

第二届旋压会议文集



兵器工业部 新技术推广所 第六二研究所 汇编

前 言

全国第二届旋压会议，由兵器工业部主持于1981年10月在湖南省江南机器厂召开。

会议共收到学术论文44篇，内容涉及旋压技术在兵工、航空、航天、电子、造船、机械、冶金、民用等工业中的应用和旋压工艺及设备的理论研究等。

会议委托兵器工业部推广所和第六二研究所汇编出版《第二届旋压会议文集》。

在文集中选择了生产工艺、旋压理论、经营管理、检测和综述等15篇论文全文登载。其中已在其他刊物上发表过的内容和某些不宜向外发表的内容作了删节。其余论文均作了摘要登载，以备读者参考和咨询。

由于水平不高，经验不足，错误一定存在，希读者指正。

汇 编 组

一九八四年二月

目 录

论 文

对强力旋压的燃烧室表面残余应力的初步分析

..... 华山机械厂工艺所 执笔 葛文翰 校对 王德忠(1)

04#燃烧室强力旋压

..... 三机部六二五所 赵洪文(12)
..... 兵器工业部七四三厂 李有鑫

收敛扩散型火箭发动机的整体强力旋压

..... 国营江南机器厂 黎家福(39)

发动机壳体旋压工艺研究

..... 国营一一一厂 执笔: 张云祥
..... 中国科学院金属研究所 潘学卿(50)
..... 冯景铸

强旋筒形件内径精度分析和试验

..... 三机部六二五所 曹庚顺(73)

筒形件强力旋压的塑性流动场及旋压力解析

..... 三机部六二五所 陈适先(83)

18Ni—350级马氏体时效钢精度薄壁筒的工艺研究报告

..... 冶金工业部有色金属研究总院二〇五室 孙桂香(99)

某筒形件采用旋压工艺生产可行性初步研究

..... 兵器工业部第六设计研究院 王志东 李温兰 范文祥(114)

受内压薄壁管机械性能检测方法

..... 中国科学院金属研究所 邹连明 路国通
..... 冶金工业部有色金属研究总院 李纯志 赵云豪(128)
..... 兵器工业部一三七厂 王跃之 尤新发

粉冶无缝钨管的旋压

..... 上海钢铁研究所 殷国平(142)

几种锥形件强力旋压成型的探讨

..... 国营二八二厂科研所 刘双录 周 律(163)

1.2M天线主反射面旋压成型工艺试验报告

..... 四机部一九一九研究所(180)

强力旋压毛坯设计解析数模的建立

..... 六二五研究所 邓忠凡(187)

旋压机试制技术总结——旋压机造型与总体设计中的几个问题

.....七机部技术局 孙家钟(196)

国外旋压技术发展现状

.....冶金部有色金属研究总院 马云凤(221)

论文摘要

旋压技术国内发展情况

.....冶金工业部有色金属研究总院 张顺福(244)

西德旋压技术情况介绍

.....国营七四三厂
冶金部有色金属研究总院(244)

西德St56—75CNC自动强力旋压简介

.....国营晋西机器厂新工艺研究所
冶金部有色金属研究总院二〇五室(244)

旋压工艺实验报告

.....内蒙二机厂技术科 姜长颖 李之高(245)

筒形件强力旋压在大批量生产应用中的体会

.....国营江南机器厂 杨 军(245)

锥形体强力旋压工艺小结

.....国营六七二厂 王青山 王官阁(245)

金属强力旋压过程中粘结现象的实验与分析

.....北京航空学院七一一实验室 孙存福 陈企芳(246)

锥形件强力旋压中的几个问题

.....七一〇三厂 崔守诚(246)

旋压产品常见缺陷初步探讨

.....有色金属研究院二〇五室旋压工艺组 执笔: 李云生(246)

然烧室强力旋压工艺试验总结

.....兵器工业部五一四三厂 赵吉云等
冶金部有色金属研究总院 张顺福等(247)

金属可旋性试验研究

.....三机部六二五所旋压组 陈连先(247)

关于强力旋压机退让量的研究

.....七机部技术局 孙家钟(247)

φ560变截面D6AC.D6AE钢旋压管

.....陕西钢铁研究所(248)

“781—1”承压缸强力旋压成形

.....哈尔滨国营建成机械厂(248)

