

金属冷锻精密成形技术 在钎具中的应用

温锻、冷锻精密成形技术是金属少、无、切削加工技术的一种，用以各种高机械性能和复杂零部件的大批量生产，与机械加工工艺相比，生产效率高，产品质量好，节能节材，因而在发达工业国家得以高度重视并广泛应用。以欧美发达国家为例，每辆汽车上约有上百种零部件采用温、冷锻工艺制造，其中包括传动系统的齿轮和万向节等。

技术优势



图 1 公司为山特维克生产的冷锻精密成形截齿毛坯

1) **适用材料范围广** 冷锻的工艺是材料在球化退火后，常温环境生产，可有效地降低金属材料的变形抗力，同时避免了金属材料的高温氧化和晶粒长大，适用于几乎所有有色和黑色金属材料。在黑色金属材料中，可用以加工从低碳钢到高速钢各种含碳量和各种合金含量的钢种。

2) **加工精度高** 由于避免了高温加热造成的氧化，采用冷锻工艺生产的机械零部件，只要精确地计算模具弹性变形造成的收缩量，即可获得令人满意的尺寸精度。如图 1 所示为采用冷锻精密成形技术生产的截齿精制毛坯，具有表面无氧化、光洁度高、尺寸精度高无需外形加工等优点。



图 2 公司为山特维克生产的多向复合冷锻精密成 40 球齿毛坯

3) **可加工复杂形状的机械零部件** 如图 2 所示，采用冷锻工艺对金属毛坯在可控状态下进行正向、反向和径向压制，获得由模具型腔限定的各种复杂形状的零部件。

4) **生产成本低** 在各种金属压力成形工艺中，影响生产成本的主要因素是毛坯的预处理费用、模具费用和电加热费用。冷加工模具寿命较长，需对毛坯进行复杂

的预处理，如退火、酸洗、磷化和皂化等，预处理费用在总生产成本中占有相当大的比例。热压力加工模具消耗和热能消耗比较大，以感应加热为例，当黑色金属材料加热到居里点（约 760℃）以上时，加热电效率大幅度降低。与前述两者相比，冷锻耗电量和模具消耗都比较低，从而大幅度降低了生产成本。

5) **产品综合机械性能高** 由于变形抗力的原因，冷压力加工适用于低碳合金钢、中碳合金钢和有色金属。冷锻的锻造温度远低于金属的再结晶和相变温度，不仅可以避免氧化和晶粒长大，反而可使晶粒进一步细化，从而提高产品的综合机械性能，特别是疲劳强度。热加工工艺的主要缺点是，当工件在高温阶段停留时间较长时，工件表面会严重氧化，金属晶粒也会急剧长大，从而导致工件的综合机械性能，特别是疲劳强度大幅度下降。

工艺特点



图 3 多次复合冷锻精密成形件工艺制造的 CIR90-90 潜孔钻头毛坯

- 1) 冷锻时金属坯料处于三向压应力状态下变形，因此可提高金属坯料的塑性，有利于扩大被加工金属材料的范围。
- 2) 可锻造出各种形状复杂、深孔、薄壁和异型截面的零件，如图 3 所示，挤压后工件尺寸精度高，表面质量好，制造的零件后续加工极为简便。
- 3) 锻造成形后零件内部的纤维组织基本沿零件外形分布且连续，有利于提高零件的机械性能。
- 4) 冷锻成形的生产率高，一般可比机械加工方法提高几倍。
- 5) 锻件表面无氧化、脱碳层。表面无需加工。制件可以获得理想的表面粗糙度和尺寸精度。零件的精度可达 IT7~IT8 级，表面粗糙度可达 R0.2~R0.6。因此，用冷锻加工的零件一般很少再切削加工，只需在要求特别高之处进行二次深加工。
- 6) 冷锻成形最好在专用的锻压机械上进行。

对制件组织和性能的影响

- 1) 改善晶粒组织 金属经塑性变形及热处理后再结晶由粗大的树枝状晶变成等轴（细）晶组织。
- 2) 提高制件强度 挤压过程中金属毛坯处于三向压应力状态，变形后材料组织致密、且具有连续的纤维流向，因而制件的强度有较大提高。
- 3) 形成纤维组织 纤维组织是具有流线型的组织，使金属的力学性能呈现各向异性。

国内外现状和发展

冷锻工艺是斯太尔公司最先提出的，后来世界上很多国家都采用斯太尔公司的冷锻机床加工枪管。冷锻产品在交通运输工具航空航天和机床工业等行业具有广泛的应用。

我国在 70 年代开始试验研究，并陆续应用于工业生产。目前，冷锻零件的材料有碳钢、合金结构钢、不锈钢、耐热钢、合金工具钢和高速钢等。生产的零件形状多种多样，已被广泛用于汽车、拖拉机、轴承、电器、军工、航空和其它工业部门。



