



上海理工大学

UNIVERSITY OF SHANGHAI FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY

2018年上海市“先进功能材料及制备”

研究生暑期学校

简 报

第09期

主办：上海市学位委员会

承办：上海理工大学研究生院

上海理工大学材料科学与工程学院

二〇一八年七月十八日

今日课程

§ 讲座主题：金属 3D 打印—现状与挑战 §

高玉来 教授 上海大学

高玉来，上海大学教授，博士生导师。2003年毕业于哈尔滨工业大学，获工学博士学位。先后主持国家自然科学基金7项，获上海市青年科技启明星和上海高校特聘教授（东方学者）人才计划支持。2016年获评全国铸造行业优秀青年人才奖。担任 Nature Communications、Corrosion Science、Applied Physics Letters、Materials Science and Engineering A 等 36 种英文国际期刊的特邀审稿人。获国家知识产权局正式授权国家发明专利 13 项。近年来发表 SCI 收录论文 100 余篇，其中 ESI 高引论文 (Highly-cited paper) 2 篇。影响因子大于 3 的论文 40 篇，总影响因子为 277，SCI 总引用 1200 余次。



高玉来教授讲座现场

报告主要讲述了随着 3D 打印技术的发展,3D 打印在金属领域的应用越来越广泛,已经拓展到钛合金、镍基合金、不锈钢、模具钢、铝合金、CoCrMo 合金、高熵合金等体系。然而,3D 打印金属原材料的获取成为限制性环节。目前制备金属 3D 打印粉末的技术主要为高压气体雾化技术及旋转等离子体雾化技术。前者具有细粉收得率低、球形度差、具有卫星球及空心粉末等问题。后者虽然制备的粉末球形度较高,但粉末的粒度较粗,难以满足打印需要。因此,需要开发新一代高球形度、细粒径金属粉末制备技术。此外,贵金属(Ag、Au、Pt 及相关合金体系)本身成本高昂,上述两种技术均不适合用以制备贵金属粉末。由于贵金属在首饰和医用牙科材料的广泛应用以及个性化定制的特点,贵金属粉末的制备也是未来金属 3D 打印的重要发展方向。

§ 镁合金在汽车、轨道交通及军工领域的开发和应用简介 §

徐世伟 工学博士 中组部青年千人计划

徐世伟，中组部青年千人、2017年度上海优秀技术带头人，宝钢集团中央研究院产品开发首席研究员、上海宝昀轻质材料科技有限公司副总经理，荣获中央企业侨联首届归侨侨眷及留学人员“优秀创新人才奖”，全国发明展览会暨第二届世界发明创新论坛“发明创业奖·项目奖”银奖，中国政府-2009国家优秀自费留学生奖，日本轻金属学会关东支部奖，优秀发表奖。

报告介绍了镁及镁合金凭借其密度小（纯铁的 1/4，纯铝的 2/3），比强度高，散热，减震，电磁屏蔽，切削性能好，铸造性能优良，循环利用性好等优点，广泛应用于汽车，轨道交通及军工领域中。中国镁储量世界第一，中国原镁产量世界第一，中国原镁消费量世界第一，中国镁及镁制品出口量世界第一，中国是全球增长最快的镁市场。凭借其五个“第一”，镁合金未来可应用于 3D 产品、轨道交通、汽车、自行车以及航空航天等方面，响应国家号召的节能减排政策。其中，镁在汽车轻量化是中起的作用将是不可替代的。



徐世伟博士讲座现场

学员动态

§ 课后主题研讨 §

暑期学校已经进行到了第九天，天气虽热闷热但学员们的学习热情依旧高涨。今天的两位主讲人分别是来自上海大学的高玉来教授和来自宝钢的徐世伟博士。通过聆听这两场报告，让我们对 3D 打印技术和镁及镁合金广阔的应用前景有了新的认识，同时也拓宽了同学们的视野，在不同领域之间交流碰撞出了火花。

