

苏联铝基弥散强化复合材料的发展现状

目前,苏联正在生产三种不同牌号的铝基弥散强化复合材料,其主要区别是氧化物的含量不同,即 САП-1 (含 6~9%的 Al_2O_3)、САП-2 (含 9.1~13%的 Al_2O_3) 和 САП-3 (含 13.1~17%的 Al_2O_3)。其他国家也有类似的铝基弥散强化复合材料,其牌号相应为 SAP-930、SAP-895、SAP-865。САП 系列复合材料在苏联已获得广泛应用,并正在为进一步改善其性能而进行系统的研究。

苏联在制造弥散强化复合材料方面采用细粒氧化铝粉(细粉),并将预先除气的粉末包在金属套中放在液压机上制成坯,在温度为 833~873K,压力为 300~600MPa 的状态下使其变形。

当弥散强化复合材料中氧化铝的含量增加时,其强度和硬度提高,而塑性、热膨胀系数、导热、导电性降低,工艺性能也变差。САП-1 的硬度可达 850MPa, САП-2—1000MPa, САП-3—1200MPa。

在温度为 523~773K 的范围内,САП 系列弥散强化复合材料的耐热性、持久强度和抗蠕变性能都优于变形铝合金。在温度为 523、623、773K 时,САП-1 的持久强度 σ_{100} 分别为 110、80、45MPa,而 САП-2—分别为 120、90、55MPa。

在温度为 623K 时,此种弥散强化复合材料的蠕变极限 $\sigma_{0.2/100}$ 为 70MPa,在 773K 时为 40MPa。САП 系列复合材料具有高的热稳定性,当长期(至 2000 小时)加热到 773K 时,其组织和性能不会发生变化。周期性加热到 873K 时会引起强度和塑性降低。САП 系列复合材料的持久强度极限(在 $N=2 \times 10^8$ 周期 $\sigma_{-1}=90$ MPa 时)比工业用铝合金要低些。

用 САП-1 和 САП-2 弥散强化复合材料挤压的型材的性能在很大程度上取决于断口的性质,细晶断口的棒材的强度高于层状断口的棒材(见表 1)。

表 1 Al- Al_2O_3 弥散强化复合材料型材的性能与断口性质的关系

牌 号	断 口	T, K	E, GPa	σ_b , MPa	$\sigma_{0.2}$, MPa	δ , %	ψ , %
САП-1	细晶粒	293	72	310	210	10	20
		523	50	180	140	8	28
		623	—	120	100	13	50
		773	—	70	55	3	30
САП-2	细晶粒	293	77	350	240	7	—
		523	59	210	190	7	—
		623	—	140	120	9	—
		773	—	90	60	1.5	—
САП-2	层状	293	77	320	210	7	10
		523	59	190	150	7	12
		623	—	130	80	8	21
		773	—	70	60	1.5	15

САП 系列复合材料在温度为 723~773K 范围内的力学性能工程

学性能的提高靠的是用镁(0.8~4.5%)、铜(0.6~1.7%)和其他元素固溶强化铝基体来达到的,但是,当温度高于 723~773K 时,合金化对耐热性产生不良的影响。

САП 系列复合材料的弹性模数、导热性和导电性在所有温度范围内都比硬铝高。此种弥散强化复合材料的物理性能列于表 2。

САП 系列复合材料具有高的抗腐蚀性,不易产生晶间腐蚀和应力腐蚀,这种材料还具有高的抗辐射性的特点。

所有 Al- Al_2O_3 弥散强化复合材料在热状态下变形良好,而 САП-1 在冷状态下变形也良好。可将此种材料加工成板材、棒材、管材、型材。用挤压和冷拉法可将 САП-1 制成壁厚为 0.4mm 的管材,而通过轧制可制成厚度为 0.03mm 的箔片。这种弥散强化复合材料可使用添加料用氩弧焊进行焊接。半成品中气体的含量越低,可焊性越好。管材和板材采用接触焊时,通常推荐包覆一层可焊的铝合金。

