

D406A 钢错距旋压工艺参数选取方式分析

李 辉 王华东 万德芬

(第二炮兵驻江河化工厂军代室, 孝感 432000)



摘要: 从旋轮的形状、旋轮进给比、旋压道次、壁厚减薄率和旋压力等对成形影响最大的工艺参数进行分析比较, 论证了工艺参数的选取与旋压件精度之间的内在规律, 提出了可行的选取方式。

关键词: D406A 钢; 错距旋压; 工艺参数

Selecting Method Analysis of Parameters in 406A Steel Stagger Spinning Technique

Li Hui Wang Huadong Wan Defen

(The Second Artillery Military Representative of Jianghe Chemical Plant, Xiaogan 432000)

Abstract: In this article, technical parameters which mostly influence shape forming are compared and analyzed with a special effort, for example, shape of spinning roller, feed rate of spinning roller, pass of spinning roller, reduction rate of wall thickness, spinning force and so on. The inherent law between selecting technical parameters and spinning accuracy is also be demonstrated, and a practicable method is proposed.

Key words: D406A steel; stagger spinning; technical parameter

1 引言

超高强度钢 30Si2MnCrMoVE (以下简称 D406A), 因其良好的塑性、冲击韧性和强度成为旋压加工技术中的首选金属, 现已广泛应用于航天、军工、机械制造等领域。在筒形件强力旋压中采用错距旋压已逐渐普及, 错距旋压过程是一个集材料、几何、边界条件三重非线性因素耦合的复杂变形过程。因此, 旋压工艺参数的选择合适与否, 将直接影响到成形工件的质量, 本文着重从旋轮的形状、旋轮进给比、旋压道次、壁厚减薄率和旋压力等对成形影响最大的工艺参数进行分析和选择。

2 错距旋压工艺

错距旋压是将多个旋轮在轴向互相错开, 而在径向又依次使毛坯减薄的一种旋压方式, 如图 1 所示。三旋轮呈 120° 均匀分布, 径向错开一定距离, 轴向也错开一定距离。三旋轮错距后相当于把一道工序的压

下量分配给三个旋轮承担。采用错距旋压方式, 可以在一道工序中完成原来需要多个工序才能完成的工作, 提高了生产率。同时, 因增加了对变形面的约束, 使工件的直径精度也得到了改善。但是错距旋压也有其缺点, 即工艺参数多, 而且彼此之间关系十分复杂。只有当各个工艺参数匹配合理时才能显示其工艺优势。

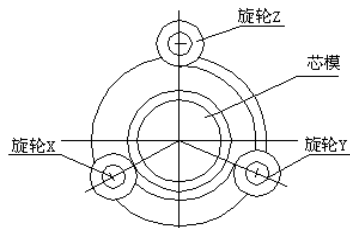


图 1 三旋轮反向错距旋压

3 工艺参数的选取

3.1 材料化学成分及机械性能

D406A 钢属于中碳低合金超高强度钢，具有高强度、高韧性和良好的综合机械性能，特别是断裂韧性

较 30CrMnSiA 钢有很大提高。其化学成分和机械性能如表 1、表 2 所示。

表 1 D406A 钢化学成分 %

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P	Ni
0.28~0.32	1.45~1.65	0.90~1.20	1.00~1.30	0.35~0.45	0.10~0.21	0.90~1.20	<0.02	<0.02

表 2 D406A 钢机械性能

力学性能 热处理规范	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%	AK/J	K_{IC} /MPa·m
淬火+回火	≥ 1620	≥ 1325	≥ 9	≥ 30	≥ 40	≥ 86.7

3.2 旋压毛坯设计

错距旋压是一种先进的无切削加工新工艺，它对材料的热处理状态、晶粒度、材质的均匀度都有严格的要求。D406A 钢旋压毛坯钢锭采取双真空冶炼方式冶炼，锻后须经 930℃ 正火+720℃/12h 高温回火，最后球化退火处理，确保轧环晶粒度大于等于 5 级。为了合理分布三个旋轮的错距值，坯料的端口部需设计一定锥度，通常选择 36°~52°。

毛坯的加工精度也直接影响旋压件的质量。如果坯料有较大的壁厚偏差，在强力旋压过程中就会出现延伸不均匀，易使筒体出现扭曲变形。因此，在旋压过程中必须采用壁厚偏差小的毛坯，一般要求毛坯壁