报告结束，小组成员就今天的两场精彩讲座展开了激烈讨论，把一天的所想所得与大家分享。



小组交流讨论

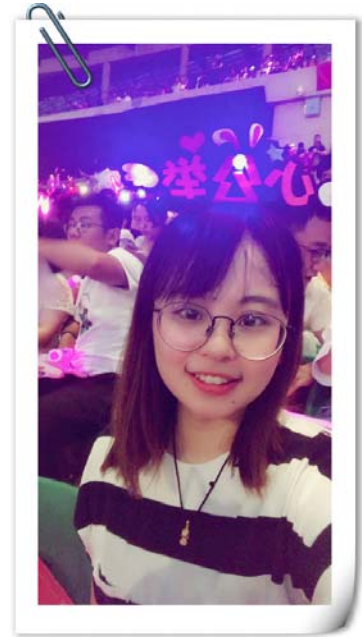
§ 心得体会 §

上海理工大学举办的为期十天的“先进材料功能材料与制备”暑期培训活动即将进入尾声，各高校名师生动的讲述了研究领域内的前沿发展方向，让我了解到先进功能材料的发展与人类的日常生活以及社会的经济发展紧密相关。今天是暑期学校的第九天，聆听了由两位老师带来的精彩讲座，受益匪浅。

来自上海大学的高玉来教授给我们讲授了有关于 3D 打印在金属领域应用的现状与挑战，高老师在报告中主要讲述了两种制备金属 3D 打印粉末的主流技术，即高压气体雾化技术和旋转等离子体雾化技术，并提出了这两种技术现存问题，因此，迫切的需要开发新一代的金属 3D 打印粉末技术，来满足需要。另外，高老师介绍了未来金属 3D 打印的重要发展方向以及所带来的挑战。

中国宝武钢铁集团有限公司的首席研究员徐世伟博士生动的向我们介绍了镁合金在汽车上、高铁上、军工上的开发和应用简介。让我深刻的了解到镁合金的运用与我们日常生活息息相关，另一方面也了解到中国已经探明的铝资源用量只可以使用 35 年，然而，中国的镁储量排世界第一，在中国做镁产业具有巨大的资源优势！

虽然报告内容与自己研究的方向不太相关，两位老师提供的独特的思维方式值得我学习，也是此次暑期学习之行最大的收获！



——湖南大学 吴悠



时间如白驹过隙，一眨眼来到暑期学校已经是第九天了，暑期学校云集了众多行业翘楚、学术大咖。我有幸聆听了各位专家、学者关于先进功能材料精彩绝伦的报告，如沐春风，收获颇丰。

今天上午，上海大学的高玉来教授激情四射的给我们介绍了金属 3D 打印的现状 & 未来发展趋势。首先，3D 打印技术作为一种快速成型技术，应用空间逐渐打开，但是 3D 打印金属原材料的制备成为限制其

发展应用的瓶颈。目前粉末制备方法按照工艺主要分为：还原法、电解法、研磨法、雾化法等。由于雾化法能够进行冶金粉末生产，同时现代雾化工艺对粉末的形状也能够做出控制，不断发展的雾化腔结构大幅度提高了雾化效率。使得

雾化方法逐渐发展成为重要的粉末生产方法。然而，该方法目前还存在着细粉收得率低、球形度差、粉末空心等问题。因此，以后得研发对 3D 打印的金属粉末形态的控制尤为重要，主要包括以下几个方面:1. 窄粒度乃至均匀粒度；2. 粉末粒度减至 $50\ \mu\text{m}$ 乃至 $30\ \mu\text{m}$ 以下；3. 粉末球形度高；4. 避免产生空心球等缺陷。

下午主要聆听了中国宝武钢铁集团徐世伟博士关于镁合金在汽车、轨道交通及军工领域的开发应用的报告。徐博士授课风格诙谐幽默，课堂在欢声笑语的气氛中进行着。首先徐博士用“镁=金+美”来形容镁是一种有美好未来的轻金属，指出镁合金在汽车轻量化、节能减排、提升汽车整车性能等方面凸显出重要作用。然后徐博士介绍了自己在日本的留学经验。回国后在宝钢组建成立了镁合金领域专职研发团队，研发出了很多服务人们生活的高性能镁合金产品，包括系列大型镁合金轨交型材、系列 3C 镁合金产品样件、镁合金大型研发专用设备、镁合金高品质大型原材料等。

