

钣金加工中折弯系数的探讨

张永军

内容提要 针对钣金加工中折弯系数确定的重要性, 对普通钢板 (SPCC)、折弯角度为 90° 的加工件的展开料进行理论计算, 分析折弯系数的有关影响因素, 根据试验数据, 建立数学模型, 经过计算机的优化组合, 确定了折弯系数计算的基本规律 (折弯系数的计算公式)。

关键词 钣金 加工 折弯系数



张永军 1966 年生, 1989 年毕业于兰州铁道学院机械系机械制造工艺与设备专业, 现任北京铁路信号工厂工艺科科长, 工程师。

1 折弯系数确定的重要性

在钣金加工中, 对零件展开料计算时, 工艺人员是凭经验确定折弯系数 (即消耗量) 的, 不同工艺人员编制的工艺文件, 其确定的折弯系数也不相同。通过查阅大量的有关钣金加工手册, 也没有查到明确的公式来计算折弯系数, 只能查到不同折弯内圆弧的折弯系数, 而内圆弧与加工工艺方案有关, 使用不同的折弯下模槽宽, 内圆弧也不相同, 从而导致工艺文件上无法确定折弯系数的准确值。这不仅影响工艺文件的标准化、合理化, 而且给车间生产带来困难, 并导致产品质量的不稳定。

随着科学技术的不断进步, 计算机应用逐步向 CMS 系统发展。必须首先解决计算机自动计算展开料, 也就是必须首先解决折弯系数的自动确定, 才能谈论计算机辅助编制工艺, 包括工艺文件的自动编制、展开料的自动计算, 材料消耗定额的自动计算等等。

北京地区正在推行 CMS 系统的一些厂家, 其软件也没有解决这一问题: 而作为数控机床的生产厂家, 折弯系数的确定是专利产品, 对使用机床的用户是保密的。因此必须自行解决折弯系数确定的计算方法。

2 展开料的理论计算

钣金折弯加工时, 其内侧产生压缩, 外侧产生拉

伸, 内侧的压缩由内往外逐渐缩小, 外侧的拉伸也由外往里逐渐缩小, 在接近板厚的中心处, 压缩与拉伸接近于零, 板厚中间的这个面叫中性层。下面以中性层为基准对展开料进行理论计算。

2.1 折弯内圆弧半径 $R \geq 5t$ (t 为材料厚度)

当折弯内圆弧半径大于或等于材料厚度尺寸的 5 倍时, 材料折弯处无厚度变化, 即折弯后中性层在材料厚度的中心线上, 如图 1-a。

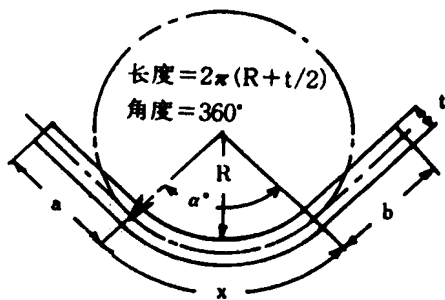


图 1-a

展开料长度:

$$L = a + b + x \quad (x \text{ 为中性层圆弧长度})$$

因为 折弯半径 $R = R + t/2$

$$\text{圆周长 } l = 2\pi R = 2\pi(R + t/2)$$

$$x = (\alpha/360) \times 2\pi(R + t/2)$$

$$\text{所以 } L = a + b + (\alpha/360) \times 2\pi(R + t/2)$$

值,对折弯系数的影响很小,可以忽略不计,在此不再加以讨论。回弹的大小由折弯的压力 P 大小有关,而压力又取决于折弯下模的槽宽 V 与材料的厚度 t ,所以回弹的大小与折弯下模槽宽 V 和材料厚度 t 有关。槽宽 V 变大,压力 P 变小,回弹就变大,否则相反;料厚 t 变大,压力 P 变大,回弹变小,否则也相反。因此如果折弯上模刀尖圆弧半径 R_0 相同或圆弧半径 R_0 相近时,折弯后内圆弧半径 R 的大小,影响最大的因素是折弯下模槽宽 V 及材料的厚度 t_0 。

折弯后弯角处材料的厚度 t_0 ,取决于材料本身的厚度 t 及折弯的压力 P ,折弯的压力 P 也同样取决于折弯下模的槽宽 V 及材料的厚度 t_0 。如果材料的厚度 t 不变时,折弯下模槽宽 V 越大,压力 P 越小(即成反比关系);如折弯下模槽宽 V 不变时,材料厚度 t 越大,压力 P 越大(即成正比关系)。所以折弯后弯角处材料的厚度 t_0 的大小取决于折弯下模槽宽 V 及材料的厚度 t_0 。

