

特种摩擦加工技术及其应用

Development and Application of Special Friction Processing Technology

北京航空航天大学机械工程学院 张彦华 袁 城 金艳苓



张彦华

工学博士,北京航空航天大学教授。主要从事焊接结构断裂控制与完整性工程分析等方面的教学与科学研究工作。

摩擦加工(Friction Processing, FP)是利用材料接触面相对运动摩擦生热对材料进行加工的总称,已经发展起来的摩擦焊接技术就是摩擦热加工技术成功应用的范例。近年来,为了适应新材料的应用及制造技术发展的需求,国外在摩擦加工方面取得了重要进展,主要成就集中在摩擦焊接技术领域,其中以线性摩擦焊(Linear Friction Welding)、搅拌摩擦焊(Friction Stir Welding)、耗材摩擦敷层(Consumable Friction

特种摩擦加工过程无需额外热源,产生热量的部位即为利用热量的部位,减少了能量的损失。摩擦产热的部位同时有外力的作用,这里施加的外力往往又与所需的摩擦力密切相关,实现了力的充分利用。近年来,特种摩擦加工技术受到很大关注,随着新材料和新结构的不断应用,系统深入研究和开发特种摩擦加工技术势在必行。

Surfacing)等被称为“科学摩擦(Science Friction)”的先进摩擦焊接技术最具代表性。这些新颖的摩擦焊技术不仅拓展了摩擦焊的应用范围,而且提高了焊接部件的整体性能和可靠性,使那些难焊或不能焊的材料也能获得高质量的焊缝。摩擦焊的技术关键是利用摩擦生热这一人所共知的物理现象使材料连接局部区处于热塑性状态而实现焊接,该方法不仅局限于摩擦焊接技术领域,可广泛拓宽应用范围。材料的特种摩擦加工技术是科学利用摩擦的进一步发展,在摩擦轧制、零件快速制造、复合材料制备、材料再利用加工等方面有巨大的开发潜力,是适应环境的材料加工制造技术。

材料的摩擦挤压加工

摩擦挤压过程中棒料旋转并与模具摩擦,摩擦接触区温度升高使棒料局部处于热塑性状态,在轴向力的作用下,变形集中在摩擦接触区的棒料侧局部,该局部材料经过塑性“锻造”后沿模具孔连续过渡堆积,这种加工又称为摩擦柱塞加工,如图1所示。局部的塑性锻造可使材料内部的不连续性或不均匀性得到充分的改善。摩擦柱塞加工有助于细化铸造组织。棒料在轴向力作用下旋转并与模具底部摩擦形成塑性层,塑性层扩展的速度高于棒料进给,棒料在摩擦接触区得到充分锻造后沿塞孔不断上升,使棒料的晶粒得到细化,

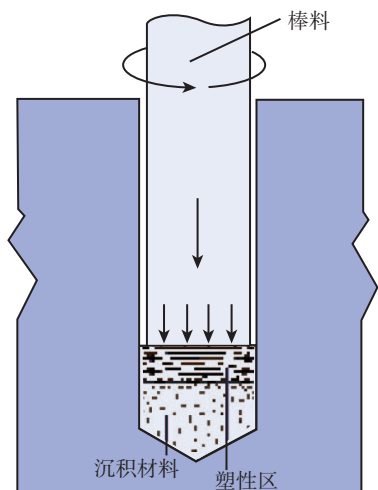


图1 摩擦柱塞加工

有效消除了疏松、热裂纹等铸造缺陷。该工艺还可应用于结构的修复、材料的再利用等方面。

图2是采用铸造的镍-铝-铜合金坯料棒来进行摩擦柱塞加工试验的结果,可见连续塑性变形使坯料的晶粒得到细化。

摩擦柱塞加工和普通挤压成形工艺相结合可以实现摩擦挤压成形加工,该技术的关键是在挤压加工的模具中开设材料出口,其原理如图3所示。坯料在挤压力作用下同时连续旋转,利用坯料与模具之间的相对摩擦运动和塑性流动所产生的热量,使局部接触面积金属在模腔内达到粘塑性状态,最后从挤压模孔挤出。

英国焊接研究所(TWI)是最早开始摩擦挤压工艺可行性研究的机构,现已将此工艺方法成功地应用于铝合金材料挤压成形。这种加工工艺为特殊合金如金属基复合体(MMCs)成形提供了发展潜力,在这种加工过程中,材料的任何非连续性和非匀质性都将通过塑性区得到再分配。不过摩擦挤压技术目前仅限于研究开发阶段,还没有用于商业目的。到目前,国内外还没有其他机构的相关报道。

