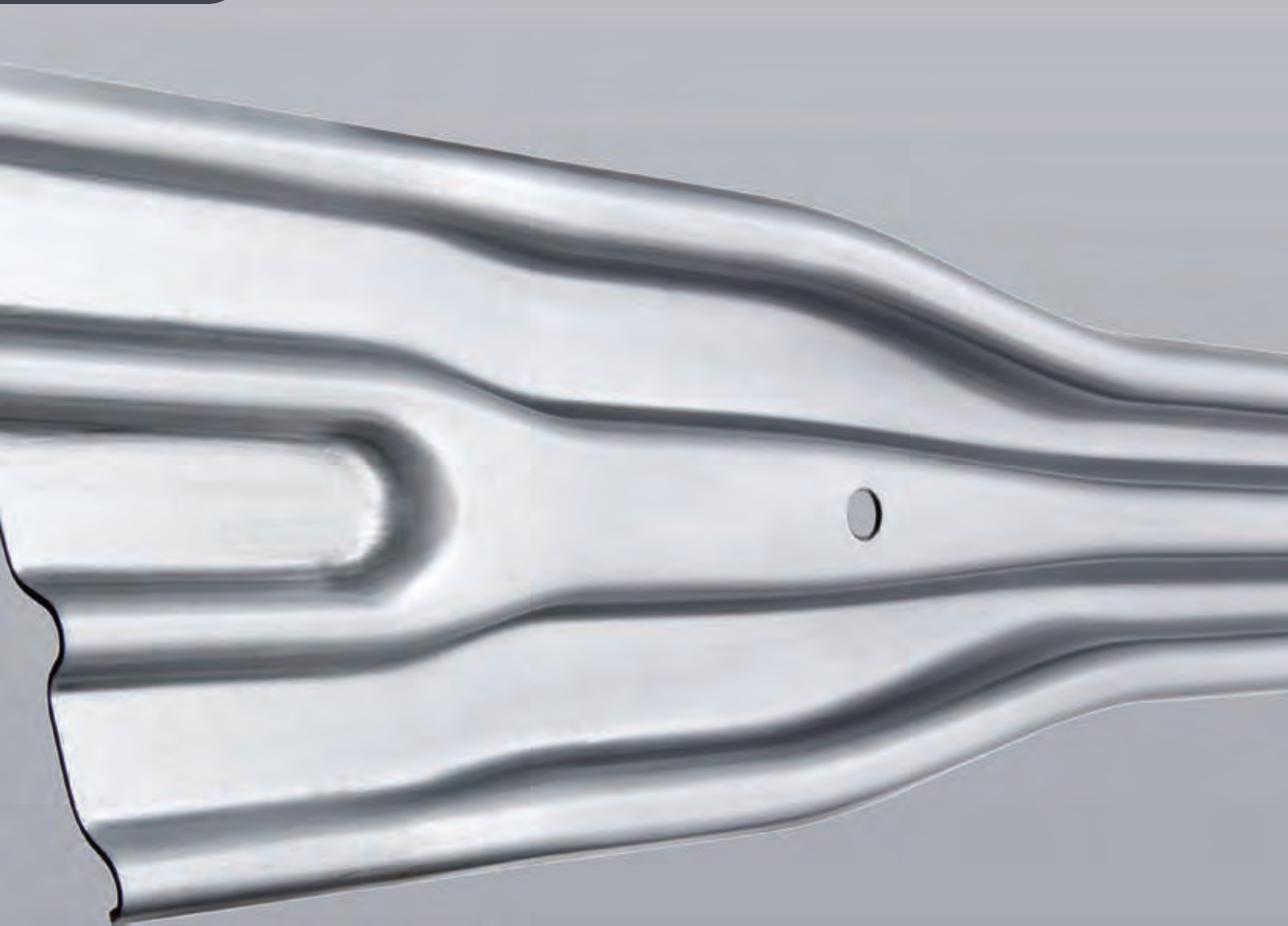


先进高强度钢的模具解决方案

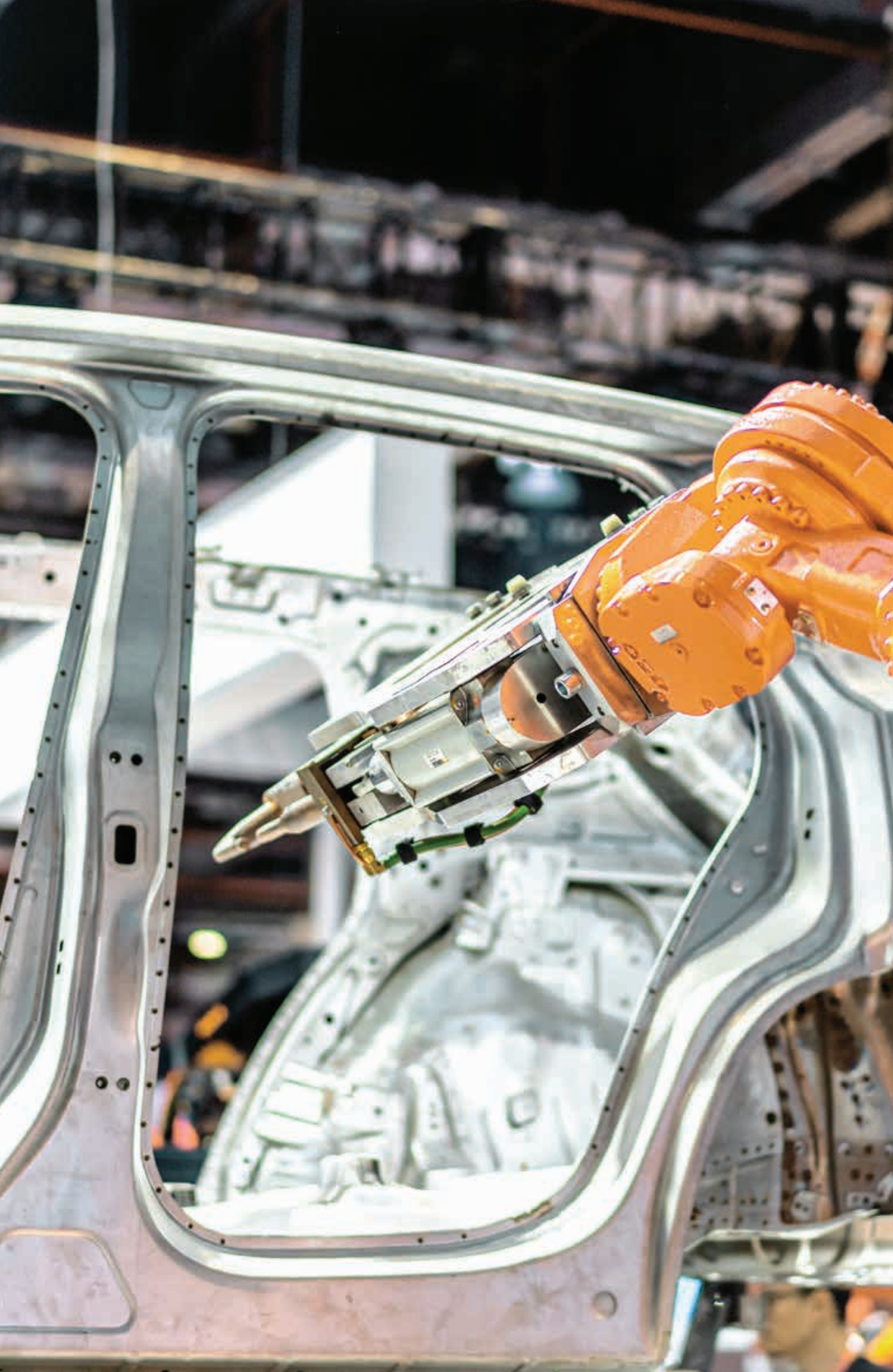
技术手册





目录

简介	5
关于瑞典钢铁集团	6
概况	6
瑞典钢铁集团先进高强度钢及其为汽车行业带来的优势	6
钢板和模具钢	8
先进高强度钢	8
微合金钢	8
铁素体 - 贝氏体 (FB) 钢	8
双相钢	8
复相钢	8
辊压成形钢	8
马氏体钢	8
供货规格	8
模具钢	10
成形和冲裁工序的特性	10
传统冶金技术	11
电渣重熔冶金技术	11
粉末冶金技术	11
模具钢选择指南	12
概述	12
成形工序	14
概述	14
折弯	14
辊压成形	14
冲压	14
翻孔	14
模具负载和粘着磨损的 FEM 分析	15
成形工序中的模具钢选择和表面处理	16
冲裁工序	18
概述	18
落料和冲孔	18
切边和剪切	24
切边工序中的模具钢选择和表面处理	26
应用范例	32
B 柱加强板	32
乘用车保险杠	33
拖车钩支架	33
润滑	34
成形模具工序	34
冲裁模具工序	34
Docol HR LA 裸板	34
Docol DP/DL/LA 裸板	34
Docol DP/CP/LA 热镀锌板	34
Docol M 冷轧板和电镀锌板	34
模具的经济效益	35
技术支持	37
助您一臂之力的技术专家	37
先进的分析资源	37
课程与技术研讨	38
手册	38
试制材料	38
产品信息	38



简介

采用先进高强度钢(AHSS)可为公司赢得众多优势。然而，随着先进高强度钢在新的产品设计中使用时越来越广泛，对成形和落料/冲孔模具中使用的模具钢也提出了更高要求。本出版物的编写目的，是希望能够为设计工程师和材料专家提供选择指南，以便找到最佳的成形和落料/冲孔用先进高强度钢模具解决方案。先进高强度钢主要包括以下六种：

- 微合金钢
- 贝氏体钢
- 双相钢
- 复相钢
- 辊压成形钢
- 马氏体钢

从环境角度看，先进高强度钢可显著减轻零部件的重量，减少原材料的用量并降低能耗。与此同时，运输这类钢材所需的能耗也会减少，而且钢材本身还可以完全回收利用。

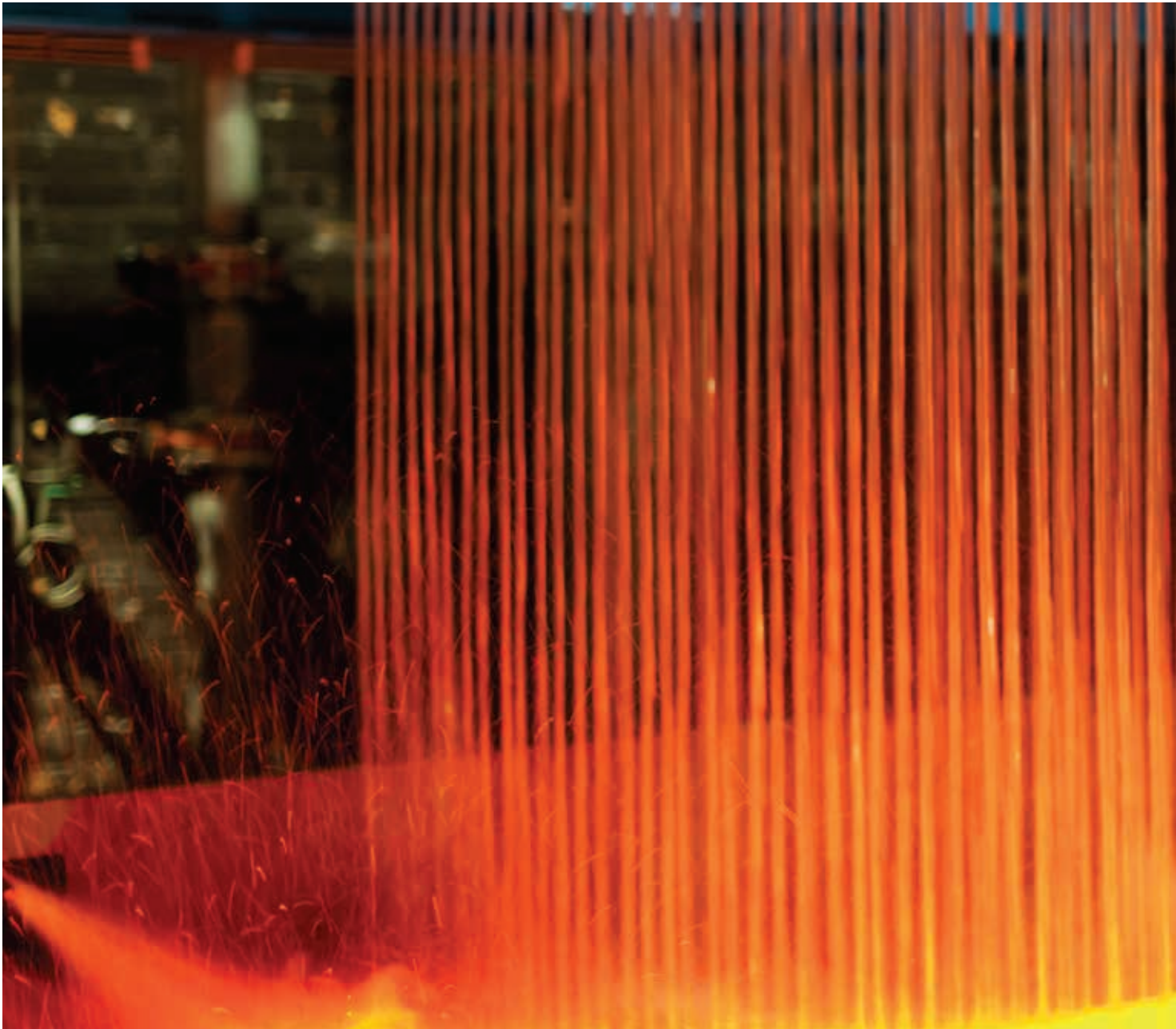
在一些应用领域，选择先进高强度钢可以避免在制造过程中使用回火炉，因此可避免对环境造成破坏。

在汽车行业，可通过减轻车辆重量来降低排放水平。但另一方面，由于对汽车安全性能的要求不断增长，车体内的关键安全部件就必须使用强度更高的材料。此外，还有许多工业产品可以通过在其设计中使用先进高强度钢来减轻重量，增强产品耐用性。

使用先进高强度钢时，钢板的冲裁和成形可能需要更大的力度。因此，我们显然需要具有更高硬度和延展性的模具钢。先进高强度钢的现状和未来发展趋势，促使我们进一步开发出模具钢所需的性能，以满足应用需求。

本指南介绍了在本出版物出版时取得的最新成果和最佳工作实践。其中的信息乃是基于长期的全面研究和测试，以及与诸多顶级客户紧密合作的结果。

瑞典钢铁集团的主要目的是提供详实的信息，帮助客户针对特定产品设计选择最佳的先进高强度钢和模具钢组合。



关于瑞典钢铁集团

概况

瑞典钢铁集团是增值型高强度钢的全球领导者。公司与其客户保持紧密合作，开发并生产更强大、更轻便、更环保的产品。瑞典钢铁集团在北欧和美国设有生产基地，并在全球50个国家设有业务机构。

