

铝镁钪合金舱体内旋成形有限元分析

李启军 王琪 单群

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 采用有限元法对带内环向加强筋铝镁钪合金筒形件旋压成形进行了数值模拟,分析了坯料应力应变分布状态和工艺参数对成形的影响。结果表明,轴截面坯料主要处于轴向伸长、径向压缩状态,内表面坯料处于轴向伸长状态;减薄率和进给比对成形影响显著,模拟分析减薄率不宜大于 50%,进给比为 0.5~2.0 mm/r 较佳。

关键词 内环向加强筋,铝镁钪合金,旋压技术,变形量,进给比

FEM Numerical Simulation of Spinning Processing for Al-Mg-Sc Alloy Cabin

Li Qijun Wang Qi Shan Qun

(Aerospace Research Institute of Material & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The spinning process for Al-Mg-Sc alloy cylinder with the inner circumferential rib is simulated by the means of FEM numerical simulation, the stress-strain status of the raw material and influence of technological parameter on spinning are analyzed. The results show the material is extended in axial direction and compressed in radial direction, and the material in the inner surface is extended in axial direction. Deformation ratio and feed ratio can influence spinning process, deformation ratio ought to be small than 50% and feed ratio ought to be between 0.5 and 2.0 mm/r.

Key words Inner circumferential rib, Al-Mg-Sc alloy, Spinning technology, Deformation ratio, Feed ratio

0 引言

铝镁钪合金是新型铝合金材料,具有焊接性能好、强度高、耐蚀性好、不需要热处理强化等优点,其屈服强度 (>300 MPa) 高于 5A06 铝合金 (>160 MPa),与 2A14 铝合金相当;焊接性能与 5A06 铝合金相当,远远优于 2A14 铝合金。新型运载火箭和新一代卫星等宇航装备需采用铝镁钪合金替代型号传统使用的 5A06 和 2A14 铝合金,以满足减重和提高有效载荷等需求,并保证使用可靠。目前国内对铝镁钪合金旋压成形技术研究较少,尤其是带内环向加强筋筒形件的旋压成形技术尚未进行过研究^[1]。本文采用有限元法对带内环向加强筋铝镁钪合金筒形件旋压成形进行了模拟,分析了内旋应力应变情况及工艺参数对旋压成形的影响,以便合理选择旋压试验工艺参数和控制旋压过程。

1 有限元模型及工艺参数

图 1 为带内环向加强筋铝镁钪合金舱体内旋压

有限元模型。毛坯为变形体,采用六面体单位,旋轮、芯模和尾顶视作刚体,在 MSC/MARC 中刚体用面来代替^[2]。建模时选用铝镁合金系材料,铝镁钪合金性能见表 1。计算过程中采用给定旋轮速度的方式进行加载。

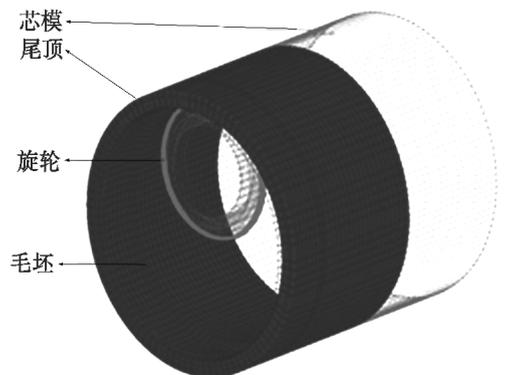


图 1 舱体内旋压有限元模型

Fig. 1 FEM model of inner spinning processing for cabin

收稿日期:2010-09-15

作者简介:李启军,1976 年出生,硕士,主要从事有色金属材料及工艺的研究。E-mail:sichuanli@yao. com. cn

在建模过程中作如下假设^[3]：

- (1) 材料是各向同性的, 变形前后材料体积不变;
- (2) 忽略因摩擦引起的温度影响;
- (3) 模拟计算时忽略重力、惯性力的影响;
- (4) 芯模和毛坯静止不动, 旋轮沿空间螺旋曲线进给。

