

$$\text{式中} \quad U_i = (X_E - X_0) \frac{L_i}{L}; \quad V_i = (Y_E - Y_0) \frac{L_i}{L};$$

$$U_{R_i} = \Delta X \frac{L_i}{L}; \quad V_{R_i} = \Delta Y \frac{L_i}{L}$$

X_0, Y_0 : 根部旋转中心; X_E, Y_E : 顶部旋转中心; $\Delta X, \Delta Y$: 顶部搁斜值; $\delta_{X_i}, \delta_{Y_i}$: 计算截面型线在 X, Y 方向的位移量; φ_i : 计算截面旋转角; L : 叶片型面高度。以上各参数均由叶片零件图给出; L_i : 计算截面高度。

根据 (2) 式, 可推导出各种特殊“成型面叶片”型面成形规律的数学模型。

1 等截面叶片

由定义知: $\varphi_i = \Delta X = \Delta Y = \delta_{X_i} = \delta_{Y_i} = 0$

$$\text{代入 (2) 式得:} \quad \left. \begin{aligned} X_{R_i} &= X_{R_0} \\ Y_{R_i} &= Y_{R_0} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

2 斜铣叶片

由定义知: $\varphi_i = \delta_{X_i} = \delta_{Y_i} = 0$

$$\text{代入 (2) 式得:} \quad \left. \begin{aligned} X_{R_i} &= X_{R_0} + \Delta X \frac{L_i}{L} \\ Y_{R_i} &= Y_{R_0} + \Delta Y \frac{L_i}{L} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

3 斜铣 + X 向位移 + Y 向位移叶片

由定义知: $\varphi_i = 0$

代入 (2) 式得

$$\left. \begin{aligned} X_{R_i} &= X_{R_0} + \Delta X \frac{L_i}{L} - \delta_{X_i} \\ Y_{R_i} &= Y_{R_0} + \Delta Y \frac{L_i}{L} + \delta_{Y_i} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

技术简讯 几种仿制的铝合金锻造工艺

吴代斌 孙永恒

(哈尔滨飞机制造公司锻造厂, 哈尔滨, 150006)

刘润广 太龙根

(哈尔滨工业大学锻造教研室, 哈尔滨, 150006)

FORGING TECHNOLOGY OF SOME IMITATIVE ALUMINIUM ALLOY

Wu Dai-bin, Sun Yong-hen

(The Forging Works of Harbin Aircraft Manufacturing Corporation, Harbin, 150006)

Liu Run-guang, Tai long-gen

(The Forging Faculty of Harbin University of Technology Harbin, 150006)

2618 A、2214、7075 铝合金是我国根据引进法国“海豚”直升机构件所用铝合金研制的，其化学成分见表 1。

表 1 国产 2618A、2214、7075 铝合金的化学成分

合金	化学成分 (其余为 Al) (wt%)										其它元素
	Cu	Mg	Fe	Si	Mn	Zn	Ni	Cr	Ti	Ti+Zr	
2618A	1.8~2.7	1.2~1.8	0.9~1.4	0.15~0.25	≤0.25	≤0.15	0.8~1.4	—	≤0.20	≤0.25	单个≤ 0.05 总和≤ 0.15
2214	3.9~5.9	0.2~0.8	≤0.3	0.5~1.2	0.4~1.2	≤0.25	—	≤0.10	≤0.15	≤0.20	
7075	1.2~2.0	2.1~2.9	≤0.50	≤0.40	≤0.30	5.1~6.1	—	0.18~ 0.28	≤0.20	≤0.25	

2618 A 铝合金是一种 Al-Cu-Mg-Fe-Ni 系可热处理强化的铝合金。它基本上是从 Al-Cu-Mg 系硬铝合金基础上加镍，铁和硅形成的。由于合金中加入了等量的 Fe、Ni、元素，生成大量的 Al_3FeNi 相。 Al_3FeNi 相是硬脆的化合物，在铝中溶解度极小，经锻造和热处理后弥散分布于组织中，因而合金具有良好耐热性。

