

引用格式: 赵振业. “两个全过程”成就材料强国[J]. 航空材料学报, 2026, 46(5/6): 1-6.

ZHAO Zhenye. Achieving a strong materials nation through “two whole processes” [J]. Journal of Aeronautical Materials, 2026, 46(5/6): 1-6.

“两个全过程”成就材料强国

赵振业*

(中国航发北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘要: 评述了先进材料在人类社会文明史中的划时代意义, 强调材料的应用科学范畴, 研究的目的在于应用。“两个全过程”赋予材料极限固有性能与极限服役性能, 形成“材料科学与工程”学科。这是成就材料强国的必由之路, 并提出材料强国的 5 个制高点, 即理论制高点、技术制高点、性能制高点、产业制高点和体系制高点。

关键词: 两个全过程; 材料科学与工程; 材料强国

doi: 10.11868/j.issn.1005-5053.2026.000037

CSTR: 32420.14.j.issn.1005-5053.2026.000037

中图分类号: TG14; V252

文献标识码: A

文章编号: 1005-5053(2026)5/6-0001-06

Achieving a strong materials nation through “two whole processes”

ZHAO Zhenye*

(AECC Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

Abstract: This paper reviews the epoch-making significance of advanced materials in the history of human civilization, emphasizes that materials fall within the scope of applied science and the purpose of materials research lies in application. The “two whole processes” endow materials with ultimate intrinsic properties and ultimate service performance, thus forming the discipline of “Materials Science and Engineering”. This is the only way to build a leading country in materials. Five commanding heights for such a country are proposed, namely commanding heights in theory, technology, performance, industry, and system.

Key words: two whole processes; material science and engineering; strong materials nation

科学认识论指出, 人类生存在客观世界中有两个基本任务: 一是认识客观世界以适应客观世界, 保障生存; 二是改造客观世界以创造新的客观世界, 使生存环境更好。这是客观规律, 纵观人类数万年发展史, 从原始时期被动的防御伤害发展到如今主动探索太空, 先进材料不仅是人类文明的见证者和推动力, 而且一直扮演着划分时代的主角。可以说, 材料是人类社会进步的里程碑, 人类社会的文明史也是一部材料发展史。看今朝, 先进材料已成为现代科学技术的支柱, 现代社会赖以生存和发展的基本条件之一。自从建立“材料科学与工程”学科之后, 先进材料快速发展如雨后春笋, 繁星荟萃, 不必说数量, 仅分类已难枚举, 如金属材料、功能材料、电子材料、生物材料等。其中, 金

属结构材料以原子、离子构建其强度、韧性、抗疲劳等力学性质, 广泛用于制造承力构件、部件、设备与工程结构。功能材料是一种通过光、电、磁、热、化学、生化等作用后具有特定功能的材料, 是以功能基元原子、分子和宏观尺度之间引入具有特定功能的中间结构基元构成的一类材料, 广泛制成具有神奇功能的器件。电子材料包括介电材料、半导体材料、压电与铁电材料、导电金属及其合金材料、磁性材料、光电材料、电磁波屏蔽材料等, 以其结构基元电子形成金属电子材料、电子陶瓷、高分子材料、屏蔽材料、压电晶体材料及其他电子材料, 并广泛应用于器件制备。生物材料是与生命系统接触和相互作用而能对细胞、组织和器官进行诊断治疗、替换修复或诱导再生的一类天然或人工合

成的特种生物医用材料,用于骨骼肌肉系统以及人工心脏瓣膜、血管、血管内插管等心血管系统,制成血液净化膜和分离膜、生物传感器材料等。先进材料已是一个活跃而无止境的领域,实验和理论已达到高水平,具有“极限”性能特征,极大地推动了现代科学发展。但是,统观先进材料提出一个值得思考的题目:极限应用。换句话说,先进材料普遍存在无法达到极限性能的应用问题。例如,金属结构材料的主要应用目标是关键构件,关键构件的失效模式是疲劳,而超高强度钢、钛合金、耐热合金、铝合金等均疲劳强度应力集中敏感,即疲劳强度随应力集中系数增高急剧降低。应力集中是表征形状的指标,关键构件必有形状,也就是说金属结构材料普遍不敷应用于关键构件,其他结构材料也是如此。关键构件是高端装备制造的核心,没有关键构件,高端装备制造无异于无米之炊,这就是当前全世界尚无具有极限寿命、极限可靠性和极限减重这类高端装备制造的原因。以此类推,在应用功能材料、电子材料、生物材料时,应力集中处结构基元的改变同样导致器件不可应用。展望21世纪,先进材料作为科学技术的核心,为人类创造完全不同的物质环境,大方向直逼做得好、用得好,兼具极限固有性能和极限服役性能,才能够更加多姿多彩、灿烂辉煌。本文阐述“两个全过程”和“材料科学与工程”学科发展,论述材料强国的发展途径。