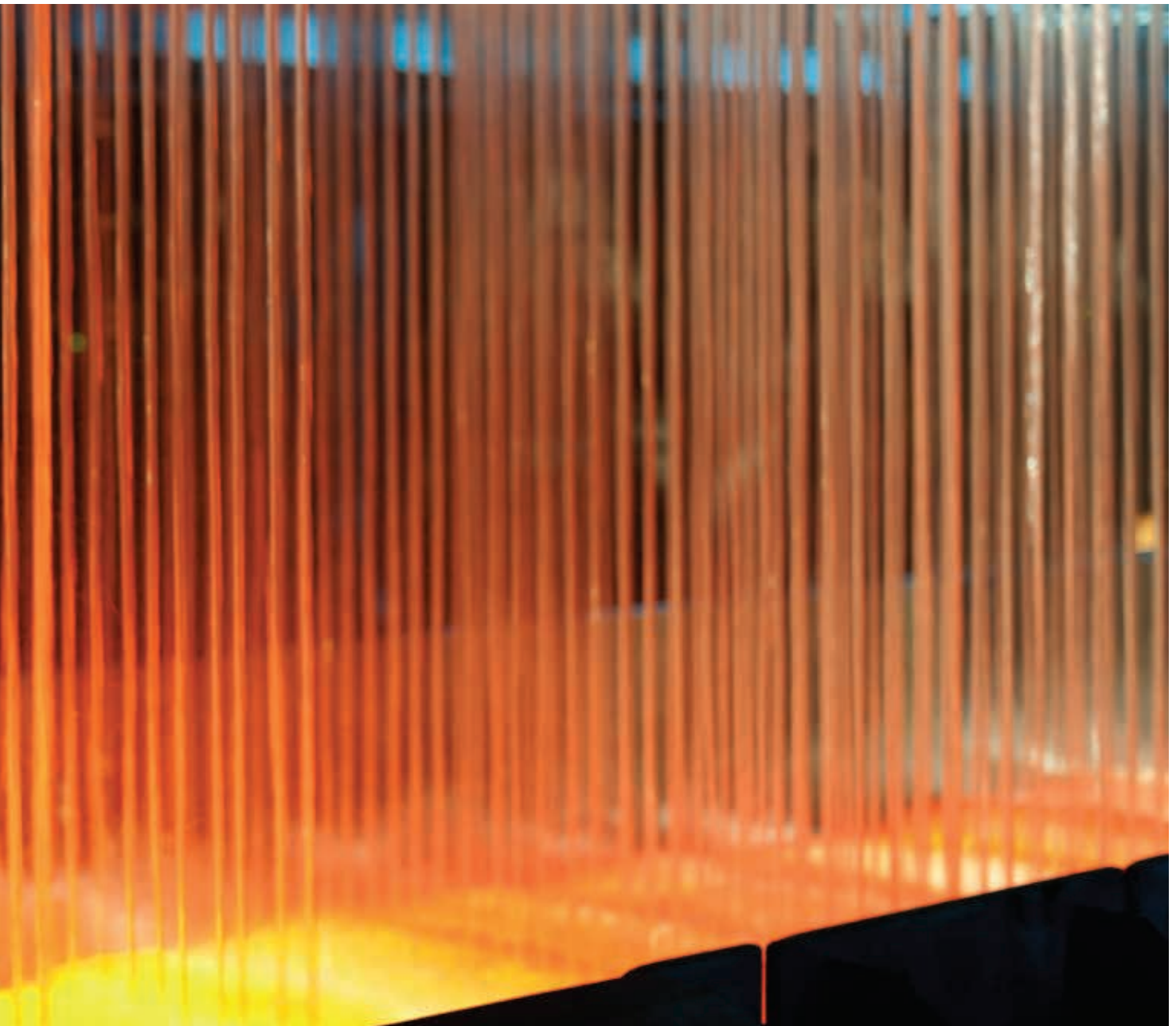
瑞典钢铁集团的知名产品品牌包括 Strenx、Hardox、Docol、GreenCoat、Armox 和 Toolox，其质量和增值服务在国际上得到广泛认可。我们以客户为中心，在应用开发之初便为开发市场所需创新产品提供支持。我们思想开明，真诚坦率，愿意与您分享我们的丰富经验和专业知识，为您提供在当前商务环境中难以获得的价值。我们的客户包

括知名原始设备生产商(OEM)，业务遍及众多对质量要求严苛的行业，如汽车、拖车、翻斗车、起重机、升降机、集装箱和农业机械等。

瑞典钢铁集团先进高强度钢及其为汽车行业带来的优势

在安全性、舒适性和耗油量方面，瑞典钢铁集团的先进高强度钢的质量更加出色，可为汽车行业带来更多优势。采用瑞典钢铁集团的先进高强度钢可以使结构重量更轻、安全性和性价比更高。

从具体应用的产品开发阶段开始，瑞典钢铁集团就为其汽车客户提



供支持，从而提高客户的竞争优势和赢利能力。例如，通过在安全组件中使用瑞典钢铁集团生产的最高强度钢替代软钢，重量可减轻50%。

为新应用开发和改进先进高强度钢，创建新的设计、成形和连接方法，是瑞典钢铁集团研发项目的核心。我们将大量投资于先进生产工艺的研发，从而确保能够获得高品质钢材。所有钢材基本具有相同性能，从而确保钢的尺寸、公差和内部特性始终如一。这一高质量水准不仅可降低废品率，同时也确保客户的生产连续性。薄板产品厚度范围：0.4 mm - 16 mm，最大宽度为1,600 mm。



钢板和模具钢

先进高强度钢

瑞典钢铁集团提供的先进高强度钢包括热轧、冷轧、热镀锌和电镀锌产品。例如，先进高强度钢可用于：

- 汽车上的安全部件
- 拖车
- 翻斗车
- 座椅部件
- 集装箱
- 起重机
- 火车
- 各种管材应用，如家具、自行车和童车等

使用何种类型的先进高强度钢取决于几个参数。最重要的参数取决于部件的几何形状以及成形和落料方法的选择。**表1**中列出了瑞典钢铁集团生产的部分先进高强度钢。

欲了解关于这些钢材类型的使用和加工方法的信息，请参阅瑞典钢铁集团的产品手册或浏览网站www.ssab.com

微合金钢

因添加了少量铌和钛等微合金元素，微合金冷成形钢具有较高强度。钢牌号的数字标明了最小屈服强度。这类钢材的屈服强度和抗拉强度之间的差异很小。相对于其屈服强度来说，这些牌号钢材的折弯性、冲压成形性和翻边性能十分优异，可焊性也很出色。

铁素体-贝氏体(FB)钢

铁素体-贝氏体(FB)钢的供态为热轧材料，均为热机械轧制。钢牌号的数字标明了最小屈服强度。

双相钢

双相冷成形钢的微观结构由两部分组成：铁素体和马氏体。铁素体为软质相，有助于实现良好的可成形性。马氏体为硬质相，有助于提高材料的

强度。随着硬质相马氏体的比例增加，强度也会增加。根据应用的不同，可以供应不同屈服比(YS/TS)的双相钢，其牌号中的数字表示最低抗拉强度。双相钢易于冲切和成形，并可采用传统的焊接方法进行焊接。

复相钢

复相钢的微观结构是铁素体/贝氏体基体中包含少量马氏体、残余奥氏体和珠光体成分。复相钢具有如下特点：高屈服强度、加工硬化性适中、折弯性能和翻边性能出色。复相钢牌号中的数字表示最小抗拉强度。复相钢的供态为热镀锌钢。

辊压成形钢

辊压成形钢的供态为冷轧和热镀锌产品。这一组钢主要针对以辊压作为成形方法的应用而设计。辊压成形钢具有如下特点：高屈服比(YS/TS)、高内部纯净度和均匀硬度分布的微观结构。这些特点最大限度地降低了零件扭曲和折弯开裂的风险，从而可以用辊压成形很小的圆角半径。

马氏体钢

马氏体钢包含100%的马氏体，具有极高屈服强度和抗拉强度。对于热轧材料，钢牌号中的数字表示最小屈服强度；对于冷轧材料，钢牌号中的数字表示最小抗拉强度。

供货规格

厚度：	Docol	0.50-2.10 mm
	Docol-GI	0.50-3.00 mm
	Docol HR	2.00-12.00 mm
最大宽度：	Docol	1,500 mm
	Docol-GI	1,500 mm
	Docol HR	1,600 mm

实际最大宽度取决于钢牌号和材料厚度，其他厚度的钢材按需供应。



钢材类型	钢牌号	CR/HR	UC	EG	GI	GA	ZA
高强度低合金钢	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		
双相钢	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
	Docol 1000 DP	CR	x	x			
	Docol 1000DPX	CR			x	x	x
	Docol 1000LCE	CR	x	x	x		
复相钢和铁素体-贝氏体钢	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			
马氏体钢	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				

表1: 本表中仅显示瑞典钢铁集团的部分高强度钢产品。

除了广泛供应满足汽车行业原始设备生产商标准的多种牌号高强度钢外, 瑞典钢铁集团还生产软钢和低牌号的高强度钢。

模具钢

成形和冲切工序的特性

高硬度是对冷作应用中使用的模具的典型要求，这是因为要成形的加工材料通常较硬。因此，只有较高硬度才能防止模具塑性变形和/或严重磨损。

但是高硬度会产生负面影响——导致模具材料更脆。

适用于冷作应用的模具钢必须具有高耐磨性、足够的抗压强度、韧性/延展性等，详述如下：

- 高耐磨性可以延长模具寿命，减少模具维护的停工次数/时间。
- 足够的抗压强度可以避免模具表面在使用过程中产生塑性变形。
- 足够的韧性/延展性可以避免模具过早开裂和崩刃。

高耐磨性不只是硬度问题。在通常情况下，适用于冷作应用的模具钢产品系列还含有硬质碳化物，从而提高耐磨性。这些碳化物是碳和铬、钒、钼、钨等元素生成的化合物。一般说来，碳化物分布越广、颗粒越大、硬度越高，为模具钢赋予的耐磨性也就越出色。但是，硬度高会带来负面结

果：材料对微小缺口十分敏感。这些大的碳化物往往会在疲劳工况下形成裂纹源，而绝大多数模具的断裂失效都是由疲劳裂纹造成的。

当材料受到交替/脉动负载时，会产生疲劳裂纹，疲劳裂纹可分为裂纹萌生阶段和裂纹扩展阶段。裂纹萌生通常发生在微小缺口处，由于应力集中，模具局部的应力会成倍增加。硬度越高，应力集中就越明显。高硬度的典型情况还表现在，只要裂纹一萌生，整个模具开裂的速度就会变得非常快。

一般来说，用于冷作应用时，尤其是冲切硬质工件材料时，必须最大限度地减少裂纹萌生缺陷。与此同时，还必须保留钢材的耐磨性，这需要基体金相中存在高硬度和硬质颗粒。

微小缺口等裂纹萌生的瑕疵并不一定是由于碳化物引起的，大块的夹渣、模具表面的瑕疵以及高硬度处尖角也可能是疲劳负载下的裂纹萌生源。基于这一原因，冶金工艺的纯净度以及模具或模具设计的表面光洁度将会极大影响模具性能。**表2**列出了适用于先进高强度钢的 Uddeholm 模具钢产品系列。

钢牌号 Uddeholm	冶金类型	AISI/W.-Nr.	化学成分(重量%)						
			% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% W	% V
Sleipner	传统	-	0,90	0,90	0,50	7,80	2,50	-	0,50
Sverker 21	传统	D2/1.2379	1,55	0,30	0,40	11,30	0,80	-	0,80
Calmax	传统	-/1.2358	0,60	0,35	0,80	4,50	0,50	-	0,20
Unimax	电渣重熔	-	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	粉末冶金	-	1,40	0,40	0,40	4,70	3,50	-	3,70
Vanadis 8 SuperClean	粉末冶金	-	2,30	0,40	0,40	4,80	3,60	-	8,00
Vancron SuperClean	粉末冶金	-	3,00 ¹⁾	0,50	0,40	4,50	3,20	3,70	8,50

1) %(C+N)

表2：适用于先进高强度钢的 Uddeholm 模具钢产品系列。

传统冶金技术

制造传统的高合金模具钢时，使用大块钢锭意味着钢液固化速度缓慢，这样往往产生粗大的网状碳化物。轧制或锻造之后，这些网状碳化物会在模具材料中形成粗大的带状碳化物。这些带状碳化物有助于提高耐磨性，但是会对模具材料的机械强度产生不良影响，尤其是在疲劳负载时。为降低网状碳化物带来的不良影响，必须平衡其中的化学成分，从而减少甚至完全消除网状碳化物，同时通过提高基体硬度来弥补损失的耐磨性能。

另外一种办法是开发新的冶金工艺，使碳化物颗粒变小并均匀分布，从而降低对疲劳强度的不良影响，同时还可防止模具磨损。

与传统冶金技术相比，Uddeholm使用两种改变现状的冶金工艺，即：

- 电渣重熔(ESR)
- 粉末冶金技术(PM)

下面介绍这两种冶金工艺。

电渣重熔冶金技术

电渣重熔是广为人知的冶金工艺，将采用传统工艺生产的钢锭连续重熔成少量钢液。由于少量钢液比大量钢液的凝固速度要快得多，所以碳化物在凝固之后的生长时间更短。这种重熔工艺会使钢的均匀性增加，碳化物尺寸减小。此外，该工艺需要使用电渣过滤器，因此可极大提高钢的纯净度。

粉末冶金技术

在粉末冶金工艺中，使用氮气将熔化的钢雾化成小液滴或颗粒。这些小颗粒会快速凝固，只有极少的时间供碳化物生长。在高温高压条件下，这些粉末颗粒在热等压设备中被压缩成新的钢锭，随后使用传统方法将钢锭轧制或锻造成钢坯。由此形成的结构为微小碳化物颗粒均匀分布的完全各向同性钢。这些碳化物颗粒不会成为裂纹萌生源，却可防止模具磨损。

而大块夹渣却可能成为裂纹萌生源。因此，粉末冶金工艺也在分阶段不断改进，以提高钢的纯净度。如今，Uddeholm的粉末钢已发展至第三代，被认为是市场上最纯净的粉末冶金模具钢产品。

