

根据生产发展需要 积极开展材料研究

南方动力机械公司 陈炳贻

本文介绍了近几年来南方动力机械公司材料研究的某些进展,包括几种新材料的开发,为提高材料性能所采用的多种工艺,测试手段和设备的完善等。

航空航天工业部南方动力机械公司(下简称南方公司)是我国中、小型航空发动机试验、研究和生产基地。多年以来又开发了以摩托车为主的多种民品。为促进产品的更新换代,增强市场的竞争能力,南方公司完善了测试设备,采用了各种途径积极开展结构材料的研究,密切了科研与生产的关系,并取得了明显的社会和经济效益。

一、按照新机开发需要,进行材料研究

1. 新型 WZ 发动机铸造合金的试制

南方动力公司新型航空 WZ 发动机具有转速高(燃气发生器的转速为52215r/min)、体积小(长1166mm、宽406mm、高609mm)、功率重量比大(功率526kw,重118.6kg)等特点。这些特点对结构材料提出了高强度重量比与高性能价格比要求,并要求零部件成形工艺进行重大变革。

在发展精铸方面,南方公司研制出了25kg半连续式定向凝固真空炉,掌握了陶瓷型芯,石英玻璃型芯、高温合金陶瓷过滤净化器及“快速法”精铸技术,研究出型面无余量、晶粒呈[001]定向生长的涡轮叶片。同时还掌握了两排叶片布局、叶型无余量的整体式导向器和整流器精铸技术。通过协作,还突破了钛合金离心叶轮锻造、轴流叶轮超塑等温锻造等重大关键。与此同时,南方公司还试制成功了三种新合金以及12种精铸件,并在1990年9月份通过了部级鉴定。与会专家认为:这些合金以及12种精铸件的各项技术指标均达到了技术标准要求,国产精铸件实物的冶金质量水平与外国实物水平相当。这些合金和精铸件的试制成功,不仅节约了大量外汇,而且对我国中、小型航空发动机的发展将起推动作用。

2. 开发新的电极材料,完善焊接工艺

电极是电阻焊设备同被焊件接触时的消耗件,对焊接过程、生产效率和焊接质量起着重要作用。目前用于耐热钢、不锈钢、高温合金电阻焊的电极材料主要有铍钴铜、硅镍铜。铍钴铜被西方航空航天部门广泛用于不锈钢、高温合金电阻焊,但它含有毒元素铍,在使用中会产生有害的烟雾和粉尘,故生产厂家不多。而镍硅铜导电率又过低,为适应生产需要,以南方公司为主,通

材料工程

过与外单位合作,研制成功了钴铬硅铜,即 CuCo_2CrSi 。其硬度接近铍钴铜,导电率和软化温度均高于铍钴铜,且不含有毒的贵重元素铍。实践证明:钴铬硅铜完全可以取代进口铍钴铜,同时已取得委托我国加工航空发动机部件的外商认可。值得指出的是:靠国外进口的铍钴铜价格昂贵,1984年每公斤价格达154元。

二、通过各种工艺方法提高工程材料性能

1. 利用各种工艺方法,提高新型 WZ 发动机结构材料的性能

相对于研制一种新型材料而言,利用工艺方法可以在较短时间内以较低的代价提高某些材料的性能。因而它们广泛应用在这种新发动机的研制中,其中包括喷丸技术、无氧化热处理、可控化学热处理、表面渗层、涂层、镀层、真空淬火、氮氢气氮保护可控碳势渗碳、浅层高精度氮化、离子渗铝、铝铬、铝硅共渗、SERMETEL涂层、SERMALOY-J渗层、HC-15、HC-11渗层、高铜铝硬质阳极化等多种工艺。这些方法对于不同的工程材料的机械性能都有不同程度的改善。例如这种发动机涡轮盘及涡轮叶片采用喷丸处理后(其喷丸部位分别为榫槽和榫齿),它们的强度均达到了17~28A,轮盘覆盖率为200%,叶片覆盖率达125%。南方公司除开展了强化喷丸外,还进行了光饰喷丸、喷丸成形工艺的研究,并在国内首先将喷丸技术用到这种新型发动机具有SERMETEL涂层的连接管上。采用的是低压喷射玻璃丸,粗造度达 $\nabla 1.6$,电阻不大于 15Ω ,从而使部件适用于恶劣的工作环境。目前南方动力机械公司是中国唯一取得西方国家认可的发动机喷丸厂家。

