

Soluzioni per la lavorazione degli acciai altoresistenziali di nuova generazione

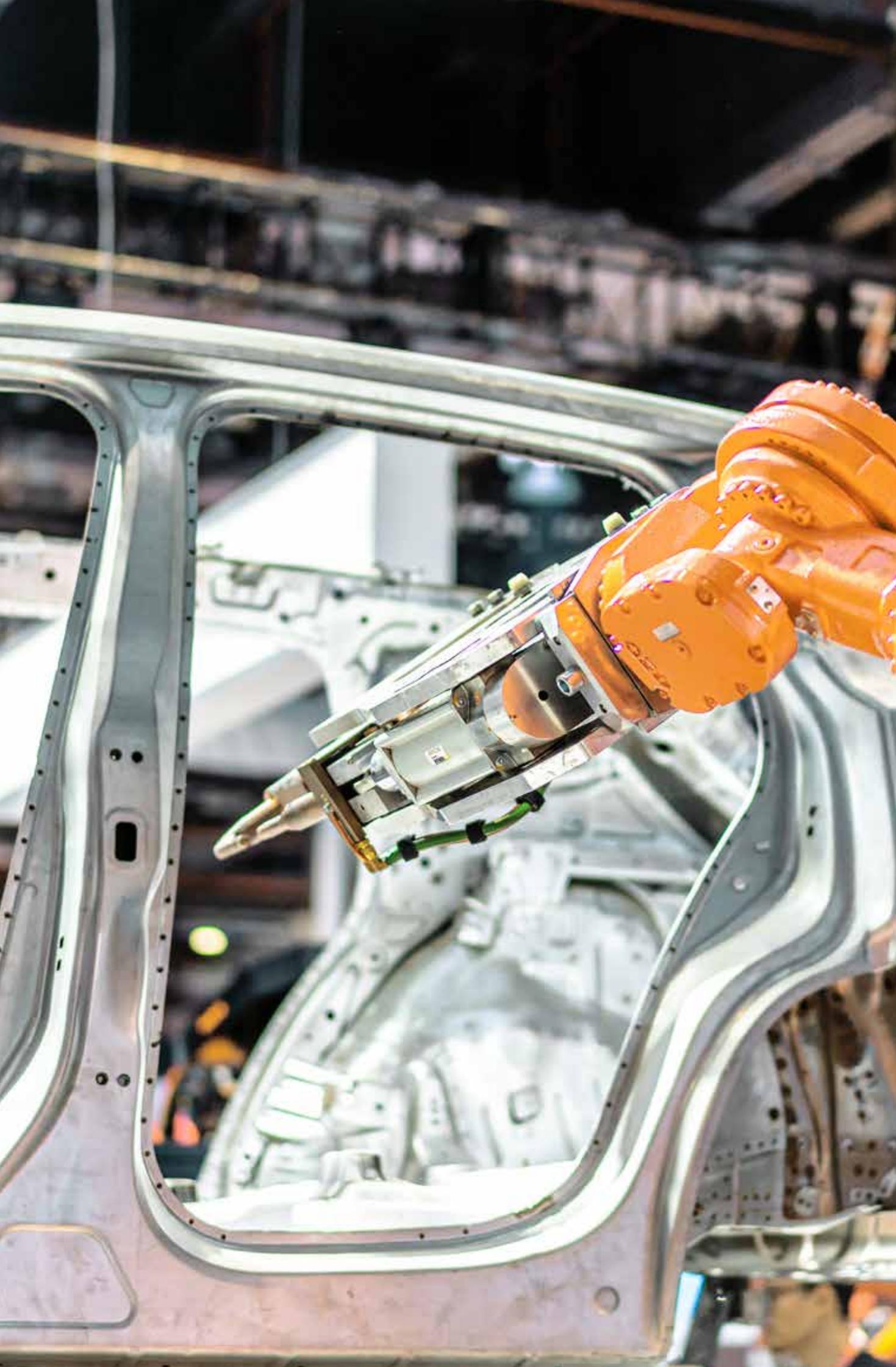
Brochure tecnica





Sommario

Introduzione	5
Informazioni su SSAB	6
<i>Aspetti generali</i>	6
<i>Gli acciai altoresistenziali di nuova generazione SSAB e i vantaggi per l'industria automobilistica</i>	6
Lamiere di acciaio e acciai per utensili	8
Acciai altoresistenziali di nuova generazione	8
<i>Acciai microlegati</i>	8
<i>Acciai bainitici</i>	8
<i>Acciai Dual Phase</i>	8
<i>Acciai Complex Phase</i>	8
<i>Acciai da profilatura</i>	8
<i>Acciai martensitici</i>	8
<i>Gamma dimensionale disponibile</i>	8
Acciai per utensili	10
<i>Proprietà di formatura e taglio</i>	10
<i>Metallurgia convenzionale</i>	11
<i>Rifusione sotto elettroscoria</i>	11
<i>Metallurgia delle polveri</i>	11
Guida alla scelta degli acciai per utensili	12
Panoramica	12
Operazioni con gli utensili da formatura	14
<i>Aspetti generali</i>	14
<i>Piegatura</i>	14
<i>Profilatura</i>	14
<i>Stampaggio</i>	14
<i>Flangiatura</i>	14
<i>Analisi FEM dei carichi e del grippaggio degli utensili</i>	15
<i>Scelta dell'utensile e trattamento superficiale nelle operazioni di formatura</i>	16
Operazioni con gli utensili da taglio	18
<i>Aspetti generali</i>	18
<i>Tranciatura e punzonatura</i>	18
<i>Taglio e cesoiatura</i>	24
<i>Scelta dell'utensile e trattamento superficiale nelle operazioni di taglio</i>	26
Esempi di applicazioni	32
<i>Rinforzo del b-pillar</i>	32
<i>Paraurti per auto</i>	33
<i>Staffa per gancio di traino</i>	33
Lubrificazione	34
Operazioni con gli utensili da formatura	34
Operazioni con gli utensili da taglio	34
<i>Acciai Docol HR LA, non rivestiti</i>	34
<i>Acciai Docol DP/DL, LA e laminati</i>	34
<i>Acciai Docol DP/CP/LA e laminati, zincati a caldo</i>	34
<i>Acciai Docol M, non rivestiti ed elettrozincati</i>	34
Economia di lavorazione	35
Assistenza tecnica	37
I nostri esperti al tuo servizio	37
Moderni strumenti di analisi	37
Corsi e seminari	38
Manuali	38
Campionature	38
Informazioni sul prodotto	38



Introduzione

L'uso di acciaio altoresistenziale di nuova generazione (AHSS) offre numerosi vantaggi alle aziende. Tuttavia, con l'uso crescente di questo tipo di acciaio nella progettazione dei nuovi prodotti, anche l'acciaio per utensili deve soddisfare requisiti sempre più esigenti per quanto riguarda le operazioni di formatura e tranciatura/punzonatura. Lo scopo della presente pubblicazione è fornire delle linee guida per la scelta che consentano ai tecnici e agli esperti di materiali di trovare la migliore soluzione per utensili da tranciatura/punzonatura dell'acciaio altoresistenziale di nuova generazione con le seguenti tipologie di acciaio:

- Acciai microlegati
- Acciai bainitici
- Acciai Dual Phase
- Acciai Complex Phases
- Acciai da profilatura
- Acciai martensitici

Dal punto di vista del rispetto dell'ambiente, gli acciai altoresistenziali di nuova generazione consentono di ridurre in maniera significativa il peso nella produzione dei particolari, l'uso delle materie prime e il consumo energetico. Contemporaneamente, è richiesta meno energia per il trasporto dell'acciaio e l'acciaio stesso è completamente rinnovabile.

Ci sono anche applicazioni in cui l'acciaio altoresistenziale di nuova generazione consente di escludere i forni di tempra dal

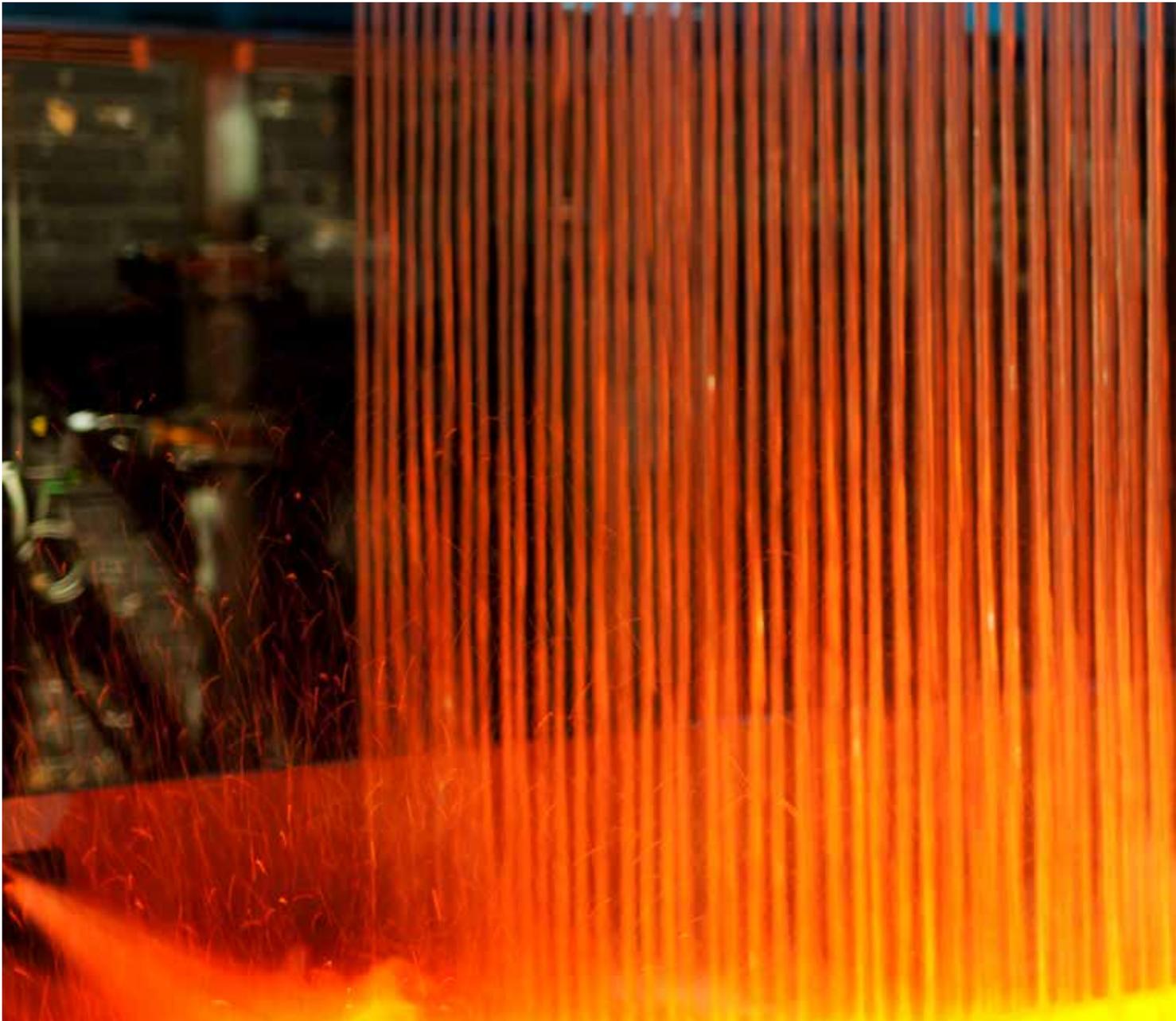
processo di produzione e, di conseguenza, i pericoli ambientali ad essi legati.

Nell'industria automobilistica, è possibile abbassare i livelli di emissioni riducendo il peso del veicolo. D'altro canto, la domanda sempre crescente di sicurezza nelle automobili impone l'uso di materiali maggiormente resistenti per le componenti fondamentali di sicurezza nella carrozzeria. Sono presenti inoltre numerosi prodotti industriali progettati sfruttando l'acciaio altoresistenziale di nuova generazione per ridurre il peso e allungare la durata.

L'uso dell'acciaio altoresistenziale di nuova generazione può richiedere una forza maggiore per il taglio e la formatura della lamiera. Pertanto, ne consegue la necessità di utilizzare acciaio per utensili più duro e duttile. Considerando la situazione attuale e gli sviluppi futuri dell'acciaio altoresistenziale di nuova generazione, l'acciaio per utensili dovrà continuare a svilupparsi per poter sempre soddisfare le varie richieste.

Le linee guida qui presentate riflettono gli ultimi risultati e le migliori pratiche di lavoro sviluppate al momento della pubblicazione. Queste informazioni si basano su ricerche approfondite e sui test effettuati un lungo periodo e in stretta collaborazione con molti dei loro clienti più all'avanguardia.

L'obiettivo principale di SSAB è fornire informazioni affidabili che consentano ai clienti di scegliere la combinazione migliore di acciaio altoresistenziale di nuova generazione e acciaio per utensili per ogni prodotto progettato.



CHI È SSAB

Aspetti generali

SSAB è leader mondiale nella fornitura di acciai altoresistenziali e offre prodotti sviluppati in stretta collaborazione con i propri clienti nell'ottica di un mondo più resistente, più leggero e più sostenibile. Gli stabilimenti produttivi si trovano nei Paesi Nordici e negli Stati Uniti, mentre il materiale è disponibile in oltre 50 Paesi del mondo.

I marchi SSAB Strenx, Hardox, Docol, GreenCoat, ArmoX e Toolox sono molto noti e riconosciuti a livello internazionale per la loro qualità e i servizi a valore aggiunto. Ci concentriamo sempre sul cliente e offriamo assistenza per lo sviluppo dei prodotti più innovativi sul mercato, sin dall'inizio dello sviluppo di un'applicazione. Siamo di larghe vedute, diretti, onesti e, condividendo la nostra vasta esperienza e competenza, forniamo valori difficili da trovare nell'ambiente di lavoro attuale. Tra i nostri clienti annoveriamo famosi OEM provenienti da settori diversi e molto esigenti, come quelli che si occupano della produzione di automobili, rimorchi,

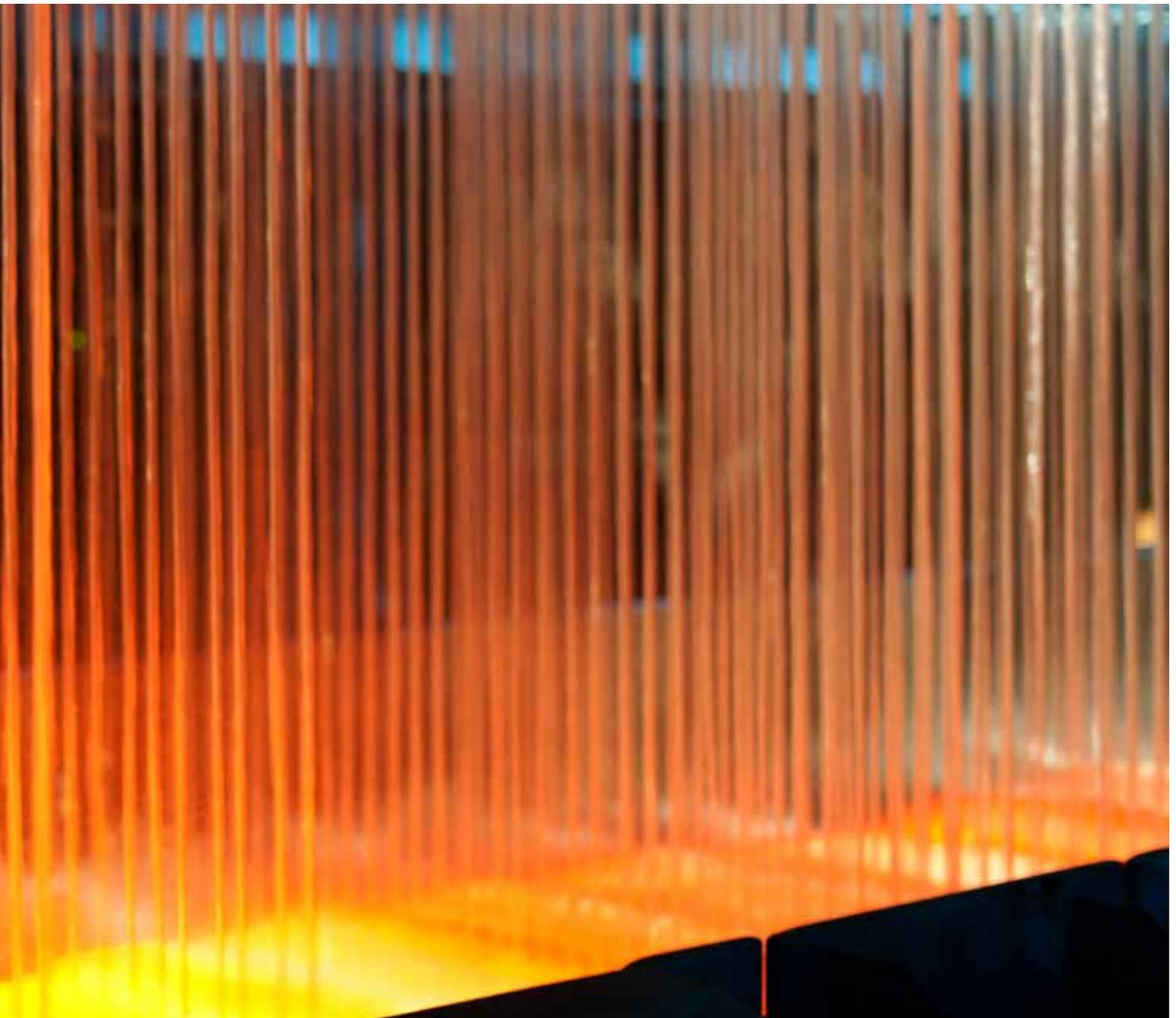
ribaltabili, gru, dispositivi di sollevamento, container e macchinari per l'agricoltura.

