

TOOLOX[®]
ENGINEERING & TOOL STEEL

TOOLOX[®]

折弯



SSAB

本手册包含 Toolox® 的折弯建议。作为折弯指导手册，其中包含了如何在折弯时达到最佳效果的一般建议。

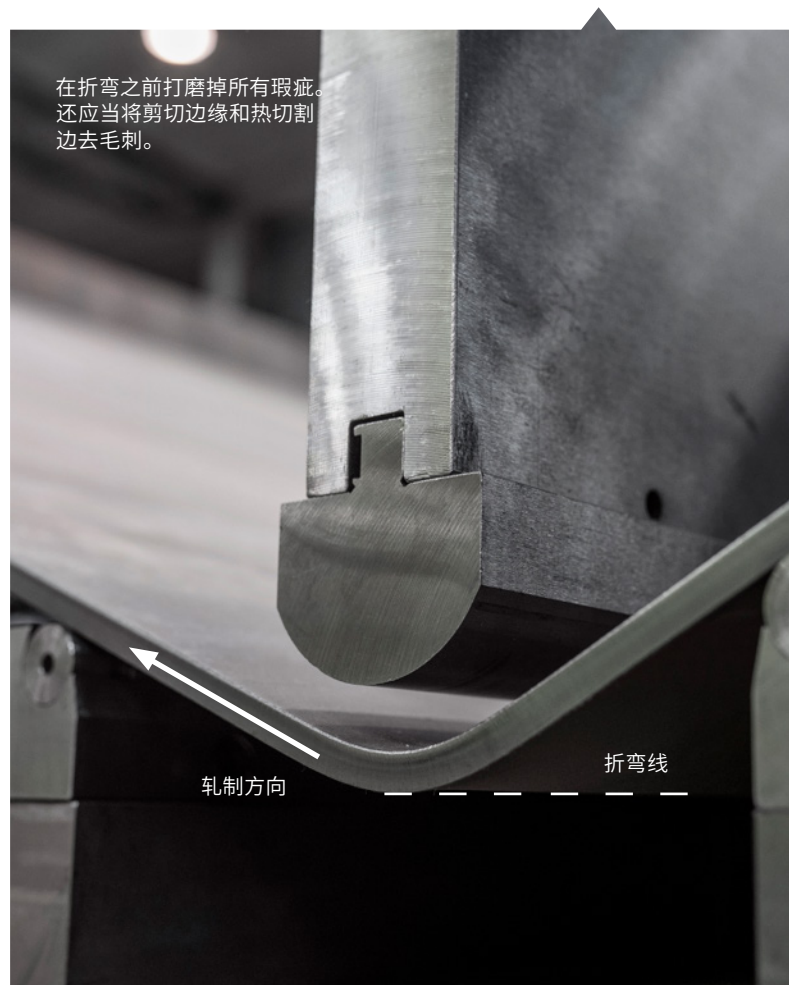
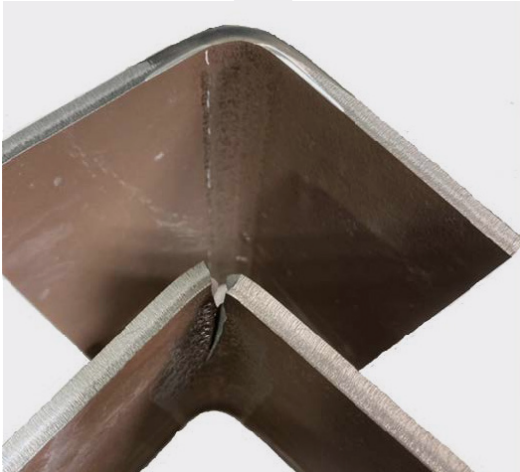
高强度钢板的折弯并不困难，然而，必须将一些关键的加工参数考虑进去。如要达到理想的折弯结果，钢材内部夹杂物含量低，和材料的高纯净度至关重要。SSAB 的现代加工技术符合高标准的表面质量、公差和机械性能。