摩擦挤压成形也可以用于粉末成形如图4所示,方便金属的再利用

或金属基复合粉末材料成形。

已发展起来的连续挤压技术(Continuous Extrusion Forming, CONFORM)也利用了摩擦作用。连续挤压技术是1972年英国原子能局(UKAEA)斯普林菲尔德研究所格林(D. Green)发明的,同年申请

英国专利。1975年英国巴伯考克(Babcock)线材设备公司制造了第一台CONFORM连续挤压机,投入铝导线的工业生产。CONFORM连续挤压法是利用变形金属与工具之间的摩擦力而实现挤压的。如图5所示,挤压轮由电机带动旋转,模腔位



(a) 加工前的组织



(b) 加工后的组织

图2 摩擦柱塞加工前后材料的微观组织结构

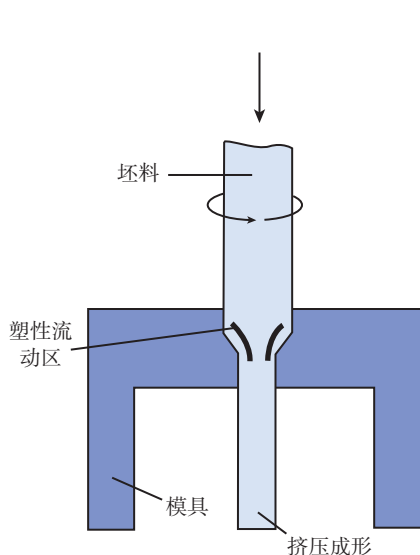


图3 摩擦挤压示意图

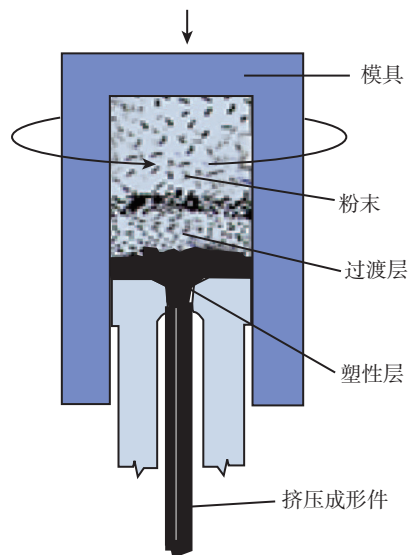


图4 粉末挤压成形

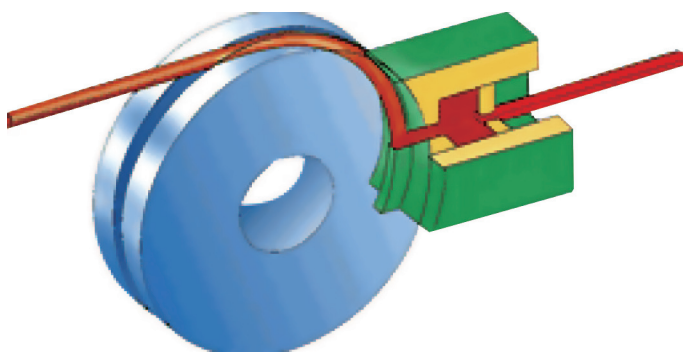


图5 连续挤压示意图

于侧面,由于旋转挤压轮槽壁的摩擦力作用,坯料被曳引到由挤压轮和腔体形成的弧形挤压腔内。坯料温度升高压力加大,达到一定值后便从模孔中挤出,形成管材或型材产品,CONFORM 连续挤压时坯料与工具表面的摩擦发热较为显著。因此,对于低熔点的铝及铝合金,不需进行外部加热即可使变形区的温度上升至 400~500℃ 而实现热挤压。而对于铜及铜合金等较高熔点的材料,单靠摩擦发热很难达到变形金属的热挤压温度,一般需要对轮槽、模座进行辅助加热才能实现稳定挤压。CONFORM 连续挤压过程不用润滑,这样由摩擦力产生的高压和高温,同样可以使颗粒状送入的坯料压实并挤出,这就为直接利用机械加工中产生的废屑或其他废料开辟了新的途径,同时可以对颗粒料或粉末进行合金化调制,使挤出制品的性能得以相应的改善。