Gli acciai altoresistenziali di nuova generazione SSAB e i vantaggi per il settore automobilistico

Nel settore automobilistico si registrano notevoli progressi in termini di sicurezza, comfort e consumi. Questa tendenza è guidata dall'aumento delle esigenze di sicurezza e ambientali. Gli acciai altoresistenziali di nuova generazione prodotti da SSAB consentono di ottenere strutture più leggere, una maggiore resistenza all'urto e una redditività più elevata.

SSAB segue i propri clienti fin dalle prime fasi di sviluppo del prodotto fornendo consigli su come potenziare la competitività e la redditività.

Sostituendo all'acciaio dolce un acciaio più resistente SSAB per la realizzazione dei componenti di sicurezza di un'automobile,



è possibile ottenere una riduzione di peso fino al 50% per ogni singolo componente.

Lo sviluppo e il miglioramento degli acciai altoresistenziali di nuova generazione per le nuove applicazioni e la creazione di nuovi metodi di progettazione, formatura e giunzione dei materiali sono aspetti fondamentali per il programma di ricerca e sviluppo di SSAB. Abbiamo investito molto sui processi di produzione avanzati per garantire un'elevata qualità. Tutta la produzione di acciaio presenta praticamente le stesse proprietà per garantire che dimensioni, tolleranze e proprietà interne dell'acciaio siano costanti. Questo livello di qualità non solo riduce gli scarti, ma garantisce anche proprietà costanti nelle forniture ai clienti. La nostra gamma di prodotti include lamiere d'acciaio, con uno spessore che varia da 0,4 mm a 16 mm e una larghezza massima di 1.600 mm.



Lamiere di acciaio e acciai per utensili

Acciai altoresistenziali di nuova generazione

Gli acciai altoresistenziali di nuova generazione di SSAB sono disponibili laminati a caldo, laminati a freddo, zincati a caldo ed elettrozincati. Alcuni esempi di utilizzo di questi materiali sono:

- Componenti di sicurezza per automobili
- Rimorchi
- Cassoni ribaltabili
- Componenti dei sedili
- Container
- Gru
- Treni
- Vari tipi di tubi utilizzati per costruire mobili, biciclette, passeggini e carrozzelle

Esistono diversi parametri che decidono quale tipo di acciaio altoresistenziale di nuova generazione utilizzare. I principali parametri da considerare sono la forma geometrica del componente e la scelta del metodo di formatura e tranciatura. La **Tabella 1** illustra alcuni degli acciai altoresistenziali di nuova generazione presenti nella gamma di SSAB.

Maggiori informazioni sono disponibili negli stampati SSAB oppure sul sito: www.ssab.com

Acciai microlegati

Gli acciai microlegati laminati a freddo acquisiscono la propria resistenza grazie all'aggiunta di elementi micro leganti, come il niobio e il titanio. Questi acciai vengono denominati in base al limite minimo garantito di snervamento. La differenza tra il limite di snervamento e il carico di rottura è minima. Il limite di snervamento conferisce loro eccellenti proprietà di piega, stampabilità e flangiatura. Si prestano bene anche al processo di saldatura.

Acciai ferritico-bainitici

Gli acciai ferritico-bainitici sono disponibili laminati a caldo, attraverso un processo termo meccanico. Vengono denominati in base al carico di rottura minimo.

Acciai Dual Phase

Gli acciai Dual Phase laminati a freddo sono formati da due fasi, quella ferritica e quella martensitica. La ferrite è tenera e conferisce una buona formabilità; la martensite è dura e conferisce resistenza al materiale. Aumentando la proporzione della fase martensitica, si ottiene una maggiore resistenza. A seconda delle applicazioni, gli acciai Dual Phase sono disponibili con un diverso rapporto tra limite di snervamento e carico di rottura. Vengono

denominati in base al carico di rottura minimo. Gli acciai Dual Phase sono ottimi al taglio e alla formatura e possono essere saldati con metodi tradizionali.

Acciai Complex Phase

La microstruttura degli Acciai Complex Phase contiene, in quantità minori, martensite, austenite e perlite all'interno della matrice ferrite/bainite. Sono caratterizzati da un elevato limite di snervamento, da un moderato incrudimento e da una buona attitudine alla curvatura e alla flangiatura. Vengono denominati in base al carico di rottura minimo. Vengono denominati in base al carico di rottura minimo e sono disponibili come lamiere zincate a caldo.

Acciai da profilatura

Gli acciai da profilatura sono disponibili come laminati a freddo e zincati a caldo. Questo gruppo di acciai è progettato principalmente per applicazioni in cui la profilatura viene utilizzata come metodo di formatura. Realizzati in modo specifico per la profilatura, si caratterizzano per l'elevato rapporto tra limite di snervamento e carico di rottura, e per l'elevata purezza interna e la microstruttura con un'omogenea distribuzione della durezza. Oltre a ridurre il rischio di svergolamento e curvatura del profilato, queste proprietà consentono di eseguire la profilatura con raggi molto severi.

Acciai martensitici

Gli acciai martensitici contengono martensite al 100%. Il loro limite di snervamento e carico di rottura raggiungono livelli molto elevati. I laminati a caldo vengono denominati in base al limite di snervamento minimo mentre quelli laminati a freddo vengono denominati in base al carico di rottura minimo.

Gamma dimensionale

Spessore:	Docol	0,50–2,10 mm
	Docol-GI	0,50–3,00 mm
	Docol HR	2,00–12,00 mm
Larghezza massima:	Docol	1500 mm
	Docol-GI	1500 mm
	Docol HR	1600 mm

Le limitazioni nella larghezza max. dipendono dal tipo e dallo spessore del materiale. Ulteriori spessori sono disponibili su richiesta.



Tipo di acciaio	Qualità di acciaio	CR/HR	UC	EG	GI	GA	ZA	
HSLA	Docol 460LA	CR	x	x	x	x	x	
	Docol 500LA	CR	x	x				
	Docol 800LA	CR	x	x				
	Docol HR460LA	HR	x	x				
	Docol HR500LA	HR	x	x				
	Docol HR550LA	HR	x	x	x			
	Docol HR600LA	HR	x	x				
	Docol HR650LA	HR	x	x				
	Docol HR700LA	HR	x	x		x		
Acciai Dual Phase	Docol 500DP	CR	x	x				
	Docol 500DL	CR	x	x				
	Docol 590DP	CR	x	x	x	x	x	
	Docol 600DP	CR	x	x				
	Docol 600DL	CR	x	x				
	Docol 780DP	CR	x	x	x	x	x	
	Docol 800DP	CR	x	x				
	Docol 800DL	CR	x	x				
	Docol 800DPX	CR				x	x	x
	Docol 980DP	CR	x	x	x	x	x	x
	Docol 1000 DP	CR	x	x				
	Docol 1000DPX	CR				x	x	x
	Docol 1000LCE	CR	x	x		x		
Acciai Complex Phase e ferritico-bainitici	Docol 600CP	CR			x	x	x	
	Docol 980CP	CR	x	x	x	x	x	
	Docol 1180CP	CR	x	x	x			
	Docol Roll 800	CR	x	x				
	Docol Roll 1000	CR	x	x				
	Docol HR600FB	HR	x	x	x			
	Docol HR800CP	HR	x	x	x			
	Docol HR800HER-75	HR	x	x				
	Docol HR800HER-100	HR	x	x				
	Docol HR1000CP	HR	x	x				
Acciai martensitici	Docol 900M	CR	x	x				
	Docol 1100M	CR	x	x				
	Docol 1200M	CR	x	x				
	Docol 1300M	CR	x	x				
	Docol 1400M	CR	x	x				
	Docol 1500M	CR	x	x				
	Docol 1700M	CR	x	x				
	Docol HR1200M	HR	x					
	Docol HR 1500 M	HR	x					

Tabella 1. Questa tabella mostra solo alcuni esempi dei nostri acciai altoresistenziali.

Oltre a questi, sono disponibili diverse qualità prodotte secondo gli standard dei vari OEM automobilistici. SSAB offre anche acciai dolci ed acciai altoresistenziali di qualità inferiori.

Acciai per utensili

Proprietà per operazioni di formatura e taglio

Agli acciai per utensili utilizzati nelle lavorazioni a freddo viene normalmente richiesta una durezza elevata. Il motivo è che i materiali di lavoro da formare sono spesso duri. Una durezza elevata è quindi necessaria per evitare la deformazione plastica e/o l'usura dell'utensile.

Se la durezza è troppo elevata, il materiale diventa più fragile.

L'acciaio per utensili, nella lavorazione a freddo, deve essere molto resistente all'usura, pur garantendo una sufficiente resistenza alla compressione, tenacità e duttilità. Più specificatamente le sue principali proprietà sono:

- Elevata resistenza all'usura per incrementare la durata dell'utensile e diminuire i fermi di produzione dovuti alla manutenzione dell'utensile stesso.
- Sufficiente resistenza alla compressione per evitare la deformazione plastica delle superfici attive dell'utensile.
- Sufficiente tenacità/duttilità per evitare la rottura prematura dell'utensile o la scheggiatura.

Un'elevata resistenza all'usura non dipende solo dalla durezza. Normalmente gli acciai per utensili nelle lavorazioni a freddo contengono anche carburi, elementi con ottime proprietà antiusura. I carburi sono composti chimici di carbonio ed elementi che formano carburi come cromo, vanadio, molibdeno o tungsteno. La maggiore resistenza all'usura dell'utensile è direttamente proporzionale alla concentrazione e alla durezza dei carburi nell'acciaio. Tuttavia, la maggiore durezza aumenta la sensibilità

dell'acciaio a effetti di intaglio che possono provocare, nel caso di carburi estesi, la formazione di cricche. La maggior parte degli utensili si rompe a causa delle cricche da fatica.

Il fenomeno della cricatura da fatica si manifesta quando il materiale viene sottoposto a carichi alternati/pulsanti e può essere diviso in due fasi: quella di innesco e quella di propagazione della cricca. L'innesco della cricca si trova generalmente in corrispondenza degli intagli nei quali si intensificano e si concentrano gli sforzi. Maggiore è la durezza del materiale, maggiore è l'intensificazione degli sforzi. Un'altra caratteristica tipica di un materiale a durezza elevata è il brevissimo lasso di tempo che intercorre tra l'innesco della cricca e la rottura completa dell'utensile.

Nelle lavorazioni a freddo, in particolare nella trancitura, è necessario ridurre al minimo i difetti che possono dare inizio alle cricche senza però rinunciare alla resistenza all'usura che, al contrario, richiede un alto grado di durezza e la presenza di particelle dure nella matrice dell'acciaio.

Tali difetti possono essere provocati, oltre che dai carburi, anche da estese inclusioni di scoria, da difetti nella superficie dell'utensile o da spigoli vivi uniti all'elevata durezza. Per questo motivo la pulizia del processo metallurgico, la finitura superficiale e la progettazione dell'utensile sono fattori cruciali per le prestazioni dell'utensile stesso. La **Tabella 2** mostra la gamma Uddeholm di acciai per utensili adatti agli acciai altoresistenziali di nuova generazione.

Qualità di acciaio Uddeholm	Tipo di metallurgia	AISI/W.-Nr.	Composizione chimica (peso %)						
			% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% W	% V
Sleipner	Convenzionale	-	0,90	0,90	0,50	7,80	2,50	-	0,50
Sverker 21	Convenzionale	D2/1.2379	1,55	0,30	0,40	11,30	0,80	-	0,80
Calmax	Convenzionale	-/1.2358	0,60	0,35	0,80	4,50	0,50	-	0,20
Unimax	Rifusione sotto elettroscoria	-	0,50	0,20	0,50	5,00	2,30	-	0,50
Caldie		-	0,70	0,20	0,50	5,00	2,30	-	0,50
Vanadis 4 Extra SuperClean	Metallurgia delle polveri	-	1,40	0,40	0,40	4,70	3,50	-	3,70
Vanadis 8 SuperClean	Metallurgia delle polveri	-	2,30	0,40	0,40	4,80	3,60	-	8,00
Vancron SuperClean	Metallurgia delle polveri	-	3,00 ¹⁾	0,50	0,40	4,50	3,20	3,70	8,50

1) %(C+N)

Tabella 2. Gamma Uddeholm di acciai per utensili adatti ad acciaio altoresistenziale di nuova generazione.

Metallurgia convenzionale

Nella produzione di acciai convenzionali legati, l'utilizzo di lingotti di grandi dimensioni comporta una solidificazione più lenta, con conseguente formazione di carburi grossolani che, a loro volta, subiranno un'orientazione nel materiale, successivamente alle fasi di laminazione o forgiatura. La presenza di strutture orientate è positiva per la resistenza all'usura ma influisce negativamente sulla resistenza meccanica del materiale, specialmente in caso di carichi di fatica.

Per ridurre questo effetto negativo è necessario bilanciare la composizione chimica e ridurre o addirittura eliminare i carburi grossolani, compensando la perdita di resistenza all'usura con una maggiore durezza della matrice.

L'alternativa è sviluppare un processo metallurgico che produca carburi più piccoli e meglio distribuiti con un minore effetto negativo sulla resistenza a fatica, pur mantenendo invariata la protezione contro l'usura.

Uddeholm ha due processi metallurgici per migliorare la situazione rispetto alla metallurgia convenzionale. Questi includono:

- Rifusione sotto elettroscoria (ESR)
- Metallurgia delle polveri (PM)

I due processi sono illustrati nei paragrafi successivi.

Rifusione sotto elettroscoria

La rifusione sotto scoria ERS è un processo metallurgico molto diffuso che consiste nel rifondere un lingotto di acciaio – realizzato con metodi convenzionali – in una colata a dimensioni più ridotte. La colata più piccola si solidifica molto più velocemente e lascia meno tempo per la formazione di carburi dopo la solidificazione. Il processo di rifusione consente di ottenere un acciaio più omogeneo e una minore quantità di carburi. Include anche un filtro per scorie per una maggiore purezza dell'acciaio.

Metallurgia delle polveri

Il processo di metallurgia delle polveri utilizza l'azoto per atomizzare l'acciaio fuso in goccioline o grani. Ognuno di questi granelli si solidifica rapidamente e lascia pochissimo tempo alla formazione di carburi. I granelli di polvere vengono compattati in lingotti all'interno di una pressa isostatica a caldo ad alta temperatura e pressione. I lingotti vengono in seguito laminati o ridotti in barre d'acciaio con metodi convenzionali. La struttura risultante è un acciaio completamente omogeneo con piccoli carburi uniformemente distribuiti, innocui come siti per l'innesco di cricche ma che proteggono comunque l'utensile dall'usura.

Le grandi inclusioni di scoria possono invece assumere il ruolo di siti di innesco delle cricche. Quindi, per migliorare la purezza dell'acciaio, il processo di metallurgia delle polveri ha subito ulteriori miglioramenti. La polvere d'acciaio di Uddeholm è giunta alla terza generazione ed è considerata la più pura presente sul mercato.

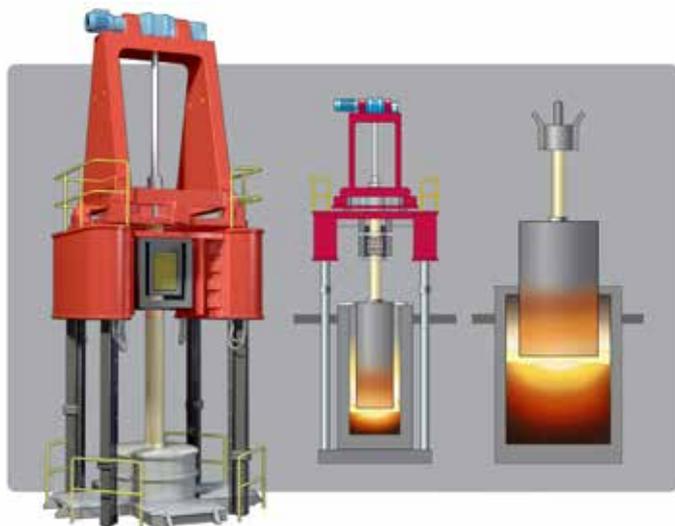


Figura 1. Rifusione sotto elettroscoria

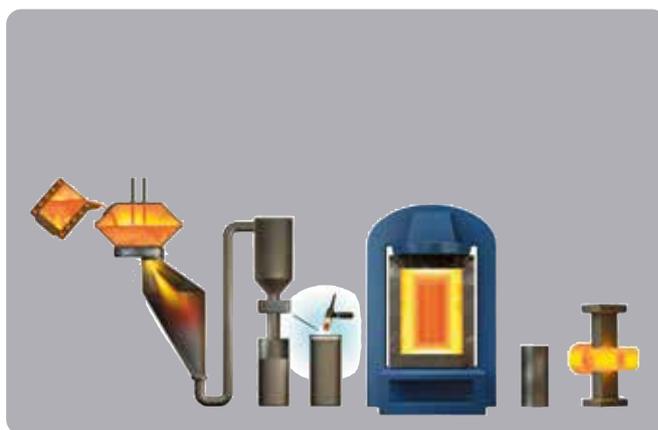


Figura 2. Metallurgia delle polveri.

Guida alla scelta degli acciai per utensili

Panoramica

Come in tutti i processi industriali, anche nelle operazioni di formatura e taglio della lamiera è importante che le varie fasi del processo avvengano in condizioni di assoluta normalità senza imprevisti. La catena che va dalla progettazione alla manutenzione dell'utensile comprende diverse fasi, come illustrato in **Figura 3**.