通过参加两位专家的报告讲座，使我了解了一些科学前沿的动态，开拓了我的眼界。对我今后的学习和研究有着很大的启发，同时两位老师的科研工作经历也很好地给我们树立一个标杆，对我们起到了很好的激励作用。

——江苏科技大学 衣秋合



2018 年暑假，非常荣幸能参加上海理工大学举办的上海市“先进功能材料及制备”研究生暑期学校活动，感谢上海理工大学给我们提供这样的一个良好的学习平台，在这里我们聆听了来自全国各地各个领域专家们的精彩的报告。专家们的精彩卓绝的报告使我们的暑期生活充实而不乏乐趣。

时光荏苒，不知不觉已经到了暑期学校的第九天，今天上午非常开心能听到上海大学的高玉来教授给我们讲授金属 3D 打印的现状与挑战。高教授以其幽默的讲座风格为我们讲述了 3D 打印的概况。我们了解到了 3D 打印当前的制备手段、存在的缺陷、需求以及最新一代高球形度、细粒径金属粉末的制备技术。下午来自中国宝钢武铁集团的徐世伟博士给我们镁合金在汽车、轨道交通及军工领域的开发和利用，通过本节课的聆听，我对镁铝合金

在高铁行业与军工行业的开发和应用又达到了一个更深层次的认识。徐博士带我们了解了目前最先进的镁铝合金制备的技术与手段，学习到了镁铝合金由初级加工转向设计制造的非凡的历程，使我对镁铝合金的应用与创新制备有了更深的认识。两位教授有理有据的讲解让我明白，在实验研究中只有及时总结才能不断提升自己的学习与创新能力，要学会学以致用，将老师们交给我们的科研知识与科研态度应用到我们的实际生活中，不断提升自己，完善自己。再次感谢各位老师们的精彩报告，感谢上海理工大学给我们提供的宝贵的学习机会。

——青岛大学 刘慧



暑期学校即将迎来尾声，短短的十天课程转瞬即逝，虽然连续的课程让人难免有些疲惫，但是此时的我内心却颇为充实，今天两位老师所分享的知识同样让我受益良多。

上午的讲座中，高玉来教授为我们带来了有关于金属 3D 打印的相关报告。由于 3D 打印技术能够快速简便的制备许多工业元件，从而成为了近年来的一大研究热点。3D 打印是一种增材制造技术，最早的 3D 打印技术所用的材料是纸浆或蜡。经过数年来的技术发展，目前最常见的 3D 打印材料是有机材料，其熔点一般远小于金属材料，因此如何用金属材料实现 3D 打印成为了一个令人十分感兴趣的课题，高教授分别从 3D 打印金属粉末的形态特征，制备技术以及所面临的挑战给大家进行了介绍。3D 打印金属粉末要具备良好可塑性、粒径小、粒度分布较窄、球形度高等特点。目前，国内 3D 打印耗材金属粉末制备难度大、产量小，这限制了国内 3D 金属打印技术的发展。金属粉末的制备方法主要可分为还原法、电解法、研磨法以及雾化法，其中雾化法是目前国内制备金属粉末的主要方法，而雾化法又可以细分为液体雾化法、离心雾化法以及机械雾化法。在这一领域，国外一些先进设备对我国施行禁运，主要是看中了这一技术的战略潜力。因此，如何快速发展相关技术、提高我国在金属 3D 打印上的技术能力是一项重要的课题。

而下午的报告是由来自于宝钢集团的徐世伟博士所带来的，报告主题为“镁

合金在汽车、轨道交通及军工领域的开发和应用简介”。徐博士自行研制开发了许多产品，并在多种行业内都得到了应用。镁合金有着密度小、比强度高、散热减震性能好、切削性能好、铸造性能优良及循环利用性能好等诸多优点。但同时，镁合金也存在如易腐蚀、焊接性能差及材料制造成本高这样的缺点。汽车轻量化是镁合金的一种主要的应用方向，预计 2020 年全世界每辆汽车平均将用镁合金 100kg，而车用镁合金的下一步发展方向将是要提高其耐热抗蠕变的特性。镁合金材料也可以被应用于轨道交通尤其是我国高铁中。军工领域一向是先进材料们的用武之地，镁合金用于飞机制造中可以大大减轻机身自重，但仍要面临可靠性的考验。徐博士风趣幽默的介绍让大家对镁合金的应用有了深刻的了解，收获良多。