D 60钢质H215弹头强力旋压成形探讨	国营5143厂研究所	高 发	冯发田(248)
SY—40强力旋压机床的设计特点	国营红岗机械厂旋压组		(249)
对影响强力旋压主要工艺因素的探讨	江西矿山机械厂	李向寿	(249)
“尾锥体薄壁喷口”旋压成形产生波纹的分析和控制	西安红旗机械厂工艺研究所	金文进	(249)
φ 1.4米406超高强度钢椭球封头的旋压工艺	国营七四一四厂	胡 红	(249)
喷管延伸段成型工艺的研究	宝鸡有色金属研究所	昌文华	(250)
TC ₃ 钛合金喷管旋压成型	宝鸡有色金属研究所	刘建章	(250)
筒形件强力旋压中胀径问题的讨论	兵器工业部六二研究所	但向东	(250)
采用电液比例调速阀的同步系统	上海重型机床厂 SY-6 调试组	邵学林等	(251)
WH200无炮管强力旋压工艺研究	冶金工业部有色金属研究总院	赵云豪	邹连明
	中国科学院金属研究所	王跃之	张顺福(251)
	兵器工业部一三七厂	李纯志	路国通
用强力旋压新工艺加工锥形罩母体	南京汽轮电机厂	杨希震	(251)
PCrNiMo钢可旋性及强力旋压形变回复退火对材料性能与组织结构的影响	中国科学院金属研究所	邹连明	李纯志
	兵器工业部一三七厂	王耀之	路国通(252)
	冶金工业部有色金属研究总院	赵云豪	
旋压力能参数试验研究综述	一机部重型机械研究所	王成和	(252)
强力旋压锥形体力的实验与计算	北京航空学院七一一实验室	孙存福	陈企芳(252)
异形变壁厚薄壁筒的强力旋压及质量控制	国营江北机械厂	马绍明	徐荫成(253)

对强力旋压的燃烧室 表面残余应力的初步分析

华山机械厂工艺所 执笔：葛文翰
校对：王德忠

内 容 提 要

本文通过对83*燃烧室和73*燃烧室的表面层宏观残余应力的测试,对管形件旋压时表面层残余应力形成的机理和它对产品的影响作了初步探索。

几年来,我国燃烧室加工中广泛推广应用强力旋压工艺,在利用形变强化效应的同时,对旋压件表面层有较大的残余应力,这将对产品性能产生怎样的影响,未作出肯定的结论,影响旋压工艺的推广应用。由于残余应力产生的原因比较复杂,而且不易测量和观察,致使它对产品质量的影响和形成机理至今还不很清楚。也未见到系统的分析研究资料。我们在83*燃烧室旋压工艺试验时从工厂现有条件出发,对此作了初步探索。

测 试 方 法

1. 用环切法进行残余应力的测量

按达维金柯夫法测定薄壁管中的残余应力,测定切向应力时要沿母线劈开管子,切向应力用下列公式来表示:

$$\sigma_T = \pm \frac{E(S-2X)}{1-u^2} \cdot \frac{\Delta D_1}{D_m}$$

测定轴向应力要从管子上与其轴平行地切截出窄的舌片(如图一)

纵向应力用下式表示:

$$\sigma_s = E(S-2X) \frac{f''}{L^2}$$

式中: E ——弹性模数;

u ——泊松系数;

s ——壁厚;

X ——被研究纤维离开表面的距离;

D_m ——在劈开前(D_0)和劈开后(D_1)中间直径的平均值; $\Delta D_1 = D_1 - D_0$

f'' ——长度为 L 之舌片的最终弯曲。

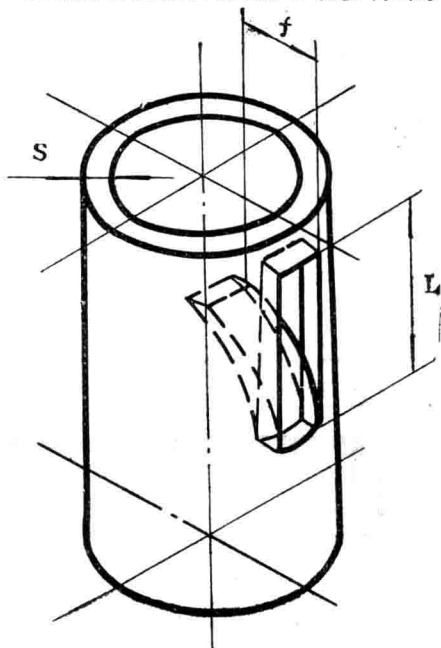


图 一

但只有在制品中的一个面上具有足够高的拉伸力，并且在另一个面上具有足够的压缩应力的情况下才可利用此法。而旋压件残余应力的分布究竟怎样至今还是个谜。达维金柯夫法是否适用还有待于试验证实。我们参照此法用环切进行残余应力的摸底试验，因为燃烧室在服役条件下，切向应力比轴向应力大一倍。所以摸底试验主要测量切向残余应力。对40Mn2, 40Cr, 45钢不同原始状态的旋压件分别取10mm宽的环状试样若干，分别在不同退火温度下保温一小时后空冷，沿轴向切开，测量切口前后直径变化，轴向错动量。这种试验方法可以直观地了解残余应力的大小和退火温度对残余应力影响。圆环沿轴向切开后张口，可以认为产生这种形变的主要原因是该部分受到不均匀的塑性变形的结果。

退火试验结果。400℃退火圆环张口减少了一半，这表明残余应力有明显下降。500℃退火张口基本消除，可以认为切向残余应力已基本消除。对40Mn2材料退火后所作机械性能试验结果表明。400℃退火不降低其性能，500℃退火机械性能明显下降。

环切法测量记录见附表一

2. 用X射线应力测试仪测量表面残余应力

X射线法测定残余应力是利用射线在晶面上衍射，通过衍射角可以测定出晶面间距这一原理。存在残余张应力时晶面间距增大，存在残余压应力时晶面间距缩小，晶面间距的变化也就是应变值。将测得的应变值乘以弹性常数，即可得残余应力值。