1 “材料科学与工程”学科的发展

“材料科学与工程”学科发展经历了材料科学与工程的形成、内涵(“四要素”)、“两个全过程”3个阶段。

1.1 材料科学与工程的形成

“材料科学与工程”的形成是材料发展史上的一件大事。早在20世纪70年代,美国提出了“材料科学与工程”概念并引入大学成为一级学科,从此结束了材料科学与材料工程分立的混沌状态,弥合了理论科学和技术产业脱节,填补了理论科学与工程技术间的鸿沟。这时,材料科学与工程的实验和理论达到高水平,跨入科学前沿、具有极限性能特征,先进材料创新如雨后春笋,随着学科发展,“材料科学与工程”一级学科遍及全世界,极大地推动了先进材料创新与现代科学技术发展。

1.2 材料科学与工程“四要素”

20世纪80年代,美国为材料科学与工程提出“四要素”,其中包括成分(组成)与结构、合成与

加工、性质和服役行为,如图1所示,用等边四面体表示,4个要素同等重要,各自发展。“成分(组成)与结构”要素可概括为从电子、原子到宏观尺度裁剪材料,成分(组成)与结构的无限变化演绎材料的千变万化。例如,铁中添加碳原子形成碳钢,再添加铬、镍或钼合金元素形成合金钢,铬元素添加量超过12%(质量分数)又形成不锈钢。碳钢、合金钢、不锈钢被赋予不同热处理状态、使之发生相变形成不同的点阵结构和组织,演绎出马氏体钢、贝氏体钢、珠光体钢等结构钢。如此变换成分(组成)与结构,演绎出众多具有不同钢号的材料。“合成与加工”要素是指在原子、分子和团簇尺度实现结构调控,实现从微观新结构到宏观材料与构件的转化,并揭示宏观加工行为引发的微观组织演变规律。其中,冶金过程控制合金成分和杂质元素。纯净度是指杂质元素或夹杂物含量,它直接影响材料的各种性能,硫、氢、氧、氮含量还关系着材料服役行为,因而发展出多种熔炼技术,如电弧炉熔炼、电渣炉熔炼、真空炉熔炼等。值得关注的是,通过不同轧制工艺可实现材料性能的精准调控,例如,以普通轧制得到性能普通的钢,中温控轧得到微TRIP钢,高温控轧得到微合金钢,相变控轧得到超级钢,不同温度控轧-冷轧-时效最高可以得到强度超过4295 MPa的超级钢。“性质”要素是材料对外界刺激的整体响应,通过各种尺度上的性能测试与分析,直到满足综合性能需求的合金设计,并完成评价基本性能、全面性能与工艺性能的系统评价。“服役行为”要素是指材料固有性质与构件功能、承载能力相耦合,研究环境中固有性质与预测,使用中材料固有性质变化、预测与改善,并建立材料性能与构件基本性质的关联模型,充分体现材料科学研究以应用为最终目标的核心宗旨。20世纪末美国提出“基因设计(genome design)”,其突出优点是统筹“四要素”设计材料达到缩短周期、降低成本,被奥巴马誉为具有全球竞争力。但是,“四要素”创新的材料事实上并不

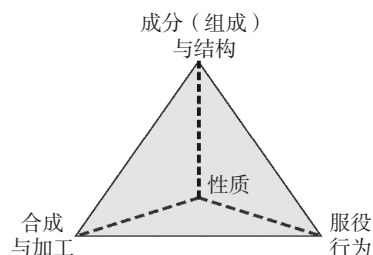


图1 材料科学与工程“四要素”