厚差必须控制在 0.40mm 以内，旋压毛坯外壁粗糙度不大于 $R_a3.2\mu m$ ，内壁粗糙度不大于 $R_a1.6\mu m$ ，对车削后的坯料还应提出同轴度、圆度、垂直度要求。

3.3 旋压芯模材料的选择

旋压芯模的选材，不仅要求材料本身能承受较大的负荷，具有较高的硬度和良好的淬透性、高耐磨性、高弹性极限和高接触疲劳强度，还要便于加工。根据芯模的使用要求，选用具有高淬透性的常用轴承钢 GCr15，其力学性能见表 3。GCr15 钢在油中淬透直径可达 18~40mm，经热处理后可获得高而均匀的硬度、高耐磨性、高弹性极限和较长的疲劳寿命，完全能满足旋压成形的使用要求。

表 3 常用轴承钢 GCr15 力学性能

钢号	热处理制度	HRC	抗拉强度 σ_b /MPa	疲劳循环次数
GCr15	840℃ 油淬，160℃ 回火 2h 油冷	63~64	75	1.5×10^7

3.4 旋轮的设计

旋轮是错距旋压加工的主要工具之一，也是使旋压工艺取得良好效果的一个重要影响因素。工作时，它与毛坯直接接触，承受着巨大的接触压力、剧烈的摩擦和一定的工作温度。因此，要求旋轮具有足够的强度、刚度、硬度和耐热性，合理的结构形状和尺寸精度以及良好的工作表面。

旋轮的成形角 α 是一个非常重要的工艺参数，其大小受坯料尺寸和壁厚减薄率的影响。在实际加工中， α 越大，材料隆起越高，易造成金属的非稳定流动，所以 α 不能太大。但 α 取得过小时，旋轮与毛坯的接触面积增大，同时旋压力相应增大。D406A 钢属于高强度钢，选取成形角 α 为 15°。

旋轮圆角半径通常是凭经验取值，对硬料可取 $0.015D \sim 0.03D$ (D 为旋轮的直径)，对软材料适当取大一些。D406A 钢旋压时，选取旋轮圆角半径 $\rho = 8mm$ 。

旋轮退出角 β 对旋压成形的影响较小，根据结构尺寸选择，但如果退出角 β 过大，圆角半径 ρ 处的强度则降低，易导致受力部位局部断裂，因此，通常选 $\beta = 20^\circ \sim 30^\circ$ 。

旋轮外径 D 的选取也很重要。 D 过小时，金属的周向流动增加，使工件的精度降低；当 D 过大时，则旋压力与 $\sqrt{D}$ 成正比地增加。通常取 $D = 0.3d \sim 0.5d$ (d 为芯模直径)。旋轮结构如图 2 所示。

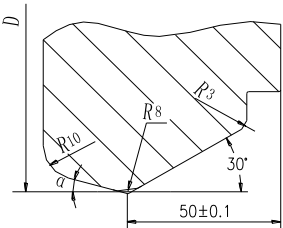


图 2 旋轮结构

3.5 旋轮材料的选择

旋轮表面应耐磨, 有较高的硬度, 因此, 必须选用优质的工具钢或含钒的高速钢制造, 根据旋轮的使用要求和加工的可行性, 选用冷作模具钢 Cr12MoV, 该钢属于高碳高铬型莱氏体钢, 耐磨, 冲击韧性好, 易淬透, 且有较好的热加工性和碳化物分布, 热处理后硬度为 HRC55~58, 工作面表面粗糙度 $R_a0.8\mu\text{m}$, 可以满足使用要求。

3.6 壁厚减薄率

壁厚减薄率反映了工件变形程度, 是壁厚减小量与初始壁厚的比值。在成形过程中分为道次减薄率和总减薄率。在总减薄率确定之后, 根据工艺条件和工艺尺寸精度的要求, 分若干道次来进行变薄旋压。道次减薄率过大, 会造成工件塑性流动失稳、材料堆积、工件畸变增大, 且表面易出现波纹等缺陷。道次减薄率过小, 会引起工件厚度变形不均匀, 工件内表面变形不充分而出现裂纹。通常道次减薄率在 15%~50% 之间选择。经工艺验证, D406A 钢减薄率在 25%~45% 为最佳值。

