

波导内腔超声推挤的试验研究 *

张云电 李建林 叶雪明

(杭州电子工业学院机械系 杭州 310037)

1999 年 2 月 1 日收到

摘要 本文从实验和理论分析两个方面研究了超声推挤过程中推挤力和因负载变化等因素而引起的声学系统谐振频率的变化,提出了超声推挤机理,为提高加工精度、降低表面粗糙度建立了基础。

关键词 超声推挤, 谐振频率, 推挤力

Ultrasonic broaching of a waveguide cavity

Zhang Yundian Li Jianlin Ye Xueming

(Mechanic Department, Hangzhou Institute of Electronic Engineering, Hangzhou 310037)

Abstract From practice and theory, this paper studys the broaching force and the change of resonance frequency due to the change of load etc during the process of ultrasonic broaching, and proposes a mechanism of ultrasonic broaching, which provides the basis to improve the machining precision and lower the surface roughness.

Key words Ultrasonic broaching, Resonance frequency, Broaching force

1 引言

并提出了超声推挤机理。

波导是雷达产品中的关键零件,尺寸精度要求 0.05mm,表面粗糙度 Ra 要求 $0.4\mu\text{m}$ 。由于波导壁厚只有 2-4mm,加工过程中极易变形,如何减少加工过程中的变形,保证加工精度,一直是雷达产品生产中的关键技术难题。

作者研制成功了超声推挤装置,并进行了波导内腔超声推挤试验。所谓推挤加工是指将推削和挤光复合在一起的加工方法,利用推刀的切削齿进行推削(类似于拉削),然后由挤光齿进行挤光,以达到要求的尺寸精度和表面粗糙度。本文主要介绍超声推挤力的测试结果,

2 测试系统

谐振频率测试系统和推挤力测试系统如图 1 所示。

谐振频率测试系统由超声波发生器、频率计及示波器组成,用于测量系统谐振频率。

推挤力测试系统主要用于测试超声推挤试验过程中推力的变化情况。推挤力测试装置也示在图 1,由 BLR-1 型拉压力传感器、YD-15 动态应变仪、SC-16 光线示波器等组成。测量步骤是力传感器将被测的力转换成电信号,经

* 军事电子科学预研基金项目

动态应变仪加以放大，最后通到光线示波器进行记录，由感光纸带输出。

为了得出传感器输出量应变与输入量推挤力之间关系，必须对传感器进行标定，其标定方程为：

$$P = 2.28\epsilon \tag{1}$$

式中： P— 力， N
ε— 微应变，

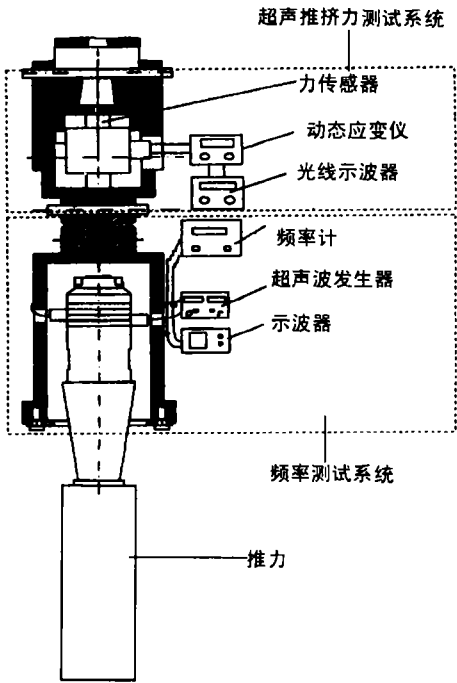


图 1 超声推挤试验装置

3 测试结果

3.1 超声推挤谐振频率

在不同的功率、电流作用下对同一种波导进行超声推挤试验，超声推挤声学系统的谐振频率变化如表 1 所示。表 1 反映了由于功率、电流及加工余量等因素变化而导致谐振频率的变化。

3.2 应变 — 加工时间变化曲线

在不同的功率、电流作用下对同一种波导进行超声推挤，其应变 — 加工时间变化曲线如图 2 所示。

根据超声推挤应变时间曲线图以及传感器的标定方程可计算出每次试验的最大超声推力如表 2 所示，最大推力为 3848N，最小推力为 2655N，平均推力为 3140N。

