením ocelí Docol UHS.



Omezující tažný poměr (LDR) jako funkce pevnosti v tahu měkkých ocelí (MS) a ocelí Docol YR, RP, DP a M.

Z grafu je patrná dobrá tvárnost při protlačování ocelí Docol UHS



## Tváření

Navzdory své vysoké pevnosti jsou oceli Docol UHS dobře tvárné a mohou se tvarovat tradičními způsoby. Poněkud horší tvárnost ve srovnání s měkčími ocelmi je téměř vždy možné vyvážit změnou konstrukce součástí.

### Tváření tažením

Při tváření tažením se materiál uchycuje držákem předlisku a veškerá plastická deformace probíhá na rázidle. Materiál je podroben napětí ve dvou osách, což má za následek zmenšení tloušťky. Jestliže je místní deformace příliš vysoká, dojde k porušení materiálu. Vlastnosti pro tváření tažením závisí hlavně na schopnosti materiálu přerозdělit napětí.

Existuje úzký vztah mezi vlastnostmi materiálu při tváření tažením a jeho vlastnostmi při mechanickém tvrzení, tj. čím větší je mechanické tvrzení, tím lepší je rozdělení napětí a tím jsou i lepší vlastnosti při tváření tažením.

Vzhledem k tomu, že se oceli Docol UHS při výrobě podrobují značnému

mechanickému vytvrzování, jejich materiál má také lepší vlastnosti při tváření tažením než ostatní oceli se srovnatelnou pevností.

### Protlačování

Protlačování je charakteristické tím, že celý předlisk nebo jeho valná část se protlačuje zápustkou a přítlak držáku předlisku je nastaven tak, aby se zabránilo zvrátnění.

Schopnost materiálu vydržet protlačování určují v zásadě dva činitelé:

- Schopnost materiálu plasticky se deformovat v rovině plechu (předlisku), tj. jak snadno materiál teče v ohybových partiích a přeměňuje se v materiál boční stěny během protlačování.
- Materiál boční stěny musí být schopen vydržet plastickou deformaci v rovině předlisku ve směru tloušťky tak, aby se tím zmenšilo nebezpečí porušení materiálu.

Při porovnání s ocelmi, které mají srovnatelnou pevnost, jsou oceli Docol UHS stejně dobře, ne-li lépe, tažné.





## Obrubování

Poměr mezi průměrem otvoru před a po obrubování se nazývá obrubovací poměr.

Předlisky je třeba umístit tak, aby otřep stříhu směřoval k razidlu. To je proto, že vnější vlákna materiálu vydrží větší deformaci a také proto, že mechanické působení při stříhu snižuje poddajnost okraje řezu. Protože se vnější vlákno tenkého materiálu deformuje méně než silného materiálu, může tenčí materiál vydržet vyšší obrubovací poměr než silnější mate-

riál se stejným vnitřním průměrem obrubovaného otvoru.

Aby byly výsledky obrubované u ocelí Docol UHS nejlepší, doporučuje se větší patní rádius (1,5–2 t) než se používá u měkkých ocelí. V praxi se používá větší vůle mezi zápustkou a razidlem.

## Ohýbání

Při ohýbání na plech působí ohybový moment a vnější strana plechu je namáhána na tah, zatímco vnitřní je namáhána na tlak. Ohebnost klesá

s rostoucí pevností. Rozdíl v ohebnosti podél a napříč směru válcování je u ocelí Docol UHS relativně velký. Proto je při ohýbání ocelí Docol UHS zvláště důležitá kombinace správného průměru razidla a správného otvoru zápustky.

Výsledky výzkumu ohebnosti ocelí Docol UHS při tloušťce 1,5 mm.

Z bezpečnostních důvodů doporučujeme, aby se operace ohýbání prováděla s minimálním vnitřním rádiem uvedeným v tabulce na str. 9.

Ohebnost napříč směru válcování. Plech o tloušťce 1,5 mm							
Rádius razidla R (mm)	R/t	Šířka otvoru zápustky W (mm)	W/t	Docol 800 DP	Docol 1000 DP	Docol 1200 M	Docol 1400 M
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	10,0				
5		24	16,2				

Uspokojující

Místní kontrakce/praskliny

t = tloušťka

Ohebnost podél směru válcování. Plech o tloušťce 1,5 mm							
Rádius razidla R (mm)	R/t	Šířka otvoru zápustky W (mm)	W/t	Docol 800 DP	Docol 1000 DP	Docol 1200 M	Docol 1400 M
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				

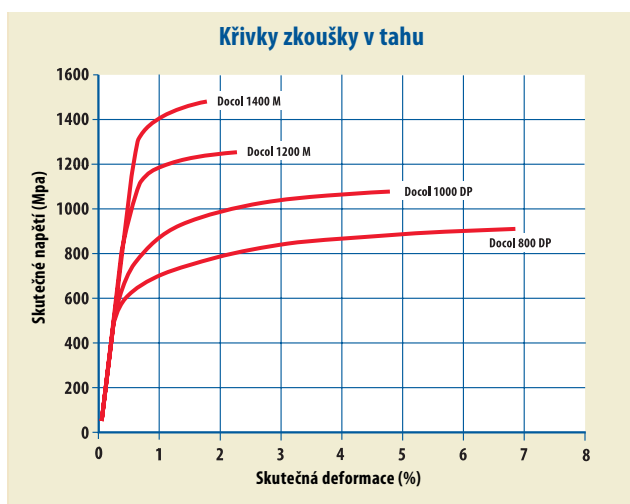
Uspokojující

Místní kontrakce/praskliny

t = tloušťka



Nosník pro nákladní vůz Volvo z oceli Docol 800 DP s tloušťkou 1,25 mm.



### Tvarování válcováním

Tvarování válcováním je metoda tvarování, která se velmi dobře hodí pro oceli Docol UHS. Proces je méně náročný na materiál než při ohýbání na ohraňovacím lisu, a proto je tímto způsobem možné vyrábět profilované součásti s velmi komplikovaným průřezem a úhlednými rádií.

Tvarování válcováním je možné spojit se současnými operacemi jako je děrování, svařování a ohýbání.

Vzhledem k vysoké pevnosti oceli Docol UHS je její návrat do původní polohy před válcováním větší než u měkkých ocelí, a to rovněž platí i pro tvarování válcováním. Při jeho použití na oceli Docol UHS se musí výrobní linka, která byla původně nastavena pro měkký materiál, obecně přizpůsobit, aby vyhovovala vlastnostem ocelí Docol UHS.

### Křivky zkoušky v tahu

Křivky z běžných zkoušek v tahu je možné použít pro různé typy analýz metodou konečných prvků (FEM), např. pro výpočty únosnosti nebo schopnosti absorbovat rázovou energii u navrhované součásti. U křivek závislosti skutečného napětí na skutečné deformaci se úroveň napětí a deformace během zkoušek kompenzují na zmenšení průřezu. Ocel s vyšší pevností bude mít pro danou deformaci vyšší úroveň napětí.

### Křivky mezní tvažitelnosti

Křivka mezní tvažitelnosti (FLC) ukazuje úhrn deformací, které si materiál podrží při určité deformační cestě nebo při určitém deformačním stavu.

FLC se dá použít pro dokumentaci nebo jako pomůcka při řešení obtížných lisovacích operací.

Na materiál se před lisováním vyleptá šachovnicový vzor. Po lisování se měří změny velikosti vzoru ve dvou směrech, tj. znamená ve směrech, kde jsou největší, se určí e-max a ve směru kolmém na tento směr e-min.

Jestliže v obou směrech došlo ke zvětšení, jedná se o tvarování tažením, které je znázorněno vpravo od nulové čáry v grafu FLC.

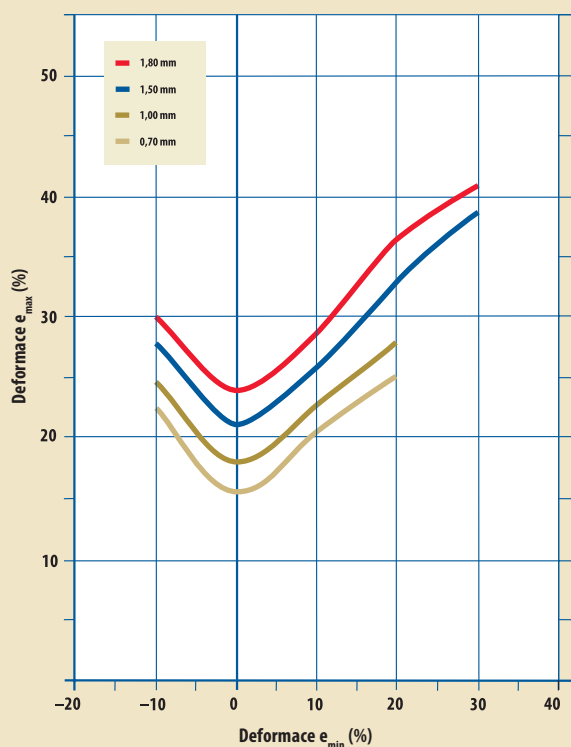
Hodnoty, které mají záporné e-min a kladné e-max, se znázorňují vlevo od nulové čáry v grafu FLC, kde je proces protlačování.

Křivky jsou závislé na tloušťce materiálu, a proto se musí vypočítávat podle příslušné tloušťky. Výsledky pro danou lisovací operaci se zaznamenávají do grafu a porovnávají se s křivkou materiálu. Je-li výsledek pod křivkou, může příslušný materiál deformaci vydržet.