表 1 铝镁钪合金力学性能

Tab. 1 Mechanical property of Al-Mg-Sc Alloy

方向	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5	ν	$d/g \cdot cm^{-3}$
纵向	410	240	18.5	0.3	2.65
横向	395	240	26.5	0.3	2.65

计算过程采用正旋工艺, 其工艺参数见表 2。

表 2 工艺参数

Tab. 2 Processing parameters

转速/ 圆角半径 /mm	芯轴直 径/mm	坯料壁 厚/mm	减薄 率/%	旋压攻 角/(°)	进给比/ mm·r ⁻¹	摩擦 因数
90	180/6	360	25, 35, 45, 55	0	0.5, 1.0, 2.0, 3.0	0.02

2 应力应变分析

通过上述建立的计算模型, 确定边界条件, 选定毛坯的力学性能指标和旋压工艺参数, 对带内环向加强筋筒形舱体旋压变形进行了模拟分析计算。模拟对表 2 所示参数都进行了计算。这里仅给出一组正旋参数下(减薄率 $e=35\%$, 进给比 $f=1.0 \text{ mm/r}$)的计算结果。图 2 为旋压坯料轴截面等效应力应变分布情况。



(a) 等效应力



(b) 轴向应力



(c) 径向应力



(d) 周向应力



(e) 等效应变



(f) 轴向应变



(g) 径向应变

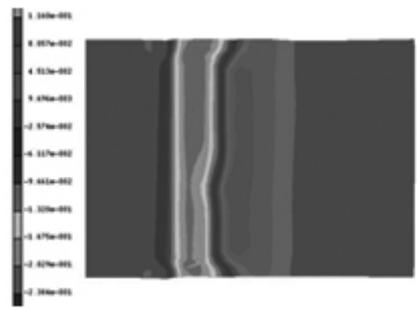


(h) 周向应变

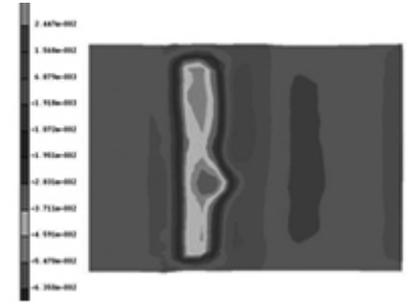
图2 轴截面应力应变分布

Fig.2 Distribution of stress and strain in axial section

从图2可以看出旋轮接触区的金属在径向、轴向、切向都处于压应力状态,且其中的径向压应力最大。这种应力状态使得接触区域坯料具有较高的塑性,变形效果较好。但是内旋压的应力分布不像外旋压一样集中,这是因为内旋压与强力外旋压相比,旋轮与毛坯的接触面要大得多。从图2还可以看出旋轮直接接触区的金属在轴向处于伸长变形,径向处于压缩变形,在切向也处于压缩变形。径向上壁厚被轧压,产生较大的塑性变形,是旋压过程的主要变形。同时径向压缩,也是旋压后坯料扩径的主要因素。因此内旋压过程中需要控制径向压缩量,从而控制坯料扩径量。而伴随着壁厚的减薄,被轧压的金属由于圆周方向阻力较大,便向着阻力最小的轴向流动,使毛坯轴向伸长,轴向延伸变形也是主要变形之一^[4-5]。图3为旋压坯料内表面等效应力应变分布情况。



