

专访

INTERVIEW

刘相法简介:

刘相法(1961-),男,博士,教授,博士生导师,国家杰出青年科学基金获得者,国务院政府特殊津贴专家,泰山学者,泰山产业领军人才,团队获首届“山东省科技领军人才创新工作室”称号。1988年毕业于山东工业大学(现山东大学)铸造专业获学士学位,1990年毕业于山东工业大学铸造专业获硕士学位,1997年毕业于山东工业大学获博士学位。从事液态金属结构演变与调控、晶种合金与熔体技术、凝固控制与细晶技术、耐热高强铝合金与超高强韧铝合金及其复合材料等方面的教研工作。承担国家杰出青年科学基金,国家自然科学基金重点、联合及面上项目,国家973课题和其他部委重点及重大课题等。发明并研制了Al-TCB、Al-P、Si-P、Al-ABC四系列晶种材料与耐热高性能铝合金,并在航空航天、交通运输、发动机关键零部件制造业用铝合金加工业获推广应用,出口十多个国家。研究成果孵化2家高新技术企业,获国家技术发明四等奖1项,山东省技术发明一等奖1项,山东省科技进步一等奖1项,省部级科技奖励二等奖5项;出版专著2部,发表SCI论文380余篇,授权国家发明专利40余项,已转化28项,起草和制定国家及团体标准5项。



坚持科研与工程应用“两条腿走路”

——访山东大学刘相法教授

《铸造》:在您的求学生涯中,一定会遇到许多重要的选择,您觉得最有价值的决定是什么?它又对您产生了什么影响?

刘相法:个人的求学之路比较曲折,也充满了坎坷,但有三个选择对我个人的发展很重要:第一是考大学选择了铸造专业。这使得自己的三年技校铸造专业学习和三年的铸造专业实践经历没白费,因为一个人的精力是有限的,这也为后来的铸造科研和教学打下了基础。在报考大学专业时,自己也曾犹豫过,当时车间的质量检验员给了我中肯的建议:铸造是一门深奥的学问,需要深厚的理论知识和丰富的实践经验相结合;你从工厂考上大学不容易,要珍惜积累起来的铸造知识和实践经验,有

了这个基础,报考铸造专业,未来大有前途。就这样,我开始了铸造专业的学习和研究,并且一干就是40多年。

第二是大学毕业后选择进入铝合金领域。选择这个方向,是与读研究生和博士生期间马家骥导师和边秀房导师的引导分不开的。近些年,绿色节能和轻量化发展的步伐不断加快,使铝合金新材料的研究与发展进入了可持续高质量发展的快车道。就金属材料而言,无论搞研究还是做应用,铝合金都是非常有发展潜力的。

第三是选择了金属熔体与晶种技术方向。金属熔体充满未知,液固演变变化莫测,金属熔体及其演变是创新之源。细晶和强韧化是金属材料永恒的主题,纵观铝合金细晶处理现状,还存在诸多问题,我认为是铝合金新材料与加工技术发展的瓶颈。

《铸造》：您重视材料基础研究，更重视工程应用，您是如何促进研究成果为工程应用服务的？

刘相法：金属熔体及其演变具有丰富的内涵，是新材料研究创新的重要源泉，晶种的研制基于熔体结构演变，而这正是引导金属熔体演变与设计耐热高性能铝合金的高效且简便的手段。这些创新不仅能够转化为落地成果服务社会，还可以作为新知识传授到课堂。

这么多年，我们团队一直坚持科学研究与工程应用“两条腿”走路，以工程上比较紧迫的问题为科研导向，从中提炼并解决关键科学问题，提出关键技术，最终服务于工程应用。我们的团队融合了科学人才和工程人才，所以才能实现成果的落地。正在逐步形成一种新的PDCA科研运行范式，高效循环、科学精准、立竿见影。

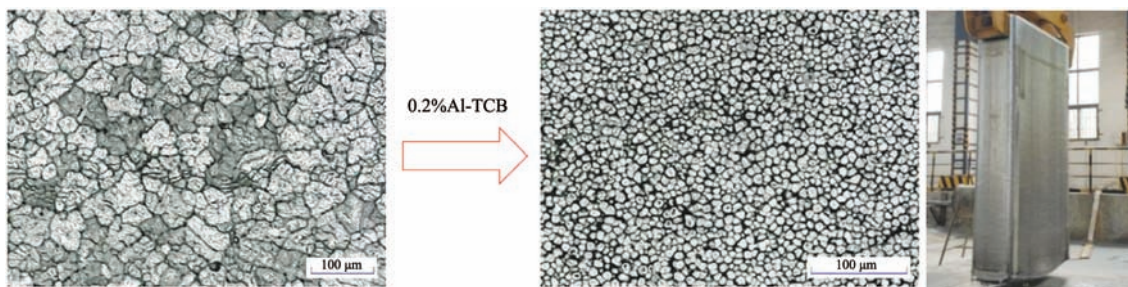
举个例子，基于多相金属熔体结构演变研制出TCB晶种，它通过自身结构演变来调控铝合金熔体演变与凝固过程，即通过TCB“从演变中来，到演变中去”来实现超细晶高强韧铝合金新材料的制备。这是基础研究与工程应用结合的典型案例，相关成果发表Acta Materialia论文两篇。