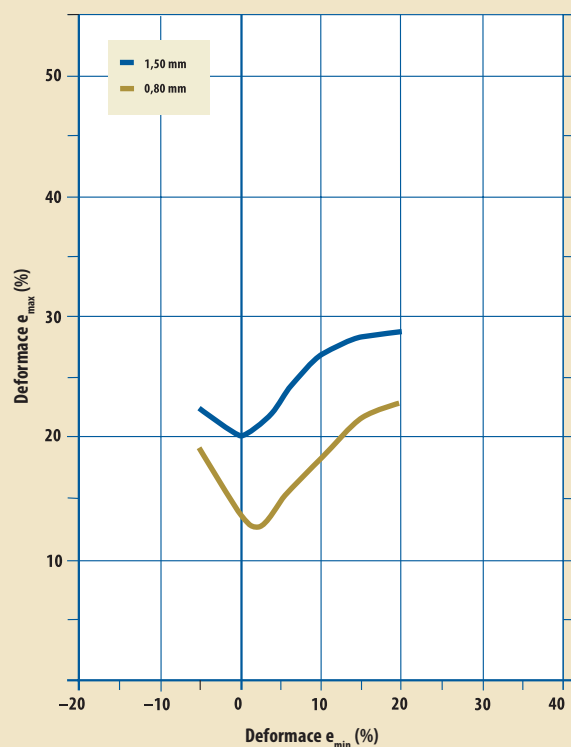


# Křivky mezní tvařitelnosti (FLC) pro skutečnou deformaci oceli Docol UHS.

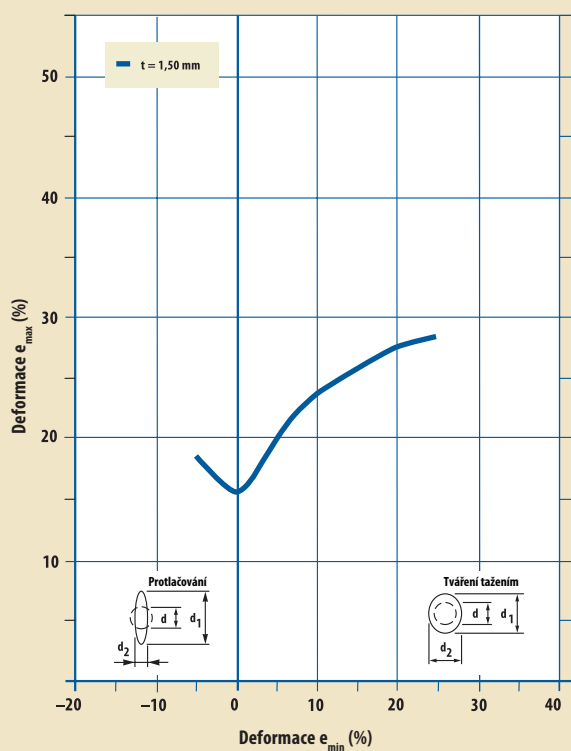
Docol 800 DP



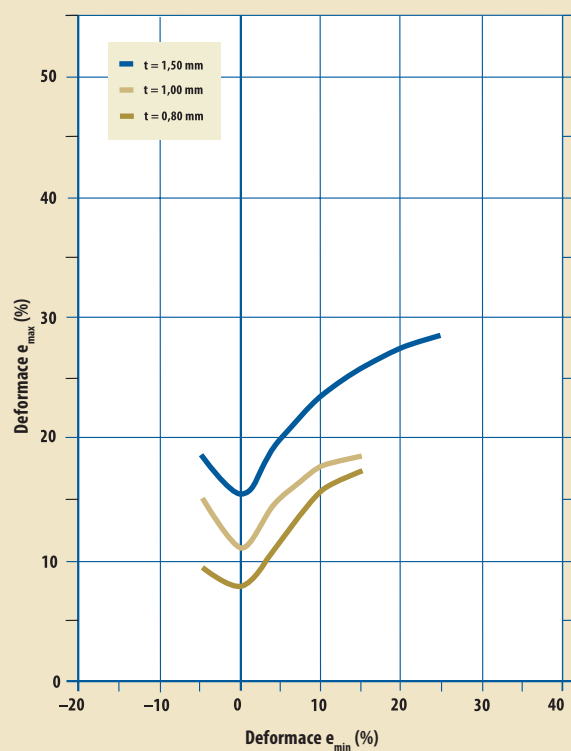
Docol 1000 DP



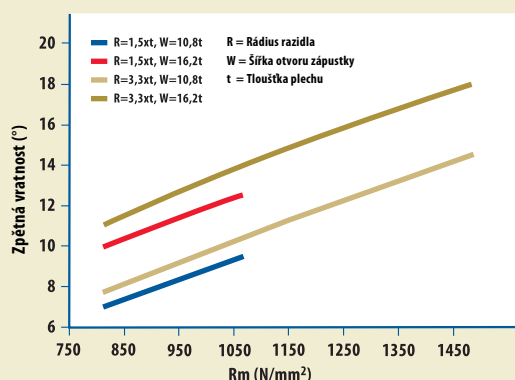
Docol 1200 M



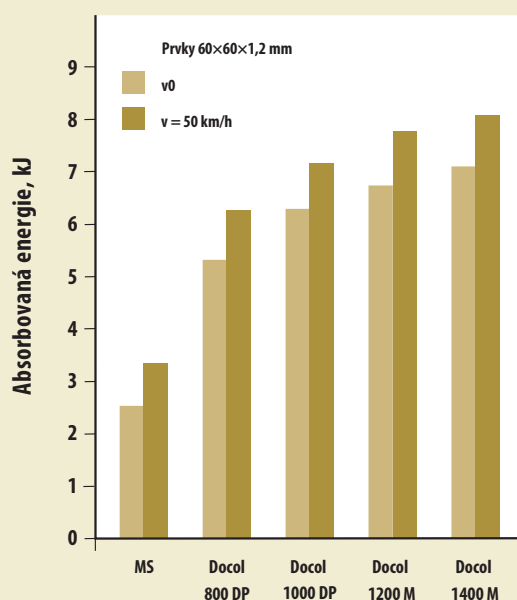
Docol 1400 M



### Zpětná vratnost Docol UHS při ohýbání na 90° (t = 1,5 mm)



### Schopnost absorpce energie Docol UHS



Sloupcový diagram v grafu znázorňuje energetickou absorpci prvku o rozměrech 60×60×1,2 mm při dvou různých rychlostech.

### Odpružení

Při přechodu z měkké oceli na ocel s vyšší pevností vzroste odpružení. Na odpružení nemá vliv pouze pevnost materiálu, ale také použité nástroje. Zvýšení pevnosti, rádiu razidla nebo šířky otvoru zápusky způsobí, že se zvýší i odpružení.

Odpružení je možné kompenzovat zvýšenou plastickou deformací materiálu při ohybu. To se dá udělat přetažením ohybu nebo zmenšením rádiu razidla nebo šířky otvoru zápusky. Kromě toho je ji možné snížit použitím výtuh.



### Absorpce energie

Schopnost absorbovat rázovou energii u různých bezpečnostních součástí vozů závisí na pevnosti oceli, která se pro výrobu součástí použije. Výsledkem je, že tloušťku součástí jako jsou axiálně zatížené stranové ochranné nosníky a dveřní výstuhy je možné podstatně snížit použitím oceli Docol UHS místo měkké oceli.

Základním pravidlem je, že hmotnost bezpečnostních součástí je možné snížit o 30–40%, použije-li se ocel Docol 1000 DP, a o 40–50%, použije-li se ocel Docol 1400 M místo měkké oceli.

Geometrie průřezu, tloušťka plechu a pevnost oceli jsou faktory, které ovlivňují schopnost součástí pohlcovat energii.

Mechanické vlastnosti oceli se zlepšují vysokými stupni deformace. Výsledkem je, že schopnost pohlcovat energii roste při skutečných srážkových situacích.

Jedním ze způsobů jak měřit schopnost absorbovat energii dokončených ochranných prvků dveří je statická, tříbodová ohybová zkouška. Síla se měří jako funkce deformace až do předem stanovené deformační hodnoty a pak se může energie vypočítat.



### Stárnutí

Ocel Docol UHS nestárne, což je dáno

strukturou materiálu. Tento typ oceli se skládá ze dvou fází, z nichž jedna je tvrdá (martenzit) a druhá měkká (ferit). Rozdíl v pevnosti mezi těmito dvěma fázemi zabraňuje vzniku jevu běžného stárnutí jako je zvýšení pevnosti v kluzu a obnova rozšíření meze tažnosti po skladování při běžných teplotních podmínkách.