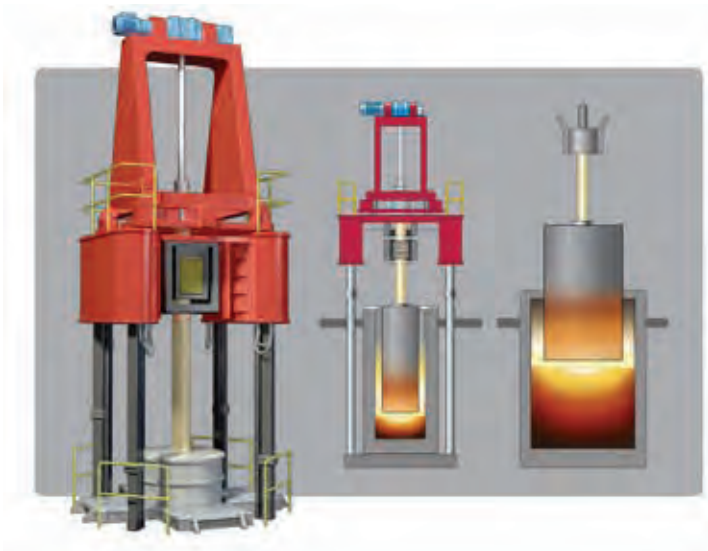


图1：电渣重熔冶金技术。

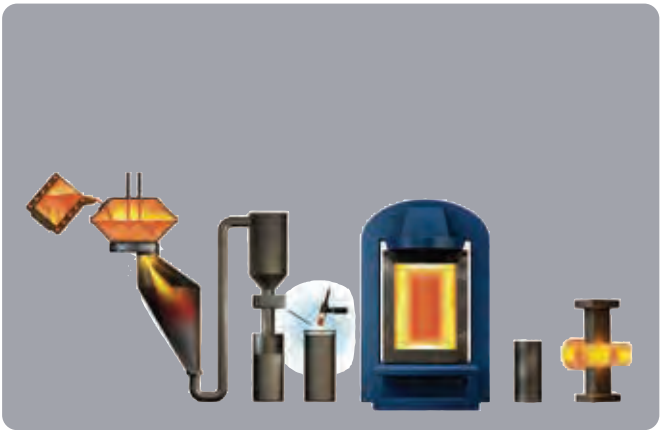


图2：粉末冶金技术。

模具钢选择指南

概述

如所有工业制造工艺一样，在钣金零件成形和冲切工艺中，无故障生产非常重要。图3中显示了从模具设计到模具维护的整个链条(包括许多不同的步骤)。

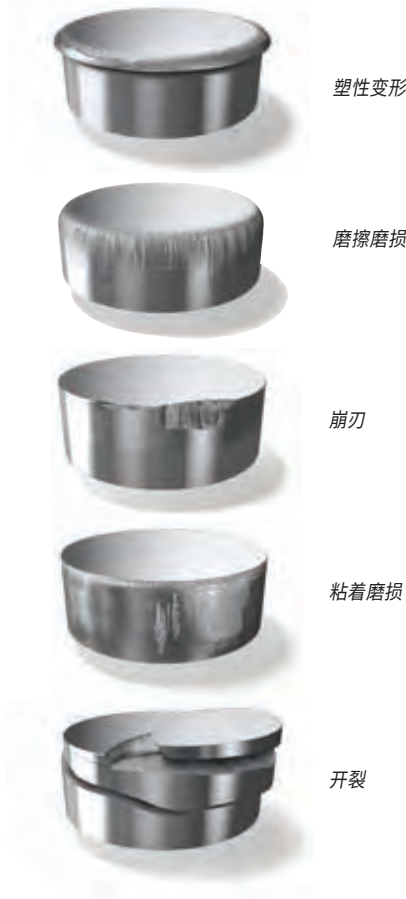


图3
从模具设计到模具维护的工序步骤。

要获得良好的生产效率和模具经济效益，必须选择正确的模具钢，并且正确执行链条中的所有步骤。

要选择适合自己应用的合适模具钢，必须找出可能导致模具过早失效的机理。在成形和冲切工艺中，主要有五个失效机理：

- 塑性变形，当工作应力超过模具材料抗压强度(硬度)时会出现。
- 摩擦磨损，与冲压工序，模具材料，以及模具和钢板之间的滑动接触产生的摩擦力相关。
- 崩刃，当工作应力超过模具材料的疲劳强度时会发生。
- 粘着磨损，由于滑动接触以及模具材料本身的粘着特性产生极大的摩擦力，进而造成磨损。拉毛与粘着磨损密切相关。
- 开裂，当工作应力超过模具材料的断裂韧性时会发生。



塑性变形、崩刃和开裂是自产生的失效，会造成严重且成本高昂的生产混乱，因此必须尽可能地避免。相对而言，磨损和粘着是可以预测的，在一定程度上，可以通过模具维护来应对。因此，在选择模具材料时，宁可牺牲一些抗磨损性能，也要避免崩刃和开裂的情况发生。

成形时必须超过钢板的屈服强度，冲切时必须超过钢板的剪切断裂强度。这意味着，采用先进高强度钢板的成形和冲切工艺时，成形或冲切所需的力量要大于相同厚度的较软钢板。

同样，对模具材料的耐磨性和机械强度的要求会增加。冲切工艺对此更为敏感，因为它要求磨具材料同时具有高耐磨性、高抗粘着性、高抗压强度、高抗崩刃和高抗整体开裂性能。相对而言，成形工艺主要要求模具材料具有高耐磨性、高抗粘着磨损性和高抗压强度。

此外，还必须改变模具间隙。用抗拉强度为1,200-1,400 MPa的材料进行落料/冲孔时，会引发冲击震动并产生不同的毛刺。另见图3。

先进高强度钢成形也意味着成形性的降低、回弹和起皱趋势的提高。采用此类新型先进高强度钢材时，模具作业环境也相应变得更为复杂和苛刻。

如果模具钢选择不当，较高强度钢产品的成形和冲切工序会导致模具表面快速磨损或产生裂纹。这意味着在先进高强度钢成形和冲切作业中，不能根据过去使用较软的低碳薄钢板的经验来选择模具钢和涂层工艺，而必须利用最新的技术创新成果来提升经济效益。

表3针对适用于先进高强度钢应用的Uddeholm产品系列对不同类型的模具失效机理的抗性进行了相对比较。

钢牌号 Uddeholm	AISI	硬度 / 抗塑性变形	耐磨性		抗疲劳裂纹萌生	
			磨擦磨损	粘着磨损	延展性 / 抗崩刃	韧性 / 抗整体破损
Calmax	-					
Caldie	-					
Sleipner	-					
Sverker 21	D2					
Unimax	-					
Vanadis 4 Extra*	-					
Vanadis 8*	-					
Vancron*	-					

表3: 针对先进高强度钢之建议模具钢在冷作应用中，对不同类型模具损坏的抗性的对比。

*Uddeholm 超纯净粉末冶金模具钢。

成形工序

概述

瑞典钢铁集团生产的先进高强度钢具有良好的成形性，无论其强度高，均可使用传统方式成形。与软钢相比，其成形性稍逊一筹，但总是可以通过修改组件的设计或成形工艺得到弥补。模具中采用可促进材料流动的较大半径以及优化的板料形状，可以帮助先进高强度钢更易成形。图4显示了一个将这些设计问题加以考虑的典型例子，它表明使用 Docol 1200 M 可以冲压一个非常复杂的零件。与软钢相比，先进高强度钢的成形性较低，见图5。



图4：SUV 汽车的电池托架，用 Docol 1200 M 冲压。



图5：分别为拉深成形和拉延成形的最大拉深杯高度和杯突高度。钢牌号分别为(从左到右)：CR5、Docol 600 DP、Docol 800 DP、Docol 1000 DP、Docol 1200 M 和 Docol 1400 M。

高强度钢的回弹效应大于较软材料。有几种方法可减少回弹，例如：

- 过弯
- 增加压边力
- 使用整形工艺
- 使用拉延筋
- 在零件的平面和弯曲圆角处增加加强筋
- 优化板料坯料形状

在接下来的内容中，我们将介绍折弯、辊压成形、冲压和翻孔等成形工序，以及使用有限元法(FEM)分析模具负载和粘着磨损，同时还提出了表面处理和模具钢选择方面的建议。

折弯

在折弯软钢时，形成的内半径主要由凹模宽度而非弯曲凸模半径决定。与之相反，高强度材料由弯曲凸模半径决定，形成的内半径与凹模宽度没有多大关联。因此，高强度钢可以使用较大凹模宽度，但不影响所需内半径。这对弯曲力以及模具磨损有很大影响，而当凹模宽度增加时，两者都会减小。

在将较软钢转换成高强度钢板时，板料厚度通常会减少。因此，弯曲力可能保持不变，因为强度更高时，厚度会相应减小。

辊压成形

辊压成形工艺特别适用于先进高强度钢。试验表明，与传统弯曲工艺相比，使用辊压成形工艺明显可以获得小得多的半径。

冲压

冲压力会随着板料强度增加而增加。一般来说，高强度材料也需要较高的压边力才能防止起皱。模具中的局部高表面压力对于模具材料和模具表面性能提出很高的要求(另见“概述”)。

翻孔

高强度钢板的翻孔性能弱于软钢。因此，尽可能优化工序就变得更加重要，例如，在与翻边方向相反的方向冲孔。这样毛刺就位于承受张力最小的孔内侧。在冲孔之前预成形是取得更高翻边高度的另一种方法。



图6：复杂的冲压模具。

模具负载和粘着磨损的FEM分析

在选择模具钢时，使用有限元法(FEM)进行数值模拟极有帮助。模具钢选择的一个重要问题是，板料在成形时如何避免拉毛，而这通常是板料成形中主要的破坏方式。拉毛的主要原因是凹模和板料之间的接触压强太高。有限元法可以用来计算特定模具和钢板组合的接触压强。图7a是采用有限元法模拟的一个例子，显示了计算接触压强的方法。从该计算中，我们可以了解到模具钢必须承受的模具压力水平，并可以根据计算结果来选择模具钢。

选择合适的模具钢和表面处理可以提高粘着磨损的极限压强，从而允许成形更高强度的板料和/或更苛刻的几何形状。高氮粉末冶金模具钢 Uddeholm Vancron SuperClean 具有比传统模具钢更高的抗粘着磨损性能。在模具中使用 Vancron SuperClean 材料时，成形 Docol HR 700 LA 和 Docol 1000DP 时的接触压力极限压强大约为 1,600 MPa。根据经验，采用 Vancron SuperClean 作为模具钢材料时，粘着磨损的极限压强约为其屈服强度的 2.6 倍。但使用 AISI D2 等传统模具钢材料时，粘着磨损的极限压强则只是屈服强度的 1.2 倍。这适用于成形强度最高 Docol 1000DP 的板料，但如果超过此强度，温度将会升高，润滑油膜也不能再承受压力。基于目前掌握的知识，图 7b 中描述了使用 Uddeholm Vancron SuperClean 的粘着磨损极限的建议。

影响粘着磨损极限的其他重要因素包括润滑剂的选择、模具的表面粗糙度以及滑动速度。这里提到的因素之所以会影响粘着磨损极限，是因为它们都会影响温度，而温度应尽可能低才能避免粘着磨损。

极限压强可与有限元模拟相结合，用于预测某个应用(具有特定几何形状)是否在使用传统模具钢时产生足够低的接触压强，或者是否必须使用类似于 Vancron SuperClean 的更先进的模具钢。但是，如果凹模表面处理不到位，可预测足够低压力的模拟也不能保证一定成功。另一方面，如果预测的接触压力正好高于极限，则增加润滑、进一步降低表面粗糙度或降低成形速度就可以防止粘着磨损。

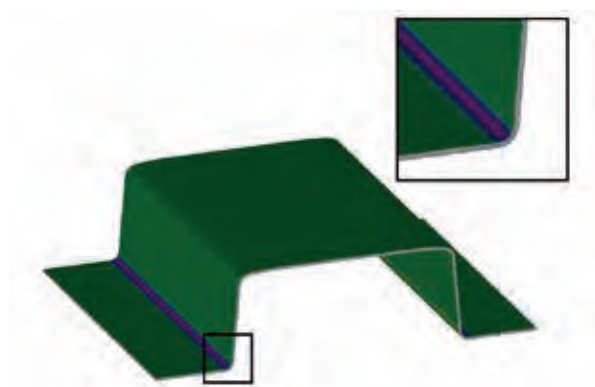


图7a: 采用1.5 mm的Docol 1000DP拉深成形的帽型件冲压时的接触压强计算概览。

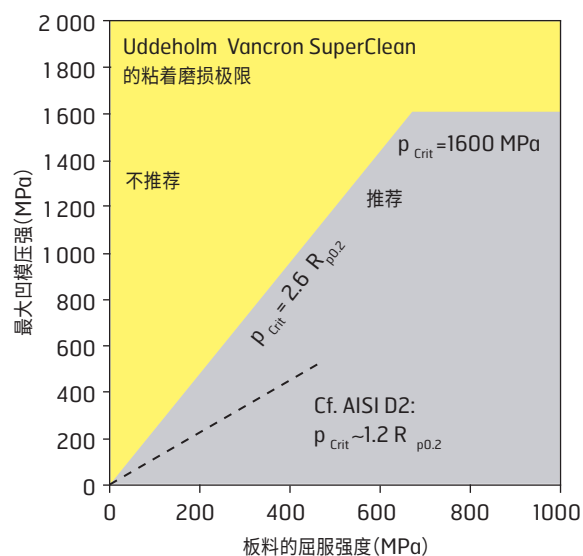


图7b: 基于应用测试和有限元法模拟，无涂层 Uddeholm Vancron SuperClean 成形碳钢的粘着磨损极限的建议。为进行对比，图表中还列出了无涂层 AISI D2 模具钢的大致粘着磨损极限。

成形工序中的模具钢选择和表面处理

在成形工序中，拉毛、粘着磨损和塑性变形是最常见的失效机理。先进高强度钢(或高强度的更厚板料)成形意味着，由于屈服强度更高，所需的冲压力也更高。

未来将需要具有更好抗粘着磨损性能的成形模具，因为更多高强度板料的使用、更高的冲压速度、工序更少的级进模的使用以及更环保(但通常效果更差)的润滑剂的使用是大势所趋。表面处理，如成形模具上的PVD、CVD和TD涂层，是防止粘着磨损的有效方法。

模具钢的选择和成形先进高强度钢板采用的涂层工艺主要取决于：

- 钢板的强度
- 钢板的厚度
- 钢板是否带有涂层
- 成形工序的复杂程度
- 需生产的零件数量

目前，成形先进高强度钢的经验还非常有限。但是，对2 mm Docol 600 DP–1000 DP进行的一些初步测试表明：

• 模具硬度

模具硬度须大于58-59 HRC才能防止磨损、粘着和塑性变形。

• 模具表面粗糙度

使用中的模具表面应具备良好的表面光洁度($R_a \leq 0.2 \mu\text{m}$)。

• 无涂层传统模具钢

这些模具钢不能满足无涂层钢板的冲压模具要求。但是，它们可能适合用于厚度较薄、强度较低的高强度钢板材料的简单成形工序。

• 等离子渗氮传统模具钢

在长生产周期中，由于氮化层的剥落，此类模具钢并未表现出足够的抗粘着磨损性能。但是，它们可能适合用于厚度较薄、强度较低的高强度钢板材料的简单成形工序。

• PVD涂层的模具

在硬度够高(> 58 HRC)的基体钢材表面涂覆PVD涂层(如CrN或TiAlN)，是一个可避免粘着磨损的解决方案。

• CVD或TD涂层的模具

处理得当的CVD或TD涂层模具也可以避免粘着磨损。



• Vancron 40成形模具

Uddeholm Vancron SuperClean是一种高性能氮合金化PM钢，显示了极好的工业应用测试结果。由Uddeholm Vancron 40 SuperClean制造的成形模具(表面光洁度为 $R_a \leq 0.2 \mu\text{m}$)通常比带涂层模具性能更佳。