《铸造》：Al-TCB等晶种合金及关键应用技术解决了哪些工程问题，应用情况怎样？

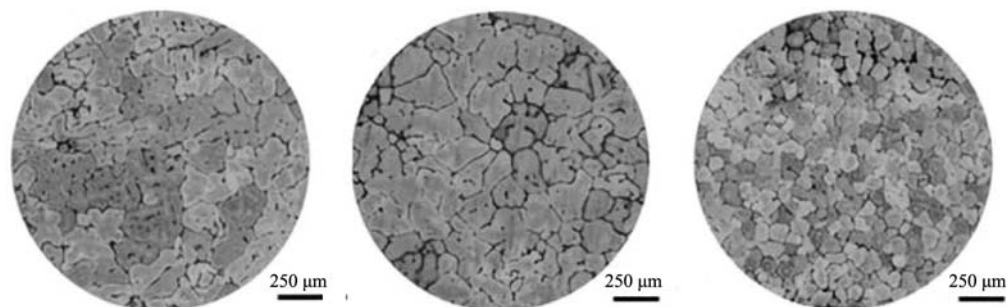
刘相法：Al-TCB晶种合金及关键应用技术是我

们团队近年来获得的一项技术突破。高强及超高强铝合金是支撑我国航空航天、国防军工、交通运输和5G通讯等领域轻量化发展的基石，但其塑韧性和疲劳性能还不理想。晶粒细化可显著改善上述性能，但传统细化剂AlTiB或AlTiC易与合金中Zr、Si等强化元素反应，使晶粒细化失效——“中毒”，使铝制品出现雪花斑、羽毛晶、浮游晶等粗大晶粒，导致成分和组织不均匀，出现缩松、气孔、热裂等铸造缺陷；还增加了铸坯的各向异性，导致变形能力差，后续加工和综合性能提升遇到瓶颈。此外，还会带来过滤器堵塞、铝挤压材黑线、铝箔材穿孔等系列问题。针对以上问题，我们以新思路、新原理、新工艺、新材料克服关键共性技术难题，发明并研制了Al-TCB晶种合金，这种合金是含有高数量密度、高弥散性、高形核活性的TCB微纳粒子的母合金。Al-TCB晶种合金及其制备工艺是基于液态结构研究的原创性成果，拥有自主知识产权，材料及其应用技术属于国内外首创。

用Al-TCB晶种合金对含Si/Zr铝合金进行细化处理时，可以获得细小均匀等轴晶组织，显著提高制品组织致密性、加工性能和力学性能，消除内部缩松、热裂、雪花斑、羽毛状晶等铸造缺陷，是破解Si或Zr导致细化“中毒”的利器。Al-TCB晶种合金处理不仅能实现基体晶粒超细化，而且可调控耐热相构型，显著提升铝合金的耐热性能，是设计和研制耐热高强铝合金的关键技术之一。



超高强7050合金晶粒组织对比：未细化，添加0.2%Al-TCB，铸造扁锭实物图



A356铸造圆棒截面晶粒组织对比：加0.2% Al-5Ti-1B水冷DC铸棒截面，加0.2%Al-TCB水冷DC铸棒截面，铸棒实物图

在材料研究方面, Al-TCB晶种合金及其应用关键技术对于拓展铝合金多相熔体结构调控原理、异质形核新机制, 促进晶种细化原理和晶种应用技术发展, 具有重要的学术价值和指导意义。对于破解细化“中毒”、力学性能不达标及加工成形困难等技术瓶颈具有重要的工程应用意义。在应用方面, Al-TCB晶种合金及其处理工艺已在国内100多家高端铝加工企业推广应用, 并出口美国、土耳其、巴林、韩国、墨西哥及印尼等国家。其中, 这项技术为某厂的导弹发射架和机匣产品解决了强度问题, 他们特意来我们学校两次, 感谢为他们解决了大问题。这项技术对于高端装备领域用高强韧铝合金技术进步, 加快铝产业转型升级和高端制造业轻量化发展, 具有重要的战略引领价值。相关技术授权中国发明专利12项, 美国专利1项, 注册商标权2件, 制定国家团体标准1项, 获山东省技术发明一等奖1项。