因此,对于普通钢板(SPCC)、折弯角度为 90° 的加工件,其折弯系数的影响因素主要取决于折弯下模槽宽 V 及材料的厚度 t_0 。

3.2 折弯系数 C 的确定

由上面分析可知,折弯系数 C 与折弯下模的槽宽 V 及被加工件材料的厚度 t 有关。经过多次反复的试验,得出如下表 1 的试验数据。

试验条件 设备: PG- 100;

上模刀尖的圆弧半径: $R = 0.5$;

材料: 普通钢板(SPCC);

折弯角度: 90° 。

表 1

折弯系数 C (mm)		材料的厚度 t (mm)			
		0.80	1.00	1.20	1.50
槽宽 V (mm)	6	0.12	0.26	0.40	0.64
	8	- 0.04	0.10	0.24	0.50
	10	- 0.20	- 0.06	0.10	0.34
	12	- 0.34	- 0.20	- 0.06	0.20

为此,根据数学方法,建立两个数学模型

$$\text{模型 1: } C = AV + Bt + E \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{模型 2: } C = AV^P + Bt^D + E \quad \dots\dots\dots (6)$$

其中: C —— 折弯系数;

V —— 下模槽宽;

t —— 材料厚度;

A 、 B 、 P 、 D 、 E —— 为未知数。

根据《C 语言数值算法程序大全》中的 C 语言模块,将表 1 中的数据分别代入(5)、(6)式,由计算机对其求解,得出最优的方案为(5)式。其中

$$A = - 0.075;$$

$$B = 0.72;$$

$$C = - 0.01, \text{ 最大偏差 } \Delta_{\max} = 0.06 \text{ (即 } \Delta = \pm 0.03 \text{ 时为最优。)}$$

分别将 A 、 B 、 C 的值代入(5)式,得到折弯系数最优的计算公式:

$$C = - 0.075V + 0.72t - 0.01 \quad \dots\dots\dots (7)$$

3.3 折弯系数 C 的验证

根据折弯系数的计算公式: $C = - 0.075V + 0.72t - 0.01$,任意求出几组数据与试验数据进行验证,偏差值大部分在 ± 0.01 之内,最大的不超过 ± 0.03 。如下表 2。

表 2

折弯系数 C		槽宽 V (mm)				
(mm)		6V	8V	10V	12V	20V
材料的厚度 t (mm)	0.8	试验值	0.120	- 0.040	- 0.200	-
		计算值	0.116	- 0.034	- 0.184	-
		偏差	- 0.004	0.006	- 0.016	-
	1.2	试验值	0.400	0.240	0.100	- 0.060
		计算值	0.404	0.254	0.104	- 0.047
		偏差	0.004	0.014	0.004	0.013
	2.0	试验值	-	-	0.700	0.560
		计算值	-	-	0.680	0.530
		偏差	-	-	- 0.020	- 0.030
	2.5	试验值	-	-	-	0.860
		计算值	-	-	-	0.890
		偏差	-	-	-	0.030

综上所述,对于普通钢板(SPCC)、折弯角度为 90° 的加工件其折弯系数的影响因素主要取决于折弯下模槽宽 V 及材料的厚度 t ,基计算公式: $C = - 0.075V + 0.72t - 0.01$,经过验证,在允许误差范围内,满足钣金加工工艺。

参考文献

1. W. H. Press: 《C 语言数值算法程序大全》,电子工业出版社,北京,1995。
 2. 钣金冲压工艺手册编委会:《钣金冲压工艺手册》,国际工业出版社,北京,1989。
 3. 天田培训部:《油压机基础》,AMADA SCHOOL,北京,1995。
- (收稿日期 1999- 05- 08)