Fig. 1 "Four elements" of material science and engineering

可用, 仅具极限固有性能, 不敷应用于关键构件。例如, Aermet 100 应力集中系数 $K_t^*=1$ (K_t^* 为理论 (形状) 应力集中系数与加工 (表面) 应力集中系数的和) 构件旋转弯曲疲劳强度 σ_F 为 905 MPa。但是, $K_t^*=3$ 时疲劳强度 σ_{NF} 降为 519 MPa, 降幅 43%; $K_t^*=4$ 时 σ_{NF} 降为 357 MPa, 降幅 61%, 不敷应用 (表 1)。TC17 高强度钛合金 $K_t^*=1$ 时构件 350 °C、应力比 0.06 拉-拉疲劳强度 σ_F 为 678 MPa。但是, $K_t^*=3$ 时疲劳强度 σ_{NF} 降为 330 MPa, 降幅 52%, 不敷应用 (表 1)。GH4169DA 高温合金 $K_t^*=1$ 构件 650 °C 旋转弯曲疲劳强度 σ_F 为 731 MPa。但是, $K_t^*=3$ 时疲劳强度 σ_{NF} 降为 297 MPa, 降幅 60%, 不敷应用 (表 1)。基因组设计的 S53 超高强度不锈

钢 $K_t^*=1$ 时构件旋转弯曲疲劳强度 σ_F 为 690 MPa。但是, $K_t^*=3$ 时疲劳强度 σ_{NF} 降为 290 MPa, 降幅 60%, 同样不敷应用 (表 1)。可见, 疲劳强度对应力集中敏感, 即 σ_{NF} 远小于 σ_F 导致不敷应用是金属结构材料的一个普遍规律, 其原因是应力集中处点阵结构的突变。不难理解, 其他结构材料、功能材料、电子材料、生物材料等用作承力构件时, 应力集中同样会引发其结构基元的突变, 服役性能急剧改变而不敷应用, 并成为所有材料的一个普遍规律。这给材料科学提出一个解决服役性能应力集中敏感、恢复到极限的使命。值得注意的是, 中国自主创新材料少的原因除基础理论研究不足外, 还缺少“四要素”全过程研究。

表 1 不同合金的综合性能
Table 1 Comprehensive properties of different alloys

Alloy	Tensile strength/ MPa	Yield strength/ MPa	Elongation after fracture/%	Reduction of area/%	σ_F /MPa ($K_t^*=1$)	σ_{NF} /MPa ($K_t^*=3$)	σ_{NF} /MPa ($K_t^*=4$)
Aermet 100	1990	1757	13	64	905	519	357
TC17	1169	1124	15	39	678	330	
GH4169DA	1485	1336	21	47	731	297	
S53	1936	1620	10	35	690	290	

1.3 材料科学与工程“两个全过程”

21 世纪初, 作者提出材料科学与工程“两个全过程”概念。“两个全过程”是相对于“四要素”一个全过程而言, 包含“材料研制全过程”和“材料应用研究全过程”, 如图 2 所示。“材料研制全过程”获得极限固有性能, “材料应用研究全

过程”获得极限服役性能, “两个全过程”获得极限固有性能+极限服役性能, 实现材料做得好、用得好。“两个全过程”的形式基本相同, 但内涵却完全不同。其中, “材料研制全过程”采用材料研制“四要素”循环, 即应用基础理论、材料技术、工程化生产和失效反馈。应用基础理论包括相变理论、强韧化理论和合金化理论; 材料技术主要是合金设计、熔炼技术、开坯成材和热处理技术; 工程化生产技术包括合金全面性能评价和实验技术; 失效反馈是服役性能评价及失效机理, 直至失效机理与应用基础理论一致, “四要素”循环结束, 获得极限固有性能新材料。“材料应用研究全过程”采用材料应用“四要素”循环, 即应用基础理论、应用技术、工程化生产和失效反馈。其中, 应用基础理论主要包括应变硬化理论、“无应力集中”抗疲劳理论等; 应用技术是表面完整性技术和表面变质层技术; 工程化生产是合金服役性能评价和实验技术; 失效反馈是服役性能评价及失效机理, 直至失效机理与应用基础理论一致, “四要素”循环结束, 获得极限服役性能新材料 ($\sigma_{NF} \geq \sigma_F$)。“两个全过程”研究成果: (1) Aermet 100 超高强度钢: 研制全过程 $K_t^*=4$ 较 $K_t^*=1$ 构件固有旋转弯曲疲劳强度降幅 61%, σ_{NF} 远小于 σ_F , 不敷应用;