2. 平顶网纹新技术在1E56FM 发动机上的应用

1E56FM 发动机的气缸孔,历来采用Ra0.05~0.16低粗糙度,镜面要求。尺寸和几何精度均低,次品和废品率高,发动机活塞拉缸现象时有发生,缸壁出现早期磨损现象。近几年来,南方动力机械公司根据发动机气缸实际工作的特点,对缸孔表面形态与耐磨性的关系进行了大量的研究,进而在1E56FM 发动机气缸表面上采用了平顶网纹新技术。

平顶网纹是这样形成的:如图1所示,采用自由珩磨,珩磨头间隔地安装粗、细珩磨油石。 V_1 为珩磨机床主轴

旋转运动切削速度, V_2 为机床主轴往复运动的速度。先进行粗珩, 粗珩时, 粗珩油石涨开, 精珩油石收缩。粗珩主要去除大部分余量。珩磨出深沟网纹。该网纹为平顶网纹的基础网纹。粗珩后再精珩, 这时精珩油石涨开, 粗珩油石收缩。精珩的作用是对网纹峰顶进行修光。加工后表面形成了明显粗细均匀交叉的网纹。

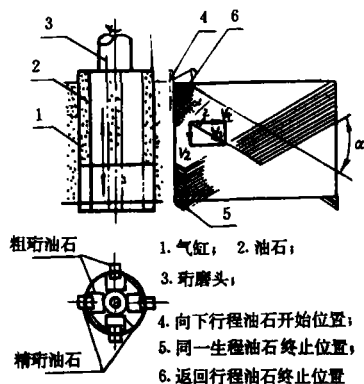


图1 珩磨网纹的形成

1E56FM 发动机气缸表面采用平顶网纹后通过120h可靠性试车, 并经有关部门鉴定, 发动机缸孔寿命提高1.82~2.55倍, 发动机的标定功率提高12.8%, 最大功率提高8.09%, 最大扭矩提高14.1%, 最低燃油率下降11.25%, 取得了明显的经济和社会效益。这种技术目前正在NY1E56FM、175FM上推广使用。

三、改进方法, 完善设备, 提高材料研究水平

1. 精铸高温合金叶片夹杂分析

航空发动机涡轮叶片由于在高温下随交变的载荷作用, 因而不论对其材质、还是冶金质量均要求较高, 特别是排气边缘和转折处, 基本上不允许有缺陷, 然而过去由于测试手段不完善, 因而对叶片夹杂缺陷均是从宏观上, 凭经验行事, 这种方法对内部细小夹杂往往难以奏效, 甚至造成误判, 从而引起叶片报废率很高, 直接影响产品的合格率。

近几年来南方动力机械公司技术处仇玉莹等同志采用金相显微镜、扫描电镜、电子探针等设备, 从微观上对精铸高温合金叶片夹杂缺陷进行了系统而又细微的分析研究, 已取得了明显的实效。

试件是利用WJ6发动机涡轮工作叶片。其材料为K3镍基合金。母合金锭是在ZG-0.2空感炉和电熔镁砂制的坩埚内熔炼的, 采用铸铁锭模浇注成锭, 然后将母合金锭在ZG-0.025单室真空炉和静压成型坩埚内重熔浇注成叶片。

先在叶片的缺陷部位上定位, 并进行剖切、打磨、直至肉眼可见。然后在体视显微镜及扫描电镜下观察缺陷的形貌。再对试样作金相磨片, 在光学显微镜下观察分

辨缺陷的类别, 将金相磨片在扫描电镜下进行微区成分分析, 再选取典型试样在电子探针下进行微区成分分析和元素x射线百分率分布检查。

通过上述检查, 发现了叶片夹杂主要是由MgO、 Al_2O_3 、CaO等组成的复合夹杂物。通过采用电子探针对于坩埚材料与夹杂物对比分析及对熔渣分析等得知: 夹杂物主要来源于熔炼合金时坩埚的熔蚀、裂纹和剥落, 在熔炼浇注母合金锭和叶片时, 并被带入铸件和模壳内, 从而导致叶片夹杂形成。随着坩埚使用次数的增加, 这种现象越来越严重。其结果与英国罗·罗公司的发现吻合。