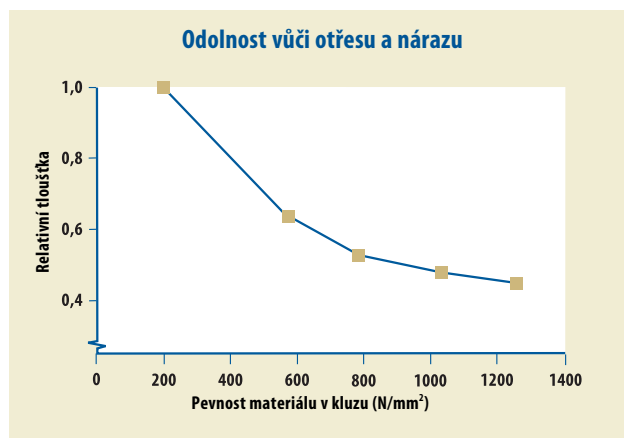




### Odolnost vůči nárazu a otřesům

Velké oblasti plechu podrobeného otřesům a nárazu s sebou nesou velké nebezpečí trvalé deformace. Např. střecha vozu musí být schopná vydržet zatížení způsobené středně velkým otřesem nebo nárazem, aniž by se trvale zdeformovala. Odolnost vůči nárazu oblasti plechu určuje mez pevnosti v kluzu.

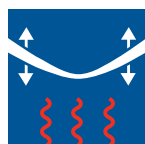
tloušťce má ocel Docol UHS ekvivalentní nebo stejnou odolnost vůči otřesům a rázům jako měkká ocel (pevnost v kluzu  $220 \text{ N/mm}^2$ ), tj. nepřímě i to, kolik materiálu je možné ušetřit při přechodu na oceli Docol UHS.



Na obrázku je znázorněno, při jaké relativní

Zvýšenou zpětnou vratnost ocelí Docol UHS je možné využít pro zlepšení vlastností produktu. Ochranné pouzdro na počítač s úpravou proti odcizení je vyrobeno z ocelí Docol 1000 DP nebo Docol 1400 M. Kromě toho, že je obtížnější ji řezat než měkkou ocel, zpětná vratnost oceli Docol UHS pouzdra dodává mnohem větší odolnost proti páčení. Sklapne jako past na myši.





### Deformační a tepelné zpevnění

Podstatného

zvýšení pevnosti v kluzu je možné docílit využitím vlastností daných deformačním a tepelným zpevněním ocelí Docol UHS.

Deformační zpevnění způsobené 2 % deformací může zvýšit pevnost ocelí Docol UHS v kluzu o více než 100 N/mm<sup>2</sup>. Deformační zpevnění je velmi závislé na úhrnu deformace a na typu oceli.

Stupeň deformačního zpevnění má pro zvýšení pevnosti oceli UHS v kluzu mnohem větší důležitost než čas tepelného

zpracování a teplota.

Deformační zpevnění 10 % zvýší pevnost oceli Docol 800 DP v kluzu přibližně o 400 N/mm<sup>2</sup>.

Tepelné zpevnění prohříváním materiálu při teplotě 170 °C po dobu 20 minut zvýší pevnost v kluzu o dalších zhruba 30 N/mm<sup>2</sup>.

### Lisování a natírání

Všude tam, kde se součásti z ocelových plechů lisují a pak natírají, dají se vlastnosti mechanického a tepelného zpevnění oceli Docol UHS velmi dobře využít.

K deformačnímu zpevnění dochází při lisování a k tepelnému zpevnění

dochází při vytvrzování nátěru, jestliže se nátěr vytvrzuje při zvýšené teplotě.

### Skružování trubek a tvarování válcováním

Skružování trubek a ostatní druhy válcového tvarování jsou typické operace, v nichž je možné vlastnosti deformačního a tepelného zpevnění dobře využít.

Při těchto operacích dochází k řízené deformaci materiálu, což vede ke zvýšení pevnosti v kluzu a pevnosti v tahu dokončené součásti.

Vzhledem k tomu, že je velikost deformace známá a je řízená, je možné

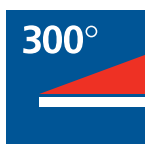
zvýšení pevnosti využít při konstrukci konečné součásti.

Jestliže se dokončené součásti tepelně zpracují, např. při úpravě povrchu, je možné očekávat další zvýšení pevnosti.

#### Dimenzování

Deformační a tepelné zpevnění je vždy možné dobře využít při statické konstrukci.

Zvýšení pevnosti v kluzu je možné běžně využít i při konstrukci s ohledem na únavu materiálu.

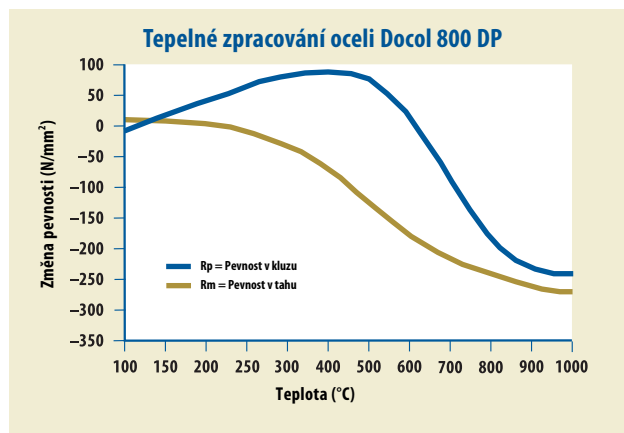


#### Tepelné zpracování

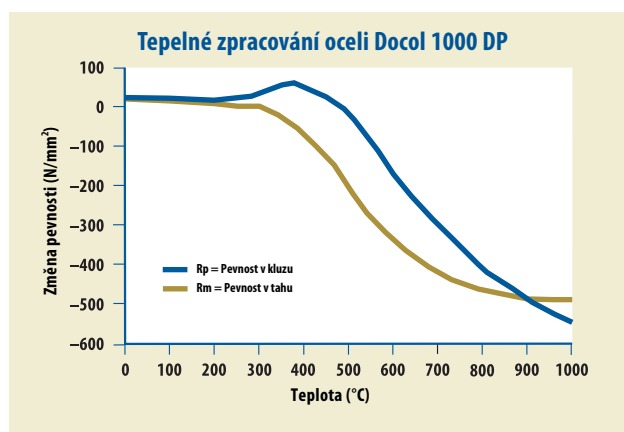
Docol 800 DP a Docol

1000 DP je možné ohřát až na 300 °C, aniž by se jejich pevnostní vlastnosti nepříznivě změnily. Jestliže se zahřejí na teplotu vyšší než je tato hranice, bude se jejich pevnost postupně snižovat s rostoucí teplotou.

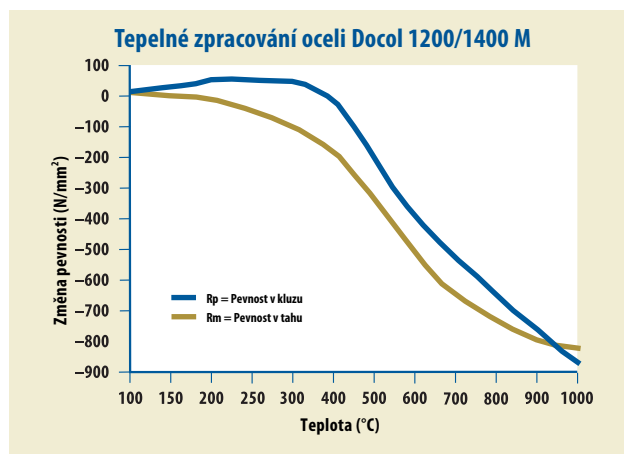
Docol 1200 M a Docol 1400 M je možné zahřát na teploty až kolem 200 °C, ale jejich pevnostní vlastnosti se tím nepříznivě změň. Jestliže se zahřejí na teplotu kolem 200 °C, potom se pevnosti těchto ocelí sníží více než pevnosti ocelí Docol 800 DP a Docol 1000 DP.



Graf ukazuje, jak se mění pevnost oceli Docol 800 DP při ohřevu.

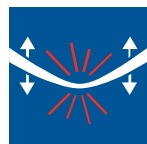


Graf ukazuje, jak se mění pevnost oceli Docol 1000 DP při ohřevu.



Graf ukazuje, jak se mění pevnost oceli Docol 1200 M a Docol 1400 M při ohřevu.





## Únava materiálu Zevrubná analýza únavové

zátěže, tj. tvar a počet zátěžových cyklů zátěžového spektra, spolu s dobrou konstrukcí, např. snížení vlivu efektu koncentrace napětí ve spojích, je základem pro dobré využití materiálu u ocelí s vysokou pevností.

Předpoklad stálé maximální zátěžové amplitudy bude mít za následek značné předdimenzování, protože součásti ze skutečného života jsou obvykle podrobeny zátěží s proměnnou amplitudou (úzké zátěžové spektrum). Čím je zátěžové spektrum mírnější a počet zátěžových cyklů menší, tím výhodnější je využít oceli s vysokou pevností a to i u svařovaných konstrukcí.

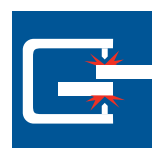
### Dobrá konstrukce:

- všude, kde to je možné, využít účinek skořepinové konstrukce
- zajistit stejnoměrné rozložení napětí po celé konstrukci
- vyhnout se náhlým změnám tuhosti nebo náhlým změnám průřezu
- zatížení je často kritické – konstrukci je třeba věnovat zvýšenou pozornost
- zajistit, aby svařované spoje byly správně umístěny a navrženy
- hromadění míst koncentrace napětí je třeba vyloučit ve všech konstrukcích

- zajistit, že jsou svary kvalitní (skutečná výrobní kvalita musí být pod neustálou kontrolou).