表 1 超声波发生器试验参数变化表

次数	功率 P (W)	电流 I (A)	谐振频率 f (kHz)	
			加工前	加工后
1	440	1.0-1.2	22.720	22.633
2	400	0.5-1.8	22.760	22.790
3	374	1.35-1.7	22.750	22.779
4	220	1.0-1.1	22.898	22.840
5	400	1.8-2.0	22.755	22.620
6	450	1.44-2.0	22.785	22.711
7	550	1.6-2.5	22.788	22.708
8	500	1.7-2.3	22.777	23.330

表 2 推力计算表

试件号	$P_{max}(N)$	ϵ
1	3420	1500.0
2	2670	1125.0
3	3135	1375.0
4	3278	1437.5
5	2655	1125.0
6	3848	1687.5
7	2993	1312.5
8	3135	1375.0

3.3 加工质量

用表面粗糙度测量仪 Talysurf 5-12(放大倍数 1000) 测量表面粗糙度，取样长度 0.8。测量结果如表 3 所示：

表 3 表面粗糙度测量数据表

试件号	未加工前 Ra	超声推挤后 Ra
	(μm)	(μm)
1	3.45	0.26
2	3.90	0.17
3	3.82	0.22
4	2.63	0.27
5	2.25	0.28
6	2.02	0.18
7	1.72	0.16
8	3.38	0.27

