



## 詹梅 ZHAN Mei

长江学者特聘教授

Chang Jiang Scholar

西北工业大学教授

Professor of Northwestern Polytechnical University

万人计划领军人才、国家杰出青年科学基金、国家优秀青年科学基金获得者。现任中国机械工程学会塑性工程分会副理事长、凝固技术国家重点实验室副主任; *Manufacturing Review* 副主编,《塑性工程学报》、《西北工业大学学报》和《精密成形工程》编委。致力于高性能轻量化复杂构件不均匀变形机理与精确塑性成形规律研究。主持国家杰出青年科学基金、国家优秀青年科学基金、国家自然科学基金重点和面上及青年项目、国家863计划、国家973计划子课题、航空科学基金等20余项。在JMPT、IJMS等期刊和ICTP等国际会议上发表论文150余篇,SCI、EI、ISTP收录100余篇。获国家发明专利20多项,软件著作权10多项。研究成果获国家自然科学基金和技术发明二等奖各1项,省部级一等奖2项、二等奖1项。

# 塑性成形助力高性能、轻量化制造

——访教育部长江学者、西北工业大学詹梅教授

## Plastic Forming for High Performance, Lightweight Manufacturing

本刊记者 李丹

**李丹**: 您团队名称是精确塑性成形,这个精确代表的是什么? 具有哪些重要作用?

**詹梅**: 精确是塑性成形技术的发展方向。塑性成形最大的技术优势是这种技术能够在获得形状的同时提升构件的性能,也就是成形性一体化。这两个方面都需要越精确

越好。

在成形方面,大家向来把塑性成形技术当作是毛坯制造的技术,而非零构件制造的技术,因为塑性成形件的尺寸和形状精度通常不高,需要进一步的机械加工来保证,制品一般有一定的余量,对于难变形材料,如钛合金、高温合金,余量更大,材料利

用率更低,使得制造成本和生产周期增加,因此提高零构件塑性成形的精度,做到少无切削的净成形或者是近净成形,是塑性成形技术追求的重要目标,也就是说我们在形状尺寸制造上追求精确。

另一方面,塑性成形中材料的微观组织会发生显著的改变,而微观组

织决定了服役性能,这也是塑性成形为什么能够实现服役性能提升的原因。我们希望根据零构件服役的需求,通过塑性成形来精确获取所需要的目标组织,实现性能制造。这是成性对精确的要求。

从这两方面讲,精确塑性成形对实现零构件的高性能、低成本和短周期制造具有重要意义。当然,实现精确塑性成形是十分困难的,我们知道塑性成形是一个集材料、几何和边界条件非线性为一体的复杂制造过程,涉及到了热、力等多能场耦合,宏观和微观上多种物理现象,而且影响因素众多。精确塑性成形的重要性和难度都很高,也是我们一直坚持这个研究方向的驱动力。

☞: 您团队目前成形工艺研究主要集中在哪些方面? 在基础研究和工程应用上取得哪些成果?

詹梅:(1) 我们团队针对航空航天对高性能轻量化需求,主要从事难变形材料复杂构件的精确塑性成形一体化制造研究。涉及的材料有钛合金、高温合金、铝合金和高强钢等,工艺从体积成形到板料成形均有。

由于难变形材料和复杂结构的耦合,导致制造中很容易出现多种宏观上和微观上的缺陷,成形能力和极限受到限制,精确成形也更加困难。我们主要采用局部加载这种独特的主动控制变形的思路来提高成形的能力和精度。具体的工艺有:薄壁异形曲面构件旋压成形(点局部加载),主要用于火箭以及航空发动机中封头、筒体等构件的制造;管材的数控弯曲精确成形(体局部加载),这项技术对飞机和发动机的液压、燃油管路系统的制造至关重要;超大环件和异形环件的轧制成形(线局部加载),用于大火箭、风电以及航空发动机中的关键构件;型材的不均匀轧制弯曲(线局部加载),主要用来解决型材弯曲时精度和质量上的问题;薄壁

