

钣金加工等中弯曲R的精确瞬时量测方法

编译 | 李建

金属材料的弯曲加工是利用金属特有的延展性的一种加工方法，常用于钣金加工等金属加工制程中。

弯曲对材料的强度有很大的影响，所以如果没有加工到合适的弯曲 R，可能会导致变形、强度降低和损坏。因此 R 的量测与质量有很大关系。

以典型方法的钣金加工为例，解释 R 的基础知识和计算方法、不良发生的对策、以往量测中的问题以及提高作业效率和精度的最新量测方法。

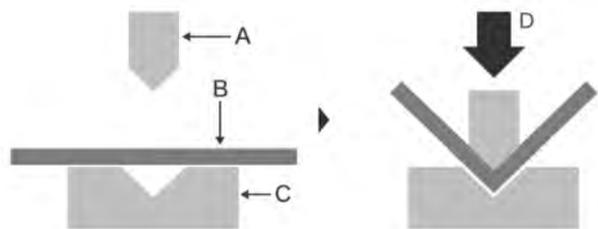
什么是弯曲 R

弯曲 R 是使用冲压机、辊等进行塑性加工，弯曲金属等板材、管材（管）、棒材等时，从弯曲位置到弯曲中心的 R（半径）。

根据材料的板厚和直径，在不破坏材料的情况下可以进行弯曲的极限（最小弯曲 R）是有限的，因此需要根据部位和用途设置合适的弯曲 R。此外，材料在加工后抵抗的应力可能会影响完成的弯曲 R 值。

钣金加工中的弯曲加工

钣金加工是弯曲 R 很重要的典型制程之一。在板材的弯曲制程中，典型的方法是“折弯机”，夹在上部模具的冲头（上模）和下部模具的凹模（下模）之间进行冲压。除了下图所示的 V 型弯曲外，还有曲线平缓的“R 型弯曲”和通过一次



A: 冲头 (上模) B: 板材 C: 凹模 (下模) D: 冲压

图 1

冲压将板材的两点同时弯曲加工成 U 形的“U 型弯曲”等，根据加工对象的形状和材料使用的模具种类繁多。

在板厚较厚时，可以使用被称为“R 冲头模具”的上模和即使在普通 V 型弯曲中也具有深槽的凹模（下模）。如果弯曲 R 的值很大，可以一点一点地移动板材以形成 R，或者可以使用称为“半径尺”的冲头将板材弯曲到设定的 R。

钣金加工中的弯曲加工应力及注意事项

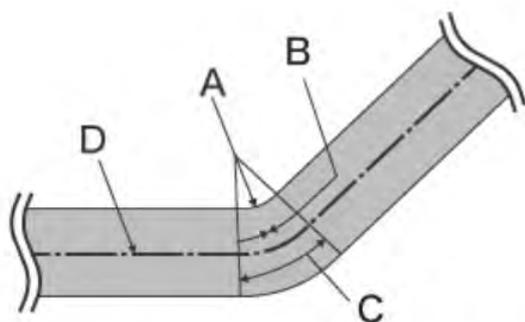
已被弯曲加工的板材中会产生以下应力。根据材料的板厚和硬度，会极大地影响弯曲 R 值。

压缩应力：内侧相对于板厚的中性轴 ※ 被压缩，材料内部会产生抵抗压缩的力。

拉伸应力：由于外部被拉伸，所以当在拉伸方向上施加力时，会产生一个力来抵抗材料内部产生的拉伸力。

※ 没有施加这些力的板厚内部的表面称为“中性轴”。

当材料在冲压加工后从模具中取出时，材料内部残留的压缩应力和拉伸应力可能导致材料排斥和加工部的弯曲角度打开。这称为“回弹”，当材质较硬时，更容易发生，因为压缩应力和拉伸应力增大。有必要以比所需角度更大角度的弯曲方法（过度弯曲）予以应对。



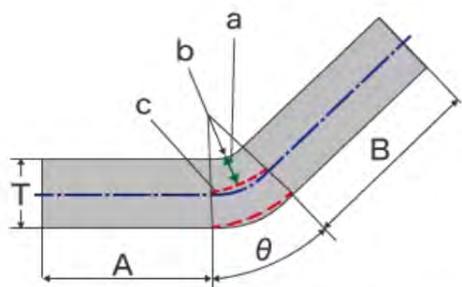
A：彎曲R B：壓縮應力 C：拉伸應力 D：中立軸

图 2

使用弯曲 R 的弯曲展开尺寸的计算方法

可以通过求得从弯曲 R 到中性轴的距离来近似模拟稳定弯曲加工所需的弯曲展开尺寸。由于直线部分 A 和 B 不会因弯曲而发生变化，因此按原样使用这些数值。

弯曲部的中性轴移动率（λ；兰布达）因材料板厚、硬度、弯曲角度、内弯曲 R 而异，但约为板厚的 20% ~ 45%。在加工现场，我们采用实际的经验。弯曲展开尺寸的计算公式如下所示。



a：從彎曲R到中性軸的距離 b：彎曲R c：彎曲部中性軸

图 3

$$L = A + B + (R + T \times \lambda) \times 2\pi \times \theta / 360$$

L = 展开尺寸

A · B = 无弯曲应力部分的长度

R = 弯曲内侧 R (半径)