### Dobrá konstrukce s tenkými plechy z materiálů jako je ocel Docol UHS zahrnuje:

- používání výztuh (např. žlábků a zesílení okrajů), aby se zabránilo zborcení a tím se zlepšilo využití materiálu
- používání výztuh, aby se zabránilo místnímu ohýbání plechu, např. v místech, kde zátěž působí
- zvýšení průměru bradavek bodového svaru a zmenšení rozteče bodových svarů, aby se snížilo napětí ve svaru a zvýšila se únavová pevnost celé konstrukce
- používání bodových svarů používat spolu s lepenými spoji (svarové lepení), aby se zvýšila únavová pevnost
- používání laserem svařovaných spojů, protože mají značně vyšší únavovou pevnost než bodové svary.



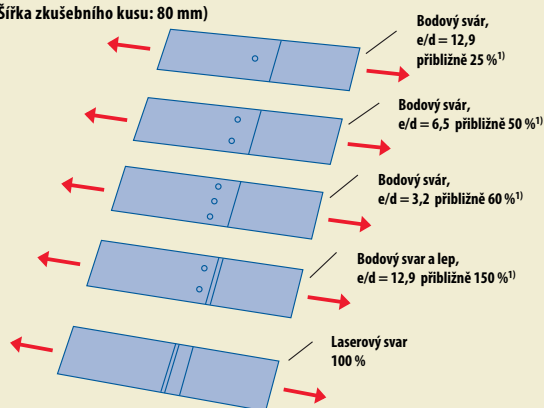
### Svařování ocelí Docol UHS

Oceli Docol UHS se

normálně svařují s plechy z měkké oceli (svařování tvrdé na měkké). Oceli Docol UHS se také někdy přivařují na podobné oceli (svařování tvrdé na tvrdé) jako jsou různé typy uzavřených profilů.

### Relativní únavová pevnost při $1 \times 10^6$ zátěžových cyklech

(Šířka zkušebního kusu: 80 mm)



d = Průměr bradavky  
e = Rozteč bradavek

<sup>1)</sup> Únavová pevnost ve vztahu k průběžnému spoji laserovým svarem.

### Pro oceli Docol UHS se dají použít všechny konvenční metody svařování

Oceli Docol UHS se mohou svařovat všemi běžnými svařovacími metodami jako např. bodovým svařováním, svařováním MAG, laserové svařování nebo vysokofrekvenčním svařováním.

Oceli Docol UHS vděčí za svou dobrou svařitelnost tomu, že mají jenom velmi malý obsah legujících prvků ve vztahu ke své pevnosti, což minimalizuje nebezpečí prasklin a ostatních defektů.

### Bodové svařování

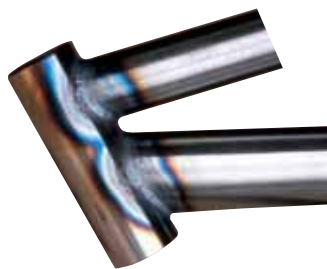
Bodové svařování je druhem odporového svařování a metodou, která se běžně nejčastěji používá pro svařování za studena tvarovaných ocelí s vysokou pevností.

Aby bylo možné ocel uspokojivě bodově svařit,

je důležité, aby byl rozsah použitelného proudu dostatečně široký. Tento rozsah musí být alespoň 1 kA.

Bodové svařování ocelí Docol UHS k měkkým ocelím nepůsobí žádné potíže. Povolný rozsah proudu je široký a při odtrhovací zkoušce se testovací kolíček neodtrhne (tj. během zkoušky se vytrhne z jednoho nebo druhého plechu). Pevnost svaru je stejná jako u měkkých ocelí.

Jestliže se ocel Docol UHS přivaruje na stejnou ocel (svařování tvrdé na tvrdé), je povolený rozsah proudu rovněž široký. Na ocelích Docol UHS s nejvyššími pevnostmi k úplnému neodtrhnutí testovacího kolíčku při odtrhovací zkoušce někdy nedojde. K poruše někdy částečně dochází ve svaru, což je známo jako částečné neodtržení kolíčku.



Detail svaru na Docol UHS.

Typické měřené svařovací proudové rozsahy, které vyvářejí dobré bodové svary na ocelích Docol UHS jsou uvedeny v následující tabulce.

Výsledky jsou k dispozici pro svařování tvrdé na měkké a tvrdé na tvrdé. Měřené proudové rozsahy jsou všude velmi široké, tj. širší než 2,0 kA ve všech případech.

**Měřené, povolené proudové rozsahy u bodového svařování<sup>3)</sup> Docol UHS**

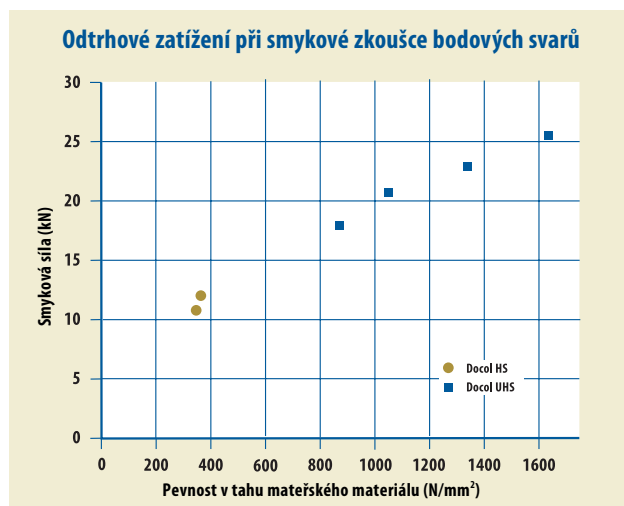
Ocel 1	Ocel 2	Tloušťka ocel 1/ ocel 2) (mm)	Dostupný svařovací proud <sup>1)</sup>		Údaje o svařování				Poznámky
			Rozsah (kA)	min – max (kA)	Průměr elektrody (mm)	Přítlačná síla elektrody (N)	Doba svařování (v cyklech)	Doba zdržení (v cyklech)	
Docol 800 DP	Docol 800 DP	1,0/1,0	2,0	6,4 – 8,4	6	4000	12	10	Tvrdé/tvrdé
Docol 800 DP	Docol 220 DP	1,5/1,5	2,6	5,9 – 8,5	6	3500	15	10	Tvrdé/měkké
Docol 800 DP	Docol 800 DP	1,5/1,5	2,1	5,7 – 7,8	6	4000	20	10	Tvrdé/tvrdé
Docol 800 DP	DC01	2,0/2,0	3,4	9,9 – 13,3	9	6300	20	10	Tvrdé/měkké
Docol 800 DP	Docol 800 DP	2,0/2,0	3,0	7,8 – 10,8	9	6300	20	10	Tvrdé/tvrdé
Docol 1000 DP	DC01	0,8/0,8	2,5	5,2 – 7,7	5	3000	8	10	Tvrdé/měkké
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	0,8/0,8	3,0	4,7 – 7,7	5	3000	11	10	Tvrdé/tvrdé
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	1,5/1,5	2,2	5,8 – 8,0	6	4500	19	10	Tvrdé/tvrdé
Docol 1000 DP	Dogal 220 RP <sup>2)</sup>	2,0/2,0	3,0	7,4 – 10,4	8	5600	19	10	Tvrdé/měkké
Docol 1000 DP	Docol 1000 DP	2,0/2,0	2,4	7,8 – 10,2	9	6300	20	10	Tvrdé/tvrdé
Docol 1200 M	DC01	1,5/1,5	2,7	9,4 – 12,1	8	5000	15	10	Tvrdé/měkké
Docol 1200 M	Docol 1200 M	1,5/1,5	2,5	6,2 – 8,7	6	4500	15	10	Tvrdé/tvrdé
Docol 1400 M	Docol 220 DP	1,5/1,5	2,5	7,5 – 10,0	8	3500	15	10	Tvrdé/měkké
Docol 1400 M	Docol 1400 M	1,5/1,5	3,2	8,6 – 11,8	8	6000	17	10	Tvrdé/tvrdé

1) Minimální hodnota: Proud, který vytvoří průměr kolíčku 70 % průměru elektrody. Maximální hodnota: Nejvyšší proud bez rozstříku.

2) Pokovený zinkem (10 µm).

3) Bodové svary se tvoří ve strojích s jednofázovým střídavým proudem. Měření jsou založena na zkoušce příčného napětí.

Odtrhové zatížení při smykové zkoušce bodových svarů u ocelí Docol UHS ve srovnání s ostatními ocelmi s vysokou pevností.  
Průměr kuličky: cca 5,5 mm. Tloušťka plechu: 1,5–1,6 mm.



### Pevnosti bodových svarů

Pevnosti ve stříhu bodových svarů u ocelí Docol UHS jsou vyšší než pevnosti ve stříhu u bodových svarů ocelí s nižší pevností. To ukazuje výše uvedený graf. Různé oceli byly navařeny na oceli stejné třídy, tj. tvrdé na tvrdé. To jasně ukazuje, že pevnost ve stříhu bodových svarů roste se vzrůstající pevností svařovaných ocelí. Pevnost odtržení je nižší než pevnost ve stříhu bodových svarů, a proto musí být konstrukce zaměřena tak, aby zatížení bylo smykové. To také umožňuje využít vyšší pevnost ocelí Docol UHS.

