维普资讯 http://www.cqvip.com

钛镍形状记忆合金毛细管加工工艺研究

北京有色金属研究总院加工中心（100088） 胡捷 刘力

【摘要】叙述了加工钛镍形状记忆合金毛细管的方法，运用中温静液挤压制坯，轧制与拉拔成型工艺，可以获得性能良好的毛细管材。

关键词 形状记忆合金 毛细管 静液挤压 轧管

Study of Process Techniques of Ti-Ni Shape Memory Alloy Capillarity

Abstract A new process for producing Ti-Ni shape memory alloy capillarity is introduced. Using the technology of hydrolytic extrusion, tube rolling and cold drawing, the good performance of Ti-Ni shape memory alloy capillarity can be obtained.

Keywords Ti-Ni shape memory alloy, capillarity, hydrolytic extrusion, tube rolling, cold-drawing

中图分类号:TG306 **文献标识码**:B

钛镍形状记忆合金是一种重要的功能材料，因其优异的形状记忆功能和超弹性，自20世纪60年代初期发现以来，在航空航天、电子、医疗等诸多领域获得广泛应用。目前我国在形状记忆合金生产领域有了较大进步，但仍存在产品形式单一的问题，线、棒等初级产品多，管、带、箔材的供应相对薄弱，制约了高技术记忆合金产品的开发。

直径 Φ1～3 mm，壁厚 0.1 mm 的记忆合金毛细管，在心血管扩张支架等精密医疗器械上有广泛应用。国内已经对支架用记忆合金管的生物相容性、刻蚀方法、表面处理方法等进行了深入研究，但必需的支架用记忆合金毛细管还要依赖进口。

1 工艺方案与设备

为了降低开发成本和便于今后生产应用，记忆合金毛细管工艺研究主要立足于现有的记忆合金加工手段，但在一些工艺路线的选取上，则考虑到毛细管加工的特殊性。如为了提高加工塑性，钛镍合金坯料的杂质含量必须严格控制，为了保证管材的表面质量，较多采用冷加工方式，热处理以真空退火为主。

原料：海绵钛，电解镍。

加工设备：高频真空感应熔炼炉，中温静液挤压机，LD8～163 辊轧管机，2 t 液压拉床，管式真空退火炉等。

2 主要工艺流程

高频真空感应熔炼→热锻热轧开坯→机加打孔制挤压坯→中温静液挤压制管坯→退火→多道次轧制配合中间退火→多道次长芯杆拉伸→成品。

3 结果和讨论

3.1 材料的选择

研究的钛镍毛细管主要用在心脏植入支架上，因此恢复温度必须在人体正常温度范围内。钛镍记忆合金的记忆效应主要与材料成分，杂质含量，加工，热处理制度有关，其中成分因素对恢复温度的影响是主要的。选用北京有色金属研究总院自行研制的 Ni51Ti49 医用记忆合金，该材料通过临床试验证明有很好的人体生物相容性，并已在人体关节，矫形支架领域获得应用。

表1 记忆合金的成分与相变温度

镍	钛	氧	碳	Af	Ms
55.6～56%	余量%	0.1%	0.026%	<30 ℃	−5～−10 ℃

3.2 静液挤压开坯

静液挤压的优势一般体现在对难变形材料的加工上，在本项目应用静液挤压方法，则是基于2方面原因，首先，普通挤压方法加工记忆合金管材一样可行并有先例。但是，普通挤压方法由于对模具和挤压力的考虑，获得的管坯尺寸都比较大，而大的挤压管坯对后续冷轧加工很不利。其次，毛细管材加工对管坯的要求比较严格，包括组织结构和内外表面质量，管坯质量不好，很容易在毛细加工阶段产生问题。静液挤压则可以利用非常好的高压润滑性能和3向等静水压力，获得尽可能好的管坯。

挤压试验在有色院自行研制的 200 t 静液挤压机上进行，管坯尺寸 25 mm，挤压针 10 mm，挤压出料 14 mm×10 mm，挤压比 6。挤压温度 650～700 ℃，采用玻璃加固态润滑剂配置的中温黏塑性介质，管坯和挤压针表面涂高温润滑涂层。

3.3 冷轧制坯

3辊冷轧加工是生产精密管材的常用方法，目前

维普资讯 http://www.cqvip.com

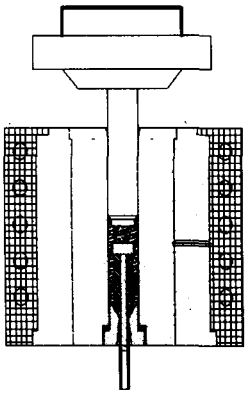


图1 管材静液挤压原理图

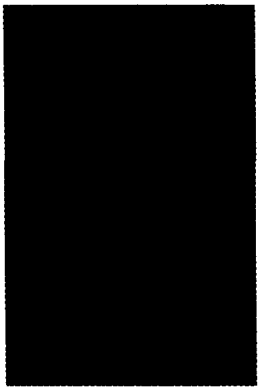


图2 挤压管坯

国内也只有采用这种方法才能获得适合管径和壁厚的冷拉管坯。静液挤压获得的管坯经过简单表面处理就可以进行冷轧加工，轧制加工分别在LD16和LD8A轧机上进行，最终轧制尺寸是4 mm×0.3 mm。