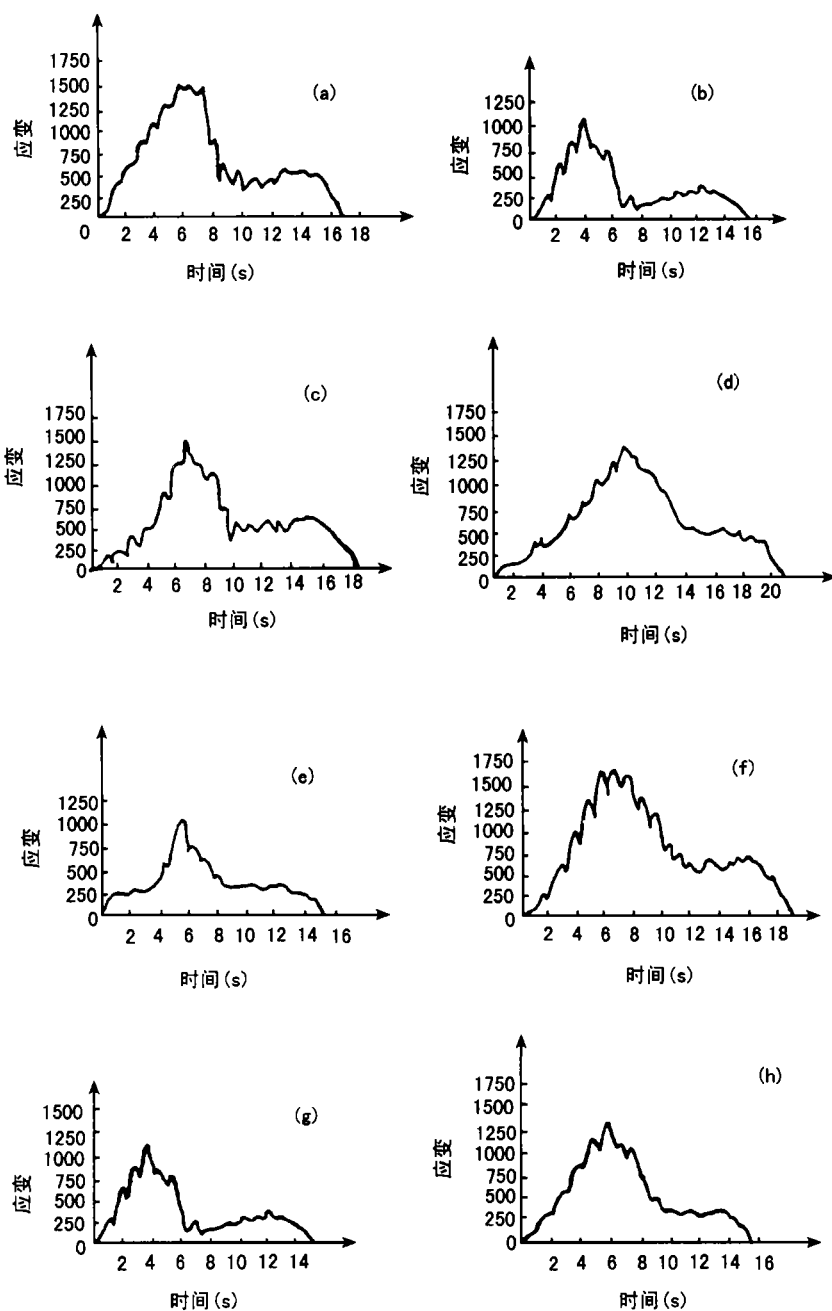


图 2 超声推挤应变 — 加工时间曲线图

(a) 第 1 次试验 (b) 第 2 次试验 (c) 第 3 次试验 (d) 第 4 次试验
(e) 第 5 次试验 (f) 第 6 次试验 (g) 第 7 次试验 (h) 第 8 次试验

通过多点测量发现最小表面粗糙度 Ra 可达 0.16μm。

用内径百分表 (25-100) 和外径千分尺测量波导 (要求加工后内腔尺寸为 $a=72.16_0^{+0.03}$, $b=34.12_0^{+0.03}$, 其中 a、b 分别为波导内腔的长、宽) 加工前后的尺寸见表 4:

表 4 加工精度测量数据表

组数	未加工前尺寸 (mm)	超声推挤后尺寸 (mm)
1	a=71.92	a=72.17
	b=33.98	b=34.13
2	a=71.98	a=72.17
	b=33.95	b=34.14
3	a=71.96	a=72.18
	b=33.96	b=34.14
4	a=71.94	a=72.18
	b=33.96	b=33.18

尺寸偏差在 ±0.01mm 左右

4 理论分析

4.1 推挤力分析

普通推挤时, 推挤力主要受下列因数影响: 齿升量、推削宽度、同时工作齿数、试件材料及热处理情况、推刀类型、截面形状、推刀几何参数、锋利程度和切削液情况等。最大推挤力:

$$F_{max} = F_0 \times \Sigma b \times Z_i \tag{2}$$

其中, F_0 : 单位刀刃长度上切削力;
 Σb : 每个刀具切削刃的总宽度;
 Z_i : 最大同时工作齿数, $Z_i = L_0/P$
 L_0 为推挤工件总长, P 为齿距

由实验测得 $F_0=40\text{N/mm}$

$$\Sigma b=(34+72)\times 2=212\text{mm}$$

$$Z_i=50/10=5$$

因此, $F_{max} = 40\times 212\times 5 = 42400\text{N}=4.24\text{T}$ 。

从力负载记录可以看出, 超声推挤力是一个缓变的过程。从推刀进入试件开始, 参加工作的齿数逐渐增加, 推挤力成阶梯状增加, 直到

Z_c (最大工作齿数) 都参加推削时达到最大。由于 Z 有一个齿的变化, 推挤力亦有相应的变化。当推削工作接近结束时, 推挤力就逐渐减小, 由于每有一个切削齿切出工件, 将有一个校准齿切入, 故推挤力减小较慢。最后为校准齿和挤光齿的推挤力, 挤光齿只有极薄的切削层, 最后几个校准齿和挤光齿不参加切削而只有摩擦, 故推挤力很小。

由表 2 可以看出, 最大推挤力 3848N(< 0.4T), 相当于普通推挤力的 1/10 左右。

4.2 超声推挤机理

普通推挤或其他方法加工铝合金薄壁工件后, 加工表面粗糙度较大, 端面上有毛刺和缺口。因为径向推挤力大, 使薄壁铝合金工件产生弹性变形, 当推刀通过工件后, 工件内得到弹性恢复, 推挤后内孔有收缩现象。而采用超声推挤后, 得到表面光滑、表面粗糙度极小的表面, 并且消除了毛刺、缺口等缺陷, 内孔收缩变形小。

超声推挤加工工件能够得到比普通推挤及以往其它加工方法更好的表面质量和加工精度, 这是由超声推挤特有的推挤机理决定的。

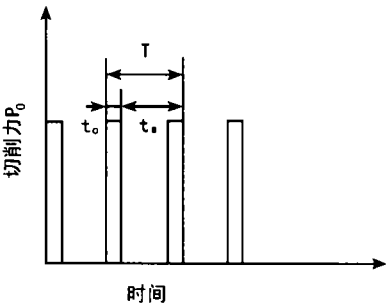


图 3 推挤力脉冲图

t_c — 净切削时间
 t_a — 刀具与切屑脱离时间
 T — 刀具振动周期

我们认为, 超声推挤是一种脉冲断续加工方法, 推挤力如图 3 所示。周期和作用时间很短的脉冲切削力, 作用在固有频率很低的振动系统上, t_c 时间极短, 在工艺振动系统还没有变形之前, 刀具已离开了工件。超声推挤的脉