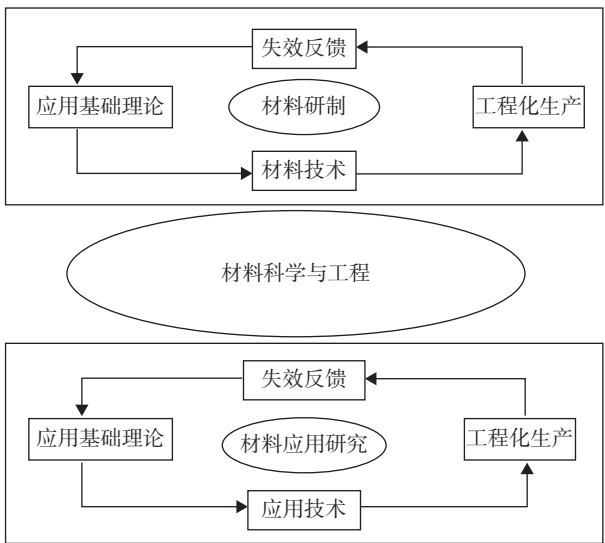


图 2 材料科学与工程“两个全过程”

Fig. 2 “Two whole processes” of material science and engineering

应用研究全过程获得 $K_t^*=4$ 构件疲劳强度 σ_{NF} 较研制全过程(357 MPa)升高 250%, 超过 $K_t^*=1$ 构件固有旋转弯曲疲劳强度(905 MPa)40%, $\sigma_{NF} \geq \sigma_F$ 达到极限性能(表2)。(2)TC17 高强度钛合金: 研制全过程 $K_t^*=3$ 较 $K_t^*=1$ 构件 350 °C、应力比 0.06 拉-拉疲劳强度降幅 52%, σ_{NF} 远小于 σ_F , 不敷应用; 应用研究全过程获得 $K_t^*=3$ 构件疲劳强度 σ_{NF} 较研制全过程(330 MPa)升高 120%, 超过 $K_t^*=1$ 构件固有拉-拉疲劳强度(678 MPa)7%, $\sigma_{NF} \geq \sigma_F$ 达到极限性能(表2)。(3)GH4169DA 高温合金: 研制全过程 $K_t^*=3$ 较 $K_t^*=1$ 构件 650 °C 旋转弯曲疲劳强度降幅 60%, σ_{NF} 远小于 σ_F , 不敷应用; 应用研究全过程获得 $K_t^*=3$ 构件疲劳强度 σ_{NF} 较研制全过程(397 MPa)升高 90%, 超过 $K_t^*=1$ 构件固有疲劳强度(731 MPa)6%, $\sigma_{NF} \geq \sigma_F$ 达到极限性能(表2)。比较可见, 材料科学与工程“四要素”研制全过程的普遍规律是获得极限固有性能, 但疲劳强度应力集中敏感, 即 σ_{NF} 远小于 σ_F 不敷应用, 其原因是应力集中处点阵结构的突变。材料科学与工程“四要素”应用研究全过程的普遍规律是获得极限服役性能, $\sigma_{NF} \geq \sigma_F$ 达到极限性能, 其原因是应力集中处点阵结构的突变作用被抑制。不难理解, 其他结构材料、功能材料、电子材料、生物材料等用作承力构件时应力集中引发其结构基元的突变同样会被抑制, 达到极限性能。材料科学与工程应用研究全过程解决服役性能应力集中敏感, 恢复到极限性能。值得注意的是, 中国自主创新的材料科学与工程“两个全过程”结束了先进材料百年不敷应用历史, 开启用到极限新纪元。

表2 应用研究全过程获得不同合金构件疲劳强度
Table 2 Fatigue strength of different alloy components obtained by the whole process of applied research

Alloy	Test temperature/°C	σ_{NF} /MPa
Aermet 100	RT	1275 ($K_t^*=4$)
TC17	350	730 ($K_t^*=3$)
GH4169DA	650	770 ($K_t^*=3$)

经历近百年探索形成了“材料科学与工程”学科, 其基本概念是材料科学与材料工程的完美融合, 以“两个全过程”研究赋予材料极限固有性能与极限服役性能, 实现先进材料做得好、用得好。中国“材料科学与工程”学科孵化先进材料, 将推动中国各个科学技术与工程领域极限发展, 为中华民族伟大复兴做出贡献。世界“材料科学与工程”