(c) 径向应变



(d) 周向应变

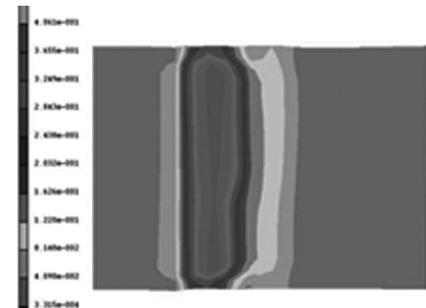
图3 内表面应力应变分布

Fig.3 Distribution of strain in inner surface

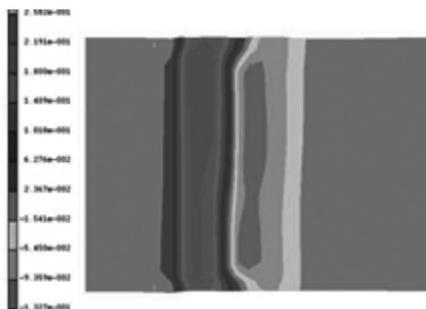
从图3可以看出,内表面旋轮直接接触的区域的坯料轴向也处于伸长变形,径向和周向处于压缩变形。轴向伸长是由于径向轧压变薄产生,是主动伸长,使坯料轴向长度增加;径向和周向压缩使得坯料壁厚变薄,直径扩大。在内表面旋轮接触区域两侧附件的坯料,轴向也产生伸长变形,但属于被动伸长,是由于接触区坯料轴向拉伸所致,从而使这两侧区域坯料处于轴向拉伸状态。当拉应力过大时,就会导致内表面出现裂纹。因此内旋压成形过程中需要通过变形量、进给比、旋轮圆角半径大小等控制该拉应力,避免内表面出现裂纹。

3 工艺参数对旋压成形的影响分析

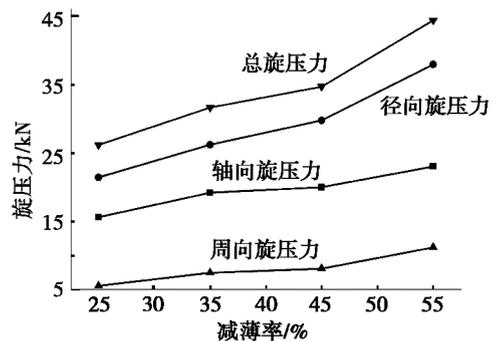
模拟分析了减薄率和进给比对旋压力、外径尺寸偏差的影响。图4为旋压力、外径尺寸偏差随减薄率的变化曲线。



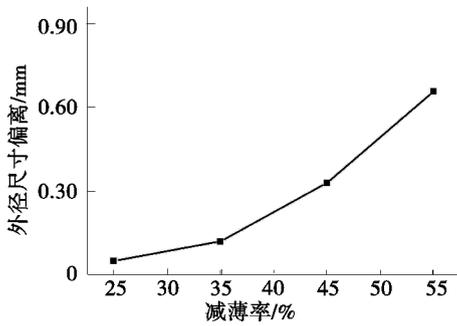
(a) 等效应变



(b) 轴向应变



(a) 对旋压力的影响

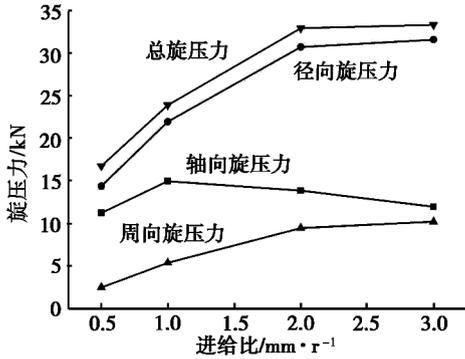


(b) 对外径尺寸的影响

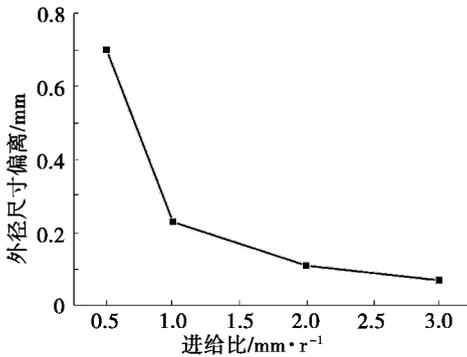
图4 减薄率对旋压力和外径尺寸的影响

Fig.4 Influence on spinning power and deformation ratio

从图4可以看出,随减薄率的增加,各方向旋压力,尤其是径向旋压力显著增大;随减薄率的增加外径尺寸偏差也越大。当总减薄率超过50%,一次成形时径向压力较大,由于受旋轮杆挠度的限制,影响构件的壁厚精度,尺寸偏差较大,所以实际旋压时需考虑多道次旋压工艺。图5为进给比对旋压力、外径尺寸偏差的影响。