测量在国产XYL-73型X射线应力测定仪上进行。选用参数如表一：

表一

电压 (KV)	电流(MA)	高 压 (V)	时间常数(秒)	计 数 率 (次/秒)	扫描速度 (度/分)	纸 速 (mm/分)
32.4~34	10	11.50~12.50	16	400, 800	2	20

任取一件旋压成品用XYL-73型X射线应力测试仪按图二位置测得表面宏观残余应力如表二：

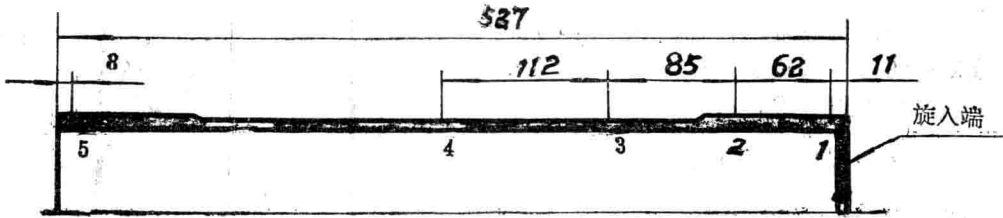


图 二

表二

应 力 方 向	测 量 点				
	1	2	3	4	5
轴 向 应 力	-46.84	-71.49	-74.94	-74.73	-39.44
切 向 应 力	12.33	-14.80	-16.27	-13.80	-6.41

将上述工件测点 1、4 处切取 10mm 宽的环状试样，用电抛光法剥层，测量残余应力沿截面分布情况。试验中由于密闭装置不完善，内表面也产生电化学腐蚀，影响试验结果。仅测了几点，结果见表三。

表三

状 态	测 量 点						备 注
	4			1			
	剥层深	切 向	轴 向	剥层深	切 向	轴 向	
旋压后取环态	0	-2.47	-29.58	0	16.27	-40.43	
	0.11	5.92	-18.49	0.12	21.20	-10.85	
	0.21	-5.85	-37.96	0.13	9.86	-36.98	
	0.09	-4.93	-25.88	0.10	4.98	-32.05	
	0.16	-4.93	-19.72	0.13	12.33	-38.21	
经390℃退火		-2.47	-8.87				4#测点附近的环态试样

注：单位kg/mm²

圆环在 88% H₃PO₄ + 12% CrO 溶液中以7V，40A/吋²条件下剥层。

从整体管和切成圆环后所测得残余应力值对比中可知，由于取切的圆环宽度太小，使残余应力重新平衡后与原整体的应力值有较大的差值，因此，在圆环上测得的应力值不能准确的反映整体旋压管的应力值。但由于圆环试样制备方便，用它来作定性分析还是可以的。

在测点 3、5 处按图 1 所示方法剖切纵向舌片按 $\sigma_s = E \cdot S f'' / L^2$ ，计算轴向残余应力值见表四。

表四

测 量 点	结 果				备 注
	L	S	f''	σ_s kg/mm ²	
3	60	3.9	2.2	-50.05	在200毫米的试管上剖切纵向舌片
5	60	3.9	1.58	-35.95	

$$E = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$$

轴向残余应力二种试验结果基本相符。

为了解成品件表面的残余应力，任取 5 件经 390℃ 退火后按图纸加工合格的成品管，在圆柱部中部测量表面残余应力结果见表五：

表五

应 力 方 向	件 号				
	0*	1*	2*	3*	4*
切 向 应 力	-15.78	-14.79	-17.26	-13.56	-22.19
轴 向 应 力	-45.85				

测量结果表明。成品管表面切向残余应力与未退火的旋压管相似，而轴向残余应力明显下降。

将上表所列的4#管圆柱部中部切取 107mm 长的圆管 ($L = D$) 用磨削法剥层测量外表面残余应力的变化。结果见附表二。试验结果表明外层残余应力最大。由于用磨削法剥层有可能叠加磨削加工产生的加工应力，但此测量结果未排除剥层时叠加的加工应力。83#产品旋压后未经加工的燃烧室表面按图三测量。其残余应力结果见表六。

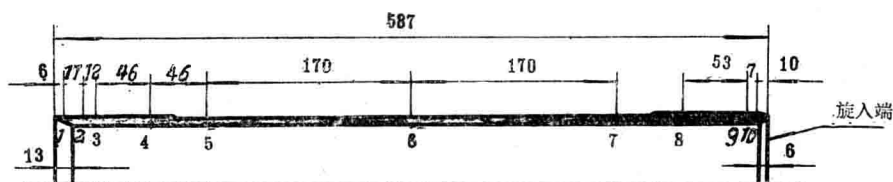


图 三

表六

方 向	测 点									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	结 果					果				
切向应力	34.51	23.66	-32.05	-16.76	-14.30	-24.65	-8.36	-17.26	0.49	4.44
轴向应力	-26.62	-19.72	-62.61	-80.85	-54.23	-73.46	-71.49	-61.63	-41.91	-35.50

