维普资讯 http://www.cqvip.com

93,16(6)
1-3

焊管成型时的回弹

张必强
(上海钢铁研究所 200940)

TG335.75

摘要 据材料力学基本公式推导出焊管成形时的回弹公式：$\Delta\theta = B\sigma_s/(E\cdot t)$，分析了带钢材料性能、规格(宽度、厚度)对回弹量的影响，并介绍了几种克服成形回弹的方法：(1)适当增加成形轧辊的变形量；(2)采用加热成形法；(3)采用非对称成形法。

主题词 焊管 成形 回弹 焊接钢管

1 引言

在低碳钢焊管成形时，回弹一般不是一个十分突出的问题。随着我国焊管工业的发展，各种低合金和合金钢焊管、不锈钢焊管、钛和钛合金焊管以及其它金属和合金焊管的研制和生产，它们在成形时的回弹已经成为一个比较突出的问题。主要表现为：(1)按一般孔型设计方法进行成形轧辊的设计，由于回弹，实际成形并不是所要求的形状，特别是带钢边缘成形不足，管坯往往成为桃子状。(2)在以较高速度生产纯钛焊管时，回弹大将引起离开挤压辊时尚未完全凝固的焊缝开裂，在焊管焊缝内表面处出现微裂纹[1]。(3)为了提高不锈钢焊管和钛与钛合金焊管的焊接速度，采用多电极钨极氩弧焊是一种极为有效的方法[2]~[4]。这种方法要求在多电极排列的一段距离内，管坯两边缘必须紧密接触，回弹大则使管坯在挤压辊的前后两边缘张开，使多电极氩弧焊无法进行。因此，有必要对焊管成形时的回弹作研究，分析影响回弹的因素并找出解决回弹的方法。

焊管的成形是一个塑性变形的过程，其中包含一部分弹性变形，正是弹性变形引起回弹的产生。

金属材料并非理想的塑性变形材料，金属材料的加工硬化现象以及焊管成形时变形条件的复杂使回弹的精确解很难求得，为此，本文对回弹作较为粗略的分析，主要从定性方面分析影响回弹的因素。

2 焊管成形时回弹公式的推导

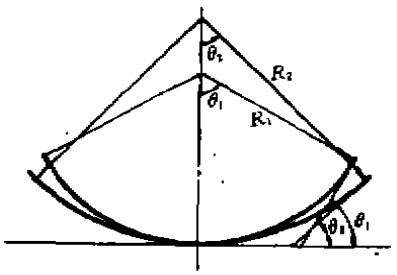


图1 焊管成形时回弹示意图

图1中，金属带在轧辊孔型中进行 R_1、θ_1 的变形，过了轧辊以后，回弹至 R_2、θ_2，其中 R_1、R_2 均指金属带中性层的弯曲半径。根据材料力学，有：

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} - \frac{M}{EI} \qquad (1)$$

式中：M——回弹弯矩；

E——弹性模量；

I——惯性矩。

设变形时中性层的长度不变，即 $R_1\theta_1 = R_2\theta_2$，并定义回弹角 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$，代入(1)式中，则有：

$$\Delta\theta = \frac{\rho_1\theta_1 M}{EI} = \frac{BM}{2EI} \qquad (2)$$

维普资讯 http://www.cqvip.com

其中 $B = 2\rho_1\theta_1$，即为金属带的宽度。

回弹弯矩 M 为使金属带产生最大弹性弯曲时的弯矩，约为材料的屈服弯矩 M_s（即金属带厚度上离中性层最远处刚刚开始产生屈服时的弯矩）。对于矩形截面，M_s 为[1]：

$$M_s = \frac{\sigma_s b t^2}{6} \qquad (3)$$

式中：σ_s——材料的屈服强度；

b——矩形截面的宽度；

t——矩形截面的高度，在这里即为金属带的壁厚。

对于矩形截面，其惯性矩 I 为[4]：

$$I = \frac{bt^3}{12} \qquad (4)$$

将(3)、(4)式代入(2)式中，即得到焊管成形时的回弹公式：

$$\Delta\theta = \frac{B\sigma_s}{Et} \qquad (5)$$

3 影响回弹的因素

3.1 焊管材料本身的性能

从(5)式中可以看到，焊管材料本身的性能主要是变形抗力(σ_s)和弹性模量(E)影响回弹量的大小。材料的变形抗力越大，回弹越大；而材料的弹性模量越小，回弹越大。如果定义材料的回弹系数 $H = \frac{\sigma_s}{E}$，则可用于比较不同材料在焊管成形时回弹程度的大小。表1列出了几种金属材料的 σ_s、E、H 值，从表上可以看到，工业纯钛(TA_2)的 σ_s 较高而 E 较低，其 H 值在几种材料中最大，因此，纯钛焊管在成形时回弹大。Al、Cu 虽然弹性模量小，但它们的屈服强度也小，故 H 值不高，成形时回弹小。

就钢铁材料而言，其弹性模量对于化学成分少量改变和组织的变化并不很敏感，它们的弹性模量相差不大，故其回弹大小主要取决于屈服强度的大小。所以，同是低碳钢，冷轧带钢比热轧带钢强度高，回弹也大；低合金钢和合金钢强度比低碳钢大，所以回弹也较大。