Figura 3.
Fasi produttive dell'utensile dalla progettazione alla manutenzione.

Un presupposto fondamentale per ottenere buoni risultati, sia in termini di produttività che di riduzione dei costi di produzione, è svolgere tutte le fasi in modo corretto.

Per selezionare l'acciaio per utensili più adatto all'applicazione in questione, è essenziale identificare i meccanismi che possono portare a rotture premature degli utensili. Tali cause possono essere di cinque tipologie:

- La deformazione plastica, in caso di rapporto inadeguato tra le sollecitazioni e il limite di snervamento a compressione (durezza) del materiale dell'utensile.
- L'usura di tipo abrasivo associata al materiale del semilavorato, al tipo di formatura ed agli attriti prodotti in fase di contatto strisciante.
- La scheggiatura, in caso di errata combinazione tra le sollecitazioni e la duttilità dell'acciaio dell'utensile;
- Usura adesiva/grippaggio, che è il risultato di forti forze di attrito dovute al contatto di scorrimento e alla natura adesiva del materiale di lavoro. Il fenomeno del grippaggio è molto legato all'usura adesiva.
- Cricatura, in caso di errata combinazione tra le sollecitazioni e la tenacità dell'acciaio dell'utensile.



La deformazione plastica, la presenza di bava sui bordi e la scheggiatura causano spesso gravi danni e fermi di produzione molto dispendiosi e devono essere evitati, se possibile. L'usura e il grippaggio sono più prevedibili e possono essere gestiti, in una certa misura, dai programmi di manutenzione degli utensili. Una conseguenza di ciò è che può valere la pena di consentire una maggiore usura dell'utensile piuttosto che incorrere in situazioni di scheggiatura e fessurazione.

La resistenza allo snervamento della lamiera deve essere superata durante la formatura e la resistenza alla rottura per taglio deve essere superata durante il taglio. Ciò significa che per le operazioni di formatura e taglio degli acciai altoresistenziali di nuova generazione, le forze richieste saranno maggiori rispetto a quelle impiegati per acciai più dolci dello stesso spessore.

Di conseguenza gli utensili dovranno avere una migliore resistenza meccanica e all'usura. La tranciatura è l'operazione più delicata, in quanto richiede sia un'elevata resistenza all'usura che un'elevata resistenza al grippaggio, alla compressione, alla scheggiatura e alla rottura. D'altra parte, l'operazione di formatura richiede soprattutto un'elevata resistenza all'usura e alla corrosione e un'elevata resistenza alla compressione. Inoltre è necessario modificare il gioco dello stampo. Possono

presentarsi onde d'urto e la formazione di bave è diversa nella tranciatura/punzonatura di lamiera con R_m 1.200–1.400 MPa. Vedere anche **Figura 3**. La formatura degli acciai altoresistenziali di nuova generazione comporta anche una formabilità ridotta, un ritorno elastico maggiore e una maggiore tendenza alla grinza. L'ambiente degli utensili diventa di conseguenza più complesso ed esigente con questi nuovi materiali avanzati in acciaio altoresistenziale.

Le operazioni di formatura e taglio in lamiera di acciaio altoresistenziale possono portare a un rapido deterioramento della superficie dell'utensile o a cricche dell'utensile se vengono selezionati acciai per utensili inadeguati. Ciò significa che la selezione dell'acciaio per utensili e dei processi di rivestimento per le operazioni di formatura e taglio nell'acciaio altoresistenziale di nuova generazione non deve basarsi su quanto fatto in passato con materiali in lamiera d'acciaio dolce più teneri. Al contrario, è necessario utilizzare le più recenti innovazioni tecniche per ottimizzare l'economia di produzione.

La **Tabella 3** confronta la resistenza ai diversi tipi di meccanismi di rottura degli utensili per la gamma di prodotti Uddeholm destinati ad applicazioni di acciaio altoresistenziale di nuova generazione.

Tipi di acciaio Uddeholm	AISI	Durezza/ Resistenza alla deformazione plastica	Resistenza all'usura		Resistenza alla formazione di cricche causate dalla fatica	
			Usura abrasiva	Usura adesiva	Duttilità/Resistenza alla formazione di schegge	Tenacità/Resistenza alle cricche incrociate
Calmax	-	████████	████	████████	██████████	██████████
Caldie	-	██████████	████	████████	██████████	██████████
Sleipner	-	██████████	██████	████████	████	██████████
Sverker 21	D2	████████	████████	████	████	████████
Unimax	-	████████	████	████████	██████████	██████████
Vanadis 4 Extra*	-	██████████	████████	████████	██████████	██████████
Vanadis 8*	-	██████████	██████████	████████	██████	██████
Vancron*	-	██████████	████████	████████	██████	██████

Tabella 3. Confronto tra i valori di resistenza a vari tipi di difetti nelle lavorazioni a freddo per acciai per utensili raccomandati per gli acciai altoresistenziali di nuova generazione.

*Acciaio per utensili Uddeholm PM SuperClean.

Operazioni con gli utensili da formatura

Aspetti generali

Nonostante l'elevata durezza, gli acciai altoresistenziali di nuova generazione di SSAB sono caratterizzati da una buona formabilità e si prestano alla lavorazione con metodi tradizionali. Il minor grado di formabilità rispetto agli acciai dolci può, nella maggior parte dei casi, essere compensato modificando il design del componente o il processo di formatura. Un raggio più ampio dell'utensile – che consente un maggiore flusso di materiale – unito al design ottimizzato dello sbizzo può facilitare le operazioni di formatura degli acciai altoresistenziali. La **Figura 4** illustra come si possa stampare un componente dal design complicato in Docol 1200M, anche se la formabilità dell'acciaio altoresistenziale normalmente è inferiore rispetto ad un acciaio tradizionale. Vedere **Figura 5**.



Figura 4. Vano portabatterie di un SUV stampato in Docol 1200 M.



Figura 5. Dimensioni massime raggiunte per imbutitura profonda (coppa) e formatura per stiramento (cupola). Tipi di acciaio (da sinistra a destra): CR5, Docol 600DP, Docol 800DP, Docol 1000DP, Docol 1200M e Docol 1400M.

L'effetto del ritorno elastico è maggiore per l'acciaio altoresistenziale rispetto ai materiali più dolci. Sono possibili diversi metodi per ridurre il ritorno elastico, ad esempio:

- Incremento dell'angolo di piega
- Maggiore forza del prelamiera
- Previsione di una fase di taratura
- Utilizzo di bordi da imbutitura
- Aggiunta di rinforzi nelle zone piatte e flange
- Corretta forma dello sbizzo

Nei prossimi **paragrafi vengono analizzate varie operazioni come la piegatura**, la profilatura, lo stampaggio e la flangiatura, insieme a vari aspetti legati ai carichi e al grippaggio degli utensili, utilizzando il Metodo degli Elementi Finiti (FEM). Vengono anche forniti alcuni consigli per il trattamento superficiale e la scelta dell'acciaio per utensili.

Piegatura

Quando si piega un materiale morbido, il raggio interno risultante è determinato principalmente dalla larghezza della matrice e non dal raggio della lama di piegatura. Un materiale ad alta resistenza, al contrario, segue il raggio della lama di piegatura e il raggio interno risultante è meno dipendente dalla larghezza della matrice. Pertanto, è possibile utilizzare matrici di larghezza maggiore con acciai altoresistenziali senza compromettere il raggio interno richiesto. Ciò influisce notevolmente sulla forza di piega e anche sull'usura dell'utensile, che si riducono all'aumentare della larghezza della matrice.

Nel passaggio dall'acciaio più dolce all'acciaio altoresistenziale, lo spessore della lamiera viene generalmente ridotto. La forza di piega può quindi rimanere invariata, poiché lo spessore ridotto spesso compensa la maggiore resistenza.

Profilatura

La profilatura è estremamente adatta per l'acciaio altoresistenziale di nuova generazione. Gli esperimenti dimostrano che è possibile ottenere raggi significativamente più netti utilizzando la profilatura rispetto alla piegatura convenzionale.

Stampaggio

Le forze di stampaggio sono direttamente proporzionali alla resistenza del materiale di lavorazione. Generalmente un materiale ad alta resistenza necessita anche una maggiore forza del prelamiera per evitare il raggrinzamento. Per affrontare la maggiore pressione superficiale, l'utensile deve avere un materiale adeguato e proprietà aggiuntive (vedere anche **la sezione Panoramica**).

Flangiatura

Gli acciai altoresistenziali presentano una minore attitudine alla flangiatura rispetto agli acciai più tradizionali. In questo contesto è molto importante ottimizzare il più possibile il processo, ad esempio, realizzando il foro nella direzione opposta a quella di



Figura 6. Utensile di stampaggio complesso.

flangiatura. In questo modo la bava si trova all'interno del foro dove è meno soggetta alle tensioni. Un altro metodo per ottenere maggiori altezze di flangiatura è quello di realizzare un'operazione di pre-formatura prima della punzonatura.

Analisi FEM dei carichi e del grippaggio degli utensili

La simulazione digitale con il Metodo degli Elementi Finiti (FEM) può fornire un valido supporto nella scelta dell'acciaio per utensili. È importante stabilire se una determinata operazione di formatura della lamiera può essere realizzata senza grippaggio, spesso principale causa di danneggiamento. Il grippaggio deriva primariamente dall'eccessiva pressione di contatto tra lo stampo e la lamiera. Il metodo FEM viene impiegato per calcolare la pressione di contatto per una data combinazione utensile-lamiera. Un esempio di simulazione FEM è mostrato nella **Figura 7a** e illustra la metodologia di calcolo della pressione di contatto. Da questo calcolo otteniamo un'idea del livello di pressione che l'acciaio per utensili deve sopportare e possiamo basare la nostra selezione dell'acciaio per utensili su questo risultato.

La scelta dell'acciaio e del trattamento superficiale più appropriati aumenta il limite di pressione per il grippaggio e permette la formatura di materiali con grado di resistenza più elevato o con geometrie più esigenti. L'acciaio da polvere azotato Uddeholm Vancron SuperClean è caratterizzato da un'eccezionale resistenza al grippaggio rispetto ai normali acciai per utensili. Utilizzando utensili realizzati con il Vancron SuperClean il limite della pressione di contatto nella formatura del Docol HR700LA e del Docol 1000DP si innalza a circa 1600 MPa. Come regola empirica si può affermare che con il Vancron SuperClean il limite di pressione per il grippaggio è di circa 2,6 volte superiore al limite di snervamento, mentre con gli acciai tradizionali come l'AISI D2 è di sole 1,2 volte. Questo vale per la formatura di acciai con gradi di resistenza fino al Docol 1000DP. Oltre questo grado, la temperatura aumenta e la pellicola lubrificante può non essere più in grado di sopportare la pressione. In base all'esperienza, i limiti per l'uso del Vancron SuperClean sono illustrati nella **Figura 7b**.

Altri importanti fattori che influenzano il limite di grippaggio sono: lubrificazione, rugosità superficiale dell'utensile e velocità di scorrimento. Tutti questi fattori influiscono sulla temperatura che, per evitare il grippaggio, dovrebbe essere mantenuta a livelli bassi.

Il limite di pressione può essere associato ad una simulazione FEM per stabilire se un'applicazione (con una data geometria) produrrà una pressione di contatto sufficientemente bassa da permettere l'uso con un acciaio per utensili convenzionale, oppure se sarà necessario utilizzare un acciaio più moderno come il Vancron SuperClean. Tuttavia, una simile simulazione non può essere una garanzia di successo in presenza di cattive condizioni della superficie dello stampo. D'altra parte, se la pressione di contatto stabilita è appena sopra il limite, il rischio di grippaggio potrebbe essere evitato semplicemente migliorando la lubrificazione, riducendo la rugosità superficiale o la velocità di formatura.

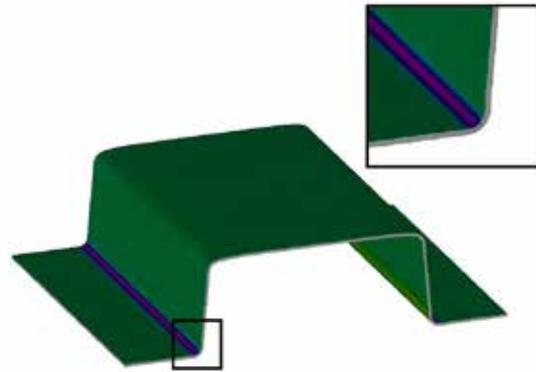


Figura 7a. Panoramica della pressione di contatto computerizzata di un'operazione di imbutitura profonda di un profilato Hat in Docol 1000DP 1,5 mm.

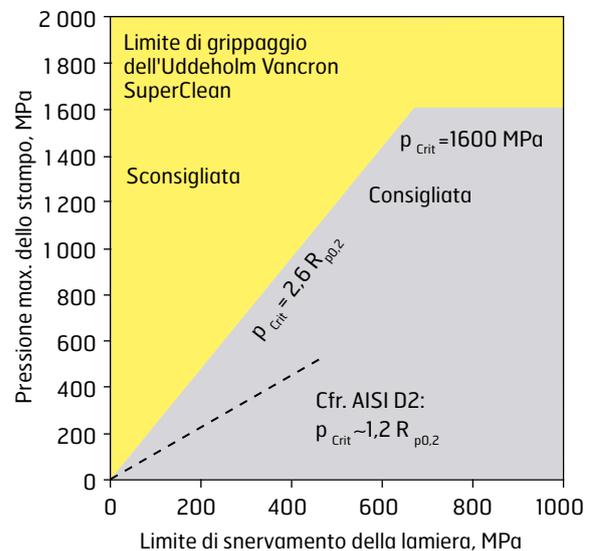


Figura 7b. Limiti di utilizzo dell'Uddeholm Vancron SuperClean non rivestito. I suggerimenti si basano su prove applicative e su simulazioni FEM. Viene anche fornito, ai fini del confronto, il livello approssimativo del limite di grippaggio dell'AISI D2 non rivestito.

Scelta dell'utensile e trattamento superficiale nelle operazioni di taglio

Il grippaggio, l'usura adesiva e la deformazione plastica sono le cause più comuni di rottura nelle applicazioni di formatura. In virtù dell'elevato limite di snervamento, gli acciai altoresistenziali di nuova generazione richiedono l'impiego di maggiori forze di stampaggio.

Poiché gli scenari futuri prevedono un crescente utilizzo di materiali ad alta resistenza, di velocità di stampaggio più elevate, nonché l'uso di stampi progressivi e di lubrificanti più ecologici (ma solitamente meno efficaci), saranno necessari utensili con una migliore resistenza al grippaggio. Rivestimenti superficiali dell'utensile come il PVD, il CVD e il TD rappresentano un modo efficace per prevenire il grippaggio.

Nel caso dell'acciaio altoresistenziale, la scelta dell'acciaio e del rivestimento dell'utensile dipende principalmente dai seguenti fattori:

- Grado di resistenza della lamiera di acciaio
- Spessore della lamiera di acciaio
- Presenza o meno del rivestimento sulla lamiera
- Complessità dell'operazione di formatura
- Numero di componenti da produrre

Oggi il know-how sulla formatura degli acciai altoresistenziali di nuova generazione rimane limitato, ma possiamo trarre alcune conclusioni dai test eseguiti sulle lamiere di Docol 600 DP – 1000 DP da 2 mm:

• Livello di durezza dell'utensile

Per contrastare l'usura, il grippaggio e la deformazione plastica, la durezza dell'utensile dovrebbe essere superiore a 58–59 HRC.

• Finitura superficiale dell'utensile

Le superfici attive dell'utensile dovrebbero essere levigate per ottenere un basso grado di rugosità ($R_a \leq 0,2 \mu\text{m}$).

• Acciai per utensili convenzionali non rivestiti

Questi acciai non soddisfano i requisiti fissati per gli utensili di stampaggio di lamiere non rivestite, però potrebbero essere adatti per eseguire operazioni di formatura più semplici con lamiere in acciaio altoresistenziale più sottile con il grado di resistenza più basso.

• Acciai per utensili convenzionali nitrurati al plasma

Questi acciai per utensili non presentano una sufficiente resistenza al grippaggio per lunghe produzioni a causa della delaminazione dello strato di nitruro. Essi però potrebbero essere adatti per eseguire operazioni di formatura più semplici con lamiere in acciaio altoresistenziale più sottili e con il grado di resistenza più basso.

• Utensili con rivestimento PVD

I rivestimenti PVD (es. CrN o TiAlN) uniti ad un metallo di base con una durezza sufficientemente elevata ($> 58 \text{ HRC}$) rappresentano una soluzione contro il grippaggio.

• Utensili con rivestimento CVD o TD

Anche gli utensili con rivestimento CVD o TD, preparati in modo opportuno, evitano il grippaggio.

• Utensili di formatura Vancron SuperClean

L'acciaio azotato ad alte prestazioni Uddeholm Vancron SuperClean ha ottenuto risultati molto soddisfacenti nei test



industriali. Gli utensili di formatura (con finitura superficiale di $R_a \leq 0,2 \mu\text{m}$) realizzati in Uddeholm Vancron SuperClean, lavorano molto meglio degli utensili rivestiti.

La **Tabella 4a** raggruppa gli acciai per utensili adatti alla formatura dell'acciaio altoresistenziale di nuova generazione. I dati contenuti nella tabella si basano sull'esperienza acquisita finora, ma verranno continuamente aggiornati sulla base dei test futuri. A seconda delle dimensioni dell'utensile e della complessità dell'operazione di formatura, i tipi di acciaio possono essere impiegati sia come stampi monoblocco, sia nella combinazione stampo più inserti.