表4a列出了适合用于先进高强度钢成形的模具钢。该表格中的数据源自迄今为止掌握的情况，但仍会继续进行测试并定期更新。其中提及的模具钢牌号可用作单个整体模具，或者作为镶件与普通模具材料配合使用，具体情况视模具的尺寸和成形的难度而定。

如上所述，模具需要一定的表面处理和表面涂层才能获得良好的性能。因此，涂层具有防磨损的作用(Uddeholm Vancron SuperClean除外)，而模具钢则是涂层的基体。由于基体材料用于支撑极易破碎的涂层，所以必须具有足够的抗压强度和硬度。另外，涂层工艺带来的尺寸变化必须微不足道或可以预测，方能实现所需的模具公差。最后，基体材料必须能够承受高应力下的多次循环负载，即需要高疲劳极限。

为给对使用寿命有不同要求的模具钢选择提供一些指南，表4b中列出了不带涂层和带涂层的实际模具钢牌号的相对排位。如果是离子渗氮的情况，则其中一个因素是延展性严重退化。针对实际牌号进行了渗氮至50 μm 硬化层深度后的延展性对比。由于Uddeholm Vancron SuperClean在使用时未做任何表面处理，因此它比其他牌号的排位要靠前得多。

板料强度 (MPa)	Uddeholm 模具钢牌号 / AISI / W.-Nr.	表面处理 / 涂层		基体硬度 (HRC)
		类型	寿命要求	
350-570	Calmax/-/1.2358 Unimax Sverker 21/D2/1.2379 Caldie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	渗氮/PVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD 无需涂层	中期 中期 中期 中长期 中长期 长期 长期 全部	> 58
>570-800	Calmax/-/1.2358 Unimax Sverker 21/D2/1.2379 Caldie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean Vancron SuperClean	Duplex(渗氮+PVD) PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD PVD/CVD 无需涂层	全部 全部 全部 全部 全部 全部 全部 全部 全部	> 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 无需涂层	全部 全部 全部 全部 全部	> 60

表4a: 适用于先进高强度钢成形的模具钢。

Uddeholm 模具钢牌号	不带涂层					带涂层		离子渗氮
	耐磨性			抗性		基体材料特性		
	磨擦磨损	粘着	拉花	崩刃 / 开裂	塑性变形	疲劳极限	涂覆后的尺寸稳定性	渗氮至50 μm深度后的延展性
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**

*) 不带表面处理的Uddeholm Vancron SuperClean

**) 不带表面处理

表4b: 此表显示了带和不带表面涂层的模具钢牌号的相对性能等级。相对值为1-10, 其中10为最佳。

冲裁工序

概述

在特定生产条件下，就模具钢选择给出结论性建议是比较困难的，因为即使不同工厂生产同一零件，其生产条件也千差万别。在选择模具钢时，最好的方法是根据以前使用相同或相似生产设备的生产过程中获得的经验进行选择。

对于先进高强度钢，目前积累的经验还很少。此前曾提到过，不要根据以往使用 AISI A2 或 D2 等标准以及较软生产材料中所取得的经验来选择模具钢，这是非常重要的。请记住，在对先进高强度钢进行落料和冲孔作业时，有更适合于模具的新型模具钢可供选择。

在落料和冲孔作业中，主要失效机理通常是磨损、崩刃和粘着磨损。这些失效机理受以下因素的影响：

- 生产材料的强度
- 生产材料的厚度
- 设计特性，如小圆角半径
- 生产零件的几何形状
- 需生产的零件数量

模具必须具有足够的硬度才能防止冲切时刀口塑性变形。另外，还要特别注意模具的表面质量，以防止由于崩刃或裂纹而造成的过早失效，还要注意防止粘着磨损。

在接下来的内容中，我们将介绍**冲裁工序**，如落料、冲孔、切边和剪切。同时也提出了表面处理和模具钢选择方面的建议。

落料和冲孔

冲切断面外观

常用的落料和冲孔方法会产生由圆角带、光亮带、断裂带和毛刺组成的断面。高强度钢的光亮带比软钢小，毛刺高度则会随抗拉强度的增加而减小。

模具的冲裁间隙是取得良好边缘质量的重要因素。在“**模具冲裁间隙**”一节中，我们介绍了如何选择模具冲裁间隙。

模具间隙

模具间隙是凸模与凹模之间的径向距离，见**图9**。

冲切断面通常由**图8**所示的四个部分组成。与软钢的落料/冲孔相比，模具间隙的选择对模具寿命的影响更大。不过高强度钢形成的毛刺更小，改变模具间隙也不会对它产生明显的影响。圆角带和断裂带会随着模具间隙的增加而增加，但要小于软钢。**图10**显示了适用于落料和冲孔的推荐模具间隙。

在**图11**中，用6%和14%模具间隙在 Docol 1400 M 上冲孔看到的冲切断面。

一般来说，在对先进高强度钢进行落料和冲孔时，最好使用较大模具间隙。但是，对于强度最高的钢板，太大的模具间隙可能是一个缺点。我们将在后面介绍。

在对抗拉强度达到1000 MPa的钢材进行落料/冲孔时，较小的模具间隙会在模具上留下大量粘着磨损。太大的间隙使模具磨损减少，但会在板件上产生更多的弯曲或圆角，从而造成断面质量更低。这正是所需板件断面质量为什么影响模具间隙选择的原因。**图12**显示了模具磨损和模具间隙之间的关系。

在对强度最高的材料进行落料/冲孔时，太小的模具间隙也会在模具上留下一些粘着磨损，但主要磨损机理为磨擦磨损。由于材料强度的原因，对于模具间隙的大小是有限制的。太大的模具间隙会在凸模边缘产生高弯曲应力，这会增加崩刃风险，见**图13**。对于屈服强度与抗拉强度之间差异较小的板料(如在马氏体钢 Docol M 产品系列中)，这尤其重要。

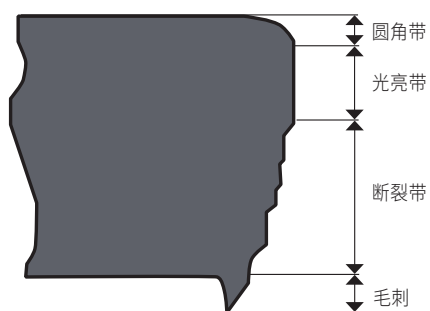


图8: 冲切断面的外观。

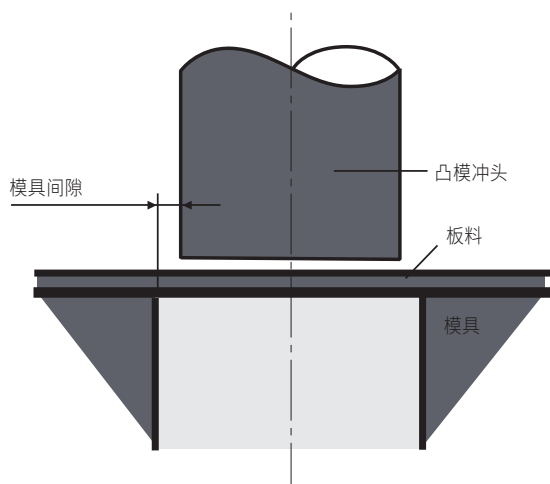


图9: 模具间隙的定义。

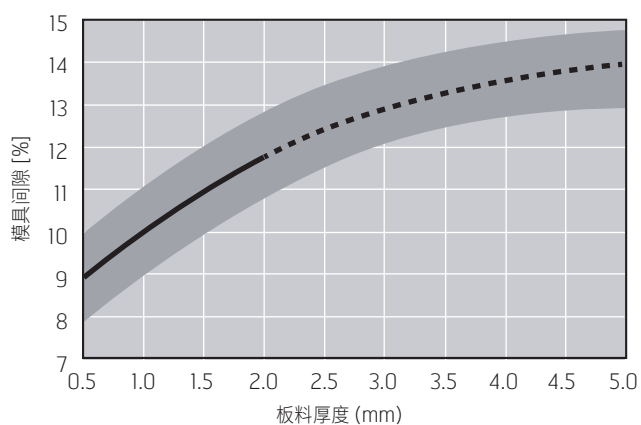


图10: 落料、冲孔先进高强度钢的推荐模具间隙。

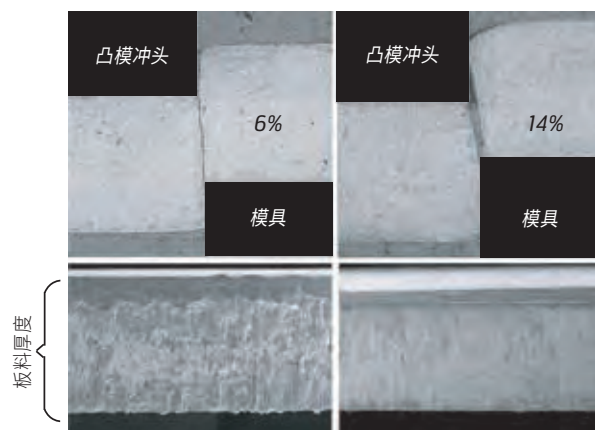


图11: 用不同模具间隙冲裁的断面。

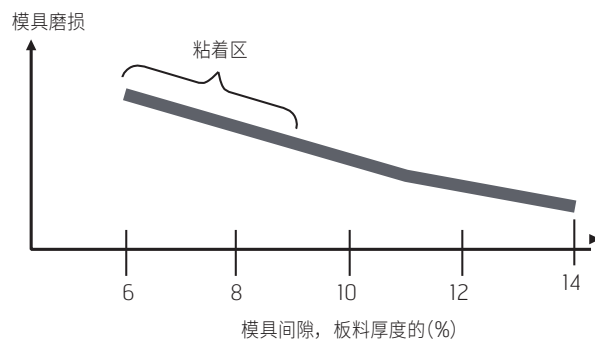


图12: 在 Docol 800 DP(板料厚度为1 mm)上落料时模具磨损和模具间隙之间的关系。

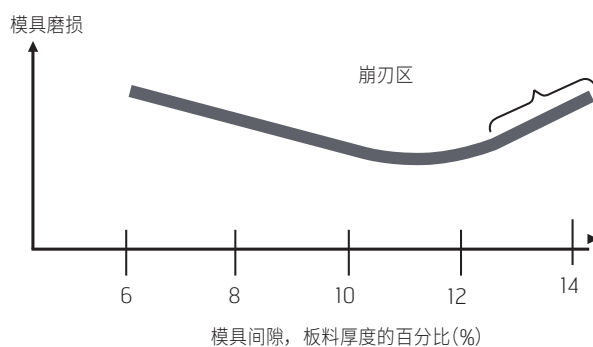
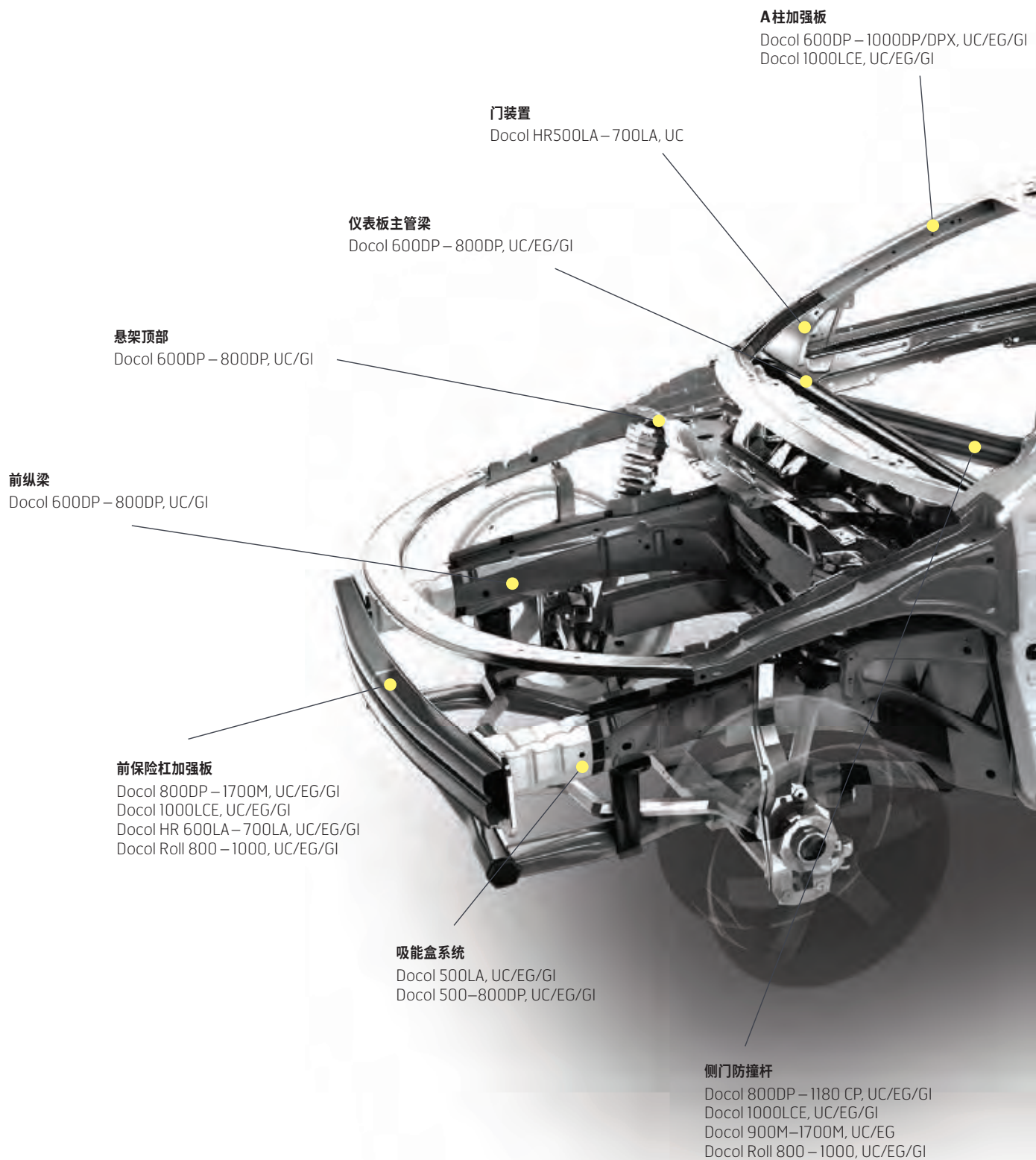


图13: 在 Docol 1400 M(板料厚度为1 mm)上落料时模具磨损和模具间隙之间的关系。

通常用于制造汽车零部件的Uddeholm 模具钢牌号为Caldie、Sleipner、Vanadis 8 SuperClean、Vanadis 4 Extra SuperClean和Vancron SuperClean。其他模具钢牌号的使用取决于设计、钢板型号和厚度等因素。