还有一项就是Al-AIP晶种合金及关键应用技术。Al-Si系合金因优良的铸造和综合性能而获得广泛应用, 其用量占铸造铝合金的85%以上。共晶及过共晶Al-Si合金是现代汽车交通、海洋船舶动力装备零部件轻量化的首选材料, 为满足体积稳定性和高温性能要求, 传统工艺是添加磷盐、赤磷或磷铜合金, 因未直接加入AIP晶种, 导致磷量不可控, 变质效果及产品质量不稳定, P_2O_5 污染严重等问题。国内外在此方面开展了长期探索, 但磷易燃、难溶于铝, 纳米AIP晶种原位合成难度极大。研究中发现, 通过AIP晶种调控Si相是最有效的手段。我们发明的含有高数量密度纳米AIP晶种的Al-P晶种材料是解决此难题的根本途径, 截止目前除我们项目组外, 还未见有Al-AIP晶种材料的报道。我们的研究揭示了AIP晶种的结构起源与前驱团簇稳定



刘相法教授作报告

化机制, 提出了团簇溶磷的AIP晶种原位合成原理; 同时, 还研制了高低温双联炉工艺装备, 攻克了磷易燃、难溶于铝的难题。Al-AIP晶种合金及关键应用技术成果成功应用于Al-Si系及Mg-Si系合金, 使磷吸收率由25%以下提高至95%以上, 实现了初晶相尺度及构型高效调控, 产品体积稳定性和可靠性显著提高, 熔铸过程环境友好。系列晶种材料及其应用技术在国内外23个省百余家企业和科研机构应用, 出口德国、美国、英国、土耳其、韩国等15个国家。用户包括美国辉门、德国马勒、中国铝业、渤海活塞、西安康博等国内外行业龙头及重点军工企业。

《铸造》: 您的团队在耐热高性能系列铝合金新材料研发方面取得了哪些成果?

刘相法: 耐热铝合金是实现重型装甲、先进空天飞行器等国防装备轻量化和现代化的重要手段。传统Al-Si系和Al-Cu系耐热铝合金的耐热相是由基体晶内时效相和晶界处多元共晶相组成, 时效相随温度升高而粗化, 逐渐失去耐热强化效果; 晶界处耐热相并未形成封闭结构, 也未与基体形成有效穿插与协同。因此, 传统耐热铝合金耐热力学性能随服役温度升高而急剧降低。例如, 350℃抗拉强度仅为室温的25%左右, 不能满足国防装备越来越苛刻的服役环境对铝合金耐热性能的迫切需求。因此, 研制耐热铝合金新材料具有重要的现实意义和重大的战略意义。

我们团队基于 Al_4N 前驱团簇及其键联效应, 按照基体晶粒超细化、高稳定性粒子纳米化、纳米粒子构型化与微纳晶界骨架化的耐热铝合金新材料设计思



刘相法教授获山东省技术发明一等奖

路,利用液固反应法制备了一种纳米AlN三维网骨架强化型耐热铝合金新材料,其特征在于其耐热条件下仍保持较高强度:该材料350℃抗拉强度达到251 MPa,400℃抗拉强度达到192 MPa。目前存在的问题是,伸长率较低,还有就是材料成本较高。新一代耐热铝合金的研发和应用将加快我国海洋船舶、高铁、军工等重点领域高端动力装备的发展。

《铸造》:您在教书育人的同时又鼓励创新创业,如何处理好这两者关系,青年学者如何做好科研、工程实践和创新创业,请谈谈您的体会。

刘相法:教书育人和创新创业,这两者听起来好像不太搭界,但其实它们之间还是有联系的。你想想,教书育人是为了培养更多有知识、有能力的人才,而创新创业呢,就是让这些人才发挥他们的聪明才智,去创造新的价值。所以,教书育人是创新创业的基础,创新创业是教书育人的延伸和升华。耶鲁大学校长理查德·莱文说,创新是年轻人的主要使命。创造性的思考需要更加活跃的课堂参与,需要学生学会独立思考,学会提出自己的观点并在激烈的讨论中为自己的观点辩护。在这种课堂互动中,所有的假定都可以被挑战。作为新一代大学生和受过高等教育的公民,需要成为发出新鲜声音的一员。另外每个人有每个人的特点,要找到自己的优势,擅长的方向,才能找准自己发展的道路,才能走得稳,走得远。

美国胜过欧洲和日本的法宝就在于创新创业教育。但创新创业教育可不是一朝一夕的事,基础在国民素质,关键在人才和机制,后劲在教育及其资源是否配套。我国要建成创新型国家和中国式现代化强国,创新创业教育尤为重要!2021年中央人才工作会议,明确提出了科研人才的四个面向和需要四大类人才:国家战略人才,科技领军人才,大批卓越工程师,有真才实学的人才;同时,要调动好高校和企业的积极性,实现产学研深度融合,加快建设世界重要人才中心和创新高地。