Il trattamento o il rivestimento superficiale dell'utensile rappresentano una condizione imperativa per ottimizzarne le prestazioni e, ad eccezione del Vancron SuperClean, proteggerlo contro l'usura. L'acciaio per utensili agisce da substrato per i rivestimenti. Deve essere in grado di sopportare un rivestimento molto fragile, cioè deve avere un grado sufficiente sia di resistenza alla compressione che di durezza nella fase di esercizio dell'utensile. Inoltre, le variazioni dimensionali dopo il processo di rivestimento devono essere minime o prevedibili per soddisfare le tolleranze dell'utensile. Infine il substrato deve sopportare molti carichi ciclici con sollecitazioni fortissime, cioè deve possedere un alto limite di fatica.

La **Tabella 4b** presenta una classificazione relativa degli acciai per utensili con o senza rivestimento a seconda delle dimensioni dei lotti da produrre. Nel caso della nitrurazione agli ioni è opportuno considerare il fatto che la duttilità è severamente compromessa. La tabella confronta la duttilità dopo la nitrurazione ad una profondità di $50 \mu\text{m}$. Poiché l'Uddeholm Vancron SuperClean viene utilizzato senza rivestimento, esso si trova ai primi posti rispetto agli altri acciai.

Resistenza della lamiera R _m (MPa)	Qualità di acciaio Uddeholm/AISI/W.-Nr.	Trattamento/rivestimento superficiale		Durezza totale (HRC)
		Tipo	Dimensione dei lotti di produzione	
350-570	Calmax/-/1.2358 Unimax Sverker 21/D2/1.2379 Caldie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	Nitrurazione/PVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD Non è necessario alcun rivestimento, ma può essere applicato	Lotti medi Lotti medi Lotti medi Lotti medio-grandi Lotti medio-grandi Lotti grandi Lotti grandi Tutte	> 58
>570-800	Calmax/-/1.2358 Unimax Sverker 21/D2/1.2379 Caldie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	Duplex (Nitrurazione al plasma+PVD) PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD Non è necessario alcun rivestimento, ma può essere applicato	Tutte Tutte Tutte Tutte Tutte Tutte Tutte Tutte	> 60
>800-1400	Caldie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	PVD/CVD/Duplex PVD/CVD/Duplex PVD/CVD/Duplex PVD/CVD/Duplex Non è necessario alcun rivestimento, ma può essere applicato	Tutte Tutte Tutte Tutte Tutte	> 60

Tabella 4a – Acciai per utensili per la formatura di acciaio altoresistenziale di nuova generazione.

Uddeholm	Senza rivestimento					Con rivestimento		Con nitrurazione al plasma
	Resistenza all'usura			Resistenza a:		Proprietà del materiale di substrato		
	Abrasiva	Adesiva	Grip-paggio	Scheg-giatura/ Cricatura	Deformazione plastica	Fatica	Stabilità dimensionale dopo reindurimento	Duttilità dopo nitrurazione profondità fino a 50 µm
Calmax	1	3	1	8	1	4	4	6
Unimax	1	4	1	10	1	5	7	7
Caldie	2	5	2	8	5	9	7	5
Sleipner	5	4	2	3	8	2	4	3
Sverker 21	6	2	1	1	5	1	1	1
Vanadis 4 Extra SuperClean*	8	8	3	8	10	10	9	5
Vanadis 8 SuperClean*	10	8	5	6	10	9	9	4
Vancron SuperClean*	6	10	10	6	9	9**	10**	10**

*) Uddeholm Vancron SuperClean senza trattamento superficiale

**) Senza alcun trattamento superficiale

Tabella 4b. Classificazione relativa in base alle prestazioni potenziali degli acciai per utensili, con o senza rivestimento. Scala relativa = 1-10, in cui 10 è il punteggio più alto.

Operazioni con gli utensili da taglio

Aspetti generali

Consigliare in modo definitivo sulla scelta dell'acciaio per utensili risulta essere molto difficile in quanto le condizioni di produzione sono diverse l'una dall'altra, anche se si realizza lo stesso prodotto. Il modo migliore è di basare questa scelta sui lotti prodotti in precedenza con la medesima attrezzatura o con un'attrezzatura simile.

L'acciaio altoresistenziale di nuova generazione è relativamente recente e non dispone di un grande know-how. In questo caso, l'importante è non basare la scelta sui metodi utilizzati per materiali più tradizionali come l'AISI A2 o D2. Ricorda che esiste una nuova generazione di acciai per utensili molto più adatti alle operazioni di tranciatura e punzonatura degli acciai altoresistenziali.

Nella tranciatura e nella punzonatura i principali meccanismi di rottura sono l'usura, la scheggiatura e il grippaggio. Essi sono influenzati dai seguenti fattori:

- Resistenza del materiale di produzione
- Spessore del materiale di produzione
- Caratteristiche progettuali come gli spigoli vivi
- Geometria del componente da realizzare
- Numero di componenti da produrre

L'utensile deve avere una durezza sufficiente per prevenire la deformazione plastica del bordo di taglio, nonché una buona qualità superficiale per evitare sia la rottura prematura per scheggiatura o cricatura, sia il grippaggio.

I paragrafi seguenti illustrano le **operazioni di taglio** come la tranciatura, la punzonatura, il taglio e la cesoiatura. Vengono anche forniti alcuni consigli per il trattamento superficiale e la scelta dell'acciaio per utensili.

Tranciatura e punzonatura

Aspetto di un bordo rifilato

I comuni metodi di tranciatura e punzonatura danno origine ad un bordo rifilato formato da un ripiegamento, una zona lucida, una zona di rottura e una bava. Nell'acciaio altoresistenziale la zona lucida è inferiore di quella degli acciai tradizionali. L'altezza della bava si riduce con l'aumento del carico di rottura.

Il gioco dello stampo rappresenta un fattore cruciale per l'ottenimento di un buon bordo. Il **paragrafo Gioco dello stampo** spiega come scegliere il giusto gioco.

Gioco dello stampo

Il gioco dello stampo è la distanza radiale tra il punzone e lo stampo, vedere **Figura 9**.

Il bordo è spesso formato dalle quattro sezioni illustrate nella **Figura 8**. Rispetto alla tranciatura/punzonatura degli acciai tradizionali, il gioco dello stampo esercita una maggiore influenza sulla durata dell'utensile. Tuttavia, la formazione di bava è minore e non viene influenzata in maniera significativa dalla variazione del gioco. Le zone di ripiegatura e di rottura saranno più estese quanto maggiore sarà il gioco dello stampo, ma rimarranno a livelli inferiori rispetto all'acciaio dolce. La **Figura 10** mostra il gioco dello stampo consigliato per le operazioni di tranciatura e punzonatura.

La **Figura 11** mostra un bordo dopo la punzonatura di Docol 1400 M con un gioco dello stampo del 6% e del 14%.

Generalmente è preferibile utilizzare giochi più ampi con gli acciai altoresistenziali. L'unica eccezione è rappresentata dagli acciai con il massimo grado di resistenza, per i quali un gioco ampio può essere uno svantaggio. Ciò verrà spiegato più avanti.

Nella punzonatura di acciai con un carico di rottura fino a 1000 MPa un gioco dello stampo ristretto provoca un forte grippaggio dell'utensile. Una distanza troppo ampia riduce l'usura dell'utensile ma aumenta la piegatura o la ripiegatura del pezzo compromettendo la qualità del bordo. Ecco perché la qualità desiderata dei bordi dell'oggetto da lavorare influisce sulla scelta del gioco dello stampo. La relazione tra l'usura dell'utensile e il gioco dello stampo è illustrata nella **Figura 12**.

Nella tranciatura/punzonatura degli acciai con il massimo grado di resistenza, un gioco dello stampo troppo ristretto dà origine a grippaggio, ma la causa principale di usura è l'abrasione. La resistenza del materiale impone un limite al gioco dello stampo. Un gioco dello stampo troppo ampio genera forti sollecitazioni di curvatura sul bordo del punzone aumentando il rischio di scheggiatura (**vedi Figura 13**). Questo fenomeno è particolarmente rilevante nelle lamiere in cui la differenza tra snervamento e carico di rottura è minima, come nel caso degli acciai martensitici Docol M.

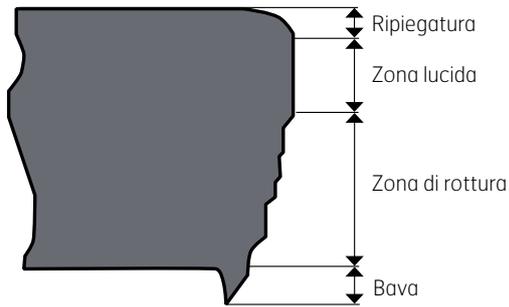


Figura 8. Aspetto di un bordo rifilato.

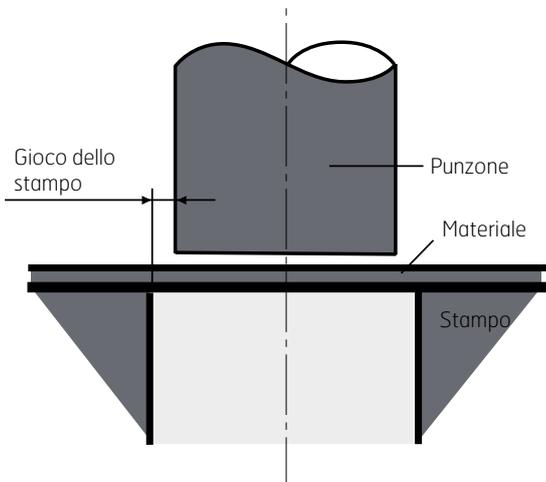


Figura 9. Gioco dello stampo.

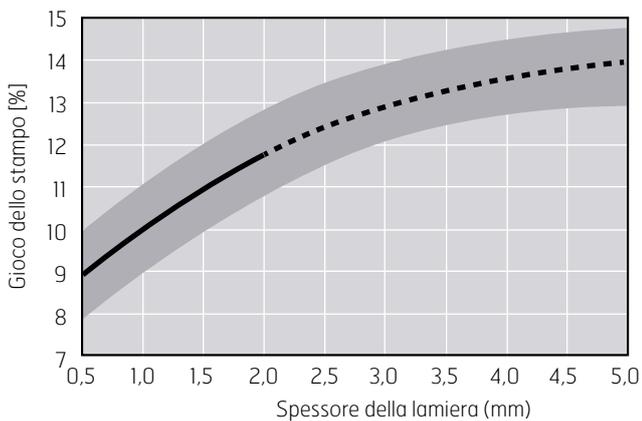


Figura 10. Gioco dello stampo consigliato per la tranciatura e la punzonatura dell'acciaio altoresistenziale di nuova generazione.

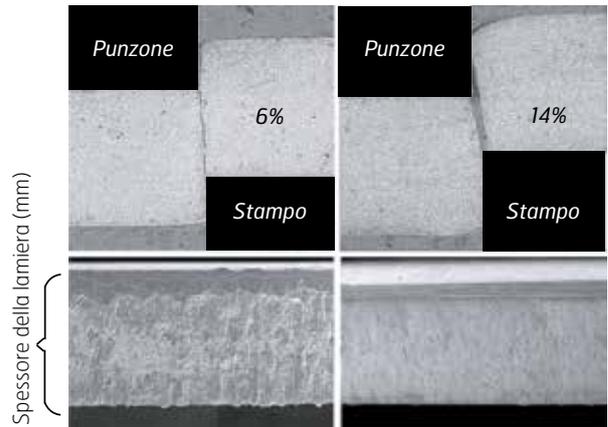


Figura 11. Bordo tagliato con diversi giochi dello stampo.

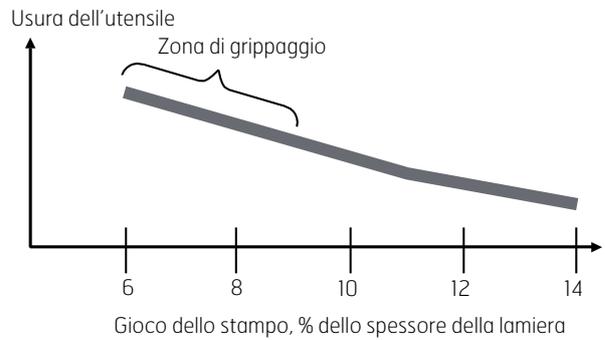


Figura 12. Relazione tra l'usura dell'utensile e il gioco dello stampo nella tranciatura di Docol 800 DP (spessore della lamiera = 1,00 mm).

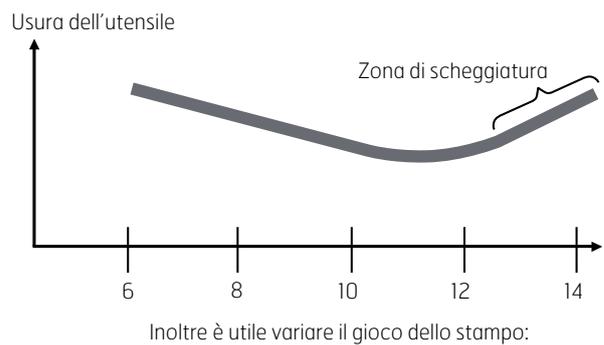
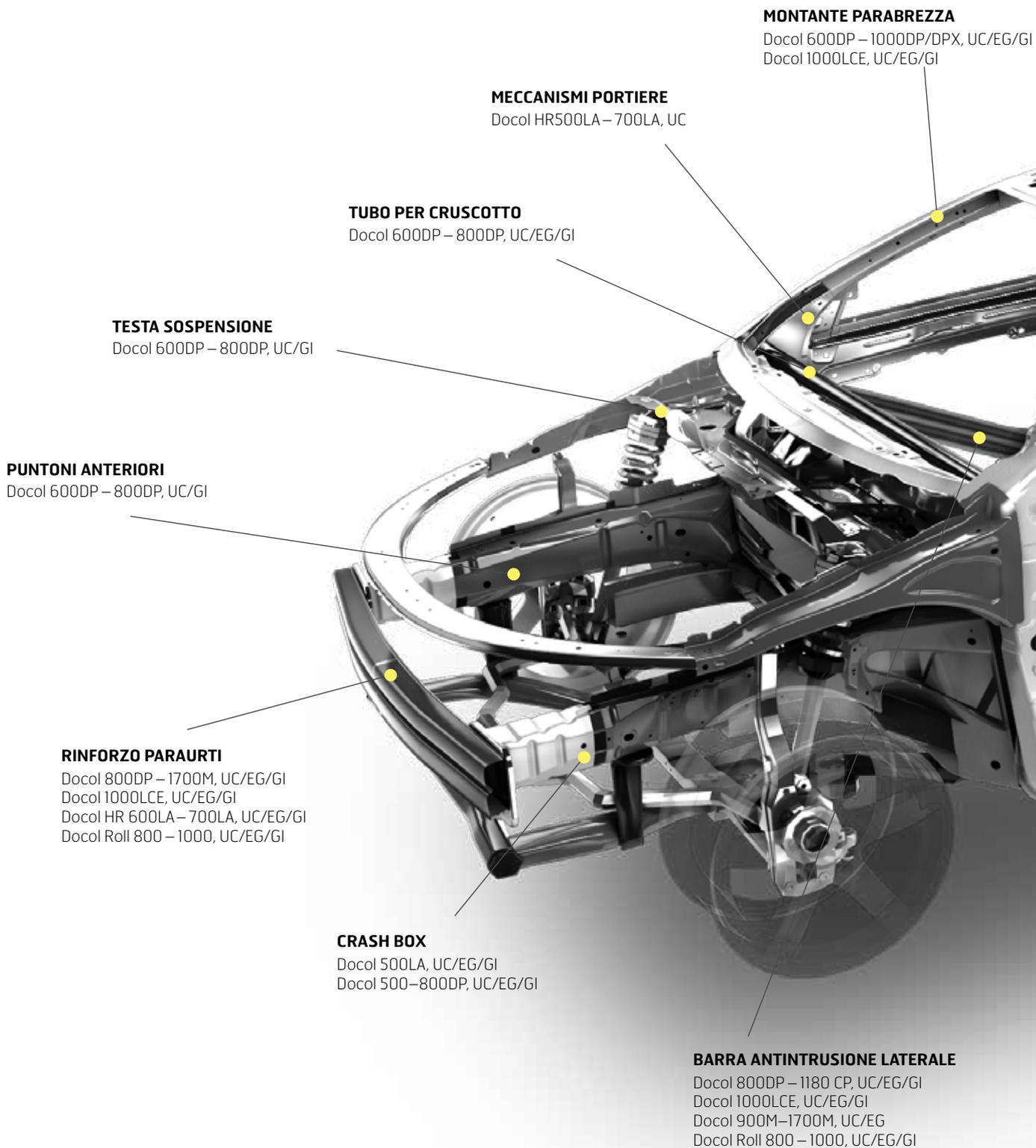


Figura 13. Relazione tra usura dell'utensile e gioco dello stampo nella tranciatura di Docol 1400 M con spessore 1 mm.

Le qualità tipiche utilizzate da Uddeholm per la produzione di parti di scocca delle auto sono Caldie, Sleipner, Vanadis 8 SuperClean, Vanadis 4 Extra SuperClean and Vancron SuperClean. Possono essere utilizzate anche altre qualità in base a fattori quali progettazione, tipologia di acciaio da lavorare e spessore.