连续挤压技术可以挤压铝、铜及其合金等,主要用于生产管材,异形截面型材及变压器、电机用铜电磁线等产品。图 6 为常用的连续挤压模具和挤压产品。

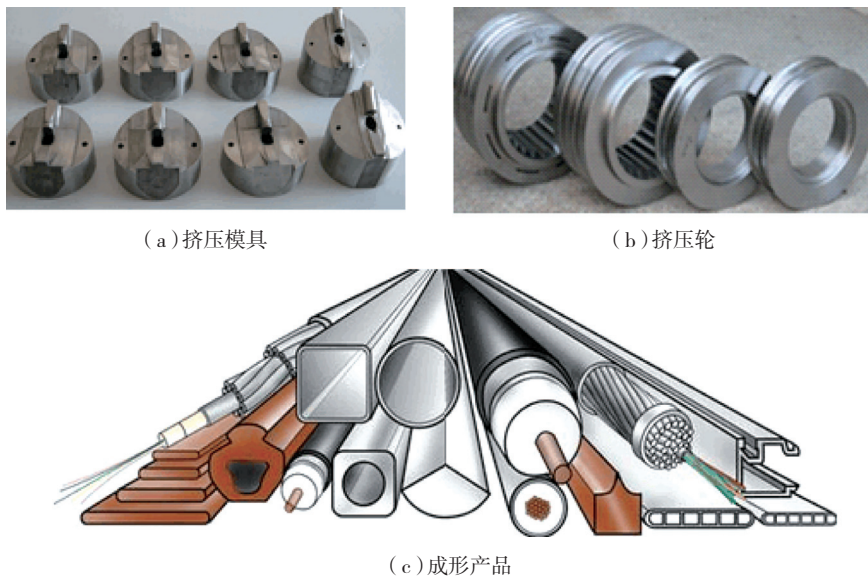


图6 CONFORM成形工具及产品

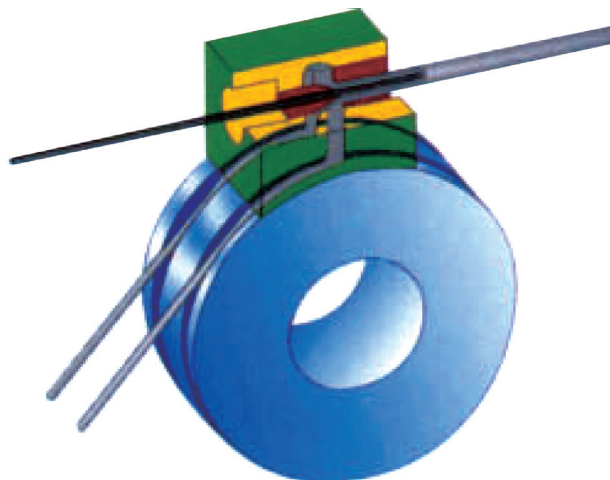


图7 连续挤压包覆示意图

摩擦挤压包覆技术

摩擦挤压也可以用于线材包覆,称为摩擦挤压包覆或摩擦复合挤压。包覆用的管材在径向力的作用下给芯棒均匀地包覆一层材料。

连续挤压也可以用于包覆,称为 CONCLAD。CONCLAD 是在 CONFORM 连续挤压基础上发展起来的,连续包覆时使用两根坯料,模腔位于挤压轮上部,电缆芯线或金属芯线沿切向供给,铝棒进入腔体后挤压成铝管后包绕芯线,就可以形成包套或包覆产品。其工作原理如图 7 所示。旋转的挤压轮圆周上带有沟槽,通过压实轮。棒料毛坯在轮槽摩擦力的作用下被曳引入轮槽内,并随挤压轮一同旋转运动,直到被轮槽内

的挡料块挡住,在旋转的挤压轮产生的摩擦力作用下,坯料的温度不断升高,所受的压力也不断增大,当达到材料的塑性流动极限时,便在模具中形成围绕在从模腔中穿过的芯线周围的套管,再从模孔中挤出,形成包套产品。CONCLAD 连续挤压包覆技术以其产品连续性,能源低耗性和技术稳定性成为线缆生产工业中最具有发展潜力的工业方法之一。

结束语

上述利用摩擦进行材料加工的工艺在本质上是相通的。都是利用

摩擦使机械能转换成热能,使材料局部进入加工状态,通过对进入加工状态材料的有效控制可实现成形加工。特种摩擦加工过程无需额外热源,产生热量的部位即为利用热量的部位,减少了能量的损失。摩擦产热的部位同时有外力的作用,这里施加的外力往往又与所需的摩擦力密切相关,实现了力的充分利用。近年来,特种摩擦加工技术受到很大关注,随着新材料和新结构的不断应用,系统深入研究和开发特种摩擦加工技术势在必行。

(责编 深蓝)