(a) 对旋压力的影响



(b) 对外径尺寸的影响

图5 进给比对旋压力和外径尺寸的影响

Fig.5 Influence on spinning power and feed ratio

从图5(a)可以看出,内旋压成形过程中,进给比对旋压力的影响与外旋压成形过程稍有不同。径向旋压力随进给比增加而增大,但增大速率逐渐减小。这是旋轮与工件接触的螺旋带重合面积减小的结果。当进给比较小时,轴向、周向旋压力都随着进

给而增加,当进给比增大到1.0 mm/r后,进给比对轴向、周向旋压力的影响较小。

图5(b)可以看出随着进给比增加,外径尺寸精度提高。因此在可能的条件下,为了提高效率,适量增大进给比。但进给比过大,径向压力增大,实际旋压过程受旋轮杆挠度的限制,从而影响构件壁厚精度。进给比过小,一方面降低生产效率,另一方面扩径严重,影响外径尺寸精度。因此旋压过程中需根据产品外径尺寸精度要求及壁厚要求综合考虑旋压进给比^[6-7]。本次模拟进给比为1.0~1.5 mm/r较适宜。

4 结论

(1)采用合理的单元结构、摩擦及接触处理等,可以建立大型薄壁带内环向加强筋铝镁钛合金舱体内旋有限元计算模拟,并通过旋轮运动加载,对内旋压过程进行有效模拟计算分析。

(2)旋轮接触区的金属处于三向压力状态,径向压应力最大。轴向处于伸长变形,径向、周向处于压缩变形,轴向伸长、径向压缩为主要变形方式,且径向压缩是旋压后坯料扩径的主要因素。

(3)内表面旋轮接触区域坯料及两侧附近坯料处于轴向伸长变形状态,接触区域坯料为扎压变薄产生的主动伸长变形,而两侧附件坯料为被动伸长变形,该变形是导致内表面出现裂纹的主要原因。

(4)减薄率和进给比对旋压力、外径尺寸偏差影响显著。减薄率增大,压力增大,壁厚精度降低,模拟减薄率不宜大于50%;进给比小,扩径严重,影响外径尺寸精度,进给比增大,外径尺寸精度提高,但径向压力增大,壁厚精度降低。模拟进给比为1.0~1.5 mm/r较适宜。

参考文献

[1] 张利鹏,刘智冲,周宏宇.带内筋筒形件强力旋压成形试验研究[J].锻压装备与制造技术,2005(4):86-88

[2] 周照耀,赵宪明,王真.筒形件强力旋压的刚塑性有限元分析[J].塑性工程学报,1994,1(1):37-42

[3] 韩志仁,陶华,刘黎明.筒形件强力内旋压有限元模拟[J].机械科学与技术,2004,23(1):63-65

[4] 张涛,刘智冲,马世成.旋压成形带内筋筒形件的工艺研究及数值模拟[J].机械工程学报,2007,43(4):109-112

[5] Quigley E, John Monaghan. Metal forming: an analysis of spinning process[J]. Journal of Material Processing Technology, 2000(103):114-119

[6] 薛克敏,江树勇,康达昌.带纵向内筋薄壁筒形件强力旋成形[J].材料科学与工艺,2002,10(3):287-290

[7] 郭洁,吕宏军,李茂盛. LF6 合金油箱壳体内旋压成形的研究[J].机械工人(热加工),2002(8):64-65

(编辑 吴坚)