侧围上部加强板

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

顶盖横梁

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

C柱加强板

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

B柱加强板

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

地板横梁

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

座椅横梁

Docol 1500M-Docol 1700M, UC/EG

门槛加强板

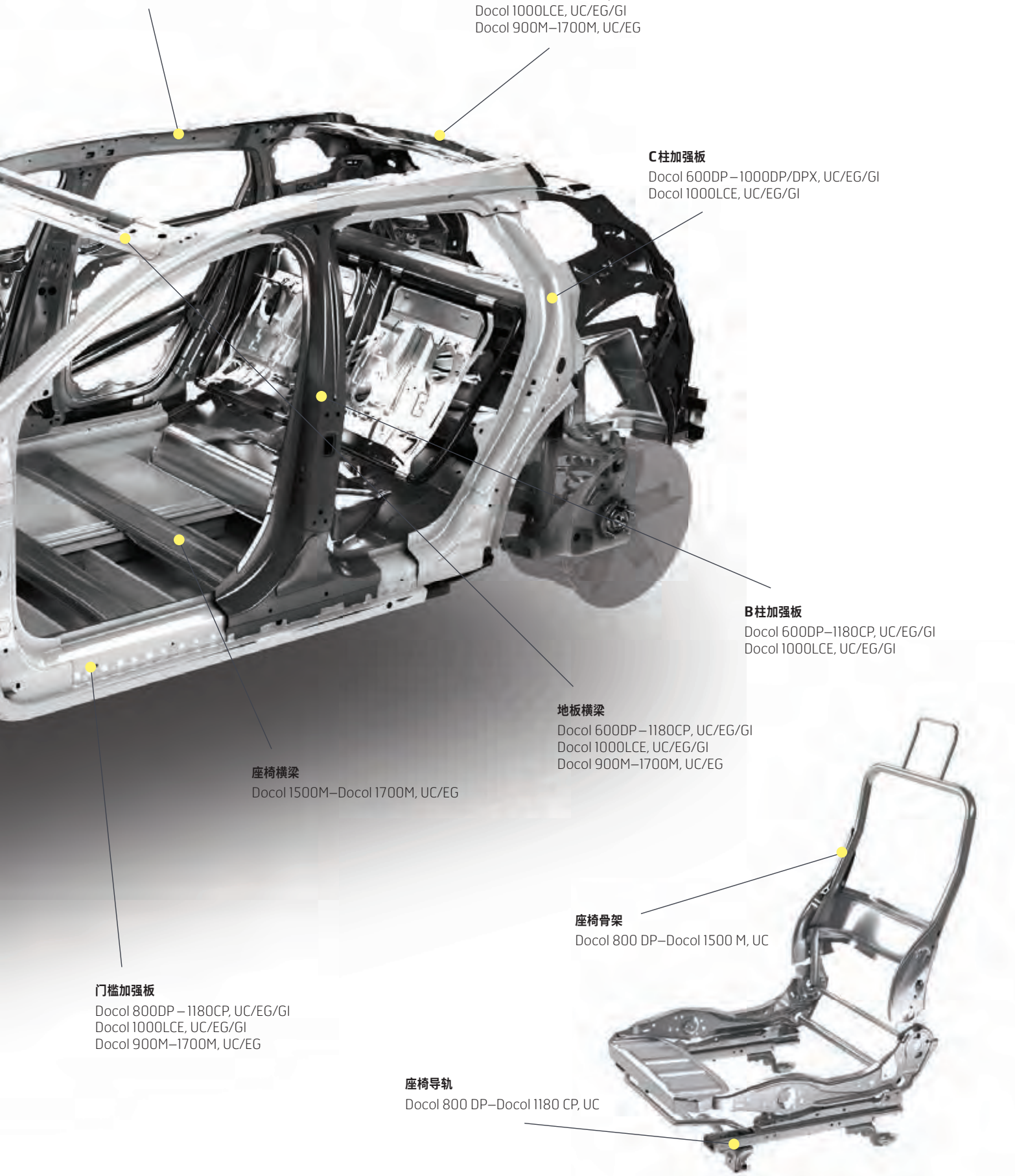
Docol 800DP-1180CP, UC/EG/GI
Docol 1000LCE, UC/EG/GI
Docol 900M-1700M, UC/EG

座椅骨架

Docol 800 DP-Docol 1500 M, UC

座椅导轨

Docol 800 DP-Docol 1180 CP, UC



落料和冲孔力

需要的落料/冲孔力与钢板强度、钢板厚度以及落料和冲孔轮廓长度成正比。在图14中，显示了在1 mm厚的先进高强度钢板上用10% 模具间隙冲孔 $\varnothing$ 5 mm时的冲孔力变化情况。在对最硬的先进高强度钢进行落料/冲孔时，落料/冲孔力可能非常高。但是，减小板料厚度通常会抵消落料/冲孔力的增加。

在对全马氏体钢Docol M等级进行落料/冲孔时，力度较高，而板料延展性较低。这就意味着可能产生反冲或后坐力。如图14所示，实验中观察到了这种快速变化力的振幅。反作用力会对模具局部区域产生应力，会导致一段时间过后出现疲劳裂纹。图15显示了这种情况。为避免生产波动，应考虑高落料/冲孔力和尖锐的圆角半径、模具的表面抛光状态对装置的影响。

对强度较低的先进高强度钢进行落料/冲孔时，板料较高的延展性更高，会降低模具中疲劳和裂纹的影响。基于这一原因，在对强度最高的先进高强度钢进行落料/冲孔时，应重点关注产生的反作用力，以及如何减小这些力。试验显示了模具间隙对落料/冲孔力的影响不大。但是，随着模具冲裁间隙的增大，冲裁/冲孔力会有所减小。通常，当模具冲裁间隙增大时，可能会减小3%–5%的落料/冲孔力。

减小落料/冲孔力

使用正确的冲裁/冲孔参数是非常重要的。“**模具冲裁间隙**”中介绍如何选择落料/冲孔时的模具冲裁间隙。为避免在一道工序中对多个孔进行落料/冲孔时出现同时落料/冲孔，可以采用不同长度的凸模，这会减小所需的落料/冲孔力。否则，这种力度可能是非常大的。为凸模涂覆涂层不是减少冲裁/冲孔力的有效方式。相反，如图18所示，落料/冲孔力可能会增加。带涂层凸模之所以产生更大的落料/冲孔力，是因为凸模末端表面和板料表面之间的摩擦力更小。摩擦力小使得板料更难萌生裂纹，这会增加落料/冲孔力。落料/冲孔力增加会催生模具上的疲劳裂纹。当开始出现裂纹时，涂层会快速脱落。减小落料/冲孔力最有效的方式是在冲孔模具上加工出倒角。

最佳办法是加工出对称倒角，以免冲孔模具上负载向一侧倾斜。倒角也可以降低噪音。图16和17显示了给冲孔模具倒角的不同方式。图18显示了如何使用具有对称倒角的冲孔模具减少落料/冲孔力。

落料与冲孔力 [N]

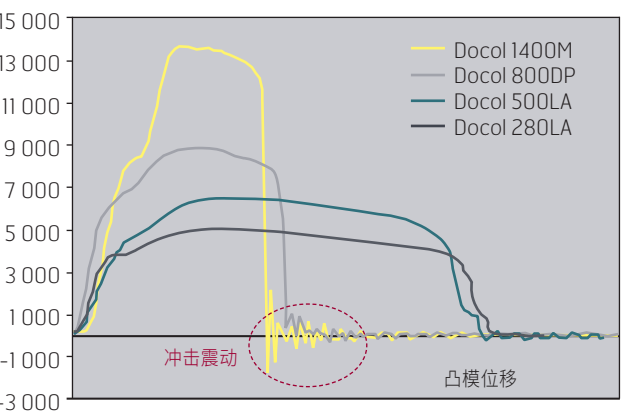


图14: 对先进高强度钢进行冲孔时的冲裁力。

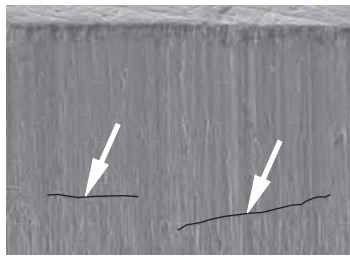


图15: 疲劳裂纹。

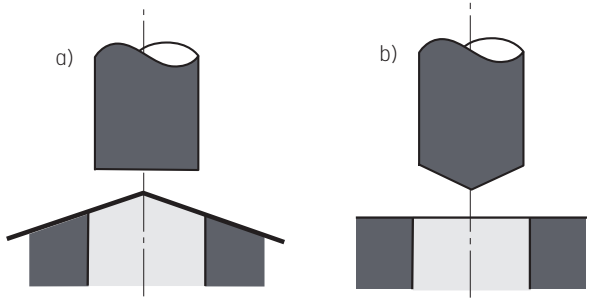


图16: 用于a)落料和b)冲孔的倒角刀口。

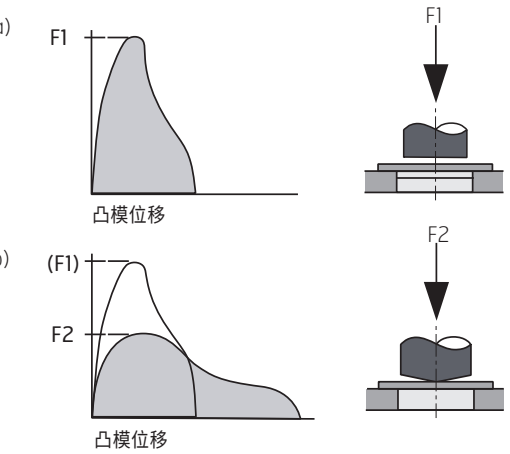


图17: 落料/冲孔力与凸模位移之间的关系 a) 平面凸模或 b) 倒角凸模。

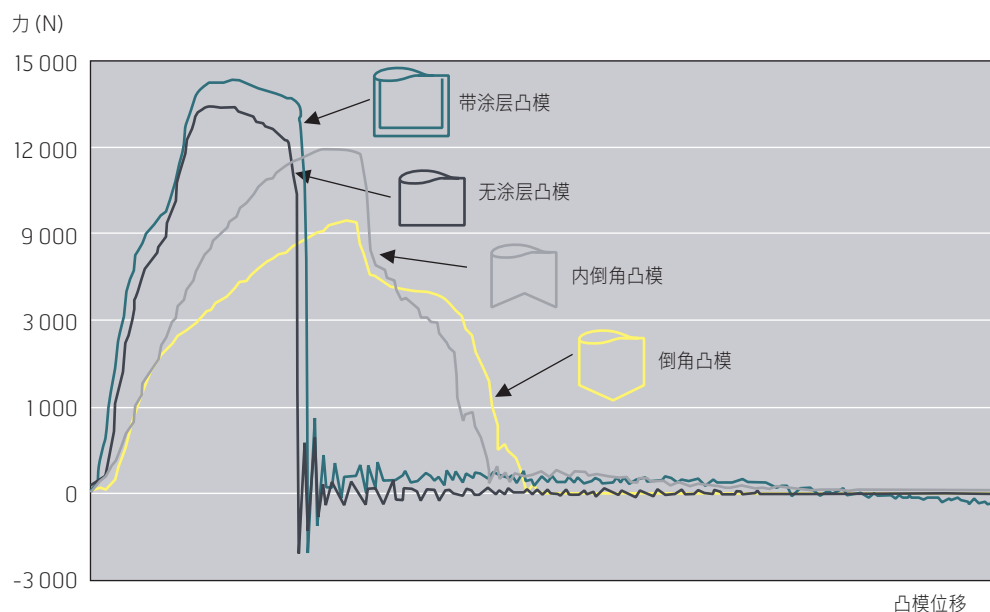


图18: 在1 mm厚的Docol 1400 M上用10%模具间隙冲孔 $\varnothing 5$ mm时的落料/冲孔力。

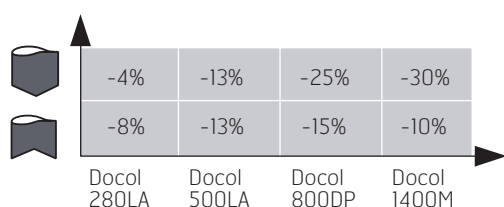


图19: 不同类型凸模倒角(倒角高度为板料厚度的0.7倍)落料/冲孔力减小的百分比。



图20: 具有中部小平面的倒角凸模。

对于倒角为板料厚度0.7倍的Docol 1400 M来说,可以减小30%冲裁力。倒角凸模效果的大小取决于板料,如图19所示。在落料/冲孔软钢时,要想更大程度地减小冲裁/冲孔力,倒角必须增加到约为板料厚度1.0~1.5倍。在对先进高强度钢冲裁/冲孔时,倒角不必过大,其大小只需使在整个凸模末端表面区域与板料表面接触之前,已开始对板料产生切割作用即可。使用过大的倒角会增加凸模顶端产生塑性变形的风险。

减小塑性变形风险的另一种方式是,使用具有中部小平面的倒角凸模,如图20所示。

请注意: 使用倒角凸模不一定表示模具磨损会减小。其主要优点是减小了落料/冲孔力和噪音。

切边和剪切

切边间隙与剪切角

在剪切工艺中，切边间隙是上刀与下刀之间的水平距离；剪切角是上刀与下刀之间的角度，见图21。通过调整上部刀口剪来形成所需的切角。

一般来说，对于较软钢板可以使用相近的切边间隙。与平行刀具相比，使用有剪切角的刀具时，切边间隙可以大一些。对比落料工艺，切边间隙通常会小一些。图22列出了建议的先进高强度钢切边间隙。