在同样条件下对73#燃烧室(509#管)表面按图四测量残余应力,结果见表七:

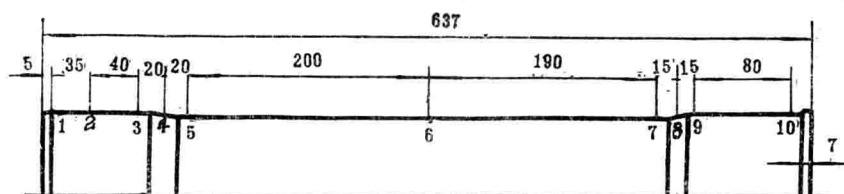


图 四 509号管

表七

509号管测量结果

方 向	测 点									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	结 果					果				
切向应力	26.13	-5.42	1.97	0.98	7.39	4.44	2.96	-3.94	0.49	6.90
轴向应力	-9.86	-31.06	-43.88	-76.62	-29.09	-36.48	-28.59	-54.72	-7.40	-70.71

对501号管按图五各点进行测量结果如表八

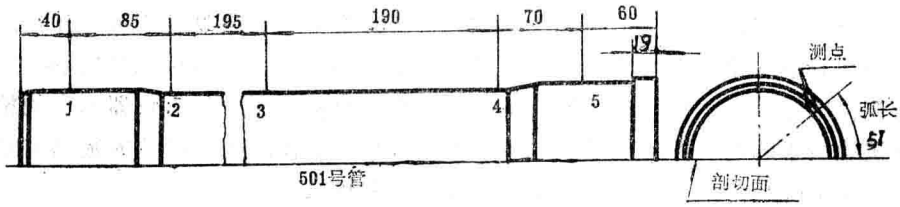


图 五

表八 501 号 管 测 量 结 果

测 面	方 向	测 点					备 注
		1	2	3	4	5	
		结 果					
外 表 面	切向应力	-4.44	26.62	20.71	4.93	-8.38	剖 切 后 测 量
	轴向应力	-42.40	-7.89	-16.27	-41.91	46.84	
	切向应力	-19.72	8.38	-3.94	-9.37	-19.23	
	轴向应力	-35.99	-9.86	-34.02	-37.47	-34.51	
内 表 面	切向应力	-12.33	-10.35	-14.79	6.90	-17.75	
	轴向应力	0	2.96	-15.78	-24.16	-21.20	

由于无法直接测量内表面残余应力，采用切后测量。501号管剖切前后外径变化见表九。

表九

部 位	测 点				
	1	2	3	4	5
	结 果				
壁 厚	5.25	3.92	3.95	4.0	5.26
剖切前外径	131.33~131.34	128.72~128.74	128.72~128.77	128.78~128.80	131.36~131.36
剖切后外径	131.77~132.28	129.35~129.11	129.76~129.57	129.67~129.79	132.35~132.42
按达维金柯夫法计算 σ_T	4.83	2.9	4.54	5.52	7.26

上面表列的测量数据表明，由于整体沿轴向剖切在各部分金属相互约束的条件下使各部位外径有不同程度的胀大，剖切后外表面切向残余应力与剖切前比较相当于叠加15kg/mm²左右的压应力。同样，因剖后产生的胀口，将使内表面叠加同样数量级的拉应力。所以实际内表面的残余应力应等于剖切后测得的内表面切向应力，加上因剖切变形而叠加的符号相反的应力。

因为我们所用的材料都是多晶体，它是由许多零乱分布的晶粒所组成，而单个晶

粒是各向性异的,这就使多晶粒在形变时,由于不同的晶粒因其自身的取向不一而产生不同程度的形变,而发生形变的不均匀。由于在形变时各个晶粒间相互作用,所以在每一个单独晶粒中的形变也是不均匀的^[2]。而X射线应力测试仪测量表面残余应力,所测范围很小,测量点位置的变动将直接影响试验结果。加上仪器本身的精度等均影响试验结果的准确性,使某些测量结果显得毫无规律。我们所测的数据有限,只提供了一个总的趋势,要作定量分析尚需要通过大量试验。

表面层残余应力分析

引起残余应力的原因,一般认为是由于在金属制品内相邻金属造成不同的线变化或体积变化的结果。从管形件强力旋压工艺特点出发来研究表面层残余应力形成的机理。

管形件旋压时,材料流动基本上是轴向进行,从管外到管内有一个变形梯度,主要变形是在工件外层进行。同时,旋压部分还有一个扭曲过程,在管形件外部的扭曲变形比在内部大。总之,冷变形最大而又受摩擦条件影响较大的外表层经受轴向变形和切向变形,内层基本是轴向变形。这一点可以从旋压件断面的硬度分布,旋压件各层机械性能的差别及比重的差别得到充分验证。(详见作者“旋压工艺对钢的性能影响的研究”一文)

旋压过程中,消耗在金属范性变形上的功,绝大部分转变成热,只有其中的一小部分(大约10—15%)功转变为金属范性形变后的能量。故使制品表面产生几百度的高温。78年旋压83#燃烧室时开始用油作冷却润滑剂,结果因冷却不充分制品表面变成兰色。由此可见,旋压时制品表面温度是相当高的。