### Doporučené svařovací údaje u bodových svarů

Jsou-li oceli Docol UHS přivařeny bodově k měkkým ocelím, je možné použít stejné svařovací údaje jako pro měkkou ocel. Přítlačnou sílu elektrody je však třeba zvýšit o 20 až 30 %. Pro dosažení dobrých výsledků svařování v případě, že se přivařuje ocel Docol UHS na ocel Docol UHS (tvrdé na tvrdé), je třeba přítlačnou sílu elektrody zvýšit o 40 až 50 % ve srovnání s přítlačnou silou použitou při svařování měkkých ocelí a dále je třeba poněkud prodloužit svařovací čas.

### Tavné svařování

K žádným problémům s trhlinami nebo jinými defekty při tavném svařování, např. svařování MAG, TIG nebo plazmové svařování, ocelí Docol UHS normálně nedochází, protože mají tyto oceli nízký obsah legujících prvků. To platí jak pro svařování měkké oceli, tak i pro svařování ocelí stejné jakosti.

Při svařování na měkkou ocel se pevnost svařovaného spoje určuje na základě měkčí oceli.

Jestliže se tavně přivaří ocel Docol UHS na ocel stejné třídy, bude pevnost svařovaného spoje mnohem vyšší než ve svařovém spoji ostatních ocelí s vysokou pevností.

Výše uvedený graf znázorňuje výsledky svařování MAG oceli Docol UHS s jinou ocelí s vysokou pevností. Je z něj jasně vidět, že mají oceli Docol UHS vyšší pevnost než ostatní oceli.

Pevnost svaru však u ocelí Docol UHS nedosahuje stejné úrovně jako pevnost svaru u mateřského materiálu.

Důvodem je skutečnost, v bezprostředním okolí

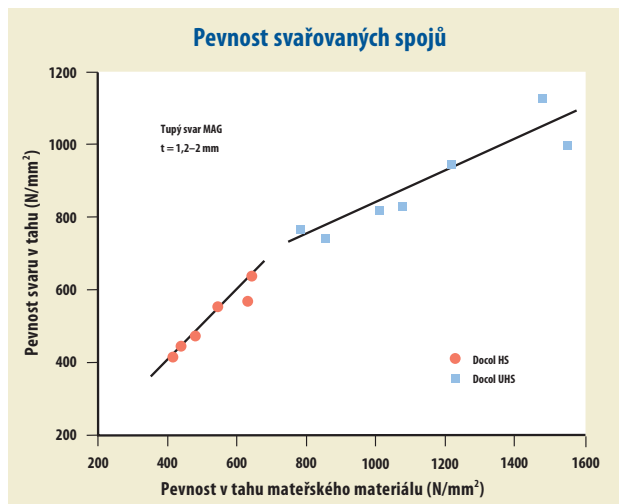
Příklad svarového kovu pro oceli Docol UHS		
Ruční kovové obloukové svařování (MMA)	Kovové obloukové svařování v plynné atmosféře (MAG) Plný drát	Výrobce
OK 75.75	OK Autrod 13.13 OK Autrod 13.29 OK Autrod 13.31	ESAB
Filarc 118 P 110 MR Maxeta 110 Tenacito 80	Elgamatic 135  Carbofil NiMoCr Spoolcord TD-T90	Filarc ELGA  Oerlikon



svaru vznikají měkké zóny, které pevnost snižují (viz křivky tvrdosti v následujícím grafu).

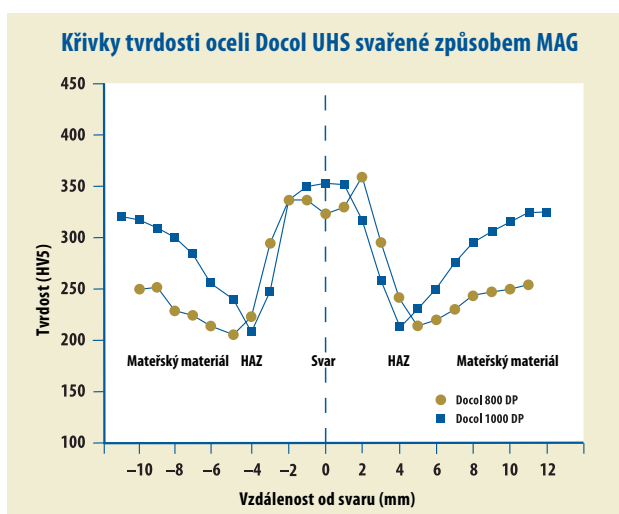
Pevnost je nejvyšší u Docol 1400 M, která má také nejvyšší pevnost mateřského materiálu.

Při svařování ocelí Docol UHS způsobem MAG je možné použít stejné údaje o svaru jako pro měkké oceli nebo oceli s vysokou pevností.



Pevnost svařovaného spoje u ocelí Docol UHS ve srovnání s vysokou pevností ostatních ocelí Docol (dva shodné typy oceli navzájem svařené, zatížené přes svar a bez svařovacích výztuh).

Údaje o svaru: MAG, odpovídající plný drát, jedna souvislá délka, smíšený ochranný plyn, tepelný příkon 0,11 až 0,17 kJ/mm.



Křivky tvrdosti pro ocel Docol UHS (Docol 800 DP,  $t = 2,0$  mm a Docol 1000 DP,  $t = 2,0$  mm). Tupé svary, dvě oceli stejné třídy navzájem svařené.

Údaje o svaru: odpovídající plný drát, smíšený ochranný plyn, jedna souvislá délka, tepelný příkon cca 0,16 kJ/mm.



### Laserové svařování

Oceli Docol UHS se dají přivařovat laserem na měkkou ocel nebo na ocel stejné jakosti. Z hlediska svařování není mezi laserovým svařováním ocelí Docol UHS a měkkých ocelí žádný rozdíl. Jednou z výhod laserového svařování je skutečnost, že je možné pevnost svaru u oceli Docol UHS ve srovnání se svařováním MAG zvýšit.

Laserové svarové spoje u ocelí Docol 800 DP a Docol 1000 DP vykazují stejnou pevnost jako mateřský materiál. Jenom u ocelí Docol 1200 M a Docol 1400 M není pevnost svaru zcela stejně vysoká jako pevnost mateřského materiálu.

Příčinou toho, že je pevnost u laserového svaru vyšší, je skutečnost, že je tepelný příkon podstatně nižší než u svařování MAG, a proto je materiál méně ovlivněn teplem. Graf uvedený níže ukazuje křivky tvrdosti laserem svařované oceli Docol 800 DP a Docol 1000 DP. Z křivek tvrdosti je patrné, že jsou laserové svary úzké a prakticky bez měkkých zón. Výsledkem je, že pevnost laserových svarů je vyšší než pevnost svarů MAG.

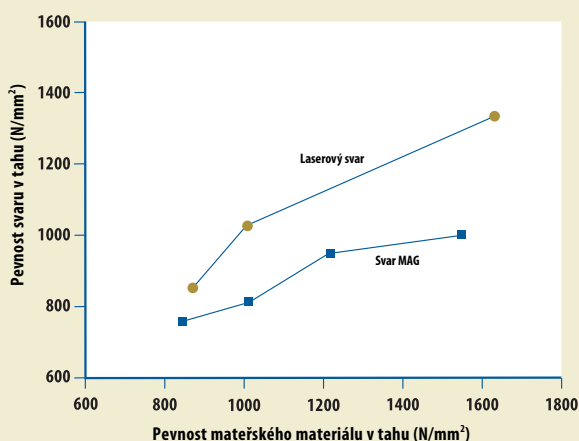
### Vysokofrekvenční svařování

Vysokofrekvenční svařování je velmi běžná a účinná metoda pro svařování trubek.

Vysokofrekvenční proud rychle ohřívá hrany na vysokou teplotu. Když se pak ohřáté hrany přitisknou k sobě velkým tlakem, roztavený materiál se vytlačí a vznikne silný spoj.

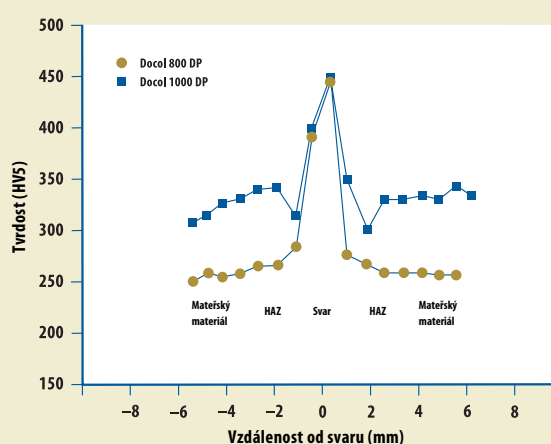
Vysokofrekvenční svařování se dá použít i pro svařování ocelí Docol UHS. Pevnost svarového spoje je hlavně určena vlastnostmi dosaženými v zóně ovlivněné teplem (HAZ).

Pevnost svařovaných spojů



Pevnost svarového spoje u oceli DOCOL UHS. Srovnání mezi svarem MAG a laserovým svarem (tupý svar, tloušťka plechu 1,5 až 2,0 mm, dvě oceli stejné třídy navzájem přivařené, zatížení přes svar).

Křivky tvrdosti laserem svařovaných ocelí Docol UHS



Křivky tvrdosti laserem svařovaných ocelí Docol UHS (Docol 800 DP, 1,0 mm silný plech, a Docol 1000 DP, 2,0 mm silný plech). Tupé svary, žádný svarový kov, tepelný příkon kole 0,05 kJ/mm.