准备

- 沿着钢板的轧制方向进行检查。如果可能，让折弯线垂直于轧制方向。相比折弯线平行于轧制方向，这样钢板的弯曲半径往往较小。
- 检查钢板的表面质量。表面损伤可能会造成破裂，由此降低折弯性能。仔细打磨往往可以除去钢板上的缺陷，例如划痕和锈迹。打磨划痕时应垂直于折弯中心线。
- 热切割边和剪切边缘应当用打磨机去毛刺并倒圆角。这一点在折弯 Toolox® 44 时尤为重要，因为它很容易受表面不平整影响。见图 1
- 检查模具的状况。为避免模具过度磨损，模具的硬度应当超过工件。检查模具和模具设置是否与建议相符。

图 2 垂直于轧制方向的横向折弯。模具开口的边缘始终应和被折弯的钢板一样硬或比折弯的钢板更硬，以免过度损坏模具。实现这一点的一种简单方式是将模具边缘铣槽并经润滑后的淬硬钢等圆棒装配到该凹槽中。模具的边缘半径应至少为钢板厚度的一半。

图 1 Toolox® 44 去毛刺边缘和未去毛刺边缘经过了相同的冲压工艺。



在折弯之前打磨掉所有瑕疵。还应当将剪切边缘和热切割边去毛刺。

注意事项

- 务必采用安全预防措施并遵循当地安全规定。有操作资质的人员方可在机器旁或其附近。折弯高强度钢材时，任何人不得站在折弯机前。
- 确认冲头以及工件不会触及模具底部。
- 考虑回弹。避免重新折弯来校正轮廓角度。经过上一个成型工艺的材料会在很大程度上降低其折弯性能。
- 折弯力、回弹以及一般情况下的最小推荐冲压半径随着钢材的强度而增加。
- 在很多 Toolox® 板材产品中，所刻的产品标识与轧制方向垂直。折弯中心线不能落在标识上方，否则会有出现裂纹的风险。
- 过度喷砂清洁会给折弯性能造成负面影响。Toolox® 产品建议是根据喷砂清洁和喷漆表面测试得出的。
- 高应变率可能会导致折弯处局部温度升高。这可能会对折弯性产生不利影响，尤其是厚度超过 20 mm (0.787") 的材料。
- 如有可能，请降低冲压速度，从而缩小工件内的温差。

模具

模具宽度

回弹随着模具宽度增加而增加，当冲压力减小时。确保模具的开口角度允许过度折弯，不会触及底部，从而补偿回弹。在很多情况下，模具开口宽度增加可以降低折弯处的应变水平。此外，确保折弯过程中，模具有足够的空间容纳所需冲头和工件，不会导致模具变形。建议的模距最小宽度如表 1 所示。模具边缘半径应至少为钢板厚度的一半。或者，应当增加模距宽度，尽量减少对模具边缘半径的压力，从而降低拉模风险。

冲压

合适的冲头半径以及模具宽度是最重要的参数。折弯高强度钢材时，最终内半径往往略小于冲头半径，图 3。钢板与模具之间的摩擦力较低时，该现象越发明显。

机床稳定性

折弯高强度钢材时，所需冲压力往往较高。静摩擦系数通常高于动摩擦系数。这可能导致钢板固定在一个模具边缘半径的边缘，同时滑过另一个边缘。这样一样，在折弯过程中，工件会断断续续地向下摆动进入模具。这就是粘滑现象，它会导致折弯处的应变力较高。使用稳定的机器和牢固的模具固定。润滑模具边缘或使用旋转模具边缘半径有助于避免粘滑，还可降低冲压力。