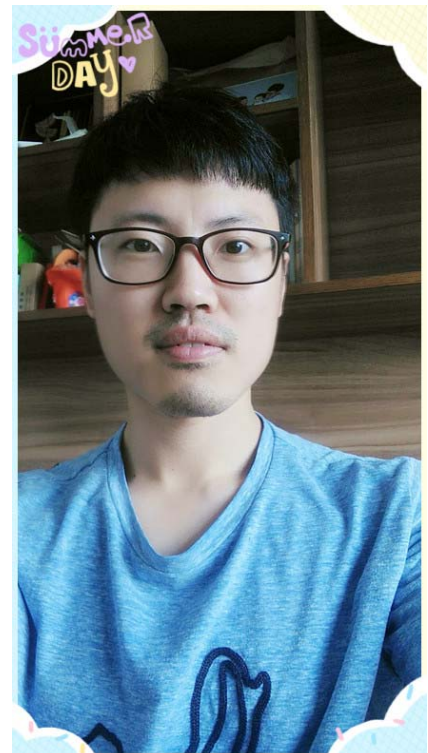
多日以来的讲座课程让我在这短短的十天里接触到了许多之前并不熟悉的领域，学习到了很多的知识。很感谢暑期学校能够提供这样一个平台，也十分感谢各位专家教授的精彩报告，给我们的科研之路带来了许多的启发与指导。

——上海理工大学 荆铭

转眼间“先进功能材料及制备”研究生暑期学校到了第九天。在这段时间里，我学会了很多，也了解不同材料领域的发展近况，重新激发我了对材料方面的兴趣。

上午由上海大学高玉来教授演讲的金属 3D 打印—现状与挑战。着重介绍了金属 3D 打印技术的应用领域；制备金属 3D 打印粉末技术（高压气体雾化技术及旋转等离子体雾化技术），两种技术都有各自的特点，但两种技术均不适合制备贵金属粉末。同时高玉来教授强调贵金属粉末的制备也是未来金属 3D 打印的重要发展方向。

下午由博士徐世伟主讲的镁合金在汽车、轨道交通及军工领域的开发和应用简介。众所周知，镁铝合金具有密度小、比强度高、散热、减震、电磁屏蔽、切削性能好等特点。徐博士介绍了国内镁铝行业消费情况，且中国在镁产业具有巨大的发展优势。分析了镁铝合金未来可能发展的领域、商机和风险。徐博士幽默风趣的演讲，让我们记忆犹新。



感谢上海理工大学给我们提供这么好的交流平台。在暑期学校期间，总感觉意犹未尽，深知自己的知识储备的不足。学无止境，在以后的学习或工作中，我会不断汲取新的知识来武装自己。

——上海海事大学 高峰



很荣幸能有此次机会参加上海理工大学举办的“先进功能材料及制备”研究生暑期学校。在这里聆听到了很多行业内知名教授的讲座，让我打开眼界，受益匪浅。

时间飞逝，很快就到了第九天的学习，上午是上海大学高玉来教授为我们带来的“金属3D打印-现状与挑战”。这节课让我认识到金属3D打印的重要性，它将使现有的制造业发生翻天覆地的变化，号称“第三次产业革命，”它将会和印刷术等技术一样改变世界。

下午的讲座中，来自宝钢的徐世伟博士介绍了镁合金的特性、优势、以及其在汽车、轨道交通和军工领域的作用。除了具体的专业知识，印象最深的还有徐教授反复说的一句话“一定要去现场看一看”，想想自己的实验经历，确实有些经验，只有一手一脚的亲历过，才会发现具体和现实的问题，从这方面讲，“纸上谈兵”在科研领域同样行不通。

作为医学生，今天的授课跟我的专业相关性不大，理解也比较困难，但是让我学到了很多专业外的内容，拓宽了我的知识面。体会到了材料科学给人们日常生活带来的巨大影响，让我认识到了材料在国家发展战略上的重要性，感受到了材料科学的魅力。