对于材料学科来说,材料科学(MS)与材料工程(ME)人才的界限分明会带来深层次的负面效应,MS优势的科研院所、高校难以出应用成果,有也难以转化为生产力,原因是缺一条腿;而ME优势的生产企业的自主研发能力弱,产品技术含量低,市场竞争力弱,原因是缺另一条腿。MS与ME结合不仅能培养真正的材料人才,而且能产出更多更好更实的创新成果。因此, MSE学科应该培养将MS与ME有机结合的综合型人才,即科学与工程“两条腿走路”的人才,这是国家亟需的,所以,创新创业教育对于MSE大学教育不仅必要,而且是十分迫切。材料学科团队的



刘相法教授指导学生如何做工程实践与创新

创新是基于液态金属科学的原始创新,创业是基于材料科学本领域的创新成果的创业,这种创业的实践探索,反过来又促进更精准的科研,特别是能发现和聚焦更精准、更有意义、更紧迫的问题,其针对性是高校内难以预料的。所以我说MS和ME的创新创业与工科教书育人是相辅相成的关系。

《铸造》:从事铸造行业这么多年,您对我国铸造业的发展有哪些建议?

刘相法:铸造是工业的基础,重要性不言而喻,几乎所有金属制品制备中都要经历熔体熔炼阶段与凝固过程,而这个阶段与过程决定材料的组织、结构及性能。纵观人类历史,是液态金属与凝固技术把人类带入青铜器和铁器时代,成为推动社会发展的重要因素;在现代,控制液态金属与凝固是提升金属材料性能、实现传统材料转型升级、研发先进金属材料的重要手段。所以要守正创新,才能铸造辉煌。金属始于液态,液态是材料创新之源。只有守正(铸),才能恒久远;只有创新(造),才能与时俱进。

关于如何更好地促进铸造行业的发展,产学研的结合是很重要的。以前高校的考核机制还不是很健全,存在一些问题,对教师的考核要求是要有项目,要有论文,这样使得一些科研成果不能落地。现在好多了,国家一直大力提倡科研成果要应用于工程实践,所以现在很多老师都在加强与企业的合作,以工程需求为导向,以解决工程实际问题为科研方向,这样才能促进整个行业的技术进步。就铸造企业而言,有些企业养不住技术人才,尤其是创新型技术人才,所以企业要想办法培养人才,珍视人才,激励人才,留住人才,让人才有用武之地,充分挖掘和发挥人才的优势,才能使企业的发展步入良性循环的轨道。还有铸造行业要发展产业集群,形成规模优势,实现绿色发展,高端制造,才能实现铸造强国的梦想。



刘相法教授科技领军人才创新工作室揭牌

采访后记

刘老师是山东人，有着山东人淳朴、耿直的性格。从他的一言一行中就能看出刘老师的谦和，与人为善。正如他的学生所说，刘相法老师是一位博闻广智、追求卓越、眼中有光、心中有爱、肩上有责，学生眼中普遍公认的令人尊敬的好老师。

在培养学生方面，刘老师亲和、细心，对学生的关怀无微不至，每年授课都会将最新的研究成果融入到教学课件中，授课时气氛活泼，学生参与感强。他身体力行地勤奋和创新的重要性，高效率的工作方式深深影响着他的团队成员，他还引导团队教师在理论、工艺、材料方面形成敏锐的创新意识和科研直觉。师生形成了极强的凝聚力和信任感，使得团队各项工作能有序、高效开展。

刘老师做科研严谨认真，淡泊名利，心无旁骛，对科学研究时刻都充满激情。他四十年如一日，始终专注于传统铝合金熔体方面的研究工作，刘老师常说，生平只做了四种元素，Ti、C、B、Al的研究，但仍未做到极致。他科研思路特立独行，在科研创新上丝毫没有老学究的思维定式，总是能够在合理可行的方案上提出与众不同的想法，他还能虚心听取学生及他人的意见或建议，这些正是团队在研究与应用中不断取得重要科研成果、攻克关键问题的金钥匙。

多年来，刘老师一直关注国家重点需求，立足科研，深入一线，服务产业。他事必躬亲，常年往返于科研实验室与工厂之间，亲自从事或指导科研或生产的每个环节，从未脱离一线的科研与生产，一直以促进工业发展，提高科技实力为奋斗目标，始终秉承科研与工程“两条腿走路”的理念，坚持以应用为导向、以解决实际问题为目标。在这个理念的指引下，刘老师团队的许多科研工作便有了方向，有了动力，也有了科技强国践行者的底色。



杂志社人员与刘相法老师合影