针对不同强度和板料厚度的剪切角选择见图23。

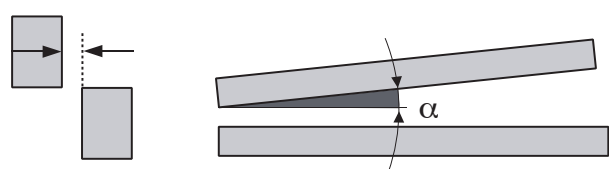


图21: 切边间隙与剪切角。

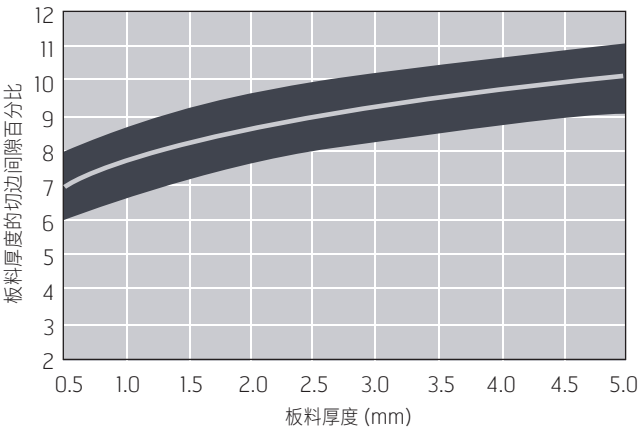


图22: 建议的切边间隙。

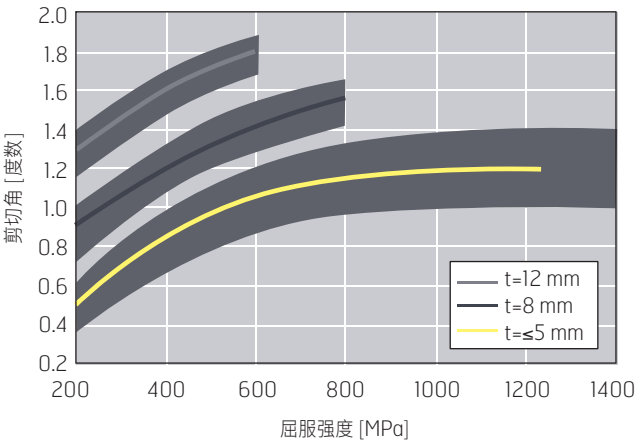


图23: 建议的剪切角。

板料切边的冲切断面

板料切边边缘的外观与落料时的外观相似，见“概述”。图24列出了三种钢板牌号的典型板料冲切断面外观。

在改变剪切工艺中的切边参数时，板料冲切断面的外观会改变。大的平行模具切边间隙会产生大的光亮面。另一方面，使用剪切角时，大的剪切间隙会产生小的光亮面。大剪切角配合大切割间隙使用时，有时会在断裂带上看到分裂或撕裂痕迹，见图25中的右上图片。对Docol M等级板料进行剪切时，大剪切角有时可能会在断裂带上形成波状图案，见图26。

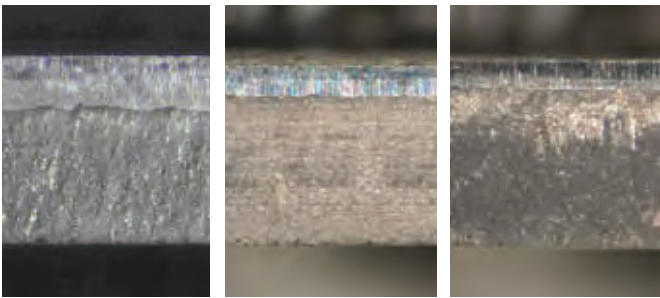


图24: 2 mm厚度，7%切边间隙，1°剪切角的Docol HR 700LA、Docol 800 800DP-GI和Docol 1400 M的板料边缘外观。

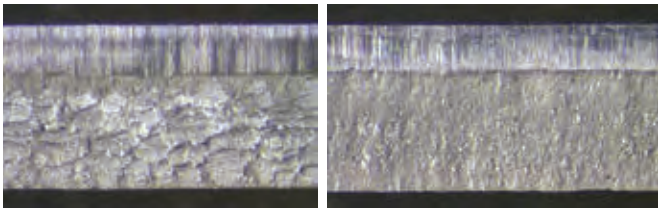


图25: 不同切割条件下2 mm厚度Docol HR 700LA的板料冲切断面外观。左图表示切边间隙和/或剪切角太大。右图表示切边条件良好。

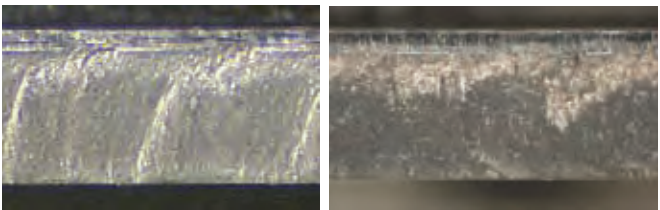


图26: 不同切割条件下2 mm厚Docol 1400 M的板料剪切断面外观。左图表示切边间隙和/或剪切角太大。右图表示切边条件良好。

剪切力

需要的剪切力与钢板强度、钢板厚度以及剪切的长度成正比。在对最硬的先进高强度钢进行剪切时，剪切力可能非常高。为避免高的剪切力，应使用剪切角。只要使用剪切角，先进高强度钢与软钢间的差异就会小很多，见图27。剪切间隙对总剪切力没有什么太大影响。最大的剪切力减小是在从平行剪切转到1°剪切角时。使用>1.5°的剪切角毫无益处，总剪切力并没有减小很多，但模具边缘负载会更高，并会增加崩刃的风险。

在对先进高强度钢进行剪板机剪切时，首先要想的问题通常是：

— 使用现有的生产设备，我能够实现从软钢板到先进高强度钢的过渡吗？

需要借用剪切力表达式来回答这个问题。为此，瑞典钢铁集团使用以下等式：

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

其中：

F = 剪切力

K_{sk} = 剪切强度 = $R_m \cdot \text{系数 } e$

α = 剪切角

t = 板料厚度

剪切强度由抗拉强度乘以系数e计算得到。系数e随材料抗拉强度而变化；对于软钢(对应DC01)，系数e等于0.8。但对于更高强度的钢，平行剪切的系数e会减小到0.55。使用剪切角时，对于最高强度的板料等级，它可以减小到0.3。在图28的图示中，系数e与进行平行剪切和使用剪切角时随着板料抗拉强度变化的关系。使用剪切角时，对于先进高强度钢，系数e会显著减小。

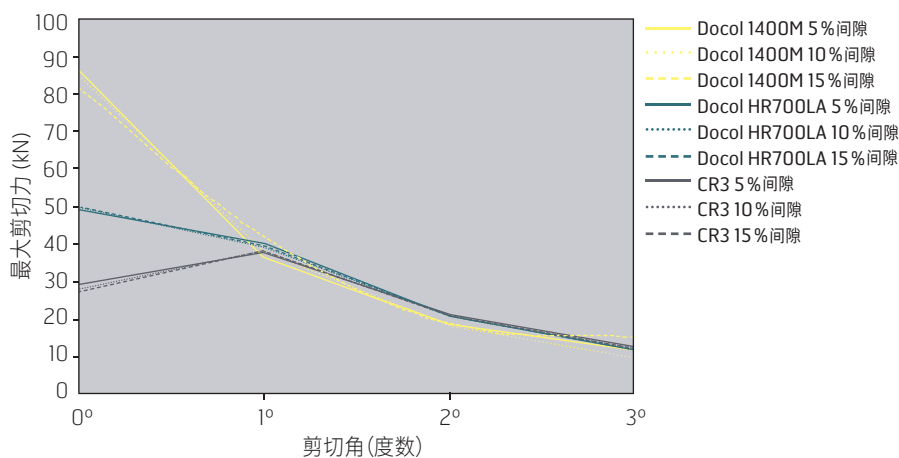


图27: 不同剪切间隙下，剪切力和剪切角的变化关系，厚度=2 mm。

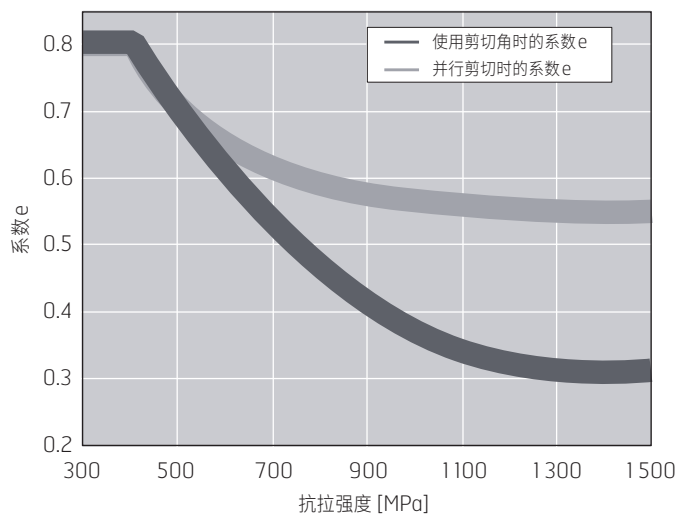


图28: 系数e与板料抗拉强度之间的关系。

例1:

8 mm厚软钢板

板料: SSAB Domex 220 YP ($R_m = 350 \text{ MPa}$)

剪切力: $0.8 \times 350 \times 64 / 2 \tan 0.9 = 570 \text{ kN}$

例2:

同样为8 mm厚的超高强度钢板

板料: Docol HR 700LA ($R_m = 800 \text{ MPa}$)

剪切力: $0.47 \times 800 \times 64 / 2 \tan 1.5 = 459 \text{ kN}$

例3:

厚度减小10%, 7.2 mm厚的高强度钢板

板料: Docol HR 700LA ($R_m = 800 \text{ MPa}$)

剪切力: $0.47 \times 800 \times 51.84 / 2 \tan 1.5 = 372 \text{ kN}$

这些实例表明, 如果您将软钢换成超高强度钢板, 实际上, 剪切力会减小(相同板料厚度下使用剪切角)。如果您减小超高强度钢板的厚度(在例3只减小了10%), 则剪切力度会在原来水平上减小约35%。

切边工序中的模具钢选择和表面处理

表面处理

是否在模具上涂覆涂层是模具制造中经常遇到的问题。在涂覆涂层之前, 弄清磨损类型的特性非常重要。对于先进高强度钢而言, 磨损类型取决于其微观结构和强度。对于Docol 800 DP等双相钢来说, 主要是粘着磨损, 涂覆涂层肯定可以有效减小拉毛, 如图29中所示。由于锌层具有一些润滑特性, 热镀锌钢通常不易发生拉毛。

对于热轧合金钢, 磨损类型是粘着磨损和磨擦磨损相混合。如果对未酸洗的热轧合金钢进行冲裁, 则模具磨损速率将显著增加, 而且以磨擦磨损为主。在任何情况下, 对热轧合金钢的材料进行冲裁时, 涂层都会显著减小模具磨损。

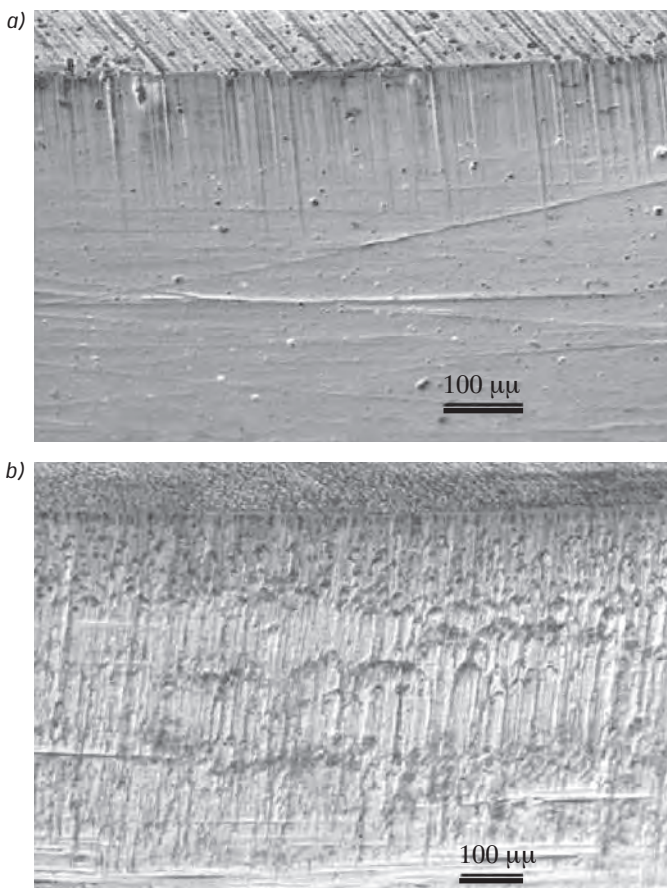


图29: 用Docol 800 DP生产20万个零件后的冲裁刀口, a) 涂覆PVD涂层 (TiAlN), b) 无涂层。

对于Docol M等级的全马氏体钢，粘着磨损不会是主要的磨损机制。磨损类型主要是磨擦磨损。有时在磨损区域可以看到疲劳裂纹，如图30中所示。

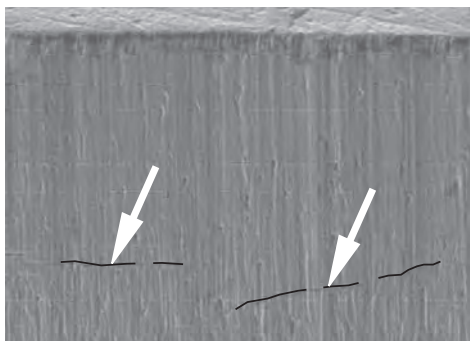


图30: 用Docol 1400 M生产10万个零件后，无涂层冲裁刀口的模具磨损典型状态。

只要产生疲劳裂纹，涂层保留在模具上的时间就不会太长。如果在涂覆涂层之前，准备工作做得非常好，并且涂覆的是最适合的涂层，涂层保持的时间会长一些。因此，在生产10万个零件后，大多数涂层仍保留完好，如图31所示。在任何情况下，由于存在较高的冲裁刀口崩刃的风险，应避免对冲裁刀口进行渗氮处理。

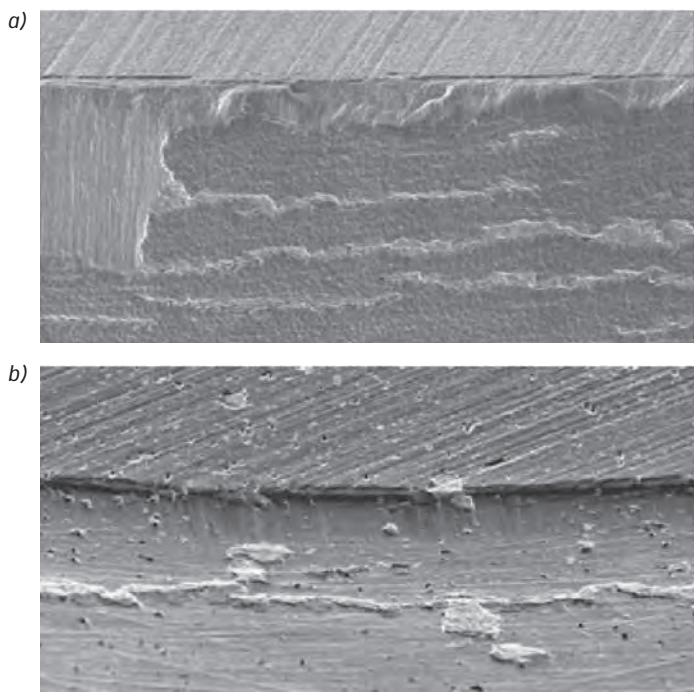


图31: 用Docol 1400 M生产10万个零件后的模具刀口外观。a)显示CVD TiCN涂层几乎完全脱落，b)显示多层TiAlN涂层表现更为出色。

模具钢选择

出于模具钢选择的目的，将先进高强度钢板做如下分类会比较方便：

- Docol HR LA裸板
- Docol DP/DL/LA裸板
- Docol DP/CP/LA热镀锌板
- Docol M冷轧板和电镀锌板

这是因为初步落料/冲孔测试表明：每一类钢在落料/冲孔中表现不尽相同，即每一类都对模具材料有不同的要求。为用户更方便找到想要的信息和减少误解，与每一具体类别相关的信息均与其它类的相应信息分开单独列出，尽管在某种程度上相同的信息会多次重复出现。