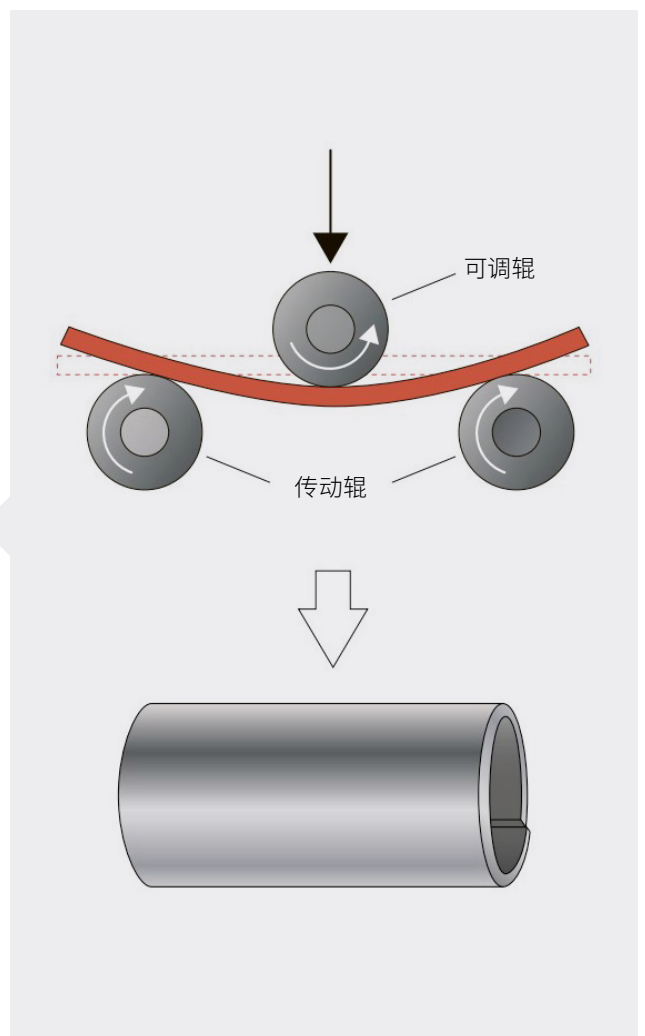
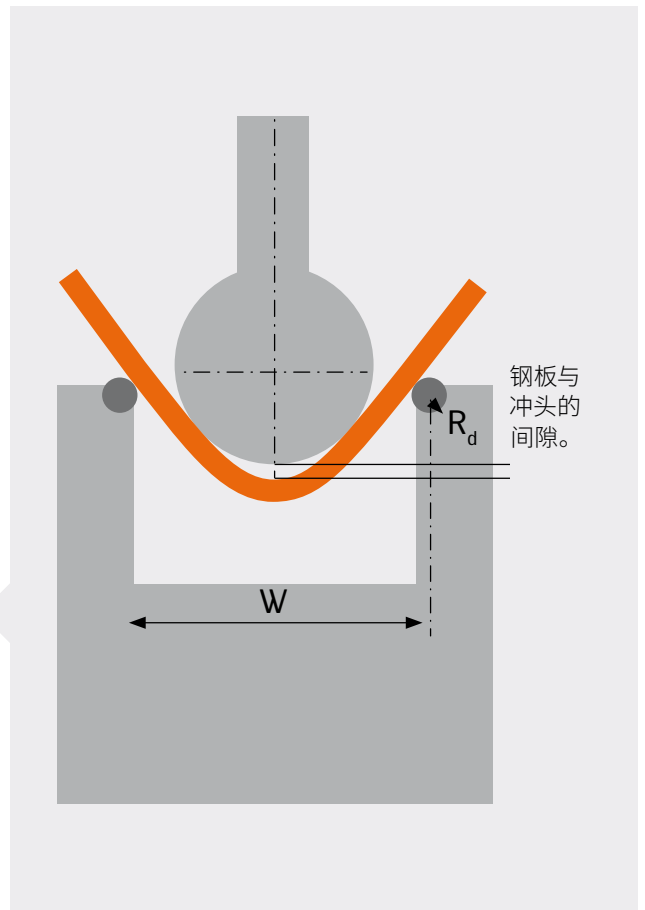
模具状况

折弯 Toolox® 时，由于钢板与模具之间的接触压力增加，模具的磨损程度会有所增加。定期检查冲头半径和模具边缘半径是否都保持不变。模具边缘应当保持洁净，没有损坏。