LONGHERONE PADIGLIONE

Docol 600DP-1000DP/DPX, UC/EG/GI
Docol 1000LCE, UC/EG/GI

TRAVERSA PADIGLIONE

Docol 600DP-1180CP, UC/EG/GI
Docol 1000LCE, UC/EG/GI
Docol 900M-1700M, UC/EG

MONTANTE LUNOTTO POSTERIORE

Docol 600DP-1000DP/DPX, UC/EG/GI
Docol 1000LCE, UC/EG/GI

RINFORZO DEL B-PILLAR

Docol 600DP-1180CP, UC/EG/GI
Docol 1000LCE, UC/EG/GI

TRAVERSA CENTRALE

Docol 600DP-1180CP, UC/EG/GI
Docol 1000LCE, UC/EG/GI
Docol 900M-1700M, UC/EG

BARRA TRASVERSALE SEDILE

Docol 1500M-Docol 1700M, UC/EG

RINFORZO DEL FONDO

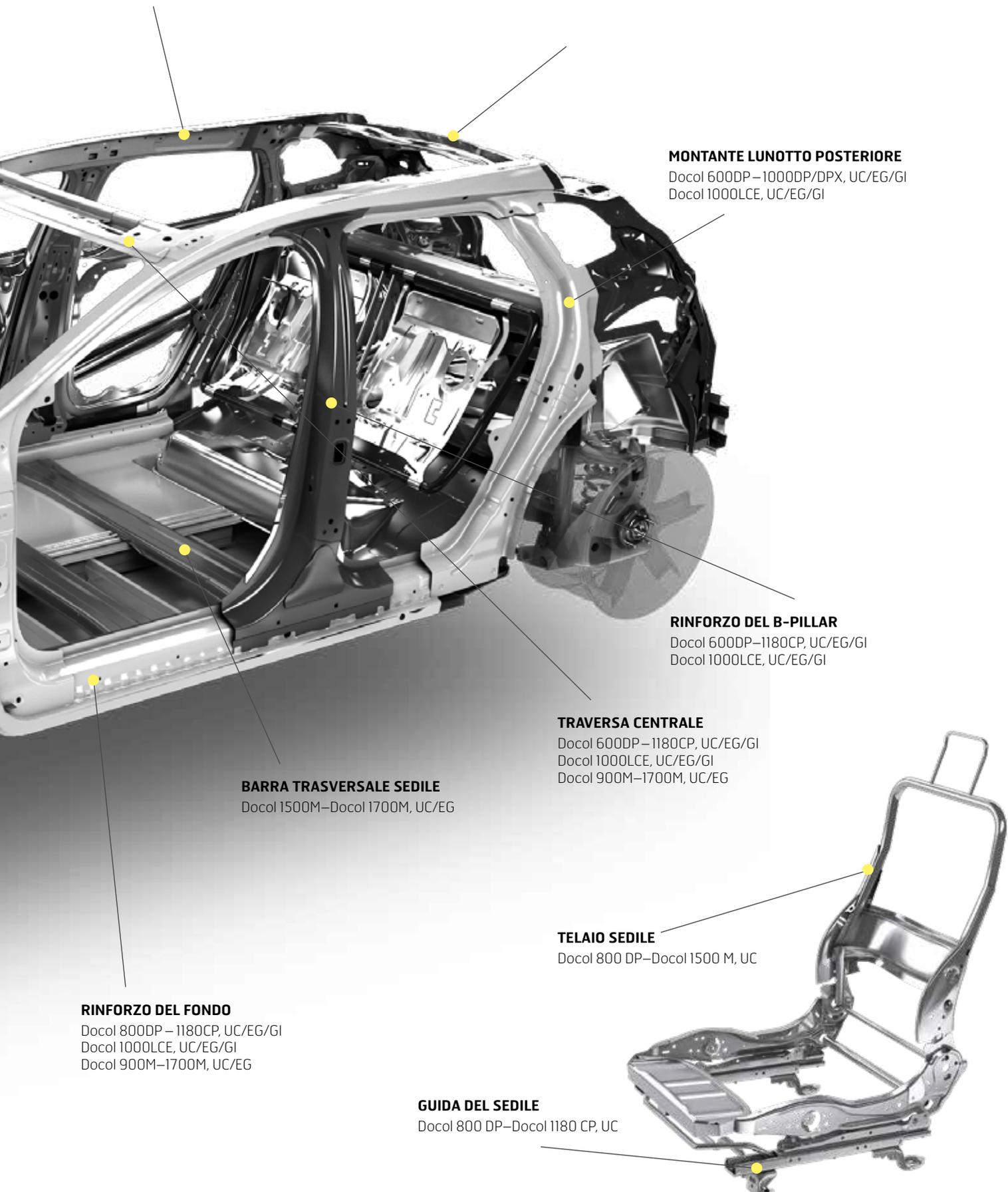
Docol 800DP-1180CP, UC/EG/GI
Docol 1000LCE, UC/EG/GI
Docol 900M-1700M, UC/EG

TELAIO SEDILE

Docol 800 DP-Docol 1500 M, UC

GUIDA DEL SEDILE

Docol 800 DP-Docol 1180 CP, UC



Forza di tranciatura e punzonatura

La forza necessaria per eseguire le operazioni di tranciatura e punzonatura è direttamente proporzionale alla resistenza della lamiera, allo spessore della lamiera e alla lunghezza della linea di tranciatura/punzonatura. La **Figura 14** mostra le variazioni della forza nella punzonatura di un foro Ø 5,00 mm in una lamiera in acciaio altoresistenziale da 1 mm, con un gioco dello stampo del 10% in un acciaio altoresistenziale di nuova generazione. La forza di tranciatura/punzonatura può essere molto elevata durante la tranciatura/punzonatura degli acciai altoresistenziali di nuova generazione più duri. Tuttavia, la riduzione dello spessore della lamiera normalmente compensa l'aumento delle forze di tranciatura/punzonatura.

Quando si esegue la tranciatura/punzonatura nelle qualità completamente martensitiche Docol M, la forza è maggiore e la duttilità del materiale da lavorare è bassa. Ciò significa che è possibile generare un ritorno elastico o un contraccolpo. Ciò viene rilevato come ampiezza di una forza rapida negativa, come mostrato in **Figura 14**. Il ritorno elastico produce forti sollecitazioni sull'utensile che, dopo un certo periodo, possono causare cricche da fatica. A tale proposito vedere la **Figura 15**. Per evitare problemi in fase di produzione è opportuno prendere in considerazione le conseguenze delle forze di tranciatura/punzonatura sul pezzo, degli spigoli vivi e la finitura superficiale dell'utensile.

Gli acciai altoresistenziali di nuova generazione con gradi di resistenza inferiori presentano una duttilità più elevata che riduce gli effetti della fatica e delle cricche nell'utensile. È consigliata un'attenzione particolare verso gli acciai altoresistenziali con gradi di resistenza più elevati per cercare di ridurre le forze coinvolte. Gli esperimenti effettuati hanno dimostrato che, sebbene l'effetto del gioco dello stampo sulla forza di tranciatura/punzonatura sia soltanto marginale, la forza di tranciatura/punzonatura viene leggermente ridotta con l'aumento del gioco dello stampo. In genere, è possibile ottenere una riduzione del 3-5% della forza di tranciatura/punzonatura con un maggiore gioco dello stampo.

Riduzione della forza di tranciatura/punzonatura

L'utilizzo dei giusti parametri di tranciatura/punzonatura è molto importante. Come selezionare il gioco dello stampo durante la tranciatura/punzonatura è spiegato nel **paragrafo Tranciatura e punzonatura**. Per evitare operazioni simultanee nel caso della punzonatura di più fori i punzoni possono avere lunghezze diverse. Questo contribuisce anche a ridurre la forza di tranciatura/punzonatura, che altrimenti sarebbe considerevole. Il rivestimento dell'utensile di punzonatura non è un modo efficace per ridurre la forza di tranciatura/punzonatura. Il rivestimento del punzone non riduce la forza ma, al contrario, come indicato nella **Figura 18**, la intensifica. Un punzone rivestito produce una forza maggiore, in virtù del minore attrito tra la superficie dell'utensile e quella della lamiera. Il basso attrito rende difficoltosa la formazione di punti di innesco di cricca nella lamiera. Questo provoca un aumento della forza di tranciatura/punzonatura che, a sua volta, favorisce la criccatura da fatica nell'utensile. All'innesco di una cricca, il rivestimento si sfalda rapidamente. Il metodo più efficace per ridurre la forza di tranciatura/punzonatura è la smussatura dell'utensile.

La smussatura, preferibilmente simmetrica per evitare carichi inclinati sull'utensile, è anche utile per ridurre il rumore. Le Figure

16 e 17 illustrano le varie modalità di smussatura, mentre la **Figura 18** mostra la riduzione della forza di tranciatura/punzonatura, utilizzando punzoni con smusso simmetrico.

Forza di tranciatura/punzonatura [N]

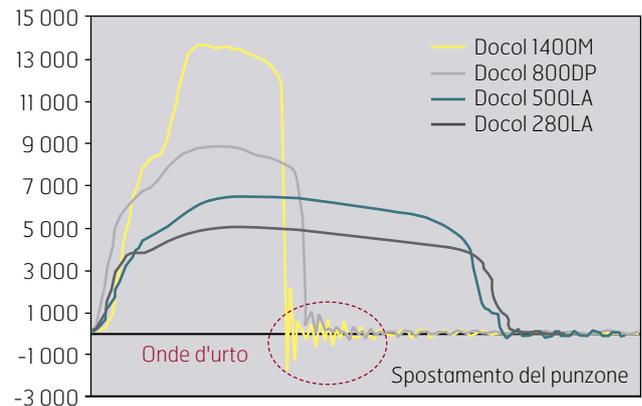


Figura 14. Forza di tranciatura/punzonatura negli acciai altoresistenziali di nuova generazione.

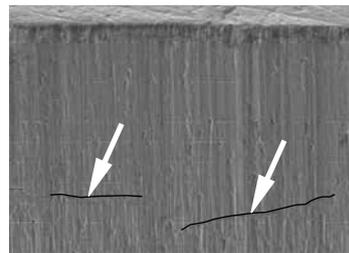


Figura 15. Cricche da fatica.

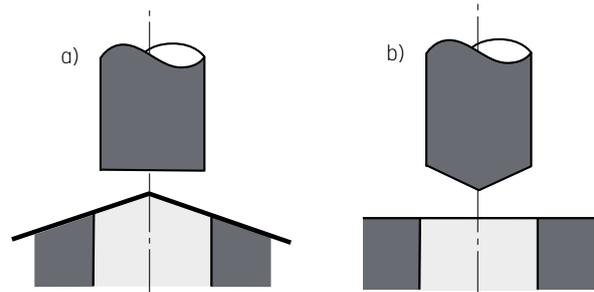


Figura 16. Utensili smussati per a) tranciatura b) punzonatura.

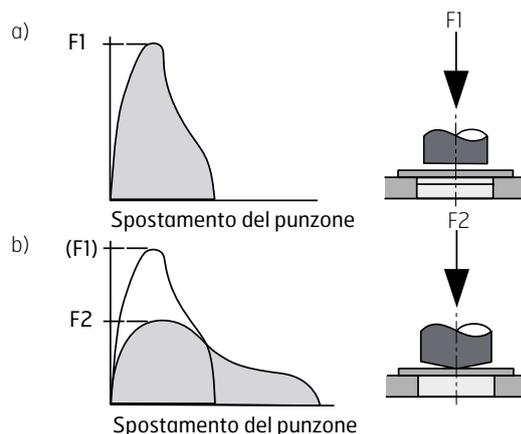


Figura 17. Forza di tranciatura/punzonatura in funzione dello spostamento del punzone per punzoni a) piani e b) smussati

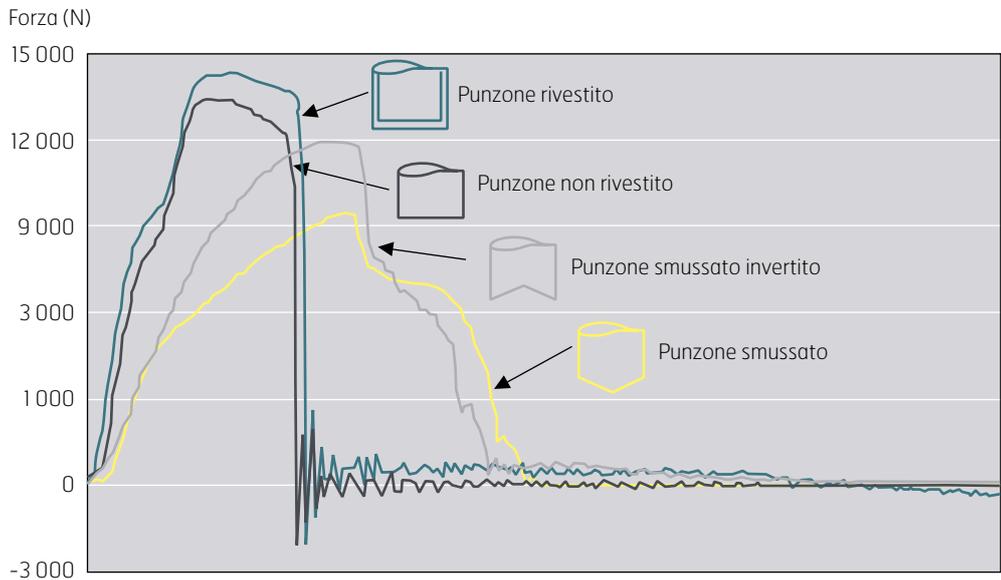


Figura 18. Forza di tranciatura/punzonatura durante la punzonatura di un foro da Ø5 mm in Docol 1400M con uno spessore di 1mm e un gioco dello stampo del 10%.

Spostamento del punzone

	-4%	-13%	-25%	-30%
	-8%	-13%	-15%	-10%
	Docol 280LA	Docol 500LA	Docol 800DP	Docol 1400M

Figura 19. Riduzione della forza di tranciatura/punzonatura (in %), in funzione dei vari tipi di smussatura del punzone (altezza dello smusso = 0,7 volte lo spessore della lamiera).



Figura 20. Punzone smussato con sezione centrale piatta.

Nella lavorazione del Docol 1400 M, la forza di tranciatura/punzonatura può essere ridotta del 30% realizzando uno smusso pari a 0,7 volte lo spessore della lamiera. Come illustrato nella **Figura 19**, l'effetto del punzone smussato dipende dal materiale lavorato. Nel caso degli acciai tradizionali, per ottenere una riduzione maggiore, lo smusso dovrà essere di circa 1,0-1,5 volte lo spessore della lamiera. Per gli acciai altoresistenziali di nuova generazione la smussatura non deve essere necessariamente ampia; l'ampiezza deve essere sufficiente per iniziare il taglio prima che l'intera superficie della testa del punzone sia a contatto con la lamiera. L'uso di uno smusso di ampiezza eccessiva aumenta il rischio di deformazione plastica della testa del punzone.

Un altro modo per ridurre il rischio di deformazione plastica è l'impiego di un punzone smussato con sezione centrale piatta (**Figura 20**).

NB: L'uso di un punzone smussato non riduce necessariamente l'usura dell'utensile. I principali benefici sono la diminuzione della forza e del rumore.

Taglio e cesoiatura

Distanza di taglio e angolo di cesoiatura

Nelle operazioni di tranciatura, la distanza di taglio è la distanza orizzontale tra la cesoia superiore e quella inferiore, mentre l'angolo di cesoiatura è l'angolo tra la cesoia superiore e quella inferiore (vedere Figura 21). Generalmente l'angolo di cesoiatura viene applicato sulla cesoia superiore.

Per gli acciai altoresistenziali si utilizza di norma una distanza di taglio simile a quella impostata per gli acciai tradizionali. L'ampiezza della distanza di taglio è maggiore nelle cesoie angolari rispetto alle cesoie parallele. Le distanze di taglio sono normalmente più piccole rispetto alla tranciatura. I valori della distanza di taglio consigliati per gli acciai altoresistenziali di nuova generazione sono illustrati nella Figura 22.

I valori dell'angolo di cesoiatura in funzione del grado di resistenza e dello spessore della lamiera sono illustrati nella Figura 23.

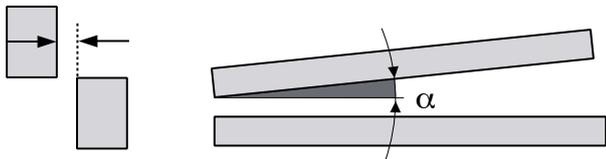


Figura 21. Distanza di taglio e angolo di cesoiatura.

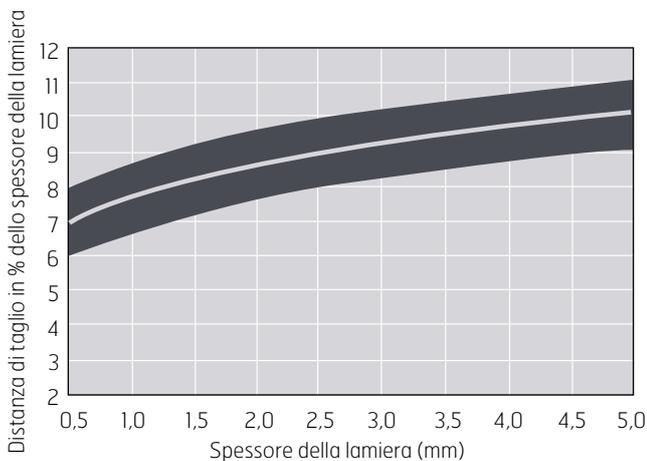


Figura 22. Valori della distanza di taglio consigliati.