3.7 旋轮进给比

错距旋压时, 旋轮相对于毛坯每转的移动量即旋轮的进给比。通常旋轮进给比尽量取大一些。但随着进给比的增大, 旋后材料将发生壁厚增大、回弹增大、壁厚偏差增大、平均扩径量和椭圆度都减小的情况。过小的进给比则易使零件内径扩大, 尺寸精度降低, 尤其薄壁筒形件, 很容易产生起皱。通常筒形件变薄旋压的进给比的选择范围为 0.7~1.4mm/r, 常用的进给比是 0.1~2mm/r。

3.8 旋压力

旋压力是旋压成形时的一个重要工艺参数, 是确定设备功率及结构参数、设计机床和编制工艺流程的科学依据。旋压力通过旋轮的工作面均匀地作用于工件和旋轮的接触面上, 作用力的合力通过接触面的重心, 其方向为接触面重心处的法向。一般将旋压力分解为互相垂直的 3 个分力, 其中 X 方向的旋压力为切向旋压力, Y 方向的旋压力为横向旋压力, Z 方向的旋压力为轴向旋压力。

旋压力的大小会随着其他工艺参数的变化而发生改变。筒形件错距强力反旋时, 随着旋轮成形角的增大, 径向旋压力先减小后增加, 轴向旋压力稍有增长, 切向旋压力稍有下降; 随着旋轮圆角半径的增大, 径向旋压力和切向旋压力呈上升趋势, 轴向旋压力呈下降趋势; 随着壁厚减薄率和旋轮进给比的增大, 除切向旋压力变化不明显外, 各向旋压力都出现较快增长。因此, 必须根据其他工艺参数的变化情况, 合理

施加旋压力, 从而提高薄壁筒形件的产品质量。

3.9 润滑与冷却

错距旋压是在巨大的点压力下高速进行的, 并产生大量的急剧变形热, 这种高温、高压的工作环境会使工件金属与芯模接触面加剧摩擦, 甚至出现“粘结”现象。为了保持工艺过程的稳定, 应对成形区进行充分的冷却。为了减少毛坯相对旋轮和芯模流动时的表面摩擦, 防止工件材料粘附到旋轮或模具表面上, 还应应对成形区进行必要的润滑。

冷却剂应清洁, 具有较大的比热和良好的流动性, 此外, 还应具有较大的附着力和浸润性。两者在旋压过程中应不产生有害的挥发物, 不与工件产生化学作用, 不腐蚀机床。冷却润滑剂的加入应尽量充分、均匀、连续。在 D406A 钢旋压生产中采用 XJ-158 型微乳切削液, 以 300L/min 的大流量喷射变形区域, 带走旋压热, 以防止芯模因高温作用而使其硬度下降。其次, 将二硫化钼 (MoS_2) 干粉与 60 号机油按 1:1.5 比例配制成润滑剂, 均匀涂刷于芯模表面和工件内壁, 以增加润滑并防止“粘结”现象的产生。

3.10 消除残余应力

一般机械加工件的表面残余应力为拉应力, 而错距旋压是金属材料受挤压产生塑性变形的过程, 其内外表面则多数为压应力, 有时也可能出现拉应力。残余应力数值可能达到每平方厘米数十千克。为此, D406A 钢在完成第一、第二道次旋压之后, 进行中间道次的 700℃ 消除应力退火工序, 以消除材料加工硬化, 恢复其塑性, 同时, 也避开了原材料在 350~550℃ 的回火脆性区, 又充分软化了工件。终旋后再进行一次退火, 主要是消除残余应力, 稳定工件的几何形状。

4 结束语

通过对 D406A 钢筒形件错距强力旋压具有较大影响的工艺参数的详细分析, 相对全面地论证了旋压工艺参数的选取与旋压件精度之间的内在规律, 提出了可行的工艺参数选取方式, 从而为改善旋压工艺和提高产品质量提供了一定的技术支持和理论保证。

参考文献

- 1 史美堂, 等. 金属材料及热处理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1996
- 2 田锡惠, 等. 导弹结构材料强度[M]. 北京: 宇航出版社, 1996
- 3 张立鹏, 刘智冲. 筒形件强力旋压工艺参数选取方式分析[J]. 锻压技术, 2006, 1: 43
- 4 陈适先. 强力旋压工艺与设备[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986
- 5 王成和, 刘克璋. 旋压技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986