根据以上这些特点。对旋压加工表面层残余应力的形成机理作如下推断。

一、旋压过程中塑性变形的不均匀引起的残余应力。

旋压时材料主要是轴向流动,若在毛料的纵断面上画出正方网格,则每一方格代表一个圆环。外层环的体积比内层大,各层环受同样大小的压缩变形,各环之间又无相互影响,则旋压后外环的宽度应大于内环。在材料整体性的约束下降,因此出现附加应力^[1](外层受压,内层受拉)。实际管形件旋压时主要变形是在工件外层,基部金属必然要阻止其表层的流动,结果表层产生较大的轴向压应力。由于金属切向流动较小,所以表层切向压应力远比轴向的小。

当旋压的变薄率小于最小变薄率时,塑性变形区不能深入整个毛坯厚度,已变形的表层金属拉不动基体金属,此时仅表层金属参与变形,成为表面滚压。冷态塑性变形主要表现为表层被压薄了。按一般变形规律,压薄后的金属其另两个方向的尺寸(长度和宽度)必然要增大,由于基部金属的限制,结果表层产生压应力。

二、金属材料经冷态塑性变形后比容积增大引起的残余应力。

金属经过冷态塑性变形后,总有相当部分的原子从其稳定平衡的晶格位置上被移动,原来的结晶格子中的原子排列是相当于最紧密的原子排列。冷态塑性变形后结晶格子被扭曲。所有这些,都导致金属的密度下降,于是比容积增大^[4]。由于旋压时,沿

管壁厚度塑性变形是不均匀的，必然引起金属比容变化不一致。以我们对 40Mn2 管料旋压后分层测得的比重值计算，外表面 $t = 0.6$ ，比重为 7.8336，中部 $t = 1.6$ 比重为 7.8554， $\sigma_{\text{压}} = E \frac{\Delta L}{L} = E \frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta V}{V} = 2.1 \times 10^4 \times \frac{1}{3} \times \frac{7.8554 - 7.8336}{7.8554}$
 $= 19.43 \text{ kg/mm}^2$ 。

由于我们所测的比重是外表面 $t = 0.6$ 的平均值，并未测出最外层变形最大处的真实比重。所以残余应力计算值比实际的残余应力值小。

三、旋压过程中产生的高温引起的残余应力

旋压过程会产生高温这是大家公认的。究竟温度多高，因为没有适当的测量手段，没有具体实验数据可供参考。现以 83* 燃烧室一旋为例来作粗略估算。工艺参数 $n = 136$ 转/分， $S = 85$ 毫米/分，实耗功率（已扣除空载时的功率损耗）12 瓩。假定在形变时 85% 的功转化为热，则主轴每转一转所转化的热量为 $12 \times 85\% \times 85.99$ 千卡/ $(136 \times 60) = 1.075$ 千卡。

主轴每转一转参与旋压的金属体积（按毛坯尺寸计算）

$$V = \pi D_{CF} \cdot t_o \frac{85}{136} = \pi 108.5 \times 10 \times \frac{85}{136} = 2.13 \text{ cm}^2$$

假定形变时产生的热未向外传导，此部位金属将被加热到温度。

$$t = \text{热量} \div (\text{体积} \times \text{比重}) \div \text{比热}$$

$$\therefore t = 1.075 \times 10^3 \div (2.13 \times 7.85) \div 12 = 536^\circ\text{C}$$

由于旋压时变形是不均匀的。外表层不但变形最大，还受到强烈摩擦，它将产生更高的温度。温度的提高，必然要引起这一层金属的伸长 (ΔL)

$$\Delta L = L \alpha (t_2 - t_1); \quad \frac{\Delta L}{L_0} = \alpha (t_2 - t_1)$$

如材料的线胀系数 $\alpha = 0.12 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ ，加工时曾出现过的表层高温 t_2 与基本金属温度 t_1 的温差为 300°C ，则 $\frac{\Delta L}{L_0} = 0.12 \times 10^{-4} \times 300 = 3.6 \times 10^{-3}$ 。

由于表面层金属与基部金属是一个整体，基部金属会阻止表面金属的自由伸长，于是表面层就产生压应力，基部则受其反作用而出现拉应力。如考虑基部金属比表层厚得多，基部受拉不出现太显著的变形。这时表层受压，相当于其自由伸长量全部被压缩掉，因此，其压应力就等于 $\sigma_{\text{压}} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} = 2.1 \times 10^4 \times 3.6 \times 10^{-3} = 75.6 \text{ kg/mm}^2$ 。

