

国外飞机起落架大型锻件的选材

一一八厂 江怀清 裘 惠 五七〇三厂 陈守炜

六四〇所 周士乾 六〇三所 魏省三 骆正兴

一、选材依据

目前,世界各国在运输机的设计和制造方面,都在朝高速、大型、远程方向发展。因而对起落架所采用的大型锻件提出了越来越高的要求。锻件的选材除了保证常规的机械性能、冷热加工工艺性能外,还应考虑对零件的重量和使用寿命以及安全可靠性的要求。

1. 要求材料有较高的比强度

材料的比强度直接关系到零件的重量和体积。多年来飞机设计者和冶金工作者都在追求这个指标的提 高,以美国常用的航空结构钢 4340 钢为例,起初(约三十年代初)它的使用强度在 105 公斤/毫米²左右,到第二次世界大战期间及战后数年中,用于飞机起落架的使用强度一般在 126~142 公斤/毫米²。可是,到了五十年代中期,起落架用钢则普遍选用 160 公斤/毫米²左右的,同时在起落架上开始使用高强度铝合金及钛合金。目前许多国家大型运输机起落架大型锻件使用的合金结构钢,强度都在 180~200 公斤/毫米²。使比强度由原来的 13×10^5 毫米,提高到 25×10^5 毫米或更高些。材料比强度的发展情况见图 1。

2. 要求材料有高的纯净度

提高材料的纯净度,实际上就是提高钢的冶炼质量。这个问题目前在国内尚未引起足够的重视。随着钢的使用强度的提高,钢中各种非金属夹杂物及各种有害元素的偏析所引起的应力集中、钢对氢脆的敏感性及应力腐蚀的敏感性越来越大,特别是钢的延迟断裂所引起的事故已成为严重的问题(在使用强度 ≥ 140 公斤/毫米²时,这种情况就非常突出)。此种性

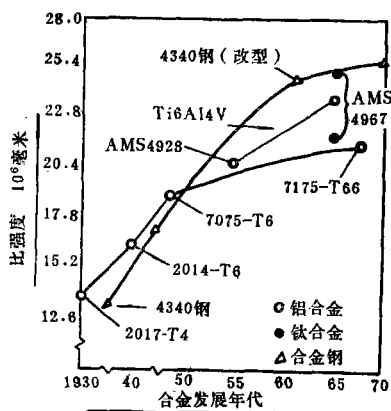


图 1 材料比强度的发展情况

质的断裂,往往是在低于正常设计的极限载荷下,经过一段时间后,突然发生的脆性断裂,而且并非都是在承受最大载荷时发生。当分析这些事故时,常发现常规机械性能、化学成分等均在要求范围之内,而破坏往往是和钢中的氢有关。试验证明,如果把钢中的氢除掉,这种现象即得到改善。为了克服上述情况,目前国外许多国家起落架用钢都采用了较先进的冶炼方法,如真空感应、真空自耗、真空脱气或真空浇注等等。以氢为例, H11 钢经过真空自耗之后,可由原来的 0.0003~0.0006% 下降到 0.0001~0.0003%; 300M 钢经过一次真空重熔后,氢含量由 0.00019% 下降到 0.00008%,同时提高了钢的机械性能(图 2 和 3)。

真空重熔还可以大大改善钢中非金属夹杂物的分布。

国内大型运输机起落架大锻件,由于冶炼时采用了真空脱气工艺,使氢含量由脱气前的 5.9 厘米³/100 克下降到 3.1 厘米³/100 克。因此,采用 4.6 吨钢锭直接成型的锻件,也能满足设

止灾难性的断裂事故是非常重要的。此外，高应力下的低周疲劳性能也很有意义。

二、常用材料

1. 国外飞机起落架大型锻件常用高强度合金钢有如下几种：

4340钢

它是美国用于航空工业中非常成熟的钢种，从三十年代起，一直用到现在，并在此基础上又发展了一些新钢种。这种钢强度范围很广，常用的强度有98.4~112.5、122.5~126.5、126.5~140.6、182.8~196.9公斤/毫米²，且具有良好的热成型性，较高的可淬透性，也可铸造；经过适当的退火，可用各种方法焊接。目前在美国，它是制造波音707、DC-8、C-414、“伊列克特拉”、康维尔-880以及许多活塞式飞机起落架的合金钢。

4330M钢

由于回火脆性的问题，4340钢一般不在155~180公斤/毫米范围内使用。为此，美国在4340的基础上发展了4330M钢，以补4340钢之不足，在波音飞机公司，英国道蒂-罗托尔公司都得到了广泛应用，有良好的热成型性。根据零件使用情况可分为高硅和低硅二种。硅可提高回火稳定性，但对焊接不利。