图 4 冷锻精密成形锻件

上海交大塑性成形和装备研究院的研究

上海交通大学塑性成形和装备研究院是国内最早研究温冷锻精密成形技术的单位，已有四十余年的历史。上海交通大学塑性成形和装备研究院成功地研制并开发了几乎所有冷锻工艺和产品的温冷锻造技术。

球化退火工艺对冷锻精密成形工艺有着重要的影响，主要体现在：完全球化退火后冷锻挤压力小，成形成容易。相反，不完全球化退火，冷锻几乎无法进行。所以，选择合理的球化退火工艺对冷锻的进行尤为关键

冷锻成型速度。锻造变形速度高，会导致成型阻力加大，晶间滑动抗力加大，可能导致晶间裂纹的产生。产品性能有降低的趋势。但挤压太慢会对模具造成冲击，并

加剧模具的热疲劳效应,使模具寿命降低。在有限数值分析过程中,综合考虑模具和坯料晶间阻力的分析,可优化得出最佳的挤压速度。

摩擦是影响成形力和金属流动的重要因素。有限元模拟所采用的摩擦系数,是根据模具与坯料金属以及润滑剂的选择而选取的。成形期间的摩擦力阻碍了金属的流动,增加了变形抗力。因而选择合理的润滑剂,保证坯料与模腔以及新生金属面的有效润滑,对降低成形力、提高模具寿命都有一定帮助。因而采用和有限元模拟结果相符的最优摩擦系数的润滑剂,在实际生产中应用得到良好的效果。

有限元数值模拟方法在冷锻精密成形仿真分析中的应用可以替代一些费用昂贵的试验,同时节省大量的人力和时间,其优势显而易见。实践证明,有限元数值模拟方法将在冷锻精密成形仿真分析过程中起到不可低估的作用。

2) 优化的模具设计技术



> 图 13 大高径比锻挤精密成形件



图 14 多向复合挤压件与成形钎具

模具是冷锻技术的技术核心关键之一，针对冷锻工艺，使用 Ug、Catia 和 Pro-e 等 CAD 软件完成零件冷锻精密成形模具的设计。通过实验检验有限元数值模拟结果的可靠程度，并对模具结构进行进一步改进和完善。如图 1 所示的制件，采用组合凸、凹模具技术，解决了模具寿命的问题。如图 13 所示制件，采用特殊的镦挤复合模具技术，使大高径比的镦挤失稳和纤维流向紊乱等问题得以解决。如图 14 所示制件，采用特殊的多向复合挤压模具技术实现了带三角形分布纵向长筋截齿的冷锻成形。

3) 良好的润滑技术

多年来,冷锻的模具润滑一直是困扰研究人员的难题。针对不同的零件要求,上海交大塑性成型研究院开发了不同的润滑剂,使金属坯料与成形模具之间形成良好的润滑条件,减小摩擦力对金属流动的影响,整体降低了成形力并提高零件的成形效果以及表面光洁度。

4) 热处理技术

零件的热处理很大程度上决定了它的使用性能,掌握了多种材料热处理规范的关键,开发了专用的热处理生产线和先进的热处理工艺。

在钎具制造领域里的典型应用



(a) 冷锻精密成形技术制造的钎头、钎具



(b) 冷锻精密成形的截齿



(c) 冷锻精密成形锻件与其制造钎具

> 图 15 冷锻工艺生产的凿岩工具

冷锻精密成形技术自株洲瑞德精工有限公司开发以来,在实际的工业生产中先后开发了以下系列产品,如图 15 所示,包括: 1) 凿岩钎头、钎具; 2) 采煤机专用截煤齿; 3) 挖路机用镐齿; 4) 深孔钻头, 等等。其中最大直径达到 120mm, 最大高度 390mm, 使用寿命是同类国内产品的两到三倍, 性能甚至超过国外知名产品。应用材料包括低碳钢、中碳钢、低合金钢、合金结构钢和低、中合金超高强度钢等。该技术产品已经具有全国性的影响, 全国主要钎具生产厂均不同程度地采用了或正在试用本技术生产的产品, 如山特维克(无锡)矿山机械有限公司(世界最大、最高端矿山机械生产企业)、莲花山钎具有限公司(国内第一大凿岩钻具生产厂)、湖北潜江江汉钻具有限公司(国内最大液压钻具生产厂)、山东中瑞钻机具有限公司(国内知名凿岩机具生产厂)、长沙天和钻机具有限公司等大中型企业。

结束语

中国锻造协会副理事、北京机电研究所副所长李社钊先生: 冷锻是一种很好的零件精近成型技术。它是一种节约钢材, 降低能耗, 提高产品机械性能的锻造工艺。我们要大力推广这种技术。

上海交大塑性成形技术与装备研究院副院长、博士生导师、长江特聘学者、中国材料学会副会长丁文江教授: 精密冷温锻造, 通过工艺路线设计, 改变零件金属流线, 不仅能大幅提高材料物理特性, 还能减少材料用量; 减少加工工序; 降低产品成本; 冷锻是欧美工业发达国家广泛使用的锻造技术, 是所有锻造方法中, 对技术、装备、工艺、管理要求最高的。