Docol HR LA热轧板裸板

这种钢板为碳含量相对较高的热轧、微合金钢。供货状态为酸洗或非酸洗，厚度可达2–12 mm(Docol HR 700LA最大厚度为10 mm)。

对模具钢的要求为：

- 由于碳含量高、强度高和厚度大，因此，耐磨性要好。对于非酸洗材料来说，耐磨性好是特别必要的，因为其表面的氧化皮磨擦磨损性很强。
- 抗崩刃性高，部分是由于相对较高的强度，但主要是由于厚度范围较大决定。
- 抗粘着性好，这是由于强度和厚度相对较高。

Docol HR LA热轧板的这一类钢对模具材料的要求最高，这是因为这些等级的厚度范围最大。

作为模具钢选择推荐的相应等级为：

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

表3中提供了这些牌号的性能资料。下面是对于推荐的模具钢等级应考虑的一般事项，对于Docol HR LA热轧板等级而言：

- 如果预计会有严重崩刃，应使用Uddeholm Calmax和Uddeholm Caldie。
- 如果主要担心磨损，对于较薄板料的中短期生产应使用Uddeholm Sleipner。

- 当高耐磨性是最重要的要求时，Uddeholm Vanadis 8 SuperClean 可用于大批量生产。
- 当需要耐磨性和抗崩刃性的良好结合时，即较厚、几何形状较复杂零件的长期生产，应使用Uddeholm Vanadis 4 Extra。
- 在长期生产下，落料/冲孔较薄、酸洗板料时，为防止粘着，应使用无涂层Uddeholm Vancron SuperClean。
- 涂覆涂层，如CVD或PVD可用防止磨损和粘着。上面提及的所有模具钢等级均可涂覆涂层，但Uddeholm Vancron SuperClean通常不可涂覆涂层。
- Uddeholm Calmax可以涂覆CVD涂层，但仅可在低于250℃下涂覆PVD涂层。
- 不建议渗氮，因为表面脆化可能很容易造成模具边缘崩刃。
- 所使用的硬度等级取决于板料厚度和零件几何形状。通常硬度介于56-64 HRC之间。

Docol DP/DL/LA冷轧板和Docol Roll冷轧板

Docol DP/DL和ROLL钢板为含碳量较低的冷轧双相钢，厚度范围为

0.5至2.1 mm。Docol LA为微合金钢，厚度范围为0.5至3.0 mm。对模具钢的要求为：

- 高抗拉强度需要高耐磨性。
- 高抗拉强度需要高抗崩刃性。
- 高抗拉强度和板料中含铁素体，需要高抗粘着性。

表5中提供了不同板料强度对应的模具钢牌号和推荐硬度。以下是对于推荐的模具钢牌号需要考虑的一般事项：

- 涂覆涂层，如CVD或PVD可用于防止磨损和粘着。以下提及的所有模具钢等级均可涂覆涂层，但Uddeholm Vancron SuperClean通常不可涂覆涂层。
- Uddeholm Calmax可以涂覆CVD涂层，但仅可在低于250℃下涂覆PVD涂层。
- 不建议渗氮，因为表面脆化可能很容易造成崩刃。
- 所使用的硬度等级取决于板料厚度和零件几何形状。通常硬度介于56-64 HRC之间。

SSAB钢板等级	Uddeholm模具钢牌号	模具硬度 (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

表5：冲裁Docol裸板对应的模具钢牌号和推荐硬度。

对于Docol 500 LA/DP/DL和Docol 600 DP/DL钢板等级：

- 如果预计会有严重崩刃，应使用Uddeholm Calmax和Uddeholm Caldie。
- 中短期生产应使用Uddeholm Sleipner和Uddeholm Sverker 21。
- 当需要耐磨性和抗崩刃性的良好结合时，即较厚、几何形状较复杂零件的长期生产，应使用Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean。
- 在长期生产下，简单几何形状薄板部件在落料/冲孔时应使用Uddeholm Vanadis 8 SuperClean。
- 在长期生产下，为防止粘着，应使用无涂层Vancron SuperClean。

对于Docol 800 DP/DL/Roll和Docol 1000 DP/DP-EG/Roll/LCE钢板等级：

- 使用Uddeholm Caldie以防止崩刃。
- 在中短期生产下，应使用Uddeholm Sleipner。
- 当需要耐磨性和抗崩刃性的紧密结合时，即较厚、几何形状较复杂零件

件的长期生产，应使用Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean。

- 在长期生产下，简单几何形状薄板部件在落料/冲孔时应使用Uddeholm Vanadis 8 SuperClean。

Docol DP/CP/LA热镀锌板

Docol DP/CP-GI钢板为含碳量较低的热镀锌冷轧双相钢。Docol LA-GI是热镀锌微合金钢，可供应的厚度范围为0.5到3 mm。对模具钢的要求为：

- 在长期生产下，需要高耐磨性，但由于锌涂层用作润滑剂，因此与无镀锌等级相比，磨损大为减少。
- 高抗拉强度需要高抗崩刃性。
- 高抗拉强度和板料中含铁素体，需要高抗粘着性。

柔软、带粘性的锌涂层容易附着在模具表面，应该定期清理。

表6中提供了不同板料强度等级对应的的模具钢牌号和推荐硬度。

SSAB 钢板等级	Uddeholm 模具钢牌号	模具硬度 (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

表6：冲裁Docol热镀锌板对应的模具钢牌号和推荐硬度。

以下是对于模具钢等级应考虑的一般事项：

- 涂覆涂层，如CVD或PVD可适用于所有板材，以防止磨损和粘着。
以下提及的所有模具钢等级均可涂覆涂层，但Uddeholm Vancron SuperClean通常不可涂覆涂层。
- Uddeholm Calmax可以涂覆CVD涂层，但仅可在低于250°C下涂覆PVD涂层。
- 不建议渗氮，因为这很容易造成崩刃。

对于热镀锌460LAD、500 LA/DP、600 DP/CP和780 CP钢板系列：

- 应该用Uddeholm Calmax和Uddeholm Caldrie以防止崩刃。
- 短期和中期的生产应使用Uddeholm Sleipner和Uddeholm Sverker 21。
- 当需要耐磨性和抗崩刃性的良好结合时，即较厚、几何形状较复杂零件的大批量生产，应使用Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean。
- 在长期生产下，简单几何形状薄板部件在落料/冲孔时应使用Uddeholm Vanadis 8 SuperClean。
- 在长期生产下，为防止粘着，应使用无涂层Uddeholm Vancron SuperClean。

对于热镀锌800/1000DPX、800/980DP和980CP钢板等级：

- 应使用Uddeholm Caldrie以防止崩刃。
- 短期和中期的生产应使用Uddeholm Sleipner。

- 当需要耐磨性和抗崩刃性的良好结合时，即较厚、几何形状较复杂零件的长期生产，应使用Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean。
- 在长期生产下，简单几何形状薄板部件在落料/冲孔时应使用Uddeholm Vanadis 8 SuperClean。
- 在长期生产下，为防止粘着，应使用无涂层Uddeholm Vancron SuperClean。

Docol M冷轧板和电镀锌板

Docol M冷轧板为低含碳量的冷轧马氏体钢。EG电镀锌板具有锌电镀层。厚度范围为0.5到2.1 mm。

表7中提供了不同板料强度的对应的模具钢牌号和推荐硬度。

以下是推荐的模具钢等级需要考虑的一些事项：

- 应使用Uddeholm Caldrie以防崩刃和裂纹。
- 对于较薄板料的中短期生产，应使用Uddeholm Sleipner。
- 当需要耐磨性和抗崩刃性的紧密结合时，比如零件的大批量生产，应使用Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean。
- 当高耐磨性是最重要的要求时，Uddeholm Vanadis 8 SuperClean可用于大批量生产。主要是简单几何形状的薄板部件在落料/冲孔时应使用。
- 可以涂敷涂层，但由于塑性变形的风险较高，建议使用双涂层。等离子渗氮将为PVD涂层提供更好的支持。
- 不建议渗氮，因为这很容易造成崩刃。

SSAB 钢板等级	Uddeholm 模具钢牌号	模具硬度 (HRC)
Docol 1200M – UC/EG Docol 1400M – UC/EG Docol 1500M – UC/EG	Caldrie Sleipner Vanadis 4 Extra SuperClean Vanadis 8 SuperClean	≥ 60

表7：冲裁Docol M等级对应的模具钢牌号和推荐硬度。



应用范例

B柱加强板¹

可以选择两种模具钢材料的B柱加强板模具。实践证明，两种选择均可行。

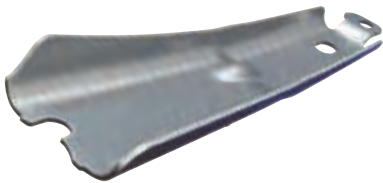
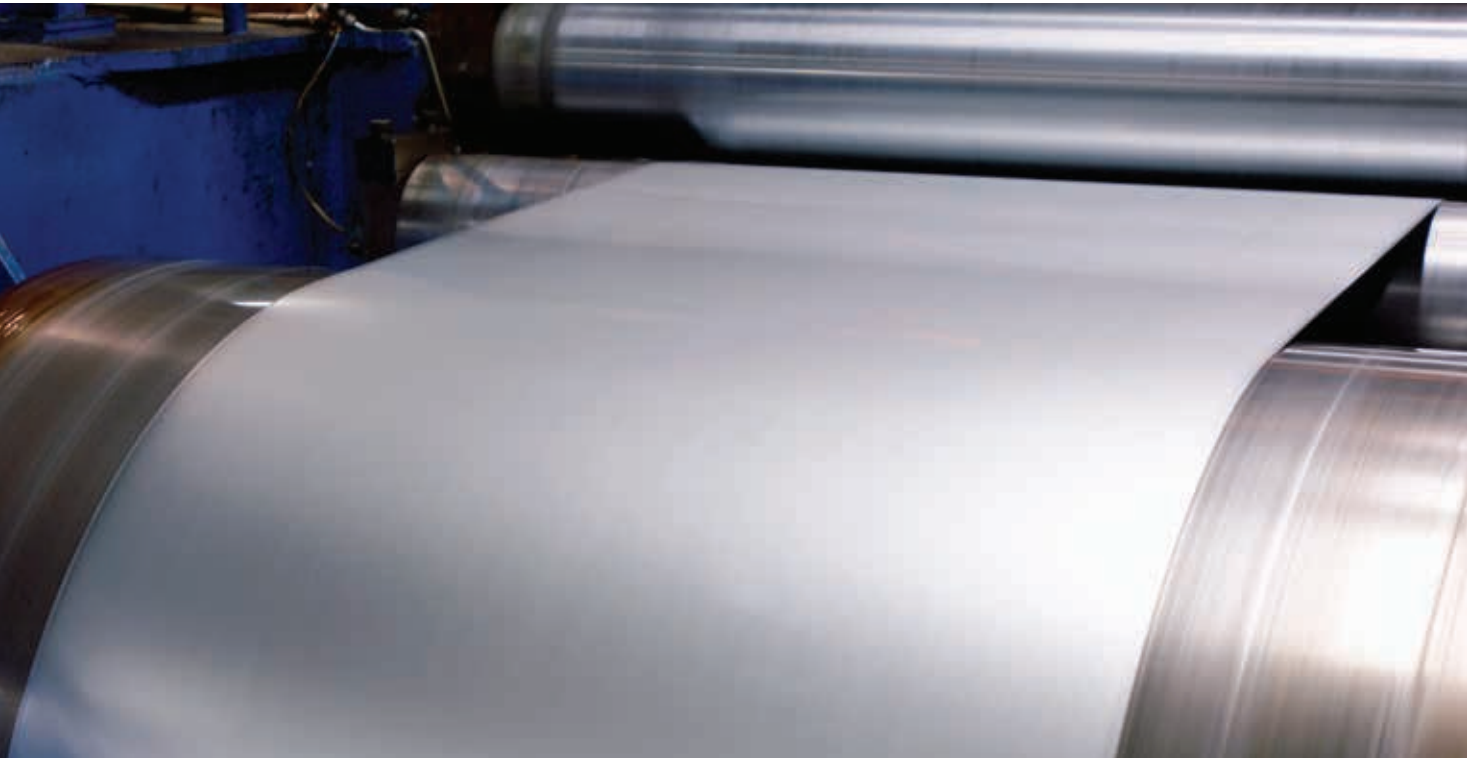


图32: B柱加强板。

冲压工艺	落料和折弯
板料:	Docol 800DP-UC
板料厚度:	2.0 mm
每年生产的零件数:	82 000
左落料上刀模具材料:	Uddeholm Sleipner
右落料上刀模具材料:	Uddeholm Sverker 21
左落料下刀模具材料:	Uddeholm Sleipner
右落料下刀模具材料:	Uddeholm Sverker 21
左右落料刀硬度:	HRC 62
冲头硬度:	HRC 60
左成形模具, 模具材料:	Uddeholm Vancron SuperClean
右成形模具, 模具材料:	Uddeholm Sleipner + CVD, TiC+TiN
左成形模硬度:	HRC 62
右成形模硬度:	HRC 62
成形模具的表面粗糙度:	Ra 0.1 μm
润滑剂:	8%油乳化剂

表8
¹资料提供: 位于瑞典乌洛夫斯特伦(Olofstrom)的锋万登金属结构有限公司。



乘用车保险杠²

乘用车保险杠的模具。

冲压工艺	落料和成形
板料：	Docol 1000DP-UC
板料厚度：	2.0 mm
每年生产的零件数：	300 000
落料模具材料：	Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean
落料模具硬度：	HRC 60
成形模具材料：	Uddeholm Vancron SuperClean
右成形模具材料：	Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean + CVD, TiCN
成形模具硬度：	HRC 60
成形模具的表面粗糙度：	-
润滑剂：	-

表9：

²资料提供：位于西班牙巴塞罗那的 *Essa Palau*。



图33：轿车保险杠。



图34：拖车钩支架。

拖车钩支架³

拖车钩支架的模具

冲压工艺	落料和折弯
板料：	Docol 1400M-UC
板料厚度：	2 mm
每年生产的零件数：	82 000
落料上刀模具材料：	Uddeholm Sleipner
落料下刀模具材料：	Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean
冲裁模具硬度：	HRC 60
成形凸模模具材料：	Uddeholm Sleipner
成形凹模模具材料：	Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean
成形凸模硬度：	HRC 58
成形凹模硬度：	HRC 60
成形模具的表面粗糙度：	-
润滑剂：	不另加润滑剂