300M钢

这种钢实际上是在4340基础上发展起来的一种超高强度钢，锻件强度可处理到189~210公斤/毫米²，而且有很好的塑性，是目前英美广泛应用的、被认为是强度和脆性综合考虑的最佳起落架用钢。缺点是焊接性能差，在DC-10飞机起落架中用得最多，约占零件总重量的69%。英国道蒂-罗托尔公司用该钢设计和制造起落架有许多经验。

H-11M(5CrMoV)钢

此钢是在原马氏体热作模具钢H11的基础上改型的一种超高强度钢，容易焊接，能在空

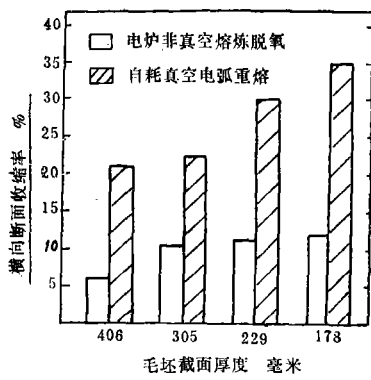


图2 熔炼方法对H11钢 ($\sigma_b=196.6\sim218$ 公斤/毫米²) 横向断面收缩率的影响

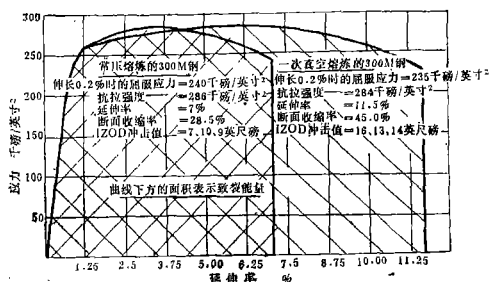


图3 常压熔炼及一次真空熔炼的300M钢的性能对比

A: 硫化物 B: 铝化物 C: 硅酸盐
D: 球状氧化物

计要求。可见，采用先进的冶炼工艺，提高钢的纯净度，是保证起落架大型锻件质量，提高使用寿命的重要因素。

3. 对材料性能的要求

对主要承受弯曲的零件，在可使用的应力水平下，优先选用屈服比 (σ_s/σ_b) 相对高的材料。

良好的横向塑性同样有重要意义，而冲击韧性的高低，对飞机着陆时受力的影响是不大明显的，冲击韧性很低的铝合金锻件，能用于起落架就是一个证明。要求材料有足够缓慢的裂纹扩展速率和足够大的临界裂纹尺寸，对防

气中淬火,因而热处理变形很小。它是唯一能在320℃下保持高强度的钢,在退火状态下有良好的塑性,在美国成功地用于B-70轰炸机起落架上。

D6AC钢

此钢是一种模具钢,淬透性大大超过了4340钢,一般使用强度为155~169公斤/毫米²,且具有较高的韧性,但在美国F-111飞机起落架上使用183公斤/毫米²的强度级别,如果牺牲一些断裂韧性,则使用强度可达200公斤/毫米²,在F-111飞机中,使用了这种钢,用量占结构重量的30%。

35NCD16钢

此钢是法国的一种超高强度钢,强度在189公斤/毫米²时有满意的横向性能,断面收缩率可达35~45%,延伸率可达10%。目前,除

用于法国“幻影”飞机起落架上以外,美国F-101飞机起落架也用此种钢代替了原用的4340钢。在“协和”A300“公共客机”中许多大型锻件都用了此种钢,缺点是屈服强度较低。

30XГCHA钢

此钢是苏联在飞机和起落架上最常用的一种超高强度钢,强度级别选用范围通常为150~180公斤/毫米²。

上述几种钢的化学成分及钢坯的拉伸性能列于下表。

2. 铝合金在起落架中越来越多地得到应用,国外常用铝合金情况如下:

L161

它是与实际上免除了应力腐蚀的美国7075-T73相当的英国合金,它已在许多飞机上使用,并取得了令人满意的使用经验。

几种钢的化学成分及拉伸性能表

钢 种	平均成份%							钢坯横向拉伸的最小值			
	C	Si	Ni	Cr	Mo	V	Mn	$\sigma_{0.2}$ 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	$\delta, \%$	$\psi, \%$
4340	0.46	—	1.80	0.8	0.25	—	—	153	183	5	20
4330M	0.30	0.30	1.80	0.8	0.40	—	—	—	—	—	—
300M	0.42	1.60	1.80	0.80	0.40	0.08	—	160	193	5	20
H11	0.40	—	—	5.0	1.3	0.5	—	151	183	—	15
D6AC	0.46	—	0.55	1.0	1.0	—	—	155	183	5	18
35NCD16	0.35	—	4.00	1.75	0.5	—	—	148	190	6	25
30XГCHA	0.27~ 0.34	0.90~ 1.20	1.40~ 1.80	0.9~ 1.2	—	—	1~1.3	—	155	5	25