理论上，3辊冷轧加工方法由于适合于难变形材料加工，但在钛镍记忆合金管材加工中却遇到极大的困难，主要表现在管材轧制后内外表面都容易出现大量横裂纹，尤以内表面最为剧烈，常导致轧制中管材断裂。横裂问题一般出在塑性非常差的材料上，而钛镍冷加工性能公认尚可。经多次试验，发现问题出在轧制方法本身和钛镍合金的特性上。钛镍合金加工显著的特点就是硬化速率极快，是一般钢材的2倍。冷轧加工中都有一个空减径的过程，轧制中的加工硬化大部分源于此，尤其是内壁。因此，经过空减壁硬化的钛镍管材在继续的减壁过程中，外壁受到轧辊挤压强制变形，内壁受到芯杆和外壁拉伸作用变形，导致裂纹的产生。问题的解决主要从轧制工艺上下手，措施包括：尽量减少空减径变形，适当加大道次进给量并降低轧机速度，轧制加工率严格控制在15%～20%之间，加强芯杆与管坯之间的润滑，采取上述措施后，可以大大减少裂纹的产生。

轧制过程中一旦出现裂纹要及时清除，外表面裂纹可用细砂轮抛除，内表面裂纹可用电解方法去除。

3.4 长芯杆拉伸

与空拉相比，长芯杆拉伸能够最大限度地利用材料的塑性，使管材内外径变形都受到限制，避免了空拉产生的断裂皱折，是获得高质量，高精度毛细管的理想方法。

拉伸在自制的2 t液压拉床上进行，使用硬质合金模具，芯杆采用G13工具钢，用高精度旋锻机制头，脱芯在自制脱芯机上完成。与丝材拉伸不同，由于成品毛细管壁厚只有0.1 mm，且有较高的尺寸精度要求，为了避免除氧化皮酸洗对尺寸性能的影响，采用新的干膜润滑方法，管材表面不氧化或使用浅氧化预处理，有效地保证成品毛细管表面质量。由于进行拉伸的管材壁厚已经很薄，管材内外变形不均匀的问题大为缓和。因此，可以放宽道次的加工率的限制，在试验中曾经有加工率达到35%，依然保持良好的状态，没有出现裂纹。

加工中尤其需要注意的是热处理与尺寸精度控制。虽然利用长芯杆拉伸道次加工率可以取的比较大，但鉴于硬化速率，每道次间依然需要进行退火。由于此时管材尺寸已经很小，为防止晶粒张大对加工和成品性能产生影响，需要非常严格地控制退火温度与时间，随着加工的进行，退火温度与时间要相应降低与减少。由于记忆效应，管材拉伸后的尺寸与模子名义尺寸，管材拉伸后尺寸和热处理后尺寸之间，存在明显的变化，在选配模具和计算加工率时，要将这些因素考虑进去。

4 性能指标

送检的记忆合金管尺寸Φ1.2 mm，经过750 ℃退火，3%变形量张力矫直，管材外表面用砂纸打磨去处润滑膜与氧化层(检测结果见表2)。

表2 钛镍毛细管性能检测检验结果

合金成分		尺寸规格/mm			机械性能		表面粗糙度
镍	钛	直径	壁厚	长度	σ_b	δ	
55.6～56%	余量	1.2	0.1～0.08	>1 000	>1 100 MPa	>15%	粗镜面

5 结语

1) 研究的高精度钛镍记忆合金毛细管加工工艺是可行的，工艺过程如下：真空熔炼—锻造—中温静液挤压—冷轧制—冷拉伸—热处理。

2) 解决加工管材表面裂纹是工艺的关键，为了保证管材加工的质量和成品率，条件许可的情况下，可以考虑采用热轧开坯的方法进行管材减壁加工。

3) 长芯杆拉伸钛镍合金毛细管需要精确控制冷加工回弹量。

[参考文献]

[1] 尚彦凌. NiTi形状记忆合金的加工方法. 金属成型工艺，2000，18(3)：3-5.

[2] 贺志荣，周敬恩. Ti Ni形状记忆合金的研究动向. 钛工业进展，2002(3)：1-3.

[3] 杜军，胡新，胡昌义，等. Ni-Ti形状记忆合金医用支架的研制. 云南冶金，1999，1(2)：35-40.

责任编辑 吕德龙