表1 几种常用金属的 σ_s、E、H 值

材料	铝	铜	钛(TA_2)	A3钢	0Cr18Ni9不锈钢
屈服强度 σ_s(MPa)	50	60	274	240	245
弹性模量 E(MPa)	70600	128700	108000	210000	193000
$H=\sigma_s/E$	0.0007	0.00047	0.00254	0.00114	0.00127

从表1看，A3钢和不锈钢的 H 值相差并不大，其回弹似乎应该相差不大，但是在焊管的实际成形过程中可以发现，不锈钢的回弹明显大于低碳钢[7]。其原因在于，焊管成形是一个多次变形的过程，具有面心立方晶格结构的奥氏体不锈钢，其加工硬化现象较为显著，特别是18—8类型的不锈钢，在冷变形中会形成部分马氏体，使加工硬化现象更为显著，由于冷变形使不锈钢的屈服强度提高，从而使回弹增大。因此，材料的应变硬化指数(n)也对成形时的回弹产生影响。

3.2 焊管规格

从(5)式中还可以看到，回弹角的大小与焊管的规格有关。成形的金属带宽度越大，回弹越大；而壁厚越小，其回弹越大。金属带的宽度取决于焊管的外径，所以实际上与 D/t 的比值有关。D/t 比值越大，也即越是薄壁管，成形时的回弹越大。

纯钛薄壁焊管，由于纯钛本身的 H 值高，而最常用的规格为 $\varnothing 25\times 0.5$ 的薄壁管，所以它们在成形时的回弹特别严重，从而引起了人们对焊管成形时回弹问题的重视。

4 克服回弹的几种方法

下列几种方法可用于克服焊管成形时的回弹。

4.1 适当增加成形轧辊的变形量

在设计某些回弹大的材料或者规格焊管

维普资讯 http://www.cqvip.com

的成形轧辊时，需将回弹大这一因素加以考虑，适当增大每一成形轧辊的变形量，这样回弹后才能使管坯的形状达到所要求的形状。特别是金属带的边缘部分，采用这种方法有利于防止桃子形的产生。

4.2 采用加热成形法

由于金属材料的屈服强度和弹性模量会随温度的不同而改变，所以采用加热成形法可改变成形时的回弹量。加热炉一般位于最后一道闭口辊之前。不同材料有不同的最佳成形温度。图2为工业纯钛的成形温度对管坯两边缘间隙大小的影响[1]。对工业纯钛，成形温度为250～300℃时，其间隙最小。但为了防止纯钛带表面氧化，一般采用200～250℃作为成形温度。

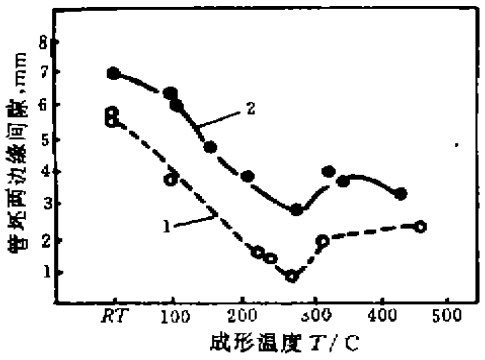


图2 工业纯钛的成形温度对管坯两边缘间隙的影响[1]

1—减小成形半径 2—未减小成形半径

4.3 采用非对称成形法

为了提高钨极氩弧焊焊管的生产效率，采用多电极钨极氩弧焊是一种极为有效的方法。但采用此法，要求在多电极排列的这段距离内，管坯的两边缘均需保持接触紧密。由于回弹大，往往难以达到这一要求。为了解决这一问题，可采用非对称成形法。

非对称成形法是指在挤压辊之前采用两组非对称成形辊，使管坯在进入挤压辊之前产生如图3所示的两次非对称变形，只要非对称变形辊设计合理，就可使管坯在两组挤压辊的作用下在一段距离内保持两边缘紧密接触，满足多电极钨极氩弧焊的要求。

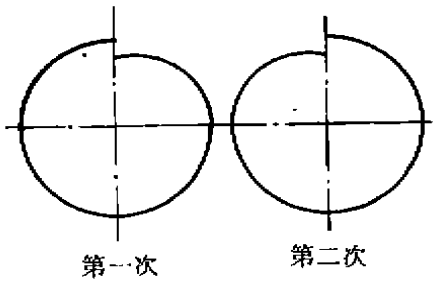


图3 管坯的非对称变形

5 结论

5.1 焊管材料的变形抗力(σ_s)越大，弹性模量越小，成形时的回弹越大。

5.2 焊管规格影响成形时的回弹，D/t值越大，回弹越大。

5.3 提出及介绍了几种克服焊管成形时回弹的方法。

参考文献

1 Y·Miyamoto etc. Titanium Science and Technology 1984 V.1 P633

2 何德孚等. 串列双弧开关脉冲GTA焊管法及电源设计. 焊管，1990，(2)，5

3 宫本淳之等. 塑性C加工. V.29. No333. P1067

4 S·铁摩辛柯等. 材料力学. 胡人礼译. 北京：科学出版社，1978：369、626

5 春日幸生等. 塑性と加工. V.26. No289：182

（收稿日期：1993—06—14）