如这应力还在弹性极限内，则该层不发生塑性变形。 $\Delta L/L$ 就会随温度下降而下降，压应力 $\sigma_{\text{压}}$ 也随之下降，当温度下降到室温时， $\Delta L/L = 0$ ， $\sigma_{\text{压}}$ 也就等于零，应力完全消失。由于弹性系数在不同温度下是不同的，随温度的升高而逐渐消失。上述压应力将会使表层产生塑性压缩。假设其受热引起的自由伸长量的 $1/3$ 受基部金属的限制被压缩掉。在这种情况下，表层从 t_2 ，基部从 t_1 都冷却到室温时表层就要收缩 ΔL ，由于其中 $1/3 \Delta L$ 已被塑性压缩掉，而表层与基部是一体的，所以这一收缩将受到阻止。不让收缩必然产生拉应力。

$$\sigma_{\text{拉}} = E \cdot \Delta L/L = 2.1 \times 10^4 \times 1/3 \times 3.6 \times 10^{-3} = 25.2 \text{ kg/mm}^2$$

虽然上述估算是非常粗略的,但已足以说明表层发生过局部的高温塑性变形,表面会产生残余拉应力。温度愈高,温度梯度愈大,残余拉应力也愈大。

上述各种原因,在不同程度上交错地影响着表面残余应力的产生。若因塑性变形的不均匀和塑性变形后比容增大引起的表面压应力大于因局部的高温塑性变形产生的表面拉应力,则抵消后表面将呈压应力状态。反之将呈拉应力状态。

从用X射线法实测的83*和73*燃烧室表面残余应力值可知,轴向均有较大的压应力,(旋入端和旋压端由于材料流动的约束条件和中部有明显区别其轴向残余应力较小)。这说明在旋压过程中轴向塑性变形的不均匀引起的残余应力是起主导作用的。切向的情况就比较复杂,管形件旋压时,材料的扭曲运动比轴向流动小得多。所以切向残余应力也比轴向残余应力小得多。83*燃烧室除旋入端和旋出不大于30mm范围内切向是拉应力,其余部分切向均为压应力。73*燃烧室切向基本上是拉应力状态,定心部切向拉应力较小,甚至出现切向压应力。产生这样的结果的原因,初步分析是83*燃烧室采用双锥面轮旋压,旋轮与工件接触面积较小,旋压时由(一)、(二)个原因产生的残余应力大于原因(三)产生的应力。所以切向呈压应力状态,由于二端部材料流动条件与中部明显不一致而改变了应力方向。73*燃烧室选用带趋近角的旋轮,此旋轮在旋压时接触面积比双锥面旋轮大得多,旋轮与工件的强烈摩擦使表层金属产生较高的温度,由此产生的切向残余应力与(一)(二)两个原因产生的切向残余应力抵消后还有余,即呈现切向拉应力状态。而定心部在二旋时反压下一旋时的回弹量,此变薄量不足以使塑性变形区深入整个毛坯厚度,等于在定心部进行了表面滚压由此产生的压应力将与一旋时存在的表面切向拉应力相抵消而使表面切向拉应力减少甚至呈现压应力状态。

残余应力对产品性能的影响

残余应力对产品性能的影响已有大量研究。一般公认,表面残余压应力可提高零件的疲劳寿命,改善其疲劳强度,并提高其抗应力腐蚀能力。表面残余拉应力则降低零件的疲劳寿命,并加速零件的应力腐蚀。对塑性材料来讲,残余应力的存在不影响材料的强度极限^[6]。残余应力的存在对精密零件的尺寸稳定性有很大影响。残余应力在零件使用过程中的变化,将导致零件尺寸精度的变化而影响其使用。我们现行的旋压工艺在强旋后均进行了去应力退火(或时效),其表面切向残余力与现行加工工艺在同样的数量级,轴向残余应力虽较大,但都是压应力状态。根据燃烧室的服役条件,残余应力对燃烧室主要的不利影响是其在燃烧室长期储存过程中可能对尺寸稳定性造成影响。但做长期储存试验,短期内得不到结果,只有通过科学的分析试验来进行推断。

燃烧室是轴对称零件。在旋压过程中产生的残余应力在同一横截面上基本是均匀的,因此残余应力在产品储存过程中的变化不容易产生明显的尺寸变化,这可从83*燃烧室去应力退火前后尺寸变化的实测数据(见附表三)得到证明去应力退火消除了约2/5的轴向残余应力,而平均变形量仅0.002~0.003mm。而且在装配状态下燃烧室

两端分别与连接螺, 喷管结合成刚性极大的一体, 这样更无法使燃烧室的定心部产生明显变形, 圆柱部即使有微小变形也不会对产品性能产生明显的影响。据报导美国“陶式导弹”发动机壳体“北极星”洲际导弹的筒形燃烧室等在强旋后均未再专门进行消除残余应力的处理^{[7][8]}。综上所述, 一般来说旋压加工的燃烧室成品零件上的残余应力, 对产品性能不会产生不利影响。

结 论

(1) 强力旋压成形的管形体的表面残余应力, 主要由旋压过程中塑性变形的不均匀; 因塑性变形的不均匀而引起的金属比容积的变化不一致, 旋压过程中表层发生局部高温塑性变形等原因交错地影响的结果。轴向呈压应力状态, 而且应力值比切向应力值大得多。其切向残余应力的状态随旋压工艺参数的变化而改变。