针对发现的夹杂来源, 制订了提高产品质量措施: 如对母合金和重熔合金进行过滤净化处理, 采用了高温泡沫陶瓷过滤器。通过生产考验, 可使叶片报废率由原来的25.2%下降到7.5%, 合格率提高20%, 高温持久性能提高18~29%, 效果十分显著。

2. K403合金涡轮叶片表面萤光所显示的缺陷性质与形成原因研究

WJ6型发动机的一、二级涡轮叶片, 系K403合金精铸而成。经粗抛光显晶腐蚀后萤光检查, 经常发现在许多叶片的叶背、叶盆、根部R转接处及叶背叶盆中部表面有密集成堆的萤光缺陷显示。长期以来, 一直认为这种缺陷是显微疏松。但自生产以来的全部金相检验及多次对萤光缺陷区的解剖观察, 均未发现有显微疏松超出技术要求。同时经多次改进浇铸工艺后, 仍不能克服上述缺陷。基于上述事实, 近几年南方动力机械公司技术处易国斌等同志开展了试验分析研究。并获得下列结果:

(1) WJ6发动机K403合金涡轮工作叶片表面萤光所显示的严重缺陷主要是 γ' 共晶显晶腐蚀时溶解脱落成凹坑而引起的。

(2) 通过装机长期使用考核证明: K403合金叶片中存在的 γ' 共晶不影响发动机的使用性能。

(3) 实践证明: 萤光检查前用弱酸腐蚀或电解除油代替显晶腐蚀是行之有效的措施。

据上述研究结果, 南方公司有关部门采取下列措施挽救和改正因显晶腐蚀错误判废叶片。

(1) 将粗抛光显晶萤光检查判废的1759件叶片继续加工至成品尺寸, 改用电解除油再进行萤光检查、从而挽回了1531件叶片, 并入库装机使用。

(2) 对未显晶腐蚀的在制品和以后生产的叶片粗抛光萤光检查前改用10~15% H_2SO_4 水溶液弱腐蚀, 使叶片萤光检查合格率提高到90%以上。

经上述方法检查合格后的产品已先后装机数百台, 在外场使用中均未发现任何问题。

为对航空发动机及摩托车等产品进行试验, 全面评定材料在使用条件下的性能, 开发新的材料, 南方公司近几年来利用有限的资金, 除了研制出了上述的25kg半(下转13页)

含量对材料的强度、空隙率、透气性及尺寸稳定性有着密切的关系。尤其是粘合剂的合成条件与材料的强度有着十分密切的关系。我们曾用X射线小角衍射方法测量过不同合成条件下合成的硅溶胶分子团的回转半径 R_g 。当使用 R_g 值超过一定范围的粘合剂时,材料的强度急剧地下降,基本不能使用。这说明必须严格控制硅溶胶粘合剂的合成条件(主要是成分、温度、pH值、时间等),使其分子团的大小与形状符合使用要求。

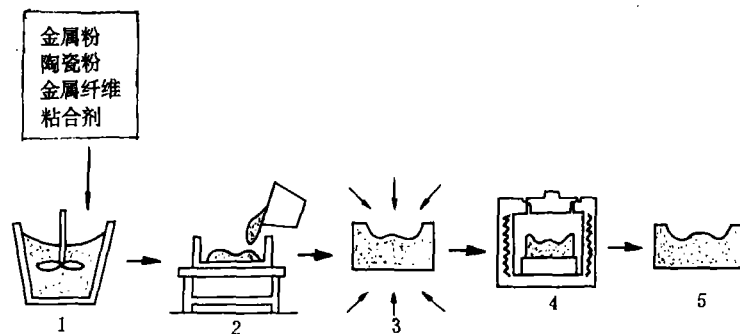


图7 模具制造工艺示意图

1—混炼; 2—注入; 3—脱模干燥; 4—烧结; 5—成品模具;