表10

³资料提供：位于瑞典乌洛夫斯特伦(*Olofstrom*)的锋万登金属结构有限公司(*Finnveden Metal Structures*)。

润滑

成形模具工序

在成形工序中，可以通过在表面增加润滑剂来减少相对运动中两个表面之间的摩擦。冲压钢板时最常用的润滑剂类型是混合润滑剂，这种润滑剂的润滑油膜厚度可承受模具与板料表面突起之间的接触。润滑剂附着在模具表面不规则起伏上，并且与模具突起一起，承受成形工序中的接触压力。这对板料表面粗糙度(对于冷轧材料EN 10130 — 正常表面即可)以及润滑剂中和形成新的接触表面的润滑能力提出了要求。

润滑剂的粘度对板料成形工序有重大影响。低粘度的润滑剂(25-50 cSt)用于较简单的板料成形工序，但对于要求更高的冲压工序，须使用更高粘度的润滑剂。参见图35以了解润滑剂粘度影响。



图35: 润滑剂粘度对冲压的影响。使用润滑剂粘度500 cSt(左杯)和40 cSt(右杯)的最大杯形高度。

冲裁模具工序

使用额外润滑剂的重要性取决于先进高强度钢落料/冲孔和切边/剪切时的多个因素。钢等级、板料厚度和板料表面以及模具几何形状都有很大影响。一般来说，对于板料强度较低、板料较厚和落料/冲孔形状较复杂的工序，润滑剂更为重要，例如：厚板料小半径的冲孔。建议的先进高强度钢落料/冲孔润滑剂类型应可抗较高接触压力。是否使用额外润滑剂，具体取决于下面所列的钢板等级。

Docol HR LA裸板

对于热轧板料来说，使用额外润滑剂将有利于延长模具寿命。特别是对于较厚的板料，润滑剂还可以减小切边力和反作用力(由于摩擦力更小)。

Docol DP/DL/LA裸板

在对这种类型的先进高强度钢进行落料/冲孔时，使用润滑剂是一个很好的做法。这些钢中的铁素体成分会在凸模模具上造成一些粘性，使用额外润滑剂可以减少这种粘性。

Docol DP/CP/LA热镀锌板

对热浸镀锌钢板料进行落料/冲孔时，使用润滑剂的必要性不大。镀锌表面具有一定润滑效果。在一段生产时间过后，锌涂层容易粘着在模具表面，应定期对其进行清理。

Docol M冷轧板和电镀锌板

对于全马氏体冷轧钢板，如Docol M，使用额外润滑剂的必要性不大。自身供油可以为落料/冲孔和切割/剪切操作提供足够的润滑剂。这些钢板等级不容易粘到模具上。

对电镀锌钢板料，如Docol M-EG进行落料/冲孔时，使用润滑剂的必要性不大。镀锌表面具有一定润滑效果。在一段生产时间过后，锌涂层经常容易粘在模具表面，应定期对其进行清理。

模具的经济效益

为生产出所需数量的零件，应尽可能地减少停工时间，这点至关重要。由模具破损或频繁翻修所引起的停工会导致代价高昂的生产延误，降低整体生产效率。有几种可能出现的模具问题。

从模具设计到模具维护的整个过程必须保持完整——任何薄弱环节都可能会造成缺陷。很重要的一环是模具材料。模具材料必须具有合适的应用性能，并且保持稳定的高品质，以生产出可靠的模具。

采用先进模具钢制造工艺，如粉末冶金技术、ESR和高品质传统冶金技术，意味着在模具钢生产过程中作出了额外的努力，这会造成这些钢比标准等级成本更高。但是不要忘记，模具钢成本只是模具生产总成本中很小的一部分——是冰山一角！

如果考虑生产成本，包括成批生产中的停工和维护成本，使用更高品质的模具钢只是增加很少的模具成本，但通常能够获得较高的投资回报。图37说明了这一情况。

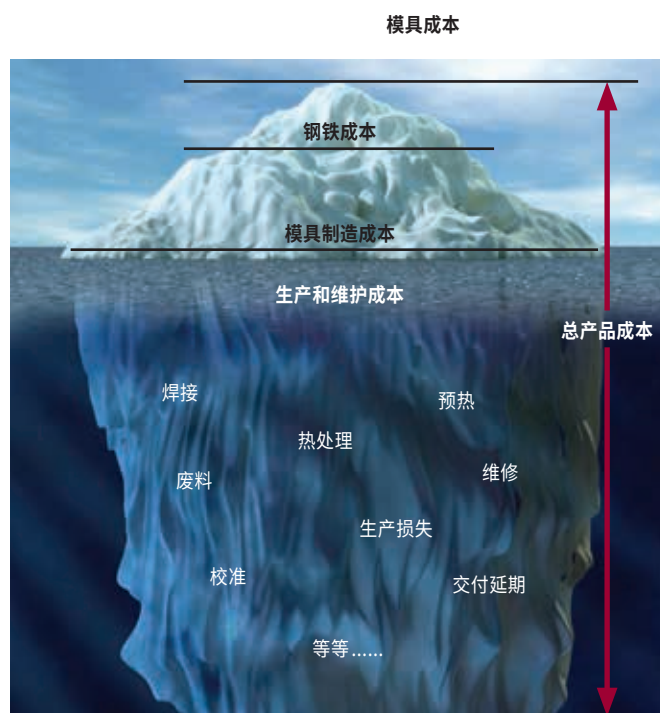


图36：模具钢成本——只是冰山一角。

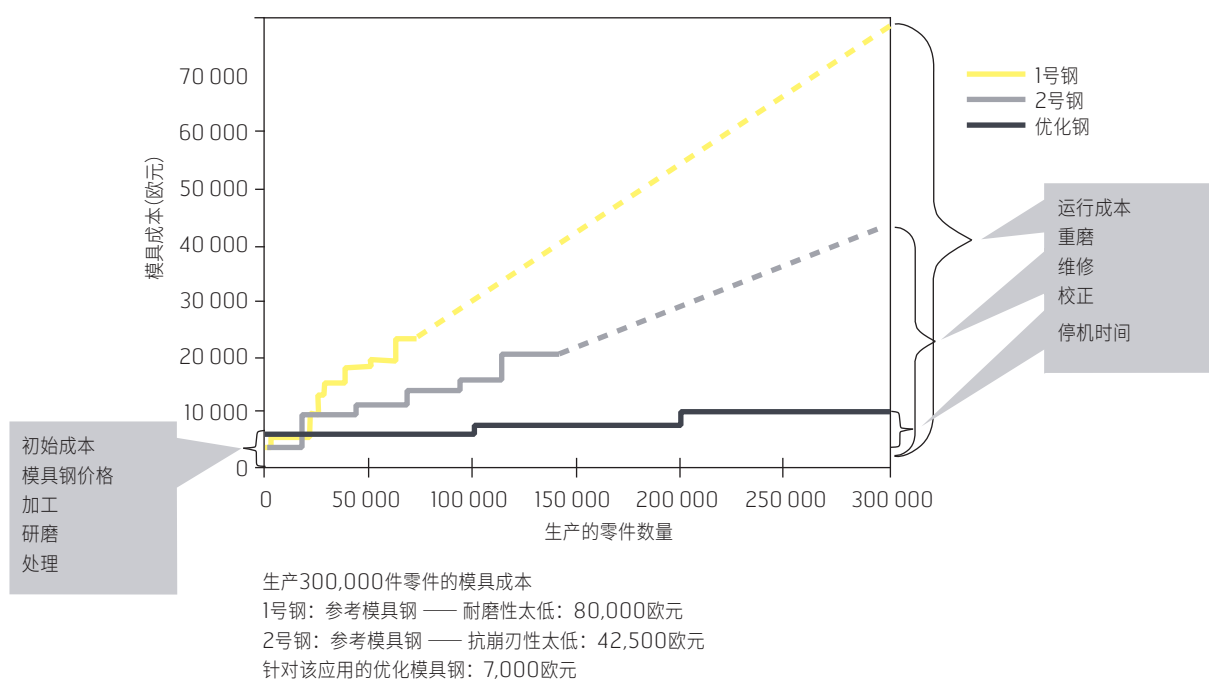
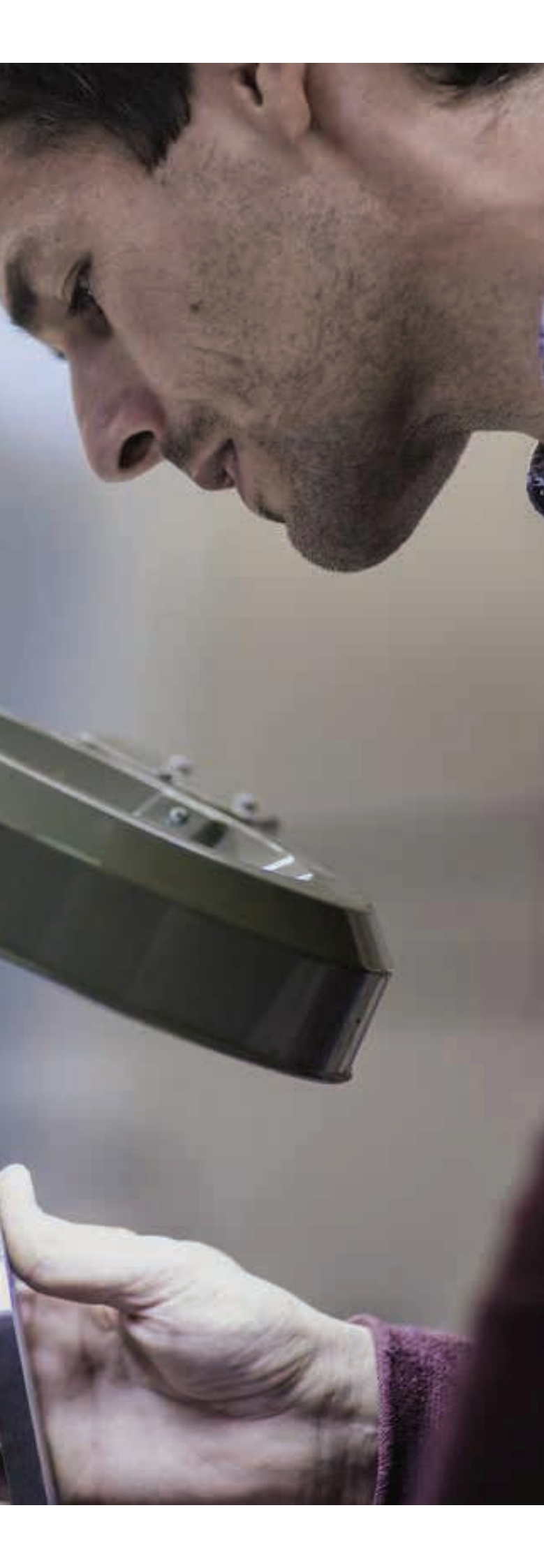


图37：总模具成本考虑事项。线条中的步阶表示翻修成本。





技术支持

助您一臂之力的技术专家

瑞典钢铁集团可以帮助您充分利用先进高强度钢的优点。

我们的专家在选择冷冲应用先进高强度钢和模具钢方面具有多年经验。

在改用先进高强度钢时，从一开始就整合材料选择、设计和生产工序非常重要。只有这样，才可以从技术和经济角度优化产品和生产工序。

瑞典钢铁集团知识服务中心的专家在材料选择和加工方面拥有丰富的技术知识，在设计、成形和连接方面拥有突出的技术能力。知识服务中心可以提供与瑞典钢铁集团应用工程师和材料专家的个人联系方式。另外还通过 www.ssab.com 网站提供即时支持，客户可以任意访问资料丰富的网上数据库，其中包含了详细的产品资料、可下载产品程序、图形以及其它可简化设计和生产的信息。

瑞典钢铁集团本地销售办事处的专家可以为客户上门提供建议和解决模具问题。

先进的分析资源

我们的公司拥有最先进的设备，可以协助客户快速选择正确的钢板等级、正确的设计和模具钢，以及正确的热处理解决方案。

我们提供的方法和设备包括：

- **有限元方法(FEM)**

此方法用于模拟零件开发中的各个阶段，如钢等级的选择、冲裁的形状、作业方法以及零件的最终几何形状。FEM也可用于计算碰撞时一个零件的能量吸收能力。模具设计、半径、设计、厚度和钢等级等所有可以想到的变量都可以通过计算机环境进行模拟，以找出最佳解决方案。

- **ARAMIS和ASAME设备**

此设备可以快速检验我们的客户是否正确选择了钢材牌号和设计相结合的方案。ARAMIS和ASAME可以测量冲压成形零件中的应变分布。之后利用强大的计算机程序对信息进行处理，随后即可获得有关模具、生产方法和设计如何影响材料的信息。ARAMIS和ASAME可以执行非常精细的复杂成形工艺分析。

课程与技术研讨

瑞典钢铁集团定期安排课程和研讨班，探讨如何将先进高强度钢解决方案投入实际应用中，如：

- 钢板课程：提供不同钢牌号的生产、属性和应用方面的基础知识。
- 研讨班：为学员提供先进高强度钢等级规格大小、设计、加工、成形和连接，以及模具钢解决方案选择(包括热处理建议)等方面的深度知识。
- 专为个别公司订制的研讨班。

手册

瑞典钢铁集团的产品手册中详细介绍了先进高强度钢提供改善产品的机会及模具钢解决方案：

- 钢板手册：提供设计的基本知识，并为材料和生产工序的设计和选择提供建议。
- 钢板成形手册：提供材料属性、尺寸剪切、塑性成形和模具材料的详细信息。
- 钢板连接手册：提供先进高强度钢各种类型焊接和连接工序的详细信息。

试制材料

只要您想了解钢板的新等级在您的生产设备或要制造的产品上表现如何，您都可以从试制材料库订购。瑞典钢铁集团生产的常用Docol先进高强度钢在试制材料库中均备有现货。

产品信息

在我们的产品手册和产品宣传册上可以了解到有关所有瑞典钢铁集团钢板等级以及如何使用和处理这些等级的信息。

瑞典钢铁集团在全世界设有许多销售办事处和代理商。我们的当地专家可以随时处理产品信息和问题。

在www.ssab.com网站上可以找到全部产品信息和指南。

报名申请《汽车行业 洞察》新闻简报

给您带来有关汽车行业的精选
文章、新闻及更多资讯
通过 **docol.com** 报名申请

SSAB是一家总部位于北欧和美国的钢铁公司。SSAB通过与客户密切合作，不断开发高附加值产品与服务，从而创造一个更强、更轻和更可持续发展的世界。SSAB的员工遍及全球50多个国家及地区。SSAB在瑞典、芬兰和美国均建有生产工厂。SSAB在斯德哥尔摩Nasdaq OMX Nordic Exchange交易所上市，并在赫尔辛基Nasdaq OMX二次上市。**www.ssab.com**

334en-Docol® – Tooling solutions for advanced high strength steels-v8-2022. Confetti.

联系我们



+46 243 700 00



automotive@ssab.com



www.docol.com



关注我们的领英

SSAB
SE-781 84 Borlänge, Sweden

www.ssab.com

SSAB