表 2 铝基弥散强化复合材料的物理性能

牌 号	$\gamma \cdot 10^3$ kg/m ³	C, J/ (kg · K)	$\alpha \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹	λ , W/ (M · K)	$\rho \cdot 10^{-8}$ $\Omega \cdot m$
САП-1	2.70	880	21.2	1760	3.9
САП-2	2.70	—	21.2	1760	4.0
САП-3	2.71	920	19.5	1460	4.5

用冷挤压粉末混合料制取的 Al- Al_2O_3 弥散强化复合材料具有高的耐磨性。随着 Al_2O_3 含量的提高(到 30%),材料的屈服点、强度极限、相对延伸率和韧性有所降低,而耐磨性则有所提高。

在 Al-C 弥散强化复合材料中,铝的碳化物 Al_4C_3 是主要的强化相。此种弥散强化复合材料可用粉末冶金法和铸造法制取。在第一种情况下,是将铝(或铝与铜、锰的合金)粉末和磨细的碳黑反应混合,然后将混合料压实、烧结和挤压(或冲压)。这种弥散强化复合材料含有存在于原铝粉中多到 2%的 Al_2O_3 。当碳黑的浓度增加到 5%时,会促使强度提高,而碳黑浓度为 3~5%时,其强度和塑性的比例为最佳(见表 3)。使用在真空中除气的混合料制取的毛坯具有更高的强度。随着在挤压过程中伸长量的增加,石墨颗粒相应伸长,此种弥散强化复合材料的强度和塑性也提高。

耐磨的 Al-C 弥散强化复合材料也可通过在铝熔体中机械混合预热过的(到 873K)石墨粉来制取。随着铝熔体温度的提高(到 1123K),石墨颗粒分布的均匀性也增大。为了改善润湿作用,可用铜将石墨包覆。随着石墨含量的增加(到 5.1%),由于石墨作为固体润滑的作用,铝基弥散强化复合材料的耐磨性显著提高。

含 Al-TiC、Al-ZrC、Al-NbC、Al-Cr₃C₂、Al-Mo₂C、Al-WC(体积含量为 2~8%)的铝基弥散强化复合材料可用机械混合法制备混合料,而后进行压制、烧结、轧制和退火。此种弥散强化复合材料的强度特性取决于强化相的化学键的特性。

表3 Al-C 弥散强化复合材料的力学性能

C _c %	T, K	$\sigma_{0.2}$ MPa	σ_b MPa	δ %
1	293	—	260	7.5
	673	—	110~120	7.0
2	293	—	360	3.5
	673	—	145~160	4.5
3	293	430	450	4.2
	373	407	421	4.0~4.5
	473	288	300	3.5~5.0
	573	183	205	—
	673	—	145~160	4.5
	773	—	75	—
4	293	—	470	3.5
	673	—	150~175	4.0
5	293	—	520	3.5
	673	—	180~200	2.0

Al-AlN 和 Al-Si₃N₄ 弥散强化复合材料可用等离子化学合成法制取, 而 Al-FeAl₃ 和 Al-TiAl₃ 弥散强化复合材料则用机械合金化的方法制取。

在苏联, 铝基弥散强化复合材料主要用于长期在 573~773K 下工作的部件。例如, 用 CAП 系列复合材料可制造飞机的防火隔板, 航空和化学工业中用的热交换器、紧固件等。由于 CAП 系列复合材料具有高的抗蚀性和能吸收中子, 所以也可用来制造原子反应堆的汽轮导管的支承元件。采用铝基弥散强化复合材料代替不锈钢和钛合金, 对于在温度至 773K 下工作的低负荷结构来说, 可显著降低制件的重量。而 Al-C 复合材料还可用于制造内燃机的活塞。

(朱荃芳)

飞机腐蚀的检测

在飞机设计上, 固有的缝隙中会因积累湿气、盐类和灰尘而形成没法看到的腐蚀, 这种腐蚀可能导致结构失效, 甚至严重事故。Battelle 公司研制出一种腐蚀探测系统, 它能提供有关服役后军用飞机、商用飞机以及直升机的连续腐蚀信息, 现正在由美国空军进行试验。这种系统是将若干小型金属传感器安装到飞机机体上不能接触到的地方, 然后通过自动监控这些传感器电阻率的增加情况来探测腐蚀的开始及其严重程度, 并通过系统的计算机化记录器或一台小型计算机计算出相对腐蚀速率。所有的传感器都是飞机上一台中央数据记录器/收集系统的硬件。该数据记录器的面积为 254mm², 重量不到 14kg。现在已有一台原型机正在军用直升机上进行现场试验, 其它的试验均在军用战斗机和运输机上进行。