辊弯

辊弯是用来将钢板轧制成圆柱、圆锥、曲线和其他形状的过程。在轧辊之间轧制钢板，达到该曲率。为实现永久变形，必须以超过材料屈服强度的压力张紧钢板。屈服强度越高，达到塑性变形所需的压力越大，回弹也随之增加。压力增加时，上辊偏转的风险也会增加。有时需要减小上辊的直径，以便补偿回弹。同时，受力时它需要足够稳定，不会偏转。高强度钢可以辊弯，前提是机器设置正确，即您能够获得所需的折弯力，而上辊不会偏转。

图 3 折弯过程中钢板与冲头的间隙



折弯建议

这些折弯建议是建立在卸载折弯力后，一次性折弯到 90° 角的测试基础上。Rp 是要使用的建议冲头半径，模距宽度 (W) 是参考值，可以在不影响折弯结果的情况下有所变化。

表 1 Toolox® 的折弯建议是根据带有弯辊和正常摩擦（无润滑）的模具得出的。Rp/t 表示冲头半径 (Rp) 除以钢板厚度 (t)。

Toolox® 产品等级	厚度范围 [mm]	垂直轧制方向最小 Rp/t	平行轧制方向最小 Rp/t	模距宽度 (W) 最小 W/t
Toolox® 33	6<t<20	2.5	2.5	12
Toolox® 44	6<t<20	3	3.5	12

折弯力

估算折弯过程中所需的力不仅要考虑折弯长度、钢板厚度、模具宽度和拉伸强度，还要考虑折弯过程中的力臂变化。假设在正常摩擦（无润滑）下，折弯开口角度为 120° 时达到峰值载荷。通常建议进行试验测试。

$$P [t] = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_m}{(W - R_d - R_p) \cdot 9800}$$

P = 折弯力, 吨 (公制)
t = 钢板厚度, mm
W = 模具宽度, mm (表 1)
b = 折弯长度, mm
R_m = 拉伸强度, MPa (表 2)
R_d = 模具入口圆角半径, mm
R_p = 冲头半径, mm

SSAB Bending Formula® 经过 90° 折弯测试验证。

SSAB 是一家立足于北欧和美国的钢铁公司。SSAB 通过与客户密切合作，不断开发高附加值的产品和服务，协力共创一个更强、更轻和更可持续发展的世界。SSAB 的员工遍及全球逾 50 个国家。SSAB 在瑞典、芬兰和美国拥有生产工厂。SSAB 已经在斯德哥尔摩的 NASDAQ OMX Nordic Exchange 交易所上市，并在赫尔辛基的 NASDAQ OMX 进行二次上市。www.ssab.com。

SE-613 80 Oxelösund
瑞典

电话: +46 155-25 40 00
toolox@ssab.com

toolox.com

表 2 计算折弯力的典型拉伸强度。

Toolox® 产品等级	典型拉伸强度 [MPa]
Toolox® 33	980
Toolox® 44	1450

回弹

回弹随钢材强度以及模具宽度与钢板厚度比值 (W/t) 而增加。材料屈服强度的影响最大。折弯时，折弯横截面上分布着不同的残余应力。塑性应变水平和这样的应力分布情况将控制回弹倾向。所有回弹都富有弹性。为补偿回弹，模具形状应当允许过度折弯，而不会对材料产生压痕。很难准确预测材料折弯时的回弹，因为这在很大程度上取决于每个独特的模具设定。因此，建议进行试验。对于较薄的板材或片材 (t < 10 mm (0.394")), 可以用拉伸强度 (MPa) 除以 100 来估算材料回弹度。前提是模具宽度约为钢板厚度的 10-12 倍。

影响回弹的参数

- 材料屈服强度 – 屈服强度越高，回弹越大。
- 冲压半径 – 冲压半径越大，回弹越大。
- 模具宽度 – 模具宽度越大，回弹越大。
- 材料应变硬化。