程”学科孵化先进材料, 将推动世界各个科学技术与工程领域极限发展, 福祉全人类。

2 成就材料强国

2.1 材料强国新概念

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器及其他产品的物质, 它是制造业的物质基础, 许多重大科技突破都离不开新材料的支撑。新材料被誉为现代科技发展的核心、“发明之母”和“产业粮食”。材料强国是材料优势的概括, 其核心是占领材料科学与工程的控制高点, 评判标志是材料做得好、用得好。当前全球材料领域呈现美、日、德、俄、中、韩等多国竞相发展的竞争格局, 尚未有国家实现全领域、全链条的绝对领先。美国高度重视材料“研制全过程”, 在极限固有性能与原始创新方面优势显著, 工程应用与服役性能研究体系完备, 但尚未形成以抑制应力集中、恢复极限服役性能为核心的系统化“应用研究全过程”理论与技术体系。我国在材料“应用研究全过程”方面实现原创性突破, 有效提升极限服役性能, 但在原创材料体系与前沿创新能力上仍存在差距, 两国在材料科技领域各有所长、互补发展。举一个例子解释材料强国解决了材料本身带来的问题, 如图3所示。如前所述, 经“四要素”研制全过程获得的高温合金具备优良的综合力学性能, 是航空发动机涡轮轮盘的首选材料, 但其疲劳强度对应力集中较为敏感, 当 $K_t^*=3$ 时, 疲劳强度降低约 50%。选用疲劳强度应力集中敏感材料设计涡轮盘时不得不降低许用应力, 提高安全系数, 导致按设计图样制成的构件寿命短、结构重。按图样机械制造加工时在表面增加一个表面应力集中(如 $K_{st} \approx 4$), 疲劳强度再次降低约 70%, 构建寿命更短。机械加工带来的表面

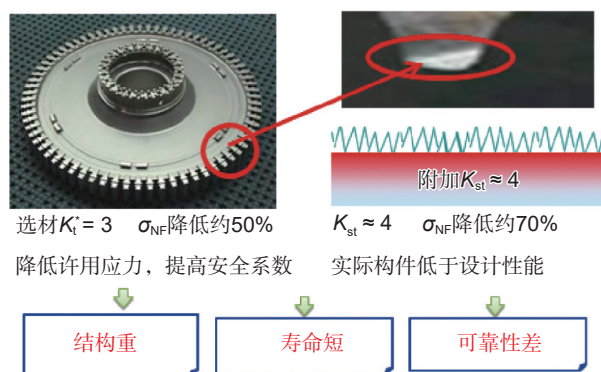


图3 关键构件“三大问题”

Fig. 3 “Three major problems” of key components

应力集中程度、位置不确定,即可靠性差。因此,制造的涡轮盘存在寿命短、可靠性差、结构重 3 大问题。装机服役中故障频发,误工误时,出现故障需要返厂修复,再次附加表面应力集中,加重“3 大问题”,更加损坏构件和装备,一旦造成人员伤亡,后果无从评估。粗略计算。这一过程造成的隐性成本约为制造成本的 4~5 倍,涡轮盘制造商一半的工作量是在处理材料诱发的一系列后遗症问题。机械制造原本是国民经济的主要贡献者,材料不可用后遗症导致机械制造成为负经济。其实,哪个结构材料不是如此。材料强国新概念就是要完成“两个全过程”,材料研制全过程创新材料,赋予极限固有性能,不断提升先进材料性能水平,满足各种装备与各项科技领域不断提高的需求;材料应用研究全过程创新应用技术,赋予极限服役性能,保障在各种装备与科技领域发挥极限,从而达到极限经济效益。显而易见,材料强国的历史使命需要全产业链的科技创新实现。