7070-T736

它是在美国国防部资助下正在发展的最新材料,在大锻件上取样所得的试验结果很好,为了获得使用经验,目前仅用于老起落架上的一些大锻件,该合金很有前途。

7075-T73

它在美国普遍使用,作为以前7075-T6制造的起落架的代替材料,因后者的抗应力腐蚀性能差。

7075-T736

它是由美国海军和空军支持而发展的一种耐腐蚀铝合金,虽然道蒂-罗托尔公司在民用和军用飞机的起落架主要零件上普遍地使用它,但目前尚缺乏大量的使用经验。这种材料不用于小锻件。

7175-T736

它实质上是高纯净度的7075改型,不仅具有足够的抗应力腐蚀性能,而且与T6热处理相当的强度,一般规定用于要

求最高水平的断裂韧性和最低裂纹扩展速率的部位。

AZ74

它是德国发展的一种材料,含有少量的银。它的抗应力腐蚀性能与T73热处理的美 国一些合金相当,并且比 7049-T73 稍强,已在A300“公共客机”和“协和”号等飞机上使用,但到目前为止,使用经验还比较少。

三、工艺特点

合理的锻造工艺,不但可以充分发挥材料原有的特性,而且可使锻件在最有利的条件下进行工作。从而使整个锻件有较高的综合性能。

筒形锻件在起落架中起着重要的作用,这些筒形件在一般情况下,总是承受切向拉伸应力。锻件常常因为切除毛边而造成“流线末端外露”的缺陷,使机械性能及抗应力腐蚀性能大大下降,往往形成裂纹,甚至造成断裂。

关于减少流线末端外露的危害,在国外进行了多方面的试验研究。例如,美国渥曼-高尔登公司,采用镦粗-反挤联合工艺,在克服铝-镁-锌系高强度铝合金起落架筒形件产生应力腐蚀裂纹方面,取得了显著成效,在3.5%氯化钠水溶液中(温度为23~25℃)和在大气中交替试验的结果是,产生应力腐蚀裂纹的时间由原来的7~30天延长到44~90天。同时,总成本只有常规锻件的82%。

英、美飞机起落架筒形件,多数在喀麦隆公司、利文斯顿锻造厂,用三万吨多向锻造水压机进行锻造。

多向模锻水压机,即在模锻水压机上沿水平方向增加左右二个液压缸,并在上面安装冲头或模具,在锻造时与垂直方向的上下模联合运动,以把金属完全封闭在模腔内。因此,在理想的情况下,锻件成形后即无飞边,也无模锻斜度,完全克服了流线末端外露的缺点。多向锻造模锻件质量是很好的,对起落架的寿命

是一个有力的保证。美国空军曾作过这样的试验:他们用同一熔炼炉号的 $\phi 482$ 毫米的7079合金锭,分别用四种方法锻造锻件,即:

A: 实心带毛边的一般锻件,先挤压成 $\phi 190$ 毫米棒;

B: 实心带毛边的一般锻件,用开坯代替挤压棒;

C: 带凸起的实心锻件;

D: 用多向模锻锻成空心无毛边锻件。

用上述四种锻件作应力腐蚀试验的结果如下:

应力为10.5公斤/毫米²时,四种锻件的寿命是一样的;

应力为21.1公斤/毫米²时:

A锻件平均寿命为18天;

B锻件平均寿命为17天;

C锻件平均寿命为24.3天;

D锻件平均寿命为50天;

应力为31.6公斤/毫米²时:

A锻件平均寿命为7天;

B锻件平均寿命为2天;

C锻件平均寿命为5天;

D锻件平均寿命为30天。

从上述试验结果看,多向模锻的锻件寿命一般可提高3~4倍。

从经济效果看,采用多向模锻也比一般锻件经济得多,如波音707主起落架外筒,用实心锻件加工,总的费用为156606美元,而采用多向模锻件加工,总的费用则仅124945美元,每只锻件可节约31661美元。

起落架锻件采用多向锻造,可以说是一个工艺特点。多向模锻无论在质量上,经济上都是很有利的。除了锻造工艺对起落架性能有影响外,其他如热处理、表面处理、机加工等都是不可忽视的。特别是目前比较普遍采用的喷丸工艺,对提高起落架的抗应力腐蚀性能和延长整个起落架的寿命都是很有意义的。