冲力波形, 恰好利用了机床振动系统动态特性的过渡现象领域, 明显地避免了弹性振动, 使其变换为静力学的变形, 一个周期内的切削时间为普通推挤时间的 T/t_c 分之一, 平均推挤力大大降低。因为超声推挤过程中通过动态应变仪所测得的推挤力是包含工件在内的工艺振动系统的平均切削力, 测定的是与 $\frac{t_c}{T} \cdot \frac{P_c}{k_2}$ 成比例的值, 而普通推挤时所测得的是与 $\frac{P_c}{k_2}$ 成比例的值, 因此前者是后者的 $\frac{t_c}{T}$ 倍, 而一般情况下 $\frac{t_c}{T}$ 只有 1/3-1/10, 因此, 超声推挤平均力仅为普通推挤平均力的 1/3-1/10。事实上, 实验表明实际的超声推挤平均力为普通推挤平均力的 1/10。

5 结论

- (1) 平均推挤力小, 只有普通推挤力的 1/10 左右。
- (2) 充分润滑, 排屑状况好, 发热小; 切屑呈长筒状, 卷屑紧密, 无毛刺。
- (3) 表面粗糙度低, 尺寸精度高。表面粗糙度 R_a 可达 $0.16\mu\text{m}$, 尺寸精度 0.01mm 。

- (4) 表面质量好, 加工表面无毛刺、无积屑瘤现象; 加工后, 波导内腔表面收缩变形小、无缺口, 残余应力小, 耐磨性和耐蚀性好。
 - (5) 成型性好, 加工效率极高 (17 秒 / 工件), 在批量生产中加工成本低, 刀具寿命高。
 - (6) 超声推挤过程中无自激振动, 工件内壁无自激振纹, 降低了对机床的性能要求。
- 超声推挤方法不仅可以用于波导内腔的精密加工, 而且还可以用于其他要求较高成型孔件的精密加工, 对于薄壁零件、软质金属材料制成的工件、难于承受较大切削力的工件以及加工质量要求很高 (无毛刺、无积屑瘤、低表面粗糙度、高加工精度等) 的工件, 一般都可以使用超声推挤方法进行加工。

参 考 文 献

- 1 张云电著. 超声加工及其应用. 北京: 国防工业出版社, 1995. 12-32.
- 2 周生国等编. 机械工程测试技术. 北京: 北京理工大学出版社, 1993. 110-116.
- 3 石米得等编. 机械参数电测技术. 上海: 上海科学技术出版社, 1981. 92-106.
- 4 [日] 振动工程大全编辑委员会编, 谷口修主编, 尹传家译. 振动工程大全. 北京: 机械工业出版社, 1986. 86-92.



隔声隔振世光消音剂

1999 年 12 月 18 日由上海市声学学会主持, 请大韩民国世光株式会社 (Sekwang Co Ltd) 介绍了一种隔声隔振浮筑结构的新材料 — 世光消音剂。

该型消音剂是利用废弃橡胶轮胎为原料, 经清理、破碎、松散并添加粘结剂、加强剂、防老化剂等制成类似于肉松一样的袋装消音剂。将它铺装于楼层结构层上, 在其上面盖一层塑料薄膜, 再浇灌细石混凝土 (30mm), 构成浮筑式隔振结构。此材料在日、美、韩国等已广泛应用于高层建筑、高级办公室和高级公寓, 是一种无毒无害的绿色建材, 具有耐久性、耐热性、

耐寒性和保温性, 施工十分便捷。密度为 $318\text{kg}/\text{m}^3$, 最佳铺设厚度为 15mm, 1m^2 铺放 6kg。

此材料试装于上海某高级会馆内, 经上海市建筑科学研究院实测, 当楼板为 80mm, 现浇钢筋混凝土 + 15mm 厚世光消音剂 + 防水膜 + 加强网 + 30mm 厚细石混凝土正浇层, 总厚度为 125mm。未装世光消音剂时计权撞击声压级为 80dB, 铺装世光消音剂后为 62dB。隔离 500Hz 以上撞击声效果良好, 用户十分满意。

(中国船舶工业第九设计研究院 吕玉恒)