2.2 占据理论制高点

理论的转变是根本转变,理论是科技创新的向导,没有理论指导的实践是盲目的实践。构建材料科学与工程理论体系是材料强国的基本前提,理论制高点是材料强国的根本保证。理论制高点是极限固有性能理论和极限服役性能理论,如金属结构材料的强韧化理论、“无应力集中”抗疲劳理论等。需要牢记的是“实践是检验真理的唯一标准”,恪守理论源于材料、构件及器件服役失效实践的核心理念。依据强韧化理论,金属结构材料高强度、高韧性、高固有疲劳强度经历无数的材料服役验证,是相对真知。“无应力集中”抗疲劳理论以疲劳失效机理为科学基础,旨在抑制服役过程中的应力集中效应,恢复材料固有极限疲劳强度,是经过实践验证的科学认知。众所周知,“疲劳”于 1830 年提出,源自关键构件失效,为解决疲劳开启了世界性研究,每年有数以万计的研究论文和专著,却因 200 年未找到疲劳源而未提出解决疲劳问题的理论及现实极限服役性能的理论,直至“无应力集中”抗疲劳理论问世,该过程从反向佐证“无应力集中”抗疲劳理论的相对真知。由此可见,结构材料、功能材料、电子材料、生物材料的强国发展路径在于:以极限固有性能理论为指导,获得材料本征极限性能,以极限服役性能理论为支撑,实现材料极限服役性能。通过抑制服役中应力集中导致的本征性能衰减,使材料服役性能恢复并达到极限水平。

2.3 占据技术制高点

材料技术制高点是指赋予材料极限固有性能的“四要素”技术体系和材料极限服役性能的“四要素”应用技术体系。当前,纯净度是先进材料的要害和短板,这些杂质元素或夹杂物的存在或破坏了材料的结构基元,伤害了极限固有性能,或形成高应力集中区域,使极限服役性能流失,一旦纯净度低到一定程度将严重伤害服役性能,酿成灾难。以高强度钛合金压气机轮盘疲劳失效为例,尽管按材料技术标准检测各项力学性能均合格,但不敷应用。由图 4 可见,疲劳失效源自夹杂物引起的高应力集中。如前所述,高强度钛合金疲劳强度对应力集中高度敏感,必须以表面改性等应用技术抑制应力集中效应,但当氧、氮等杂质元素含量过高时,易形成非金属夹杂物,夹杂物会成为疲劳源,应用技术的抑制能力将大打折扣。因此,控制杂质元素及其夹杂物达到规范水平是应用技术的前提条件。电子材料对纯净度要求更高,如用于芯片制造核心的半导体材料的纯度直接关系到芯片的性能和可靠性。不仅硅片,电子材料是大规模集成电路与半导体器件制造的关键基础材料,对纯净度要求极为严苛,其核心要求为高纯度基体组分与极低杂质含量,90 nm 工艺的纯度在 99.999%~99.9999%之间,杂质含量需控制在低于 10^{-9} 。各种功能材料与生物材料同样有特定的纯净度要求。由此可见,纯净度既是保障材料“四要素”制备技术实现极限固有性能的关键基础,也是支撑应用技术达到极限服役性能决定性因素。

2.4 占据性能制高点

先进材料性能制高点是材料兼具极限固有性能和极限服役性能。当前,美国的优势是基础理论扎实,自主创新能力强,超高强度钢牌号多由美国发明,他们进行大量“四要素”实验,耗资耗时。1954 年,美国推出飞机起落架用 300M 低合金超高强度钢,

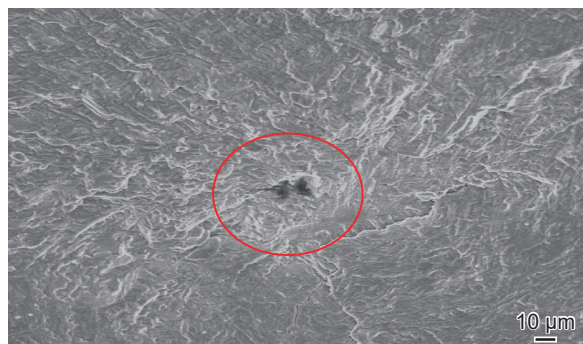


图 4 夹杂物疲劳源

Fig. 4 Fatigue source induced by inclusions

广泛应用;20世纪末,发明强韧性更高的 Aermet 100 高合金超高强度钢,用于飞机起落架;21世纪初,发明 S53 超高强度不锈钢,耗时更长,耗资更巨大,正在用于舰载机起落架;其他高强度、耐高温的钛合金、铝合金、高温合金也大致如此。但是,300M、Aermet 100 超高强度钢、S53 超高强度不锈钢仅具有极限固有性能,因服役性低下 σ_{NF} 远小于 σ_F 而不敷应用。中国先进金属结构材料(如超高强度钢、高强度钛合金、铝合金、高温合金)优势是极限服役性能 $\sigma_{NF} \geq \sigma_F$, 达到服役极限性能的飞机起落架全寿期无故障服役。可见,占据先进材料性能制高点的指标是极限固有性能和极限服役性能。