(2) 通过对表面残余应力形成机理所作的初浅分析, 建立了一些概念, 说明了一些实际现象, 但仍需进一步的研究。

(3) 采用形变——时效工艺加工的燃烧室成品件上的残余应力对产品性能不会产生不利的影响。

附表一 环切法测量记录

序号	试样原始状态	外 径		壁 厚	开口宽	轴 向 错动量	X射线法 测得表面 应 力
		旋 后	切 开 后				
1	40Mn2热轧($\sigma_b 80$)—旋压	107.20	111.07	4.1	15	1.40	
2	40Mn2经350℃退火	107.05	109.44	4.1	8.7	1.20	
3	40Mn2经400℃退火	106.91	108.48	4.1	6	0.80	
4	40Mn2经500℃退火	106.90	107	4.1	1.5	0.10	
5	同一旋件(未退火) $L=55$	106.70	109.80	4.1		0.60	
6	同一旋件(未退火)内层	100.75	99.60	0.85		2.40	
7	同一旋件(未退火)中心层	103.07	100.64	0.9		4.34	
8	同一旋件(未退火)外层	106.30	104.20	0.85		5.14	
9	40Mn2退火($\sigma_b 66.5$)—旋压	107.44	109.80				
	压 $L=55$	107.05	109.50	4.1		2.43	
10	40Mn2调质($\sigma 6$)—旋压	106.01	107.46	3.8	5.20	0.30	-7.395
11	40Mn2调质经370℃退火	105.95	106.95	3.85	3.25	0.35	
12	40Mn2调质经390℃退火	105.94	106.43	3.85	1.85	0.35	
13	40Mn2调质经420℃退火	105.95	106.18	3.80	0.90	0.20	
14	40Mn2热轧($\sigma_b 85$)旋压	106.32	107.65	3.85	5.10	0.35	-4.313
15	40Mn2热轧经370℃退火	106	106.85	3.85	2.90	0.50	-7.395
16	40Mn2热轧经390℃退火	105.54	106.20	3.85	3.05	0.70	-3.697
17	40Mn2热轧经420℃退火	106.01	106.50	3.85	1.80	0.40	-4.93
18	45热轧($\sigma_b 65$)旋压	105.70	107.20	2.8	4.5	4.8	
19	45热轧经350℃退火	105.70	106.15	2.8	1.6	1.4	

(接上表)

序号	试样原始状态	外 径		壁 厚	开口宽	轴 向 错动量	X射线法 测得表面 应 力
		旋 后	切 开 后				
20	45热轧经400℃退火	105.70	106	2.8	1.1	0.85	
21	45热轧经500℃退火	105.70	105.75	2.8	10.20	0.05	
22	45调质(σ_b88)旋压	105.95	109.6	2.8	11.2	7.2	
23	45调质经350℃退火	105.95	107.35	2.8	4.3	2.5	
24	45调质经400℃退火	105.95	106.4	2.8	2	1	
25	45调质经500℃退火	105.95	106	2.8	0.35	0.1	
26	45调质(σ_b74)旋压	105.65	107.85	2.75	7.0	6.55	+2.465 -1.233
27	45调质经370℃退火	105.63	106.14	2.75	3.4	2.3	-2.71
28	45调质经390℃退火	105.64	106.27	2.75	2.55	1.55	-2.465
29	45调质经420℃退火	105.61	106.05	2.75	1.9	1	-3.08
30	40Cr热轧(σ_b70)旋压	105.85	108	2.8	6.3	3.8	
31	40Cr热轧经350℃退火	105.85	106.9	2.8	3	1.6	
32	40Cr热轧经400℃退火	105.85	107	2.8	3.2	1.3	
33	40Cr热轧经500℃退火	105.85	105.9	2.8	0.35	0.09	

附表二

磨削法剥层测量外表面残余应力情况

单位 kg/mm²

序号	名 称			备 注
	测 量 状 态	切 向	轴 向	
1	旋压后经390℃退火	-22.19		取4*作的试样
2	在上试料中部取107mm长($\phi 106.06$)	-25.39	-51.77	
3	外圆磨至 $\phi 105.805$	+ 2.47	-22.19	试样装在磨削胎上测量(夹紧)
4	外圆磨至 $\phi 105.69$	- 2.47	-27.12	
5	外圆磨至 $\phi 105.50$	- 9.86	-40.18	
6	外圆磨至 $\phi 105.08$	+ 4.93	-29.09	
7	外圆磨至 $\phi 104.66$	0	-35.74	
8	外圆磨至 $\phi 104.28$	- 4.93	-36.98	
9	外圆磨至 $\phi 103.87$	-17.99	-33.28	
10	外圆磨至 $\phi 103.47$	-10.60	-30.81	
11	外圆磨至 $\phi 103.07$	+ 9.86	-36.98	
12	外圆磨至 $\phi 102.67$	- 6.16	-30.81	
13	外圆磨至 $\phi 102.29$	+ 3.70	-36.98	
14	外圆磨至 $\phi 101.855$	+ 2.96	-27.12	
15	外圆磨至 $\phi 101.595$	-13.56	-38.21	
16	外圆磨至 $\phi 101.295$	- 7.40	-32.05	
17	外圆磨至 $\phi 100.98$	-13.06	-35.74	
18	外圆磨至 $\phi 100.985$		-28.35	夹具松开测量
19	经400℃去应力退火二小时	-12.33	-24.65	