T = 板厚

θ = 弯曲角度

λ = 中轴移动率 (%) ※ 采用经验值

裂纹对策和最小弯曲 R

弯曲加工中出现的问题是在弯曲部分产生开裂（裂痕）、裂纹、裂缝等缺陷。这与材料的轧制方向密切相关，因此需要注意待加工材料的方向。一般情况下，平行于材料轧制方向弯曲时容易产生开裂等缺陷。这种现象特别容易发生在 SUS 材和铝材上。

为了避免此类问题，需要遵守最小弯曲 R，但由于该数值因材质、板厚、模具等而异，因此据说很难使用计算公式求得合适的值。因此，根据实际加工现场的经验 and 实验设定最小弯曲 R，并设计和加工裂纹不易产生的对策很重要。例如，可以考虑以下对策。

使弯曲线与轧制方向成直角。

选择延展性强的材料。

选择晶粒细小的材质（或通过热处理细化）。

令弯曲线和轮廓线的不一致可防止材料因弯曲而伸出不足并变得容易开裂。

对于用模具切割出的材料，剪切面比破断面更容易伸出并且更不容易开裂，因而使得下垂面朝向外侧弯曲。

弯曲宽度应为板厚的 8 倍以上。

这样，即使通过考虑设计和材料等因素来防止裂纹等缺陷，如果不在公差范围内完成弯曲加工以形成适当的形状，那也是没有意义的。下面就弯曲 R 的量测方法、存在的问题及解决方法进行说明。

弯曲 R 量测中的问题解决方法

以往使用的一般量测仪都是靠点接触立体对象物和量测部位，比较二位轮廓形状，所以量测值的可信度较低，或者存在难以获得数值的问题。

为了解决这些量测问题，KEYENCE 开发了表面 3D 轮廓量测仪“VR 系列”。

可以以非接触方式准确捕捉对象物的 3D 形状。此外，可以在最快 1 秒内对量测台上的对象物进行 3D 扫描，以高精度量测 3D 形状。因此，可以在量测结果没有偏差的情况下瞬时进行定量量测。这里就其具体的优点进行介绍。

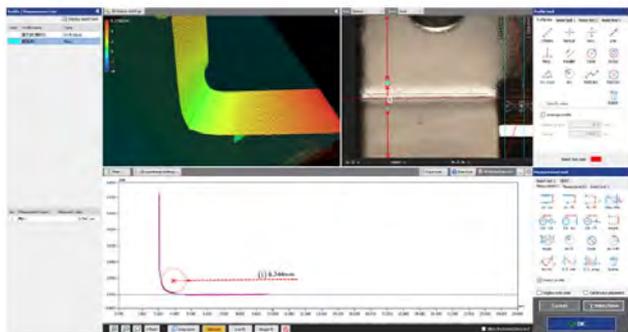


图 4

优点一：最快 1 秒。以“面”的整个对象物的 3D 形状

“VR 系列”能以最快 1 秒的速度瞬间获取表面数据（一次性获取 80 万点数据）。您可以准确地量测和评估整个弯曲部分的最大和最小凹凸。

此外，任何部位的轮廓量测都是可能的。即使在量测之后，也可以从 3D 扫描数据中获取另一个部位的轮廓数据，而无需再次设置对象物。

优点二：操作简单，无论谁量测，量测值都不会出现偏差

只需将对象物放在量测台上并按下按钮的简单操作即可量测 3D 形状。由于可以根据对象物的特征数据自动更正位

置，不需要进行严格的调平和定位。此外，业界首创的“Smart Measurement（智能量测）功能”可以确定对象物的尺寸，自动设置量测范围，并移动量测台，完全消除了设置量测长度和 Z 范围的麻烦。

此外，通过使用丰富的辅助工具，您可以轻松设置所需的量测细节。

即使是初学者也易于操作，以最快 1 秒内进行准确的量测。因此，在产品量测和检查以及试制品和试模中很容易增加 N 点。

总结：改善难以准确量测的弯曲部分和弯曲 R 的形状量测，提高量测效率

使用“VR 系列”，可通过高速 3D 扫描以非接触方式实时量测对象物的准确 3D 形状。即使是弯曲部分的半径和表面凹凸等困难的量测也可以在最快 1 秒内完成。解决以往量测仪的所有问题。

无需切割对象物即可量测截面。

消除因人而异的量测值偏差，实现定量量测。

操作简单，无需定位，只需将对象物放在量测台上，按下按钮即可。消除对个人量测作业的依赖。

由于可以简单、高速、高精度地量测 3D 形状，因此可以在短时间内处理大量的 N 点。提高质量。

此外，与过去的三维形状数据和 CAD 数据进行比较，可以很容易地分析公差范围内的分布等，因此可以在产品开发和制造趋势分析、抽样检查等各种用途中活用。MFC



图 5