将 $\alpha \cong 90^\circ$ 代入上式

$$L = a + b + (90^\circ/360^\circ) \times 2\pi(R + t/2)$$

$$\text{所以 } L = a + b + 1.57 \times (R + t/2) \dots\dots\dots (1)$$

2.2 折弯内圆弧半径 $R < 5t$

当折弯内圆弧半径小于原材料厚度尺寸的 5 倍时, 由于受到折弯压力的作用, 材料折弯处的厚度 t_0 变薄, 中性层也渐渐偏向于内侧, 如图 1- b。

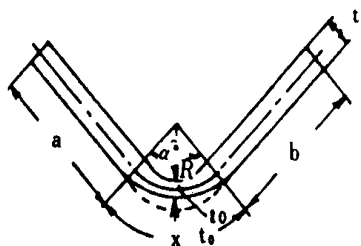


图 1- b

因为 折弯半径 $R = R + t_0/2$

$$x = (\alpha/360^\circ) \times 2\pi(R + t_0/2)$$

$$\text{所以 } L = a + b + (\alpha/360^\circ) \times 2\pi(R + t_0/2)$$

将 $\alpha \cong 90^\circ$ 代入上式

$$L = a + b + (90^\circ/360^\circ) \times 2\pi(R + t_0/2)$$

$$\text{所以 } L = a + b + 1.57 \times (R + t/2) \dots\dots\dots (2)$$

以上(1)式是用来计算折弯内圆弧半径 $R \geq 5t$ 时的展开料, 在这种情况下, 图纸上是明确规定 R 值的, 所以使用以上(1)式计算展开料非常方便。而对于 $R < 5t$ 时, 采用以上(2)式, 其中 a, b 为常数, 只要确定 R 与 t_0 , 就能计算展开料, 但 R 与 t_0 的影响因素很多, 无法确定。因此(2)式只不过是一个理论计算公式, 在实际加工过程中, 用途并不是很大。

但实际加工中大部分的零件, 其折弯内圆弧半径 $R < 5t$, 要计算其展开料, 以上(2)式又不能计算, 因此必须作为一个新的问题, 提出一个新的解决方法。下面介绍, 在实际加工过程中, 折弯内圆弧半径 $R < 5t$ 时的展开料计算所采用的另一种计算方法——内侧尺寸计算法。

3 展开料的内侧尺寸计算法

内侧尺寸计算法指将内侧尺寸全部加起来求的和, 加上由材料厚度 t 和折弯内圆弧 R 两个因素所决定的折弯系数, 如图 2 所示。

首先将 l_1, l_2, \dots, l_n 内侧尺寸全部加起来求出其总和, 再加上每一弯角的折弯系数, 用一般公式计算:

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n + (n-1)C \dots\dots\dots (3)$$

其中: C ——折弯系数。

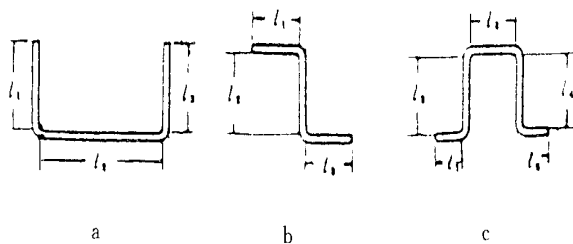


图 2

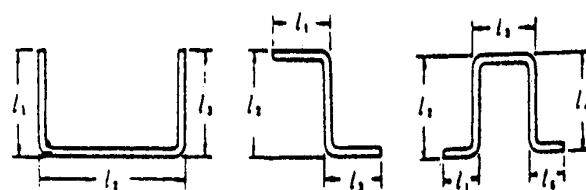


图 3

如果是图 2- a 的话, 有两个弯角, 就加 $2C$; 如果是图 2- b 的话, 也同样加上 $2C$; 如果是图 2- c 的话, 就加上 $4C$ 。

如果是如图 3 所示的外侧标注尺寸, 将外侧尺寸转换成内侧尺寸, 即把外侧尺寸全部加起来求得其和, 然后减去外侧尺寸中所包含的所有料厚, 再加上每一弯角的折弯系数, 用一般公式表示如下:

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n - 2(n-1)t + (n-1)C \dots\dots\dots (4)$$

如果是图 3- a 的话, 有两个弯角, 减去 $4t$, 加 $2C$; 如果是图 3- b 的话, 同样减去 $4t$, 加 $2C$; 如果是图 3- c 的话, 应减去 $8t$, 加上 $4C$ 。

3.1 折弯系数 C 与其影响因素之间的关系

上面已经分析, 对于 $R \geq 5t$, 用(1)式可以准确计算展开料的长度 L , 而在实际加工过程中, 大部分的零件是 $R < 5t$, 根据展开料的内外侧尺寸计算法(3)式、(4)式及展开料的理论计算公式(2)式可以看出, 折弯系数 C 的大小, 一方面取决于折弯后内圆弧的半径 R , 另一方面又取决于折弯后弯角处材料的厚度 t_0 。

内圆弧半径 R 的大小, 是由折弯用上模的刀尖圆弧 R_0 和回弹的大小决定的(即 $R = R_0 + \text{回弹}$)。在实际加工过程中, 所使用上模刀尖的圆弧半径 R_0 , 大多数情况下都小于或等于 0.5 mm , 可视为一定