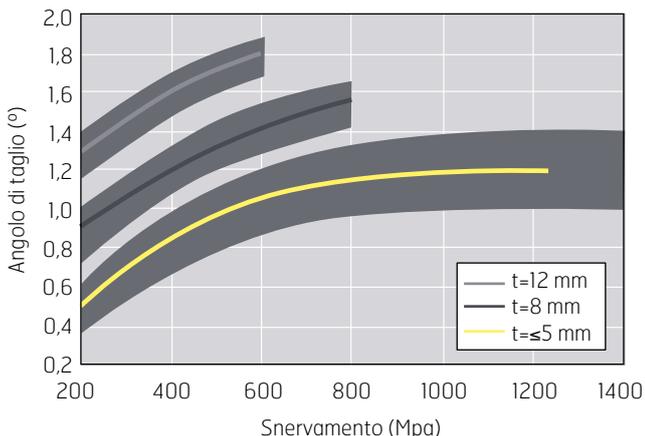


Figura 23. Angoli di taglio consigliati.

Aspetto di un bordo rifilato

L'aspetto del bordo rifilato è simile a quello ottenuto con la tranciatura (vedere Aspetti Generali). La Figura 24 mostra l'aspetto tipico del bordo di tre diversi tipi di lamiera.

L'aspetto del bordo cambia con il variare dei parametri di taglio. Con le cesoie parallele, la distanza di taglio più ampia produce una zona di brunitura più estesa, mentre con le cesoie angolari la stessa distanza diminuisce la zona di brunitura. L'utilizzo di un angolo di cesoiatura e di una distanza di taglio impostati su valori elevati può a volte produrre segni di lacerazione nella zona di rottura (fotografia in alto a destra nella Figura 25). Nella lavorazione di Docol M, un angolo di cesoiatura di grande ampiezza può a volte creare una struttura ondulata nella zona di rottura (vedere Figura 26).

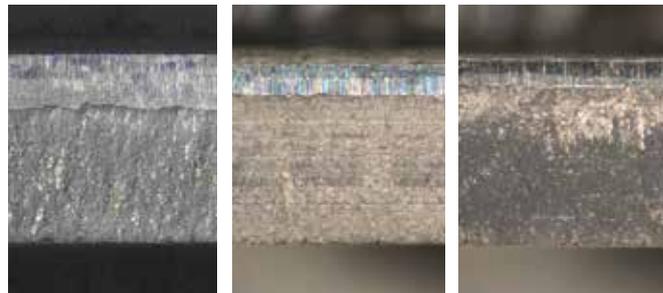


Figura 24. Bordo tranciato rispettivamente di lamiera in Domex 700MC, Dogal 800DP e Docol 1400M con spessore 2,00 mm. Con una distanza di taglio del 7% e un angolo di taglio di 1°.

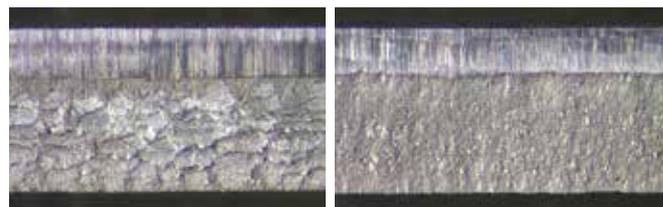


Figura 25. Aspetto del bordo tranciato del Domex HR700LA, t=2 mm, in funzione delle diverse condizioni di taglio. L'immagine a sinistra mostra che la distanza e/o l'angolo di taglio sono troppo ampi. L'immagine a destra mostra che le condizioni di taglio sono corrette.

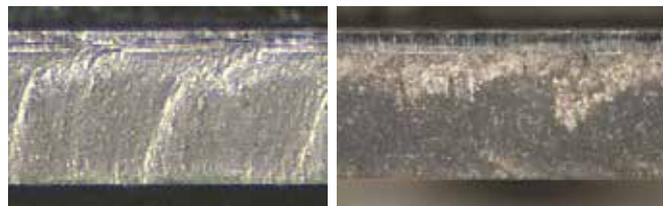


Figura 26. Aspetto del bordo tranciato del Domex 1400M, t=2,00 mm, in funzione delle diverse condizioni di taglio. L'immagine a sinistra mostra che la distanza e/o l'angolo di taglio sono troppo ampi. L'immagine a destra mostra che le condizioni di taglio sono corrette.

Forza di cesoiatura

La forza di cesoiatura è direttamente proporzionale al grado di resistenza della lamiera, allo spessore della lamiera e alla lunghezza del taglio. Per evitare l'eccessivo innalzamento della forza di cesoiatura, necessaria per gli acciai altoresistenziali, si consiglia di applicare un angolo di cesoiatura. L'impiego di un angolo di taglio riduce la differenza tra acciai altoresistenziali e acciai tradizionali (**vedere Figura 27**). L'effetto della distanza di taglio sulla forza di cesoiatura totale è minimo. La riduzione maggiore della forza si ottiene passando da cesoie parallele a cesoie angolari con un angolo di taglio di 1°. L'uso di angoli di cesoiatura >1,5° non apporta alcun beneficio. La riduzione della forza di cesoiatura totale è bassa, ma il carico sul bordo dell'utensile è maggiore e aumenta il rischio di scheggiatura.

Una domanda molto frequente riguardo alla forza di cesoiatura dell'acciaio altoresistenziale di nuova generazione è:

– Riuscirò a lavorare anche gli acciai altoresistenziali con le stesse macchine che utilizzo per gli acciai dolci?

Per rispondere a questa domanda è necessaria un'espressione per la forza di cesoiatura. A tale scopo, SSAB utilizza la seguente equazione:

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

dove:

F = forza di cesoiatura

K_{sk} = resistenza alla cesoiatura = $R_m \cdot$ fattore e

α = angolo di cesoiatura

t = spessore della lamiera

La resistenza di taglio viene calcolata moltiplicando il carico di rottura per il fattore e. Il fattore e varia con il carico di rottura del materiale. Per gli acciai dolci, corrispondenti a CR1, il fattore e è pari a 0,8, ma per gli acciai altoresistenziali il fattore e diminuisce a 0,55 con un taglio parallelo. Con un angolo di cesoiatura può diminuire fino a 0,3 per le qualità di materiale delle lamiera più resistenti. Il grafico della **Figura 28** mostra la variazione del fattore e in funzione del carico di rottura del materiale, sia con cesoie parallele che con cesoie angolari. Nell'acciaio altoresistenziale di nuova generazione, il fattore e si riduce drasticamente applicando un angolo di cesoiatura.

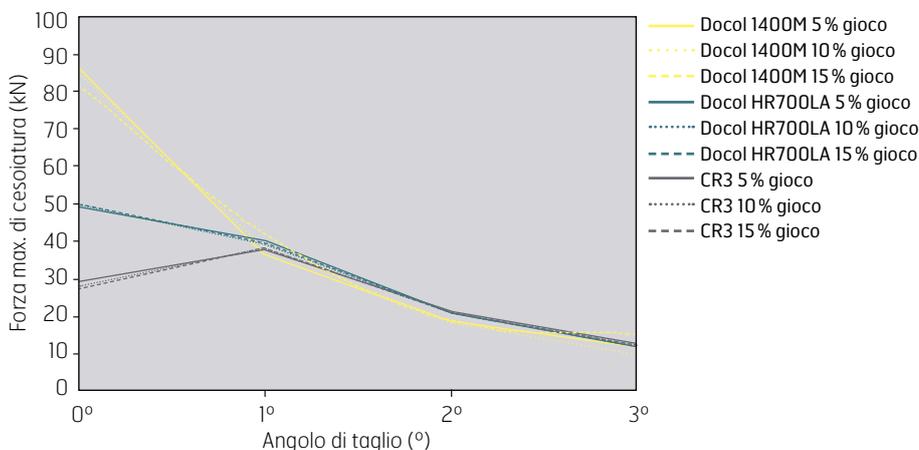


Figura 27. Forza di cesoiatura in funzione dell'angolo di cesoiatura con diversi valori della distanza di taglio $t=2$ mm.

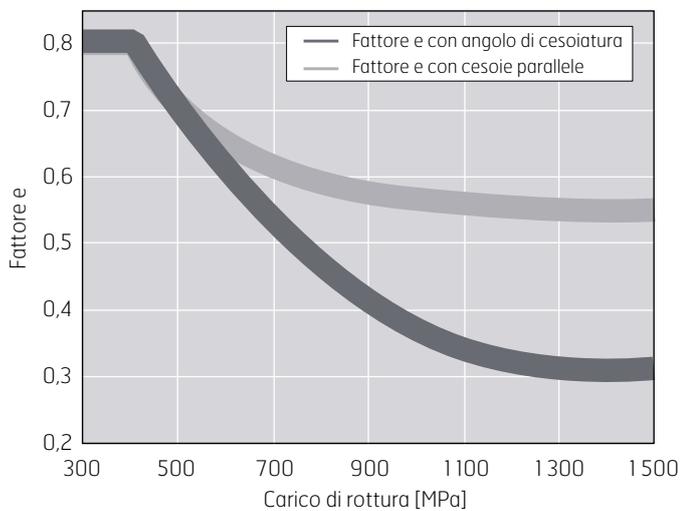


Figura 28. Fattore e in funzione del carico di rottura del materiale.

Esempio 1:

Lamiera in acciaio dolce con spessore di 8 mm.
 Materiale di lavorazione: SSAB Domex 220YP ($R_m = 350$ MPa)
 Forza di cesoiatura: $0,8 \times 350 \times 64 / 2 \tan 0,9 = 570$ kN

Esempio 2:

Lamiera in acciaio extra-altoresistenziale dello stesso spessore = 8 mm
 Materiale di lavorazione: Docol HR700LA ($R_m = 800$ MPa)
 Forza di cesoiatura: $0,47 \times 800 \times 64 / 2 \tan 1,5 = 459$ kN

Esempio 3:

Lamiera in acciaio extra-altoresistenziale con spessore ridotto del 10% = 7,2 mm.
 Materiale di lavorazione: Docol HR700LA ($R_m = 800$ MPa)
 Forza di cesoiatura: $0,47 \times 800 \times 51,84 / 2 \tan 1,5 = 372$ kN

Come si evince, la forza di cesoiatura diminuisce passando dall'acciaio dolce all'acciaio extra-altoresistenziale (utilizzando un angolo di taglio in una lamiera di uguale spessore). Riducendo lo spessore dell'acciaio extraaltoresistenziale (anche solo del 10% – Esempio 3) la forza di cesoiatura diminuisce del 35%.

Scelta dell'utensile e trattamento superficiale nelle operazioni di taglio

Trattamento superficiale

Il dubbio che spesso sorge nella fase di costruzione di un utensile è la necessità di applicare o meno il rivestimento superficiale. Ma prima di applicare un qualsiasi tipo di rivestimento, è necessario determinare il tipo di usura al quale sarà soggetto l'utensile. Per gli acciai altoresistenziali di nuova generazione l'usura dipende dalla microstruttura e dal grado di resistenza. Negli acciai Dual Phase, come il Docol 800 DP, l'usura più frequente è quella di tipo adesivo e un rivestimento sarà utile per ridurre il grippaggio (vedere Figura 29). Gli acciai zincati a caldo presentano una minore tendenza al grippaggio grazie alle proprietà lubrificanti dello strato di zinco.

Gli acciai microlegati laminati a caldo presentano un'usura mista, abrasiva e adesiva. Dovendo eseguire la tranciatura di un Docol HR non decapato, l'usura sarà più veloce e più di tipo abrasivo. In ogni caso, il rivestimento diminuirà l'usura dell'utensile in modo significativo.

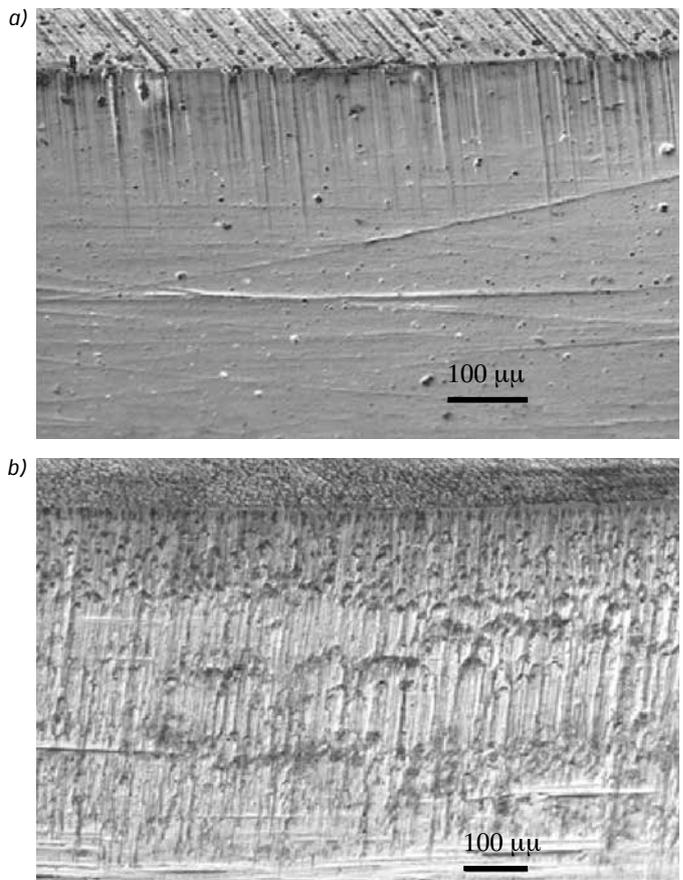


Figura 29. Bordo di tranciatura rivestito con a) stato PVD (TiAlN) e b) non rivestito dopo 200.000 pezzi prodotti in Docol 800 DP.

Negli acciai Docol M il grippaggio non è la principale causa di usura, che è soprattutto di tipo abrasivo. A volte sono visibili cricche da fatica nella zona usurata (**Figura 30**).

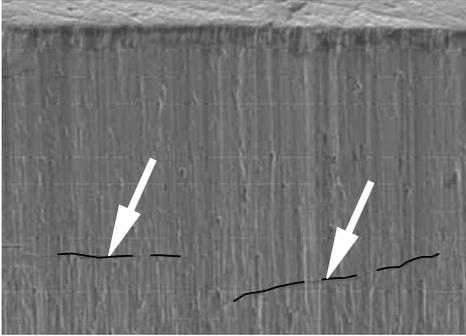


Figura 30. Usura tipica di un bordo di trancitura non rivestito dopo 100.000 pezzi prodotti in Docol 1400 M.

La formazione di cricche da fatica riduce la durata del rivestimento. Ma una superficie opportunamente preparata e un rivestimento adeguato consentono di mantenere integro lo strato anche dopo la produzione di 100.000 pezzi (**Figura 31**). In ogni caso si raccomanda di evitare la nitrurazione dei bordi del punzone a causa del rischio di cricatura.

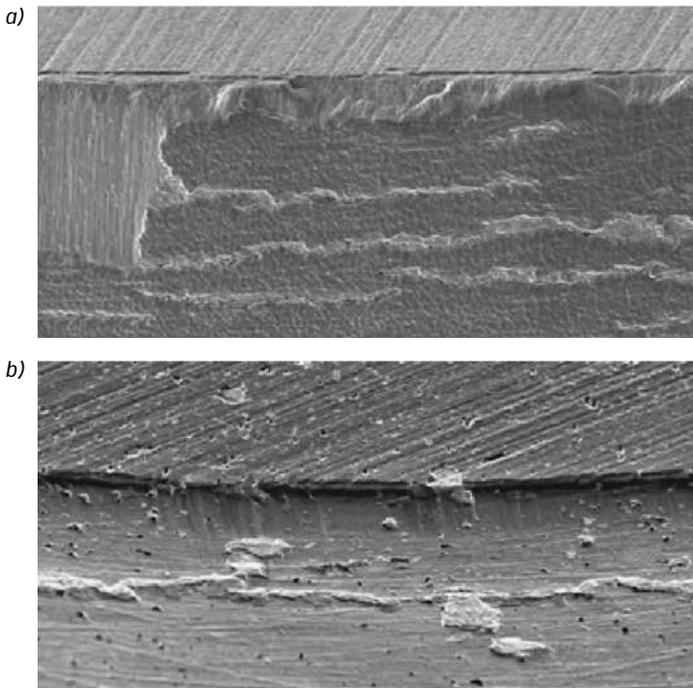


Figura 31. Aspetto del bordo dell'utensile dopo 100.000 parti prodotte in Docol 1400M. a) mostra un rivestimento CVD TiCN quasi completamente sfaldato, b) mostra un rivestimento multistrato TiAlN con prestazioni leggermente migliori.

Scegliere l'acciaio per utensili

Per la scelta dell'acciaio per utensili gli acciai altoresistenziali di nuova generazione vengono raggruppati come segue:

- Acciai Docol HR LA, non rivestiti
- Acciai Docol DP/DL/LA, non rivestiti
- Acciai Docol DP/CP/LA, zincati a caldo
- Acciai Docol M, non rivestiti ed elettrozincati.

Il raggruppamento si basa sul diverso comportamento degli acciai durante le operazioni di trancitura/punzonatura: ogni gruppo impone requisiti diversi al materiale dell'utensile. Per facilitare l'accesso ai dati ed evitare il rischio di malintesi, i dati relativi a ciascun gruppo vengono presentati separatamente, sebbene alcune informazioni vengano ripetute.

Acciai Docol HR LA, non rivestiti

Il gruppo comprende gli acciai microlegati laminati a caldo ad alto tenore di carbonio. Essi sono disponibili nelle versioni decapata e grezza con spessori da 2 a 12 mm. (max 10 mm. per il Docol HR 700 LA).