Bezpečnostní žaluzie od firmy Ansa Protection z materiálu Docol 1000 DP, které byly oceněny na Swedish Steel Price 1999.



#### Povrchová úprava

Oceli Docol UHS

je možné chránit proti korozi stejnými způsoby jako měkké oceli, tj. natíráním, elektrolytickým zinkováním, nebo opatřením ostatními druhy ochranné vrstvy obsahující zinek a/nebo hliník.

Při elektrolytickém zinkování je třeba vzít v úvahu citlivost oceli na vodíkové křehnutí.

Zevrubné studie v laboratorních testech a plnohodnotné pokusy

ukázaly, že je možné oceli Docol UHS elektrolyticky zinkovat bez nebezpečí vzniku vodíkového křehnutí. Citlivost oceli však mohou ovlivnit i jiné faktory a u kritických použití jako jsou bezpečnostní prvky se doporučuje předem vyhodnotit navrhované zařízení pro povrchovou úpravu.

Po elektrolytickém zinkování je možné také ocel ošetřit s ohledem na vodíkové křehnutí (viz norma ISO 2081) a tím zajistit, aby byl materiál

na vodíkové křehnutí méně náchylný.

Jako alternativu je možné použít povrchové ošetření, které neuvolňuje vodík, např. Dacromet (Dacrolit) nebo Delta MSK. Tím je možné vodíkové křehnutí zcela vyloučit. Tyto procesy však zahrnují ošetrovací fázi povrchové úpravy a je přitom třeba brát v úvahu nejvyšší doporučenou teplotu tepelného ošetření pro příslušnou třídu oceli, má-li si ocel podržet svou pevnost.



# Nástrojové oceli

## Nástrojové oceli pro děrování a tvarování oceli Docol UHS

Tak jako v každé průmyslové výrobě je důležité, aby byly operace tvarování a stříhání součástí z ocelových plechů bez problémů. Cesta od konstrukčního návrhu nástroje až po jeho údržbu se skládá z mnoha fází, jak je vidět ze schématického diagramu níže.

Základním předpokladem pro dosažení dobré produktivity a výrobní hospodárnosti je nutnost, aby všechny fáze byly dokonale provedené. Je proto životně důležité zvolit pro danou operaci řezání nebo stříhání správnou nástrojovou ocel.

Aby bylo možné zvolit správnou ocel, je třeba zjistit mechanismus porušení materiálu, ke kterému

může během stříhání a/ nebo tvarování dojít a které může vést k tomu, že bude nástroj nepoužitelný anebo se po jenom krátké době rozbije nebo zničí.

**V zásadě existuje pět mechanismů porušení, ke kterým může u aktivní části nástroje dojít:**

- **Opotřebení**, vzniklé buď brusným nebo přílnavým působením, spojené s materiálem obrobku, s typem tvarovací operace a třecími silami v místě kluzného kontaktu.

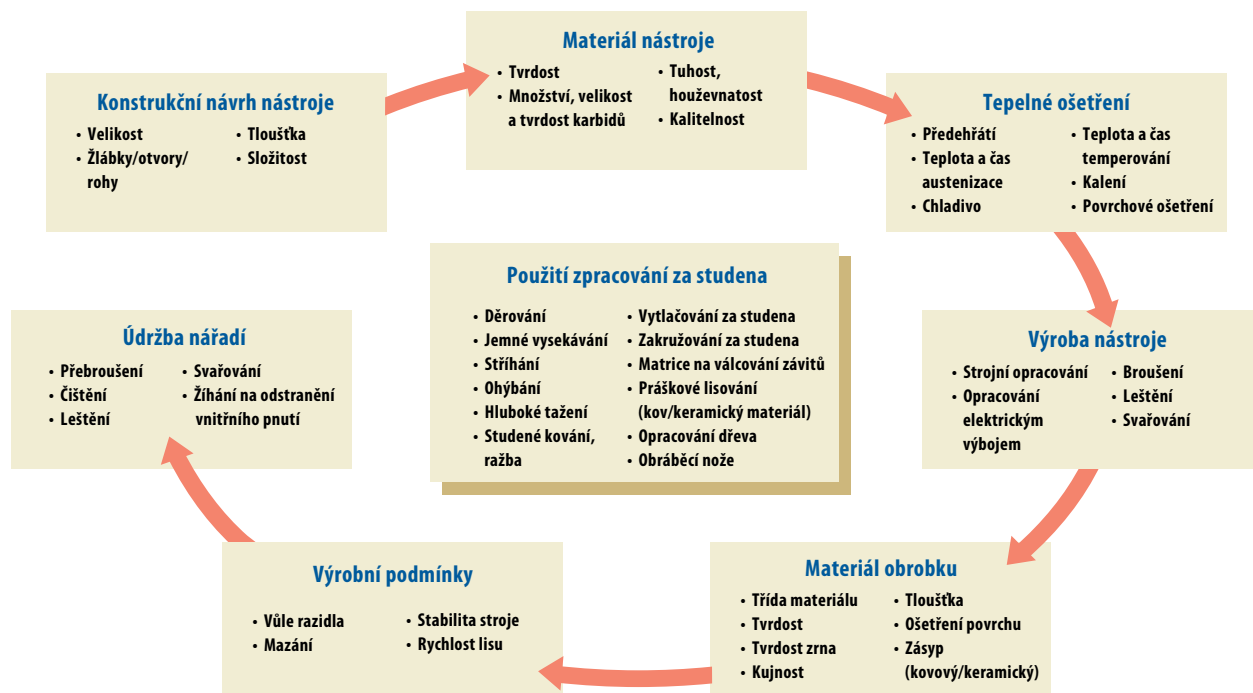
- **Plastická deformace** vzniká v případě nevhodného vztahu mezi napětími a pevností v kluzu při tlakovém namáhání (tvrdostí) materiálu nástroje.

- **Vylamování okrajů** může vzniknout jako důsledek nevhodného vztahu mezi napětími a tažností materiálu nástroje.

- **Praskliny** mohou vzniknout jako důsledek nevhodného vztahu mezi napětími a houževnatostí materiálu nástroje.

- **Vměstky** mohou vzniknout jako důsledek nevhodného vztahu mezi materiálem předlisku a třecími silami v místě kluzného kontaktu.

Plastická deformace, vylamování okrajů a praskliny jsou druhy poškození, která často mohou mít za následek vážná a nákladná přeru-



Relativní odolnost vůči působení mechanismů porušení								
Třída nástrojové oceli	Normy			Tvrdost	Odolnost vůči opotřebení		Odolnost vůči únavě	
	SS	ISO	DIN	Plastická deformace	Brusné	Přílnavé	Počátek vzniku prasklin	Šíření prasklin
							Tažnost odolnost vůči vylamování	Houževnatost odolnost vůči úplnému zničení
Arne	2140	W.-Nr. 1.2510	AISI 01					
Calmax		W.-Nr. 1.2358						
Rigor	2260	W.-Nr. 1.2363	AISI 02					
Sleipner								
Sverker 21	2310	W.-Nr. 1.2379	AISI D2					
Sverker 3	2312	W.-Nr. 2436	AISI D6					
Vanadis 4								
Vanadis 23		W.-Nr. 1.3344	AISI M3.2					
Vanadis 6								
Vanadis 10								

šení výroby. Opotřebení a vměstky se dají mnohem lépe předvídat a lze jim předcházet systematickou údržbou nástrojů. V důsledku toho se zdá, že by bylo lépe povolit větší opotřebení než skončit s vylamováním okrajů nebo prasklinami.

Zvláštní vlastností při tvarování a stříhání ocelí Docol UHS je, že pro danou tloušťku plechu musí být přetvárné síly vyšší než u měkkých ocelí, protože je třeba při tvarování překonávat vyšší pevnost v kluzu a při stříhání vyšší pevnost ve stříhu. To znamená, že se napětí

zvyšují a rovněž rostou nároky na odolnost vůči opotřebení a na pevnost materiálu nástroje. Operace stříhání je nejcitlivější, protože vyžaduje spojení vysoké odolnosti vůči opotřebení a vysokou odolnost k vylamování okrajů a poničení nástroje, zatímco operace tvarování vyžaduje jenom odolnost vůči opotřebení.

Relativní srovnání od Uddeholm Tooling ocelí pro tvarování za studena s ohledem na odolnost vůči těmto konkrétním mechanismům porušení u nástrojů ukazuje výše uvedená tabulka.

Ve všech případech by měla být tvrdost alespoň 58 HRC, protože by jinak mohlo nastat nebezpečí plastické deformace.

Pomůcka pro volbu oceli pro stříhání					
Zvětšená tloušťka oceli komplikovanost geometrického tvaru					





## Oceli Docol UHS v konstrukční práci

Vysoká pevnost je nej-  
důležitější vlastností  
ocelí Docol UHS. Mohou  
vydržet vysoký stupeň  
deformace ještě před vzni-  
kem plastické deformace.

Tuto skutečnost a vý-  
hodu je možné využít  
pro tvorbu výhodných  
vlastností široké oblasti  
konstrukcí a produktů.

Nové materiály s ex-  
trémní pevností nabízejí  
široké možnosti pro kon-  
strukční řešení a výrobu  
produktů, které jsou ještě  
výkonnější a lepší jak  
z hlediska nákladů, tak  
i z hlediska schopnosti  
konkurovat.