很适合于制造工件表面花纹精细、形状复杂、不易用一般金属材料机械加工办法制造的模具。比如一般金属做的真空吹塑模具均用机械加工的办法,在模具上打很多孔洞,以达到透气的目。但是由于微孔洞不能打得过多,总有一些透气性不理想的地方,因此必然影响吸塑件表面的精细程度。采用本文研究的这种本身就具有透气性的复合材料,而且用胶体状的流体注入成形方法制造模具,其精细度完全可以得到保证。我们曾用来制造具有树叶精细花纹模具,并用吸塑法使树叶的花纹准确地翻印到塑料薄膜上,达到了以假乱真的程度。这说明这种方法很适合于精细件的仿造工艺。

根据初步探索,这种具有透气性的陶瓷基复合材料除了可用于塑料件的成型模具之外,也可用于陶瓷、橡胶件的模具上,甚至也有可能用于低熔点金属材料的铸模具上。同样是由于具有透气特性,将使金属铸件的精度得到提高。

四、结论

1. 用特殊的工艺制造的不锈钢纤维增强的具有透气性的陶瓷基复合材料。其压缩强度可达到 $8000\text{N}/\text{cm}^2$,透气性可达到 $1.2\text{cm}^3/\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{atm}$,有关的实验数据及实际使用证实了加入纤维使材料的韧性有了一定程度的改善。
2. 对这种复合材料的制造工艺进行了较系统的研究,发现材料的结构、性能与材料成分、工艺有很大关系,尤其是粘合剂的合成条件严重地影响材料的性能。有必要对硅溶胶分子团的大小与形态如何影响材料性能的问题进一步进行研究。
3. 这种材料用于塑料件真空吸塑成型模具很成功,

三、透气性复合材料在模具中使用前景

模具的制造方法如前所述,是把所要的原形件放入适当的容器中固定好,将混合好的金属粉、陶瓷粉、金属纤维用粘合剂调成浆糊状注入其中,经过振实、硬化、脱模、干燥、烧结即可。其工艺过程如图7所示。

这种方法制作的透气性复合材料模具已在长春第一汽车厂用于以真空吸塑法成型轿车装饰塑料件;奥迪轿车上就用了这类塑料件,质量基本达到原进口件水平。

采用这种复合材料制造模具的优点:

1. 工艺简单,基本不需要机械加工,成本低;
2. 模具的尺寸精度高,耐高温,抗氧化,耐磨,具有较高强度与韧性;
3. 模具具有透气特性。

由于存在上述优点,特别是透气性特点,

有工艺简单、成本低、精度高等一系列优点,充分展现了这类陶瓷基复合材料用于模具工业的良好前景。

参考文献

1. Walker E. G., Trans. Brit. Ceram. Soc., Vol. 64, No. 4 (1965).
2. Carter, J. A., Bull. Amer. Ceram. Soc., Vol. 115, No. 3 (1966).
3. 柳泽等,生产研究,Vol. 36, No. 2 (1984)
4. 中川等,精密机械,Vol. 47, 110. 11 (1981).
5. 齐藤,セラミックス材料技术集成,产业技术センター。(1979) 778.

* * * * *
(上接第54页)

连续式定向凝固真空炉外,在热处理方面还有三室真空淬火炉、大容积的真空加压气淬炉、引进了美国 LINDBERG13型多用热处理炉。与此同时还建立了涡轴式、涡桨式航空发动机试车台、摩托车测试中心等。这些设备的建立已经并正在为南方公司的新工艺、新材料和新产品的开发作出贡献。

综上所述,南方公司根据产品开发需要,积极进行材料研究,既促进了生产的发展,加速了产品更新换代,又使研究工作方向明确、目的性强、提高了研究工作的时效性、完善了测试设备,增强了研究能力,并密切了科研与生产的关系。目前南方公司的广大科技人员正沿着这条道路进一步开展研究工作。

参考文献 (略)