I requisiti per gli utensili di lavorazione sono:

- Elevata resistenza all'usura per la presenza dell'alto tenore di carbonio, del grado di resistenza e dello spessore. Questo vale in modo particolare per il materiale grezzo poiché le scaglie di laminazione in superficie sono molto abrasive.
- Elevata resistenza alla scheggiatura, dovuta in parte al grado di resistenza, ma soprattutto allo spessore.
- Buona resistenza al grippaggio a causa del grado di resistenza e dello spessore.

Gli acciai non rivestiti Docol HR LA impongono i requisiti più severi sull'utensile in ragione dell'ampio range di spessori.

Le qualità adatte come linea guida per la scelta dell'acciaio per utensili sono:

- Uddeholm Calmax
- Uddeholm Caldie
- Uddeholm Sleipner
- Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean
- Uddeholm Vanadis 8 SuperClean
- Uddeholm Vancron SuperClean

Le proprietà di questi acciai per utensili sono illustrate nella **Tabella 3**. Di seguito presentiamo alcuni aspetti generali da considerare nella scelta dell'acciaio per utensili: Per le qualità di acciaio non rivestito Docol HR LA:

- Uddeholm Calmax e Uddeholm Caldie: consigliati in caso di alto rischio di scheggiatura.
- Quando l'usura è la preoccupazione principale, Uddeholm Sleipner è consigliato per lotti di produzione medio-piccoli con materiali a spessore ridotto.
- Uddeholm Vanadis 8 SuperClean può essere utilizzato per lunghi cicli di produzione quando l'elevata resistenza all'usura è il requisito più importante.
- Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean: ideale nei casi in cui è necessaria sia la resistenza all'usura che la resistenza alla scheggiatura (ad es. per grandi lotti di produzione con pezzi a spessore elevato e geometrie complesse).
- Uddeholm Vancron SuperClean non rivestito: consigliato per grandi lotti per contrastare il grippaggio nella tranciatura/punzonatura di lamiere decapate a spessore ridotto.
- Rivestimenti come il CVD o il PVD possono essere impiegati come strati antiusura e anti-grippaggio. Tutti gli acciai sopra indicati possono essere rivestiti, ad eccezione del Vancron SuperClean, che viene solitamente utilizzato nella versione grezza.
- Uddeholm Calmax può essere rivestito con CVD, mentre con PVD solo a temperature inferiori a 250 °C.
- Si sconsiglia la nitrurazione gassosa poiché può provocare la scheggiatura dell'utensile per effetto dell'infragilimento superficiale.
- Il livello di durezza utilizzato dipende dallo spessore della lamiera e dalla geometria della parte. Normalmente è compreso nell'intervallo 56-64 HRC.

Acciai Docol DP/DL/LA e Roll, non rivestiti

Le lamiere d'acciaio Docol DP/DL e Roll sono laminate a freddo in acciaio dual phase a basso contenuto di carbonio. Queste qualità sono disponibili in spessori che variano da 0,5 mm a 2,1 mm. Docol LA è un acciaio microlegato disponibile in spessori da 0,5 a 3,0 mm.

I requisiti per gli utensili di lavorazione sono:

- Elevata resistenza all'usura per l'alto grado di resistenza della lamiera.
- Elevata resistenza alla scheggiatura grazie all'elevata resistenza meccanica.
- Buona resistenza al grippaggio per l'alto grado di resistenza e la presenza di ferrite.

Le qualità adeguate e i livelli di durezza raccomandati per i diversi livelli di resistenza delle lamiere sono riportati nella **Tabella 5**.

Di seguito presentiamo alcuni aspetti generali da considerare nella scelta dell'acciaio per utensili.

- I rivestimenti superficiali in CVD o PVD possono essere utilizzati per tutti gli acciai altoresistenziali per contrastare l'usura e il grippaggio. Tutti gli acciai indicati sotto possono essere rivestiti, ad eccezione del Vancron SuperClean, che viene solitamente utilizzato nella versione grezza.
- Uddeholm Calmax può essere rivestito con CVD, mentre con PVD solo a temperature inferiori a 250 °C.

Acciai altoresistenziali SSAB	Acciai per utensili Uddeholm	Durezza dell'utensile (HRC)
Docol 500LA-UC Docol 500DP-UC Docol 500DL-UC	Calmax Caldie Sleipner Sverker 21 Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	> 56
Docol 600DP-UC Docol 600DL-UC	Calmax Caldie Sleipner Sverker 21 Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	≥58
Docol 800DP-UC Docol 800DL-UC Docol 1000DP-UC/EG Docol Roll 800-UC Docol Roll 1000-UC	Caldie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	≥60

Tabella 5. Acciai per utensili consigliati per la tranciatura di Docol, non rivestiti.

- Si sconsiglia la nitrurazione gassosa poiché può provocare la scheggiatura dell'utensile.
- Il livello di durezza utilizzato dipende dallo spessore della lamiera e dalla geometria della parte. Normalmente è compreso nell'intervallo 56-64 HRC.

Per le qualità di acciaio Docol 500LA/DP/DL e Docol 600DP/DL:

- Uddeholm Calmax e Uddeholm Caldie sono consigliati in caso di alto rischio di scheggiatura.
- Uddeholm Sleipner e Uddeholm Sverker 21 devono essere utilizzati per cicli di produzioni medi e brevi.
- Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean è ideale nei casi in cui è necessaria sia la resistenza all'usura che la resistenza alla scheggiatura (ad es. per grandi lotti di produzione con pezzi a spessore elevato e geometrie complesse).
- Uddeholm Vanadis 8 SuperClean può essere utilizzato per lunghi cicli di produzione per parti dalle forme geometriche semplici che devono essere tranciate/punzionate a partire da lamiere sottili.
- Uddeholm Vancron SuperClean non rivestito è consigliato per grandi lotti per contrastare il grippaggio.

Per Docol 800 DP/DL/Roll e Docol 1000 DP/DP-EG/Roll/LCE:

- Uddeholm Caldie è consigliato per contrastare la scheggiatura.
- Uddeholm Sleipner è consigliato per lotti di produzione medio-piccoli.
- Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean è ideale nei casi in cui è necessaria sia la resistenza all'usura che la resistenza alla scheggiatura (ad es. per grandi lotti di produzione con pezzi a spessore elevato e geometrie complesse).

- Uddeholm Vanadis 8 SuperClean può essere utilizzato per lunghi cicli di produzione per parti dalle forme geometriche semplici che devono essere tranciate/punzionate a partire da lamiere sottili.

Docol DP/CP/LA, zincato a caldo

Le qualità di acciaio Docol DP/CP-GI sono acciaio dual phase/complex phase laminato a freddo e sono zincate a caldo. La qualità Docol LA-GI è un acciaio microlegato zincato a caldo. Queste qualità sono disponibili in spessori che variano da 0,5 mm a 3 mm.

I requisiti per gli utensili di lavorazione sono:

- Elevata resistenza all'usura per grandi lotti di produzione (NB: l'usura è molto più bassa rispetto agli acciai non zincati in quanto lo strato di zinco agisce da lubrificante).
- Elevata resistenza alla scheggiatura grazie all'elevata resistenza meccanica.
- Buona resistenza al grippaggio per l'alto grado di resistenza e la presenza di ferrite.

Il morbido e colloso strato di zinco si attacca sulla superficie dell'utensile e deve essere rimosso periodicamente.

Le qualità adeguate e i livelli di durezza raccomandati per i diversi livelli di resistenza delle lamiere sono riportati nella

Tabella 6.

Acciai altoresistenziali SSAB	Acciai per utensili Uddeholm	Durezza dell'utensile (HRC)
Docol 460LA-GI Docol 500LA-GI Docol 500DP-GI	Calmax Caldie Sleipner Sverker 21 Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	> 56
Docol 600DP-GI Docol 600CP-GI Docol 780CP-GI Docol 980CP-GI	Calmax Caldie Sleipner Sverker 21 Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	≥58
Docol 800DP-GI Docol 800DPX-GI Docol 980DP-GI Docol 1000DPX-GI	Caldie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	≥60

Tabella 6. Acciai per utensili consigliati per la tranciatura, qualità Docol, zincati a caldo.

Di seguito presentiamo alcuni aspetti generali da considerare nella scelta dell'acciaio per utensili.

- I rivestimenti superficiali in CVD o PVD possono essere utilizzati per tutti gli acciai altoresistenziali, per contrastare l'usura e il grippaggio. Tutti gli acciai indicati sotto possono essere rivestiti, ad eccezione del Vancron SuperClean, che viene solitamente utilizzato nella versione grezza.
- Uddeholm Calmax può essere rivestito con CVD, mentre con PVD solo a temperature inferiori a 250 °C.
- Si sconsiglia la nitrurazione gassosa poiché può provocare la scheggiatura dell'utensile.

Per le qualità di acciaio zincato a caldo 460LA, 500LA/DP, 600DP/CP e 780CP:

- Uddeholm Calmax e Uddeholm Caldie devono essere utilizzati per contrastare il rischio di scheggiatura.
- Uddeholm Sleipner e Uddeholm Sverker 21 devono essere utilizzati per cicli di produzioni medi e brevi.
- Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean è ideale nei casi in cui è necessaria sia la resistenza all'usura che la resistenza alla scheggiatura (ad es. per grandi lotti di produzione con pezzi a spessore elevato e geometrie complesse).
- Uddeholm Vanadis 8 SuperClean può essere utilizzato per lunghi cicli di produzione per parti dalle forme geometriche semplici che devono essere tranciate/punzionate a partire da lamiera sottili.
- Uddeholm Vancron SuperClean non rivestito è consigliato per grandi lotti per contrastare il grippaggio.

Per le qualità di acciaio zincato a caldo 800/1000DPX, 800/980DP e 980CP:

- Uddeholm Caldie è consigliato per contrastare la scheggiatura.
- Uddeholm Sleipner è consigliato per lotti di produzione medio-piccoli.
- Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean è ideale nei casi in cui è necessaria sia la resistenza all'usura che la resistenza alla scheggiatura (ad es. per grandi lotti di produzione con pezzi a spessore elevato e geometrie complesse).

- Uddeholm Vanadis 8 SuperClean può essere utilizzato per lunghi cicli di produzione per parti dalle forme geometriche semplici che devono essere tranciate/punzionate a partire da lamiere sottili.
- Uddeholm Vancron SuperClean non rivestito è consigliato per grandi lotti per contrastare il grippaggio.

Acciai Docol M, non rivestiti ed elettrozincati

Il gruppo comprende gli acciai martensitici laminati a freddo a basso tenore di carbonio. I Docol EG presentano un rivestimento elettrolitico in zinco. Sono disponibili in spessori da 0,5 a 2,1 mm.

La **Tabella 7** mostra i tipi di acciaio con i gradi di durezza consigliati.

Di seguito presentiamo alcuni aspetti generali da considerare nella scelta dell'acciaio per utensili:

- Uddeholm Caldie è consigliato per contrastare la scheggiatura e la cricatura.
- Uddeholm Sleipner è consigliato per lotti di produzione medio-piccoli con lamiera più sottile.
- Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean è ideale nei casi in cui è necessaria sia la resistenza all'usura che la resistenza alla scheggiatura (ad es. per grandi lotti di produzione).
- Uddeholm Vanadis 8 SuperClean può essere utilizzato per lunghi cicli di produzione quando l'elevata resistenza all'usura è il requisito più importante. Principalmente per le geometrie di pezzi semplici che vengono tranciate/punzionate da materiale di lamiera più sottile.
- Il rivestimento può essere utilizzato, ma a causa del rischio più elevato di deformazione plastica, si raccomandano rivestimenti duplex. La nitrurazione al plasma offre un migliore supporto per il rivestimento PVD.
- Si sconsiglia la nitrurazione gassosa poiché può provocare la scheggiatura dell'utensile.

Qualità lamiera di acciaio SSAB	Qualità acciai per utensili Uddeholm	Durezza dell'utensile (HRC)
Docol 1200M - UC/EG Docol 1400M - UC/EG Docol 1500M - UC/EG	Caldie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean	≥ 60

Tabella 7. Acciai per utensili consigliati per la tranciatura di Docol M.



Esempi di applicazioni

Rinforzo del b-pillar¹

Utensile per la realizzazione del rinforzo del b-pillar con due possibilità di scelta del materiale. Entrambe le scelte hanno dimostrato di funzionare senza problemi.

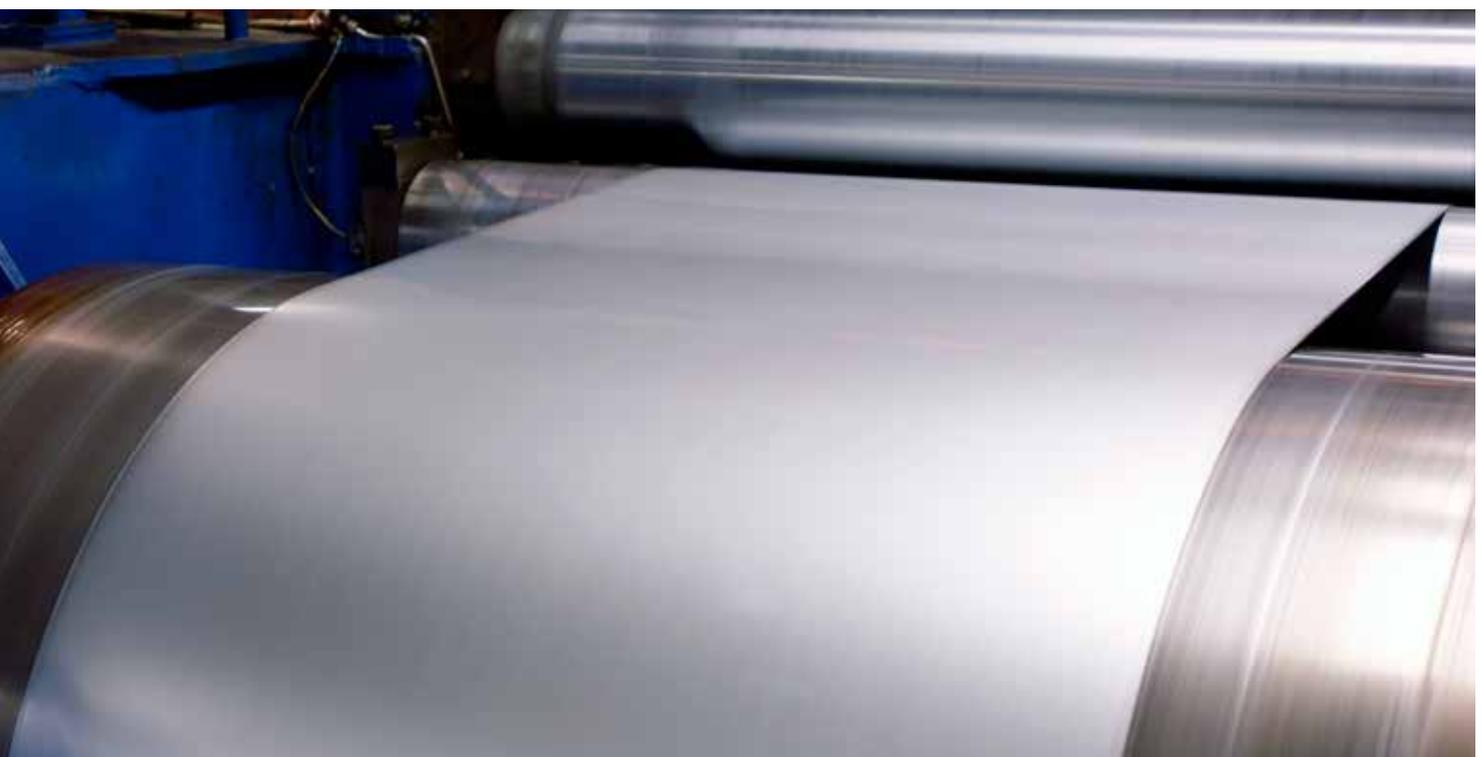


Figura 32. Rinforzo del b-pillar.

Lavorazione a freddo	Tranciatura e curvatura
Materiale di lavorazione:	Docol 800DP-UC
Spessore del materiale di lavorazione:	2,0 mm
Numero di pezzi prodotti all'anno:	82 000
Materiale del punzone sinistro:	Uddeholm Sleipner
Materiale del punzone destro:	Uddeholm Sverker 21
Materiale dello stampo sinistro:	Uddeholm Sleipner
Materiale dello stampo destro:	Uddeholm Sverker 21
Durezza dell'utensile di tranciatura sinistro e destro:	HRC 62
Durezza del punzone per foratura:	HRC 60
Materiale dello stampo di formatura sinistro:	Uddeholm Vancron SuperClean
Materiale dello stampo di formatura destro:	Uddeholm Sleipner + CVD, TiC+TiN
Durezza dello stampo di formatura sinistro:	HRC 62
Durezza dello stampo di formatura destro:	HRC 62
Rugosità superficiale degli utensili di formatura:	Ra 0,1 µm
Lubrificazione	8% emulsione di olio

Tabella 8

¹ Cortesemente fornito da Finnveden Metal Structures, Olofstrom, Svezia.



Paraurti per auto²

Utensile per la realizzazione del paraurti per auto.

Lavorazione a freddo	Trancitura e stampaggio
Materiale di lavorazione:	Docol 1000DP-UC
Spessore del materiale di lavorazione:	2,0 mm
Numero di pezzi prodotti all'anno:	300 000
Materiale dell'utensile di trancitura:	Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean
Durezza dell'utensile di trancitura:	HRC 60
Materiale dell'utensile di formatura:	Uddeholm Vancron SuperClean
Materiale dello stampo di formatura destro:	Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean + CVD, TiCN
Durezza dell'utensile di formatura:	HRC 60
Rugosità superficiale degli utensili di formatura:	-
Lubrificazione	-

Tabella 9

² Cortesemente fornito da Essa Palau, Barcellona, Spagna.