2.5 占据产业制高点

材料产业制高点是做得好、用得好和极限经济。材料科学与工程隶属应用科学范畴,研究的目的全在于应用,用得好才是好材料。用得好的前提是做得好。材料科学与工程研究的最终目标是实现极限经济,缺乏经济效益的技术是不具备工程应用价值的,极限经济源于极限固有性能、极限服役性能和产业化的协同支撑:以需求为导向,以实现极限经济为目标,依托新质生产力和新质生产关系,构建系列化和规范化的产业运营模式和组织管理体系。这种产业运营模式和组织管理体系便是“三位一体创新联合体”:材料科学技术研究院作为引领,主要承担技术创新与产品孵化职能;跨国企业作为实施主体,负责规模化生产与市场化经营,高校材料科学与工程学科作为基础支撑,专注新概念、新理论、新方法研究与高层次人才培养。三者融合一体,构建完整产业链,实现新概念、新理论、新方法与国际领先,推动兼具极限固有性能和极限服役性能的材料达到世界一流水平,并以智能化运行管理极限经济效益领先,从而明确材料强国建设方向,理顺创新理念与实施路径,界定各主体的目标定位与职责分工。“三位一体创新联合体”的核心是跨国企业,它是材料科学与工程产业链的主导力量、产业竞争力的核心枢纽、经济价值实现的最终载体,也是材料强国建设的重要标志与关键抓手。因此,加快培育和壮大具有国际竞争力的材料类跨国企业,已成为我国材料领域发展的当务之急。

2.6 占据材料体系制高点

材料体系是按照特征形成的材料分类,方便用户查找使用。例如,按照材料性质,分为结构材料、

功能材料、电子材料和生物材料;按照应用领域特征,分为航空材料、航天材料、兵器材料、机械工程材料等。其实,材料体系化是材料强国的一个重要标志,可规范应用、评价技术、导向发展,其基本准则是以高代低、以优代劣,制高点是形成兼具极限固有性能和极限服役性能的材料体系,能代表国家水平,引领世界。规范应用是建立材料体系、形成标准化产品,满足多样化选用需求,一旦出现故障可为同类产品提供警示,为全部用户提供借鉴,进而针对性改进产品,避免更大经济损失。评价技术的作用在于明确材料技术路线,通过规范化应用保障产品性能稳定可靠,并优化后续工程应用与经济效益。导向发展的核心是创新,持续推动先进材料迭代升级、优选高性能材料体系,提升构件服役性能,以满足高端装备的功能需求。当前我国材料领域面临的突出问题是材料牌号繁杂、标准体系多元。以齿轮轴承钢为例,牌号数量众多,给冶金生产、供货组织及加工制造环节带来显著的管理成本与资源消耗。其实,高、中、低强度3个牌号以满足所有用户需求,牌号众多的原因是使用者大多不了解齿轮、轴承类构件需经表面渗碳、渗氮等表面硬化处理。由此可见,材料体系的重要功能还在于引领创新,应编制兼具极限固有性能和极限服役性能协同的材料选用手册,引导工程用户科学选材,通过实现性能与效益的最大化,逐步掌握领域发展主动权。

3 结束语

(1)“两个全过程”作为材料科学与工程的新概念、新理论、新方法,是成就材料强国的基本前提和保证。

(2)“四要素”材料研制全过程赋予极限固有性能,“四要素”材料应用研究全过程赋予极限服役性能,这是成就材料强国的技术保证和必由之路。

(3)材料强国的核心是材料科学与工程的制高点,指标是材料做得好、用得好和极限经济,标志是占领理论制高点、技术制高点、性能制高点、产业制高点和体系制高点。

收稿日期:2026-02-11;录用日期:2026-02-26

通讯作者:赵振业(1937—),男,研究员,中国工程院院士,研究方向为航空超高强度钢,联系地址:北京市81信箱30分箱(100095),E-mail: zhaoykl@126.com

(本文责编:陈 卉)