——海军军医大学 俞磊

时间如白驹过隙，转瞬即逝。不知不觉地，暑期学校已经进行到第九天了。通过这几天的学习，对先进功能材料有了更深入的认识。

上午是高玉来教授带来的金属3D打印-现状与挑战。3D打印在金属领域的应用越来越广泛，已经拓展到多种合金体系。目前制备金属3D打印粉末的技术主要为高压气体雾化技术和旋转等离子体雾化技术。但这两种技术都有一定的

弊端。高玉来教授给出了自己独特的见解，这是多年从事科研工作，兢兢业业、一丝不苟才得出的结论。这对我感触颇深。

下午是徐世伟博士带来的镁合金在汽车、轨道交通及军工领域的开发和应用简介。徐世伟博士给我们介绍了镁及镁合金的简介、镁在汽车上、高铁上以及军工上的开发和应用简介，还对宝武镁研发平台做了简单的介绍。让我对镁及镁合金有了更深层次的认识。

两位专家的报告使我对先进功能材料及制备有了更深层次的认识。对于我们研究生来说，就应该向两位教授一样十年如一日的对待科研工作，不拍吃苦、耐得住寂寞，只有这样才能为科研贡献自己的一份力量。

——上海理工大学 姬忠军



很荣幸参加 2018 年上海市先进功能材料及制备研究生暑期学校活动，今天已经是第九天了，不知不觉已经接近尾声，通过这几天的学习，对先进材料领域有了深入的了解，这几天的学习让我受益匪浅，给我的学习提供了很大的帮助。



上午高玉来教授讲述了金属 3D 打印的现状和挑战，目前制备金属 3D 打印粉末的技术主要为高压气体雾化技术和旋转等离子体雾化技术。前者具有细粉收得率低、球形度差，后者虽然制备的粉末球形度较高但粉末的粒度较粗，难以满足打印需要，并且贵金属粉末的制备也是未来金属 3D 打印的重要发展方向。

下午是徐世伟博士带来的镁合金在汽车、轨道交通及军工领域的开发和应用简介。徐世伟博士给我们介绍了镁及镁合金的简介、镁在汽车上、高铁上以及军工上的开发和应用简介，还对宝武镁研发平台做了简单的介绍。让我对镁及镁合金有了更深层次的认识

——上海理工大学 何贺

很荣幸地参加了这次“先进功能材料及制备”研究生暑期学校，在这短短的 10 天学习过程中，课堂上，聆听大师在三尺讲台上的绘声绘色地讲述材料的各个领域的最新的研究进展；课堂下，和四海八荒的小伙伴们对某一热点领域问题，各抒己见，挥斥方遒，彰显青年锐气，不亦乐乎。



转眼已经到了第九天，为期 10 天的暑期学校快要接近尾声。上午高玉来教授给我们做了关于 3D 打印技术相关的报道，所谓的 3D 打印技术，即快速成形技术的一种，它是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术，也称为增材制造技术。目前其金属粉末的制备方法主要有：还原法、电解法、雾化法等，其中，我最感兴趣的雾化法，现代雾化工艺对粉末的形状也能够做出控制，不断发展的雾化

化腔结构大幅度提高了雾化效率，这使得雾化法逐渐发展成为主要的粉末生产方法，雾化法满足 3D 打印耗材金属粉末的特殊要求。

下午的徐世伟博士做了题为《镁合金在汽车、轨道交通及军工领域的开发和应用简介》报告，由于各国油耗法规日益严格，轻量化被认为节油降耗的重要手段，镁及镁合金凭借其密度小（纯铁的 1/4，纯铝的 2/3），比强度高，散热，减震，电磁屏蔽，切削性能好，铸造性能优良，循环利用性好等优点广泛应用于汽车，轨道交通及军工领域中，其中镁合金在汽车轻量化起着不可替代的作用。

材料是一门神奇的学科，在国家倡导绿色无污染的发展下，清洁、绿色的新能源材料是未来发展的中流砥柱，作为新一代的材料人，更应该向大师致敬，努力夯实自己，完善自身，为发展发光发热。

--上海理工大学 徐荣岭

抄送：

上海市教委

上海理工大学各职能部处、各学院

主编：刘宝林 黄爱军

策划：王新学 袁 涛

编辑：杨 义 古立建