### Na co by měl konstruktér pamatovat?

Vysoká pevnost ocelí Do-  
col UHS otevírá možnost  
konstruovat tenkostěnné  
součásti s nízkou hmot-  
ností. Je však mít stále  
na paměti, že vynikající  
vlastnosti produktu jsou  
dány geometrickým tva-  
rem spolu s vlastnostmi  
materiálu.

Schopnost přenášet  
zatížení a tuhost v ohybu  
nosníků, profilů atd. je  
podstatně ovlivněna výš-  
kou průřezu a různými  
vyztuženími. Vyztužení  
jako jsou drážky a lemo-  
vané okraje se používají  
pro tenkostěnné ocelové  
součásti, protože zmen-  
šují tendenci ke zborcení,  
zvyšují tuhost a umožňují  
materiál plně využít.

## Kdy může být použití ocelí Docol UHS pro Vás výhodné?

*Když chcete docílit:*



**Snížení hmotnosti.** Mnohé produkty, včetně těch,  
které se považují za „jednoduché“, je možné použitím  
ocelí Docol UHS vyrobit lehčí a s menšími náklady.  
Mnohem tenčí materiál stačí na to, aby nesl stejné zatí-  
žení jako produkt vyrobený z konvenčních ocelí.



**Vyšší absorpci energie,** např. u součástí zajišťujících  
bezpečnost osobních vozů. Vzhledem ke své vysoké  
pevnosti jsou oceli Docol UHS schopné pohltit při  
deformaci velká množství energie.



**Odolnost vůči nárazu a otřesům.** Toto je další oblast,  
kde vysoká pevnost v kluzu hraje rozhodující úlohu.  
Oceli Docol UHS mohou vydržet značné deformace  
než dojde k trvalým promáčknutím karosérie a rozmě-  
rovým změnám. Proto jsou oceli Docol UHS vhodné  
pro produkty, které musí vydržet drsnější zacházení,  
nebo pro součásti, které se montují do exponovaných  
míst.



**Pružnost a různé úchytné funkce.** Tyto vlastnosti  
a funkce je možné zahrnout přímo do produktů vyro-  
bených z ocelí Docol UHS a využít jejich Odpružení.



**Snížení místních napětí.** Oceli Docol UHS je možné  
použít s úmyslem vyrobit produkty, které jsou mno-  
hem pružnější a mají tím delší životnost. V mnoha  
případech pružná struktura vyrovnává silové toky lépe  
než tuhá konstrukce.



**Vysokou odolnost vůči opotřebení.** Oceli Docol  
UHS jsou velmi odolné vůči otěru. Jsou proto vhodné  
pro produkty, které jsou vystaveny otěrovému opotře-  
bení.



**Robustní produkty,** u nichž se požaduje extrémně  
vysoká pevnost.



Vyztužení jsou zvláště důležitá při konstrukci součástí, které mají pohlcovat energii, jako jsou nosníky ochrany automobilových karosérií při nárazu, u nichž je třeba možnost zborcení zcela vyloučit a to i při plastické deformaci.

Výztužné drážky a vlastní výztuhy je možné do součástí vyrobených z ocelí Docol UHS lisovat přímo. Ve vztahu k jejich vysoké pevnosti je tvárnost lisování těchto materiálů velmi dobrá. Je však třeba dbát na to, aby zaoblení okrajů měla dostatečně velký poloměr a aby hloubka tažení byla mírná.

Tvarování válcováním se zvláště hodí pro výrobu profilů v dlouhodobých výrobních cyklech. Při

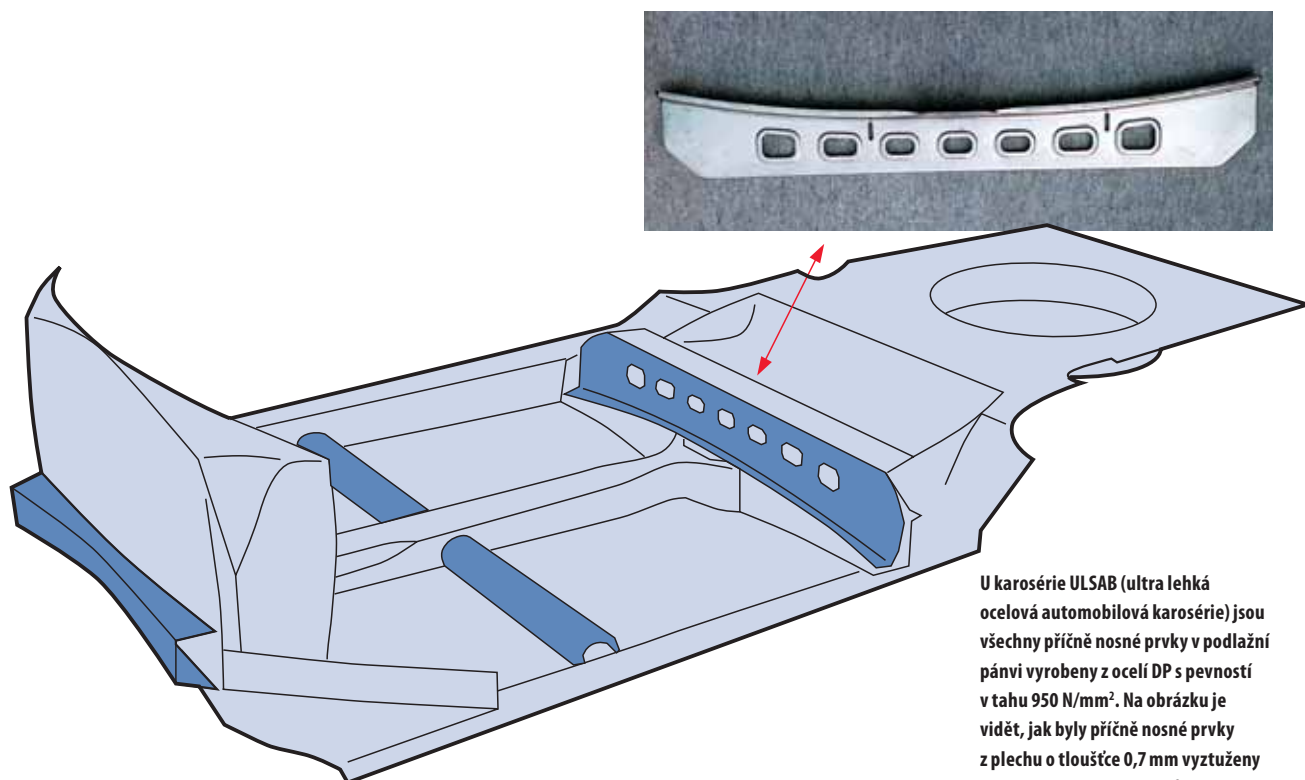
tvarování válcováním se výztužné drážky a okrajové lemy mohou umístit na vhodná místa přímo při procesu tvarování. Vzhledem ke svým vysokým pevnostem v kluzu se mohou oceli Docol UHS během válcování tvarovat v menším počtu operací, aniž by tím došlo ke vzniku zbytkových napětí.

Při úvahách o tvarování oceli Docol UHS je třeba při konstrukci uvažovat příslušnou odpovídající kompenzaci odpružení. To je také důležité při navrhování tvarovacích nástrojů.

Použití působení zatíženého průřezu při konstrukci součástí z ocelových plechů umožňuje lépe využít materiál. Snažte se co nejvíce vyhnout



nosným dílům konstrukce z ocelového plechu, které působí jako desky s místním průhybem a tím vyvolávají vysoká ohybová napětí.



U karosérie ULSAB (ultra lehká ocelová automobilová karosérie) jsou všechny příčné nosné prvky v podlažní pánvi vyrobeny z ocelí DP s pevností v tahu 950 N/mm<sup>2</sup>. Na obrázku je vidět, jak byly příčné nosné prvky z plechu o tloušťce 0,7 mm vyztuženy kolem vyseknutých otvorů.



## Dovolte nám, abychom Vám pomohli využít výhody ocelí s vysokou pevností

Při přechodu k ocelím Docol UHS je spojit dohromady volbu materiálu, konstrukci a výrobní hlediska hned na začátku. Výsledný produkt a také jeho výroba budou tak optimalizovány z technického i ekonomického pohledu.

V SSAB Tunnpłat je mnoho odborníků, kteří mají dlouholeté praktické zkušenosti s oceli s extrémně vysokou pevností. Všichni tito odborníci jsou našim zákazníkům k dispozici:

- Naši odborníci v oddělení *Technických služeb zákazníkům* mají hluboké a rozsáhlé vědomosti o materiálech a jejich zpracování a strojním opracování. Okamžité odpovědi na své technické dotazy dostanete na telefonním čísle +46 243 72929 (*přímá linka*) nebo na emailové adrese [teknisk.kundservice@ssab.com](mailto:teknisk.kundservice@ssab.com).

- Naši odborníci v oddělení *Applikačního inženýrství* mají špičkové znalosti o dimenzování, tvarování, spojování a povrchové úpravě.

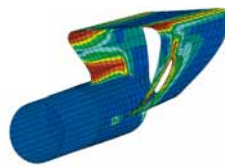
### Naše moderní analytické nástroje

Používáme nejmodernější nástroje, které nám umožňují pomoci našim zákazníkům s volbou oceli správné třídy a odpovídajícím konstrukčním řešením. Např.