异型截面构件滚压成形(线局部加载),针对的是高温合金封严环的精确制造;筋板类构件和盘类构件的等温局部加载成形(面局部加载),解决飞机和发动机用大型结构件的省力近净制造和组织控制难题。

(2) 难变形材料复杂构件精确塑性成形一体化制造技术的研发,从基础研究上讲,我们需要精确预测成形过程中的不均匀变形和组织演变,从而找到避免宏观和微观缺陷的变形协调条件;从技术上讲,我们需要通过工艺和装备的创新将局部加载的新思路发展成为可行的制造方法,解决关键高性能轻量化零构件制造的难题。

我们团队在这两方面都开展了深入的研究。对于前者,我们发展了难变形材料复杂构件成形过程的多场耦合多尺度全过程精确预测模型,用这个模型揭示了成形中的不均匀变形和微观组织协同演化的机理,从而找到了协调不均匀变形提高成形极限和精度的新思路。比如,针对板材面内弯曲的难题,我们采用不均匀轧制的方式主动使得板材产生面内的不均匀伸长,一下子就将其成形极限提高了3倍多。这方面的研究成果,获得了2012年国家自然科学二等奖,这是迄今为止塑性成形领域唯一的国家自然科学二等奖。

在工程应用方面,我们利用局部加载技术解决了多种难变形材料复杂构件的成形难题,比如,对于钛合金管路的精确成形,发明了不均匀热场绕弯成形技术,将最小弯曲半径由原来的 $3\sim 5D$  ( $D$ 为管材直径)减小到了 $1.5D$ ,突破了国际上公认的成形极限。对于飞机机身关键承力构件钛合金大型整体隔框,发明了面局部加载等温成形技术,用小吨位通用设备即生产出投影面积超过 $2\text{m}^2$ 的钛合金精锻件,将成形载荷由原来的8000t降低到小于3000t,提高成形能力2倍多,制造的构件性能均匀,单

边余量降低到了 $3\sim 5\text{mm}$ ,材料利用率大幅度提高。对于武器吊舱上用的带加强筋的薄壁异形壳体,发明了多道次普旋复合强旋的成形技术,通过加载路径和芯模的设计,仅用1套模具就可以实现复杂构件的制造,大大缩短了成形周期。更为重要的是,将成形筋高度由原来的 $2.8t$  ( $t$ 为壁厚)提高到 $4t$ ,精度提高1倍。这些成果获得了2016年度的国家技术发明二等奖。

☞: 据您了解,国内的塑性成形研究处于一个什么样的位置? 未来的研究重点和方向有哪些?

詹梅:放眼世界,在塑性成形领域,国内的研究水平、研究队伍和研究经费的规模均处于前列。国内常规塑性成形设备的吨位和数量的保有量均是世界第一的,在先进技术开发方面也涌现出一批具有很强创新性和竞争力的技术。

塑性成形作为一门工程学科,其发展的源动力之一,就是为了不断满足国防及高新技术发展对先进塑性成形制造越来越苛刻的要求。未来20年是我国航空、航天、汽车及能源等高端制造业发展的战略机遇期,需要先进塑性成形技术的全面支撑与提升。我国正在实施的一系列科技重大专项与重大工程,要求先进塑性成形高端制造零构件朝着高性能、轻量化、高精度、低成本、高效率、能源高效利用与资源节约型、环境友好的方向发展。其中,发展的主题目标是高性能轻量化构件精确塑性成形,这是航空航天的重大需求决定的;重点方向是轻质高强难变形材料和整体、薄壁、复杂结构极限成形,难变形材料和复杂结构是实现高性能轻量化的必然需求;主要技术路线是高效、低成本、精确成形一体化,即充分发挥塑性成形的技术优势;主要研究方法是多场耦合全过程多尺度建模仿真、数字化、智能化。

(责编 铃兰)