附表三

旋压燃烧室退火前后的尺寸测量结果

单位mm

件 号	名 称					
	打 字 头 端			无 字 头 端		
	退 火 前	退 火 后	变 形 量	退 火 前	退 火 后	变 形 量
1	$\phi 106.12$	$\phi 106.12$	0	$\phi 106.14$	$\phi 106.13$	-0.01
3	$\phi 106.12$	$\phi 106.13$	0.01	$\phi 106.17$	$\phi 106.16$	-0.01
11	$\phi 106.35$	$\phi 106.33$	-0.02	$\phi 106.27$	$\phi 106.30$	0.03
12	$\phi 106.04$	$\phi 106.055$	0.015	$\phi 106.08$	$\phi 106.08$	0
13	$\phi 106.67$	$\phi 106.67$	0	$\phi 106.78$	$\phi 106.78$	0
14	$\phi 106.25$	$\phi 106.25$	0	$\phi 106.33$	$\phi 106.34$	0.01
15	$\phi 106.27$	$\phi 106.29$	0.02	$\phi 106.18$	$\phi 106.17$	-0.01
17	$\phi 106.31$	$\phi 106.31$	0	$\phi 106.37$	$\phi 106.39$	0.02
19	$\phi 106.35$	$\phi 106.35$	0	$\phi 106.26$	$\phi 106.27$	0.01
22	$\phi 106.465$	$\phi 106.455$	-0.01	$\phi 106.56$	$\phi 106.53$	-0.03
23	$\phi 106.165$	$\phi 106.16$	-0.005	$\phi 106.13$	$\phi 106.11$	-0.02
24	$\phi 106.425$	$\phi 106.39$	-0.035	$\phi 106.575$	$\phi 106.56$	-0.015
29	$\phi 106.08$	$\phi 106.085$	0.005	$\phi 106.18$	$\phi 106.16$	-0.02
32	$\phi 106.45$	$\phi 106.45$	0	$\phi 106.38$	$\phi 106.39$	0.01
33	$\phi 106.48$	$\phi 106.47$	-0.01	$\phi 106.54$	$\phi 106.53$	-0.01
平 均 变 形 量			-0.002	0.003		

参 考 文 献

- (1) 苏联机器制造百科全书第三卷 N. N·A·OДННП 机械工业出版社 1957 H76-77
- (2) 金属学物理基础 乌曼斯基等 科学出版社 1958 P321, 335
- (3) 筒形件强力旋压的变形分析与旋压力计算 马泽恩 国防工业出版社第一届旋压会议文集 1980.12 P37~38
- (4) 机械制造工艺理论基础 上海科学技术出版社 1980 P202
- (5) 机械工程手册 第20篇 机械工业出版社 1979 20—85~88
- (6) 残余应力(下) (日刊《机械の研究》70年至72年各期上连载的米谷茂撰写的论文译文汇编) 一机部机械院机电所, 陕西机械学院 1977年P51
- (7) 从“陶”的冶金分析看美国反坦克导弹材料 张树松等 金属材料与热加工工艺 1979年, № 3
- (8) 强力旋压及其应用 陈适先编 国防工业出版社 1966 P131

04* 燃烧室强力旋压

三机部六二五所 赵洪文

兵器工业部七四三厂 李有鑫

提 要

本文主要叙述了04*燃烧室强力旋压成形,从工艺方案制定到工件分析的全过程。

强力旋压是生产该类型零件的先进工艺。我们在本试验中对接触到的一些问题,进行了一些试验和探索。诸如:影响成形精度因素的试验,提出了提高成型准确度的途径,并对该类零件成形过程中的其它问题也进行了一些分析和说明。

文中还提了“工具效率”、“采用防胀圈改变终旋部位尺寸”、“作用力大小的定型分析”等一些新观点、新问题和同行们讨论和商榷。

一、前 言

04*燃烧室的强力旋压试验工作从1975年至1978年共进行过四次120余件。通过试验基本上掌握了14MnNi材料在预制坯壁厚10~14毫米时的成形特点,几道旋压工序中可选择的工艺参数,表面质量问题的解决途径和措施以及成形后的材料性能和组织变化。旋压后的零件经过补充加工和水压试验等工序,证明零件的几何尺寸、精度和性能符合设计要求。同时结合零件的试验工作(表1)还进行了影响成形准确度的因素、旋轮型面的适应性、预制坯的形式和状态、材料的最大减薄率等因素的试验,并

表 1 试 验 情 况 一 览 表

产品	序号	日 期	材 料	目 的	件数	备 注
04*	1	75.10	14MnNi 20* 10*	认识性试验	5 8 5	
	2	76.2	14MnNi	工艺参数和表面质量试验 性能分析 样品和合格件	26 5 20	合格件通过水压
	3	77.9	14MnNi	表面质量试验	14	
	4	78.9	14MnNi	改变毛坯加工状态 机床调整 性能分析和样品 合格件	4 12 21	合格件通过水压试验