Figura 33. Paraurti per auto.



Figura 34. Staffa per gancio di traino.

Staffa per gancio di traino³

Utensile per la realizzazione della staffa per gancio di traino.

Lavorazione a freddo	Trancitura e curvatura
Materiale di lavorazione:	Docol 1400M-UC
Spessore del materiale di lavorazione:	2 mm
Numero di pezzi prodotti all'anno:	82 000
Materiale del punzone di trancitura:	Uddeholm Sleipner
Materiale dello stampo di trancitura:	Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean
Durezza degli utensili di trancitura:	HRC 60
Materiale del punzone di formatura:	Uddeholm Sleipner
Materiale dello stampo di formatura:	Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean
Durezza del punzone di formatura:	HRC 58
Durezza dello stampo di formatura:	HRC 60
Rugosità superficiale degli utensili di formatura:	-
Lubrificazione	Nessuna lubrificazione aggiuntiva

Tabella 10

³ Cortesemente fornito da Finnveden Metal Structures, Olofstrom, Svezia.

Lubrificazione

Operazioni con gli utensili da formatura

Nella formatura, l'attrito tra due superfici in movimento può essere ridotto lubrificando le superfici. Il tipo di lubrificazione più diffuso nelle operazioni di stampaggio è la lubrificazione mista, in cui lo spessore della pellicola consente il contatto tra la punta dell'utensile e la superficie del materiale. Il lubrificante si introduce nelle irregolarità della superficie e, insieme alla punta dell'utensile, assorbe la pressione di contatto. Ciò impone severi requisiti sulla rugosità del materiale dell'utensile (per i materiali laminati a freddo, EN 10130 la normale superficie è sufficiente) e sulla capacità del lubrificante di neutralizzare le neo-formate superfici reattive.

La viscosità del lubrificante esercita un forte impatto sul processo di formatura della lamiera. Per le operazioni semplici si utilizzano lubrificanti a bassa viscosità (25 - 50 cSt) mentre per quelle più complesse si consigliano lubrificanti con una viscosità più alta. Vedere **la Figura 35** per l'influenza della viscosità del lubrificante.



Figura 35. Impatto della viscosità del lubrificante sul processo di imbottitura. Altezza massima della coppa con lubrificanti a viscosità 500 cSt (a sinistra) e 40 cSt (a destra).

Operazioni con gli utensili da taglio

Nei processi di tranciatura/punzonatura e taglio/cesoiatura dell'acciaio altoresistenziale l'utilizzo di lubrificanti aggiuntivi dipende da vari fattori, quali il tipo di acciaio, lo spessore della lamiera, la superficie della lamiera e la geometria dell'utensile. Generalmente la lubrificazione assume un ruolo più importante negli acciai con basso grado di resistenza, nei materiali ad alto spessore e in presenza di geometrie di tranciatura/punzonatura complesse come avviene, ad esempio, nella foratura a spigolo vivo di una lamiera a spessore elevato. Per le operazioni di tranciatura/punzonatura dell'acciaio altoresistenziale si consiglia l'uso di lubrificanti in grado di resistere alla forte pressione di contatto. La necessità di lubrificanti aggiuntivi varia a seconda del tipo di acciaio, come illustrato qui di seguito.

Acciai Docol HR LA, non rivestiti

Per gli acciai laminati a caldo l'uso di un secondo lubrificante prolunga la durata dell'utensile e, nel caso di alcune lamiere ad alto spessore, può anche ridurre la forza di taglio e la forza di contrazione causata dal basso attrito.

Docol DP/DL/LA, non rivestiti

L'uso di lubrificanti è fortemente consigliato nelle operazioni di tranciatura/punzonatura di questi acciai altoresistenziali. L'effetto "collante" prodotta dalla ferrite sul punzone può essere rimosso utilizzando lubrificanti aggiuntivi.

Acciai Docol DP/CP/LA, zincati a caldo

La tranciatura/punzonatura degli acciai zincati a caldo non richiede una particolare lubrificazione. La superficie zincata produce un certo effetto lubrificante. Lo strato di zinco tende ad aderire alla superficie dell'utensile dopo qualche tempo e dev'essere rimosso periodicamente.

Acciai Docol M, non rivestiti ed elettrozincati

Gli acciai martensitici laminati a freddo come il Docol M non necessitano di lubrificanti aggiuntivi. L'olio protettivo fornisce un'adeguata lubrificazione per le operazioni di tranciatura/punzonatura e taglio/cesoiatura. Questi acciai non si attaccano alla superficie dell'utensile.

La tranciatura/punzonatura del Docol M-EG non richiede una particolare lubrificazione. La superficie zincata produce un certo effetto lubrificante. Lo strato di zinco tende ad aderire alla superficie dell'utensile dopo qualche tempo e dev'essere rimosso periodicamente.

Economia di lavorazione

È molto importante che l'utensile produca il numero di pezzi richiesto con tempi di fermo macchina minimi. I fermi di produzione dovuti alla rottura di un utensile o alla frequente manutenzione è causa di costosi ritardi e di una minore produttività. Possono esserci diversi problemi con gli utensili.

La filiera, dalla progettazione alla manutenzione dell'utensile, deve rimanere integra – qualunque anello debole può provocare difetti. Uno dei punti principali della filiera è il materiale dell'utensile. Le sue proprietà devono essere adatte all'applicazione e la sua qualità deve attestarsi su livelli elevati.

I moderni metodi di produzione degli acciai per utensili, come la metallurgia delle polveri, l'ESR e la metallurgia convenzionale di alta qualità dimostrano gli sforzi compiuti dai costruttori per la realizzazione di utensili più affidabili. Questi acciai sono ovviamente più costosi, ma non dobbiamo dimenticare che il costo dell'acciaio non è che una piccola parte del costo totale di produzione di un utensile – non è che la punta dell'iceberg!

Considerando i costi di produzione – compresi i costi dei fermi e della manutenzione – l'uso di un acciaio per utensili di alta qualità porterà ad un piccolo incremento del prezzo ma darà un grande ritorno di investimento. A tale proposito vedere la **Figura 37**.



Figura 36. Costo dell'acciaio per utensili – solo la punta dell'iceberg.

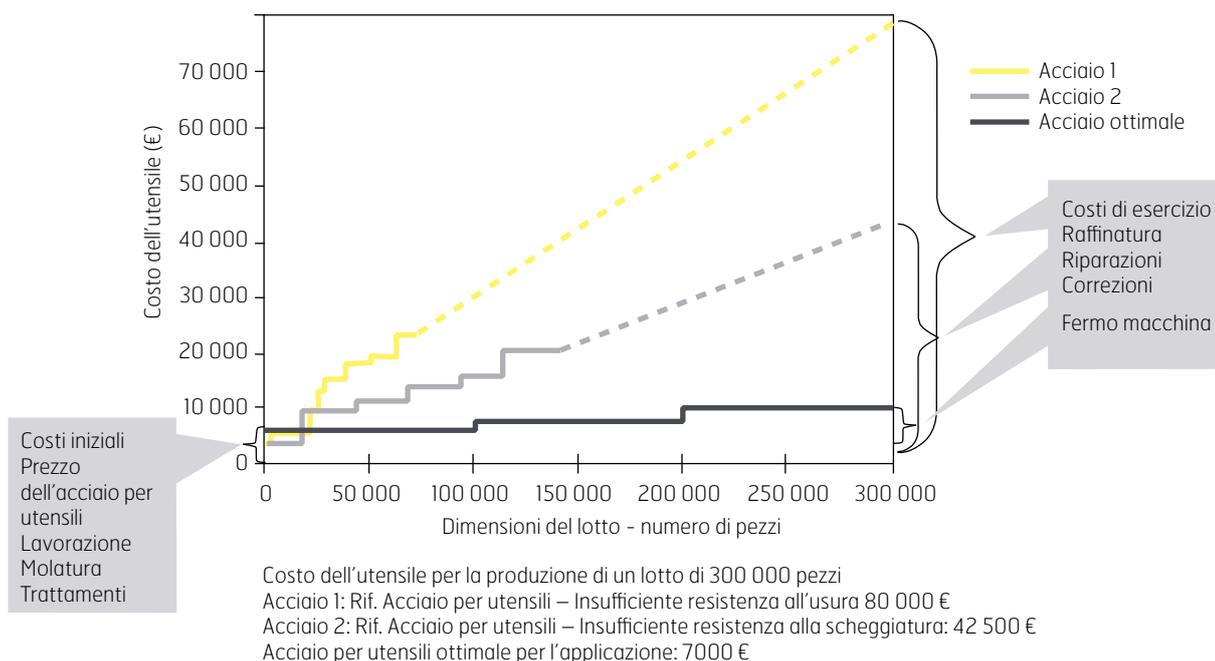
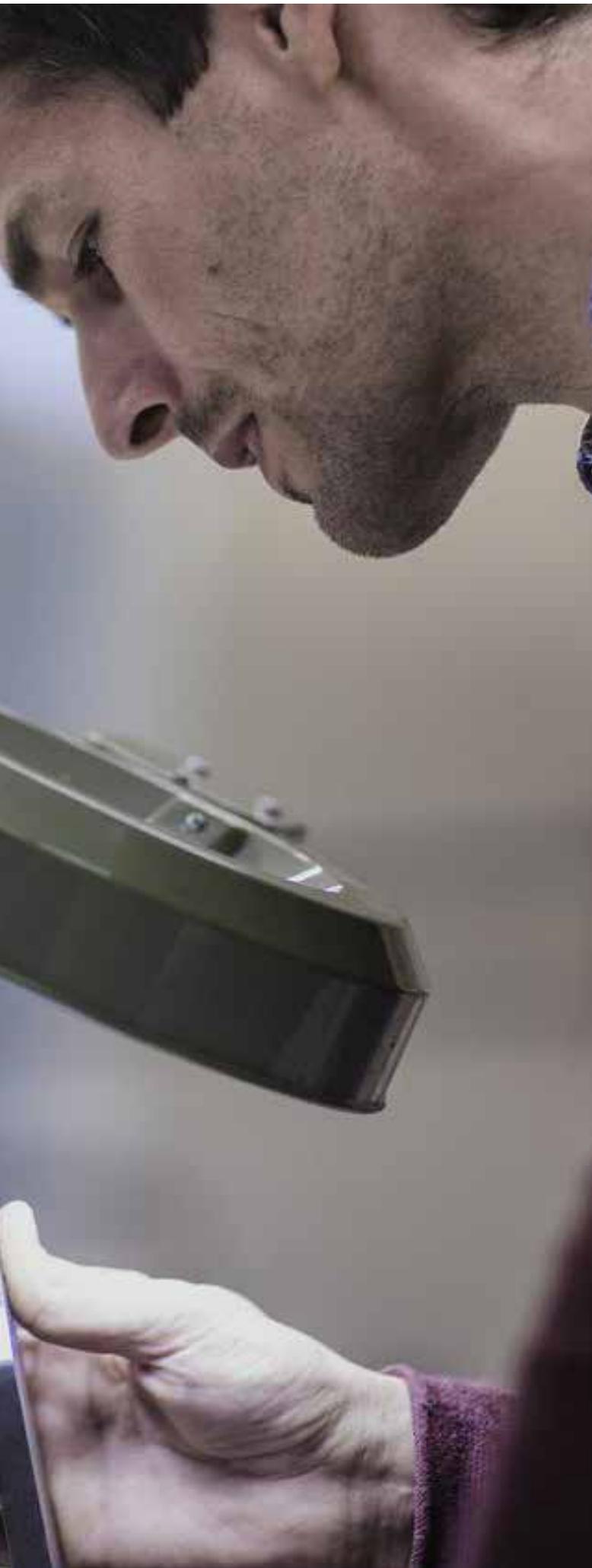


Figura 37. Considerazioni sul costo totale. I gradini indicano i costi di manutenzione.





Assistenza tecnica

I nostri esperti al vostro servizio

SSAB può aiutarti a sfruttare appieno i vantaggi degli acciai altoresistenziali di nuova generazione.

I nostri esperti vantano molti anni di esperienza nella selezione di acciai altoresistenziali di nuova generazione e acciai per utensili in applicazioni per lavorazioni a freddo.

Passando dall'acciaio dolce all'acciaio altoresistenziale, è importante integrare la scelta del materiale con le fasi di progettazione e produzione fin dall'inizio. Questo ti permetterà di ottimizzare il prodotto e il processo produttivo sia dal punto di vista tecnico che economico.

Gli esperti del Knowledge Service Center di SSAB sono in grado di offrirti tutta la loro competenza in materia di scelta del materiale, processo produttivo, progettazione, formatura e giunzione. Il Knowledge Service Center fornisce un contatto diretto con gli ingegneri specifici delle applicazioni e gli esperti dei materiali di SSAB, mentre il sito internet www.ssab.com/it-it dà accesso ad un vasto database contenente informazioni sui prodotti, materiale scaricabile, grafici e tutto ciò che possa essere d'aiuto per semplificare le fasi di progettazione e produzione.

Gli esperti degli uffici commerciali locali di SSAB forniscono consulenza e un supporto immediato grazie a visite dirette ai clienti.

Moderni strumenti di analisi

Le nostre aziende dispongono di attrezzature all'avanguardia per assistere rapidamente i clienti nella scelta del giusto tipo di lamiera, del giusto design e del giusto acciaio per utensili con la giusta soluzione di trattamento termico.

Presso SSAB sono disponibili:

- **Il Metodo degli Elementi Finiti (FEM)**

Viene utilizzato per la simulazione di tutte le fasi di sviluppo di un componente, come la scelta della qualità di acciaio, la forma della lamiera tranciata, il metodo di lavorazione ed il design finale del prodotto. L'analisi FEM può anche essere impiegata per calcolare l'energia assorbita dai componenti in caso di scontro. È possibile simulare al computer tante varianti relative all'attrezzatura, al design, ai raggi, allo spessore e alla qualità dell'acciaio per trovare la soluzione ottimale.

- **ARAMIS e ASAME**

Si tratta di strumenti che ci permettono di verificare in modo rapido se il cliente ha scelto la giusta combinazione tra qualità di acciaio e design. ARAMIS e ASAME misurano la distribuzione dell'allungamento nei componenti stampati. I dati vengono elaborati da un potente software che permette di ottenere informazioni immediate sulle modalità con cui le attrezzature, i metodi produttivi e il design influiscono sul materiale. ARAMIS e ASAME sono in grado di gestire analisi molto accurate relative ad operazioni di formatura sofisticate.

Corsi e seminari

SSAB organizzano regolarmente corsi e seminari su come sfruttare le molteplici opportunità offerte dagli acciai altoresistenziali, quali:

- Corso sulle lamiere di acciaio, che fornisce informazioni di base sulla produzione degli acciai, sulle proprietà e le applicazioni delle varie qualità;
- Seminari che offrono informazioni più approfondite sui processi di dimensionamento, progettazione, lavorazione, formatura e giunzione degli acciai altoresistenziali;
- Seminari personalizzati in base alle esigenze dei singoli clienti.

Manuali

I manuali SSAB contengono, nei minimi dettagli, informazioni sulle varie opportunità offerte dagli acciai altoresistenziali di nuova generazione e dagli acciai per utensili:

- Il Manuale della Lamiera è un valido sussidio nelle fasi di dimensionamento e produzione.
- Il Manuale della Formatura contiene un grande numero di informazioni sulla formatura plastica e sulla lavorazione.
- Il Manuale della Giunzione è una guida ai processi di giunzione e saldatura degli acciai altoresistenziali di nuova generazione.

Campionature

Se vuoi conoscere il comportamento di una nuova qualità di acciaio sulle tue attrezzature produttive o sui tuoi prodotti finali, puoi ordinare lamiere di prova dai nostri stock di campionatura. Quasi tutti i tipi di acciai altoresistenziali di nuova generazione prodotti da SSAB sono disponibili e i tempi di consegna sono molto brevi.

Informazioni sui prodotti

Informazioni su tutte le qualità delle lamiere SSAB, e su come possono essere utilizzate e lavorate, sono disponibili nelle nostre brochure dei prodotti e nei nostri opuscoli dei prodotti.

SSAB ha numerosi uffici di vendita e agenti in tutto il mondo. Le informazioni e le domande sui prodotti possono essere gestite sempre a livello locale dai nostri esperti sul posto.

Tutte le informazioni sui prodotti e le linee guida sono disponibili sul sito www.ssab.com/it-it.

Iscriviti a Automotive Insights

Ti propone articoli selezionati,
notizie e molto altro ancora.
Iscriviti su [www.ssab.com/
it-it/marchi-e-prodotti/
docol](http://www.ssab.com/it-it/marchi-e-prodotti/docol)

SSAB è un'acciaieria con sede nei Paesi Nordici e negli Stati Uniti. SSAB offre prodotti e servizi a valore aggiunto sviluppati in stretta collaborazione con i propri clienti per creare un mondo più forte, più leggero e più sostenibile. SSAB ha dipendenti in oltre 50 Paesi. SSAB ha stabilimenti produttivi in Svezia, Finlandia e negli Stati Uniti. SSAB è quotata al Nasdaq di Stoccolma e ha una quotazione secondaria al Nasdaq di Helsinki. www.ssab.com/it-it

334It-Docol® – Tooling solutions for advanced high strength steels – v8-2022. Confeitti.

Contattaci:



+46 243 700 00



automotive@ssab.com



www.ssab.com/it-it



Seguici su LinkedIn

SSAB
SE-781 84 Borlänge, Svezia

www.ssab.com/it-it

SSAB