2214 铝合金是一种 Al-Cu-Mg-Si 系可热处理强化的铝合金。它是在 2014 合金的基础上，严格控制 Fe 的含量而形成的。合金的强度接近于硬铝，而工艺性优于硬铝，2214 铝合金的 $\sigma_{0.2}/\sigma_b$ 比值较大。

7075 铝合金是一种 Al-Zn-Mg-Cu 系可热处理强化的铝合金。它是从 Al-Zn-Mg 系合金基础上发展起来的，适当控制 Zn、Mg 总含量及其比例，并添加 Cu、Cr、Mn 等元素形成的。该合金具有良好的热变形性能及很高的室温性能。

1 铝合金的锻造工艺研究

1.1 锻造温度范围的确定

取直径 25×50 mm 的试棒，由电炉加热，在空气锤上进行镦粗，由垫铁控制每次镦粗的变形程度。在每种温度下，压下量从 5% 起，每增 5% 压下量镦粗一次，直到表面出现裂纹为止。通过在 $300^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ ，温度间隔为 50°C ，5 个温度点的试验可以看出，2618 A 的塑性比 2214 和 7075 塑性好，且无显著变化；2214 铝合金高于或低于 450°C 时，塑性缓慢降低；7075 铝合金高于 400°C 时，塑性缓慢下降。

拉伸试验，在日本岛津 10 t 电子拉力试验机上进行。试样到温后，保温 15~20 min，然后拉伸，通过在 $200^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ 、 300°C 、 350°C 、 400°C 、 450°C 、 485°C 、 500°C 等 8 个温度试验结果可以看出，塑性与锤上动载塑性镦粗结果基本一致。

1992 年 1 月 14 日收到，1992 年 4 月 21 日收到修改稿

1.2 变形抗力曲线

根据拉伸试验结果，绘出3种铝合金在不同温度下等温拉伸时的变形抗力曲线，如图1。

图1示出，随着温度的下降，3种铝合金的变形抗力剧烈增大。

3种合金在200℃~300℃范围内，变形抗力急剧增加。因合金的再结晶温度大致在300℃~350℃以上，在较低温度下，加热硬化现象严重，又不能通过再结晶得到软化，同时，未溶解的化合物更多，而使变形抗力增大。

1.3 锻造温度范围

锻造温度范围应满足合金具有较高的塑性，较小的变形抗力，足够宽的锻造温度区间。3种铝合金的锻造温度见表2

2 变形速度对可锻性的影响

变形速度对合金热加工时的工艺塑性发生的影响，主要取决于合金加工硬化和再结晶软化速度之间的关系。由于2618A、2214、7075等铝合金化学成分比较复杂，随着从静变形改为动载变形时，工艺塑性便要下降。合金的变形抗力，在低温时对变形速度的变化不敏感。而在高温下（锻造温度范围内）则比较敏感，随着变形速度增大而增大。

3 变形程度的确定

铝合金的变形程度，取决于锻件形状及合金的工艺塑性，为保证锻件具有细小均匀的晶粒组织，变形程度应避免落入临界变形程度区内。3种铝合金的临界变形程度见表3。

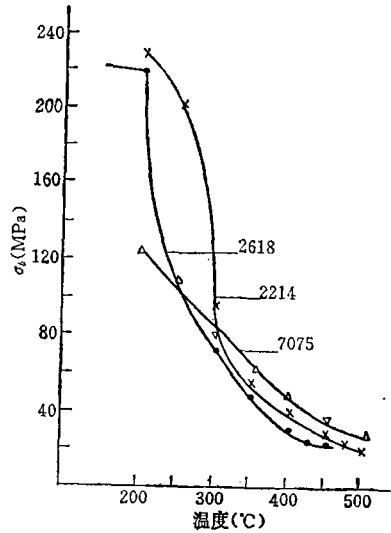


图1 2618A、2214、7075铝合金的变形抗力曲线

表2 国产2618A、2214、7075铝合金锻造温度

合金牌号	2618A	2214	7075
温度(℃)	490~380	480~380	450~360

表3 国产2618A、2214、7075铝合金临界变形程度

合金牌号	2618A	2214	7075
临界变形程度	5~10%	5~10%	5~15%

国产2618A、2214、7075铝合金的研制成功，替代了法国材料用于直九直升机上。