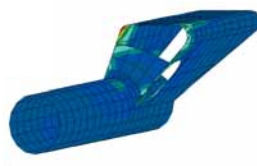
Analýza metodou konečných prvků (FEM), kterou je možné použít pro simulaci všech fází vývoje součásti, např. volbu třídy oceli, formu předlisku, metodu zpracování a konečného tvaru součásti. Analýzu FEM je rovněž možné použít pro výpočet schopnosti energetické absorpce součásti automobilu při srážce.

Můžeme provést počítačovou simulaci všech představitelných variant návrhu nástroje, zaoblení,

konstrukčního návrhu součásti tloušťky a třídy oceli, abychom tak našli optimální řešení.



Analýza FEM ukazuje místa na materiálu, kde jsou příliš vysoká pnutí



Po několika relativně malých konstrukčních úpravách ukazuje analýza, že podpora pro vlečné zařízení vyhovuje všem požadavkům.

Zařízení ASAME nám dovoluje rychle ověřit, zda si zákazník vybral správnou kombinaci jakosti oceli a konstrukce součásti. ASAME měří rozdělení napětí v zatížených součástech. Zjištěné



údaje se pak zpracují výkonným počítačovým programem, který poskytlne konkrétní informace o tom, jak nástroje, výrobní postupy a konstrukce ovlivňují materiál. Zařízení ASAME může provádět velmi podrobné analýzy složitých a komplikovaných tvarovacích operací.

### Kursy a semináře

SSAB Tunnplåt pravidelně pořádá kurzy a semináře zabývající se způsoby využití mnoha možností, které oceli s extrémně vysokými pevnostmi nabízejí, např.

- Kurs na téma ocelové plechy, kde je možné získat základní vědomosti o výrobě ocelí a o vlastnostech, které různé třídy oceli mají, a kde je možné je použít.
- Semináře, které nabízejí mnohem podrobnější znalosti o dimenzová-

ní, návrhu, strojním opracování, tvarování a spojování ocelí s extrémně vysokými pevnostmi.

- Semináře přizpůsobené potřebám jednotlivých společností.

### Příručky

Naše příručky obsahují podrobné informace o mnoha možnostech, kdy je možné oceli s extrémně vysokými pevnostmi s výhodou použít:

- *Příručka ocelové plechy* poskytuje informace o konstrukci a výrobě a také o pokynech výrobního a inženýrského rázu.
- *Příručka o tvarování ocelových plechů* poskytuje podrobné znalosti o plastickém tvarování a strojním opracování.

### Zkušební vzorky

Chcete-li sami zjistit, jak se naše nové třídy ocelí

budou chovat na Vašem výrobním zařízení nebo ve Vámi navrhovaném produktu, objednejte si zkušební vzorky v našich zkušebních prodejních střediscích.

### Produktové informace

Naše produktové brožury a produktové informační prospekty obsahují informace o všech třídách oceli a o jejich možném použití, zpracování a strojním opracování.

### Certifikáty

Společnost SSAB Tunnplåt získala certifikáty pro ISO 9002 a QS 9000.

Navštivte naše webové stránky:

[www.ssab.cz](http://www.ssab.cz)  
[www.ssabtunnplat.com](http://www.ssabtunnplat.com)  
[www.ssabdirect.com](http://www.ssabdirect.com)  
[www.steelprize.com](http://www.steelprize.com)



## Co je třeba vědět

- Přejít na oceli Docol UHS jenom velmi zřídka vyžaduje investice do nových zařízení. Ve většině případů stačí jenom správně přenastavit stroje.
- Mezi ocelemi Docol UHS a měkkými ocelemi není žádný velký rozdíl z hlediska výrobního inženýrství. Je však třeba mít na paměti následující informace:
  - Opatření nástrojů po přechodu na oceli Docol UHS vzrůstá. Opatření je možné zmenšit lepším mazáním a vyšší kvalitou nástrojové oceli.
  - Odpružení je vyšší než u měkkých ocelí. Při ohýbání ji je možné kompenzovat zvýšeným ohybem (přehýbáním) nebo zmenšením radiu razníku nebo zvětšením šířky otvoru zápustky. U lisování je možné odpružení kompenzovat zvětšením vypouklosti razidla nebo zvětšením přitlačné síly přidržovače.
  - Tažnost u ocelí Docol UHS není tak dobrá jako u měkkých ocelí.

To je možné často kompenzovat většími radiusy, snížením tření nebo nastavením parametrů lisu.

- Oceli Docol UHS je možné bodově svařovat se stejným materiálem. Parametry svařování je však ve srovnání s měkkými ocelemi třeba změnit (přítlačná síla elektrody, čas svařování). Mechanické vlastnosti spoje jsou dobré, ale může být obtížné změřit průměr bradavky svaru obvyklým způsobem.
- Modul pružnosti u ocelí Docol UHS je stejný jako u měkkých ocelí a tuhost součásti bude proto nižší, jestliže se zmenší tloušťka materiálu. Jestliže však není přijatelný větší průhyb, je možné úbytek tuhosti kompenzovat změnami tvaru průřezu. Kromě toho je možné rovné plechové plochy vyztužit drážkami.
- Nosníky a profily se šířkou větší než asi 20-ti násobek tloušťky mohou vydržet zborcení. Zborcení znamená, že se ocelový plech při tla-

kovém zatížení prohne. Jakmile zatížení přestane působit, plech se vrátí do původní polohy a prohnutí zmizí.

- Tepelný ohřev na teplotu převyšující temperovací teplotu u ocelí Docol UHS způsobí snížení pevnosti, které roste s rostoucí teplotou. V procesech povrchové úpravy, např. Dacromet nebo Delta MKS, nesmí teplota při tepelném zpracování překročit maximální doporučenou teplotu, jestliže si má ocel svoji vysokou pevnost uchovat.
- Je třeba zachovat opatrnost v případech, kdy se má ocel Docol UHS použít v produktech, které jsou vystaveny únavovým zatížením, jež se vyskytují převážně ve svařovaných konstrukcích. Je třeba vědět, kam svařované spoje umístit. Svary nesmí být v místech, která jsou velmi zatížena.



## Životní prostředí a recyklování

Ocel patří k jedné z nejvíce recyklovaných materiálů na světě. Téměř polovina světové výroby oceli je založena na recyklované oceli.

SSAB Tunnpilát již oceli Docol UHS dodává zákazníkům, kteří mají velmi přísné požadavky na ochranu životního prostředí, a společností, které mají certifikaci pro svůj přístup k ochraně životního prostředí.

Dnešní produkty musí být schopné stát se novými produkty v budoucnosti. Klíčem k tomu je navrhovat produkty pro recyklování. To zahrnuje volbu materiálů, výrobních procesů, povrchovou úpravu a způsoby spojování, které splní dnešní

a ztřeštější požadavky na recyklování a sníží spotřebu materiálu.

### Výhody oceli ve vztahu k životnímu prostředí

Ocel je magnetická a je ji proto možné snadno třídít. Ocel již obsahuje recyklovaný materiál. Ocel se dá stoprocentně recyklovat.

Infrastruktura pro sběr a recyklování ocelového odpadu již existuje velmi dlouhou dobu a je hospodárná. Téměř 90 % veškerého automobilového odpadu se recykluje. Při výrobě nové oceli a při jejím recyklování je třeba méně energie než pro výrobu konkurenčních materiálů.



SSAB Tunnpłat AB je největší skandinávský výrobce ocelových plechů a lídr v Evropě ve vývoji vyspělých vysokopevnostních ocelí.

SSAB Tunnpłat je členem SSAB Swedish Steel Group, má obrát 15 miliard SEK a zaměstnává více než 4 300 lidí ve Švédsku. Vyrobí okolo 2,5 miliónů tun ocelových plechů ročně.

Součástí naší environmentální politiky je neustálé zlepšování efektivity výrobních procesů a podniků, kterým záleží na životním prostředí, jakož i vývoj environmentálních vlastností našich produktů z pohledu životního cyklu.

V našich moderních, vysoce efektivních výrobních linkách a válcovnách vyrábíme následující výrobky z pásové oceli:

**DOMEX<sup>®</sup>**

Pásky z oceli válcované za tepla

**DOCOL<sup>®</sup>**

Pásky z oceli válcované za studena

**DOGAL<sup>®</sup>**

Plechý z pokovované oceli

**PRELAQ<sup>®</sup>**

Přednatřené ocelové plechy

Jsou to registrované obchodní značky firmy SSAB Tunnpłat AB.

Pomáháme našim zákazníkům při výběru ocelí, které jim co nejlépe zvýší konkurenceschopnost. Naše síla spočívá v kvalitě našich výrobků, spolehlivosti našich dodávek a flexibilitě technického servisu zákazníkům.

ssabtunnplat.com

**Czech Republic**  
SSAB Swedish Steel s.r.o.  
Tř. kapitána Jaroše 37a  
CZ-60200 Brno  
Tel +420 545 422 550  
Fax +420 545 210 550  
info.cz@ssab.com  
ssab.cz

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

**Australia**  
SSAB Swedish Steel  
Tel +61 395 488 455

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

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

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

**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 SAS  
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

**Korea**  
SSAB Swedish Steel Ltd  
Tel +822 761 6172

**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  
ssab.pl

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

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

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

**Turkey**  
SSAB Swedish Steel Celik Dis Tic. Ltd. Sti.  
Tel +90 216 372 63 70  
ssab.com.tr

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