(东华)

新的复合材料焊接工艺

Entwistle 公司先进复合材料工程分部新成立的 Parabolics 公司正在研究和推销它的复合材料聚焦红外熔焊工艺 (正在申请专利)。这种工艺用一个强烈的聚焦红外线源来熔合高性能热塑性塑料而形成强度极高的接头。据称, 这种聚焦红外熔焊法是一种将高强度复合材料与诸如聚醚醚酮、聚醚酰亚胺、聚醚砜和热塑性聚醚酰亚胺焊接在一起的最好方法。现正由美国和欧洲宇航国防公司 (U.S. and European aerospace and

defence companies) 进行评价。这种方法也可望用于汽车、医疗、电子、计算机和仪表工业, 因为在这些工业中, 工程热塑性塑料和先进复合材料的应用正日益扩大。据称这种聚焦红外熔焊工艺不仅优于现在的塑料焊接技术, 而且比粘接和铆接都好。

(东华)

IMI 公司的几种高温钛合金

英国 IMI 钛有限公司研制高温钛合金已有 30 余年历史, 发展了一系列有专利权的高温钛合金应用于航空燃气涡轮发动机, 其工作温度分别达到 300~600℃。该公司最早重视添加硅对提高高温性能的有利影响, 导致发展了 $\alpha+\beta$ 和 β 热处理状态的近 α 合金。IMI 公司面临的挑战是进一步提高钛合金的最高工作温度, 实现满意的拉伸、疲劳和蠕变强度, 并结合发展可焊性, 可加工性, 金相稳定性和抗氧化腐蚀性。

IMI 公司早期突出的高温钛合金是 IMI685, 于 60 年代研制成功, 可工作到 520℃, 现仍广泛应用于 RR 公司的 RB211 系列发动机、RB199 发动机、Adour 和 Snecma 公司的 M53 和 Larzac 发动机的压气机叶片。

IMI 公司近年来较为突出的高温钛合金是 IMI829 和 IMI834。IMI829 可以工作到 550℃, 是第一个按化学成分和显微组织控制实现最佳高温性能的钛合金, 该合金用于 RB211-535-E4 发动机和 V2500 发展型。

IMI834 (Ti-6Al-4Sn-3.5Zr

-0.7Nb-0.5Mo-0.35Si-0.06C) 具有最佳蠕变强度, 可在 600℃ 工作, 短时可在 650℃ 工作。至少比其它非 IMI 钛合金有 70℃ 的优越性, 对于提高发动机性能极为有利。IMI834 引起了欧美各国的普遍关注, 已在 EJ200 发动机上鉴定, 该发动机是由美国格鲁门公司、意大利、西班牙、英国等国联合生产的新型欧洲战斗机的动力装置。

(马艳秋)

先进的高温钛合金 Ti-1100

美国于 80 年代研制成功的高温钛合金 Ti-1100 的成分为 Ti-6Al-2.75Sn-4.0Zr-0.4Mo-0.45Si-0.7O₂-0.2Fe。该合金实际上是 Ti-6242Si 的发展型, 其最高使用温度接近 593℃, 比 Ti-6242Si 约高 53℃。Ti-1100 是一种近 α 合金, 最佳加工工艺是 β 锻+直接稳定时效, 其蠕变和拉伸性能对锻造工艺参数, 如温度、冷却率、最终时效温度不太敏感, 因此, 与其他合金相比, 加工范围较宽, 性能较稳定。长期暴露后 Ti-1100 的性能仍很稳定, 但在 540℃ 以上长期暴露则应采用涂层。在 565℃ 以下, 含铁量对其性能有较大影响, 但在 565℃ 以上不存在这个问题。Ti-1100 的室温密度是 4.5g/cm³, β 转变温度是 1015℃。

TIMET Henderson 技术试验室对 Ti-1100 和 Ti-6242Si 的性能进行了全面比较。试验表明, Ti-1100 的极限拉伸强度与 Ti-6242Si 几乎相