

内螺纹铜管成型过程缺陷的形成原因及预防措施

案例制作：甘雪萍 教授 雷前 副教授
中南大学粉末冶金研究院



内容提纲



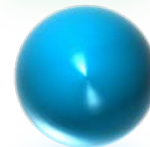
1、案例来源与背景



2、缺陷分析



3、工艺改进



4、总结与思考



1、案例来源与背景

➤案例来源：广东省某公司

➤案例背景：

内螺纹铜管是空调中重要的换热零部件。目前生产内螺纹铜管的工艺主要分为两种，即铜带滚压焊接成型法和拉拔旋压成型法。但是考虑到成本、设备以及产品在使用过程中的可靠性等因素，目前内螺纹铜管的主流生产方法为拉拔旋压成型法。内螺纹铜管生产过程中的主要技术难题存在于滚珠旋压过程，探索内表面缺陷产生的机理，通过调整模具结构、优化旋压加工参数，是防止铜管内表面产生缺陷的关键手段。



► 案例背景：

本案例采用“拉拔旋压成型”的技术工艺生产空调用**内螺纹铜管**及**毛细管**、光管等产品。

本案例采用的“拉拔旋压成型”法主要工艺流程如图1所示：

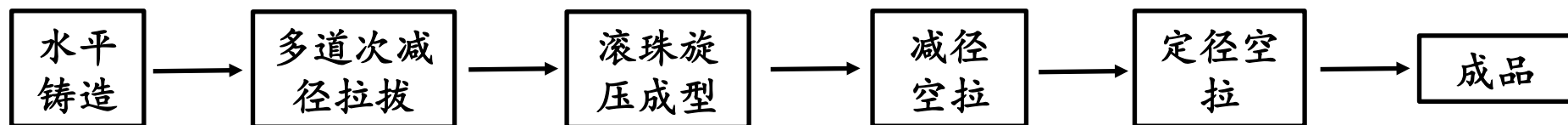
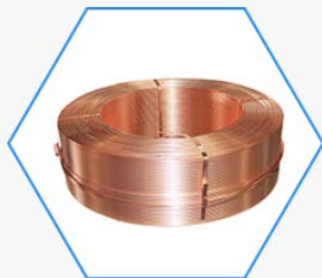


图1 拉拔旋压成型工艺流程图

生产过程中首先通过水平连铸获得大尺寸管材，再铣面，然后通过多道次减径拉拔获得直径为8.15 mm，壁厚为0.325 mm的光管。为降低铜管的硬度，便于成型，需进行一次退火。再经滚珠旋压成型形成内螺纹铜管，随后进行减径空拉和定径空拉得到直径为7 mm的内螺纹铜管成品。

内螺纹铜管生产过程的关键步骤在于滚珠旋压过程，其内表面容易产生多种类型的缺陷，如**折叠**、**齿不饱满**、**齿峰偏移**等。





制冷用高效传热铜管



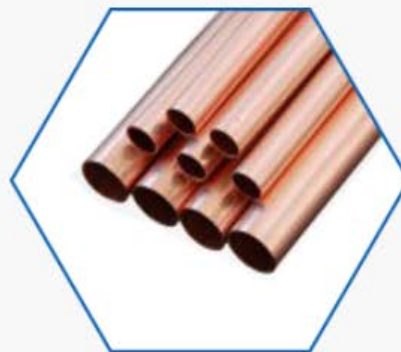
制冷用精密铜管部件



燃气用精密铜管部件



通讯用超长同轴射频电缆铜管



微波用无氧铜磁控管

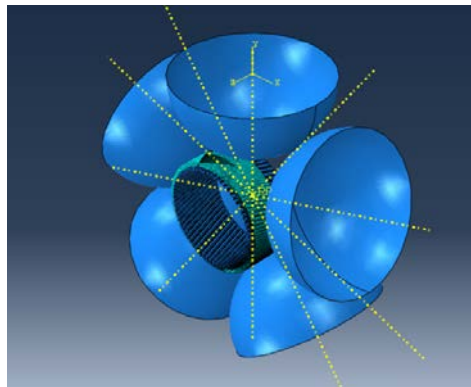
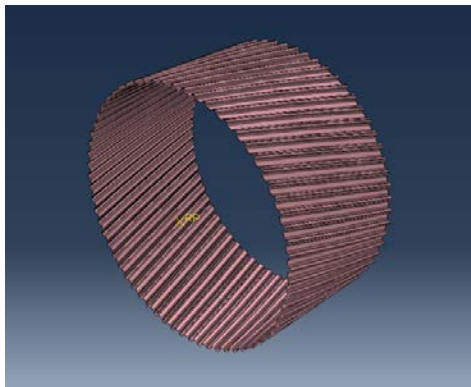


► 案例背景：

内螺纹铜管是由TP2退火铜经**旋压加工**而成。该铜管具有一定的强度、优良的热导率。由于内螺纹铜管内表面积的增加，它的导热性能要比光管提高百分之二十到三十。案例中内螺纹铜管通过拉拔旋压法制备而成，相比于铜带滚压焊接成型具有更可靠的安全性。

产品特性

- 1、特殊工艺制造：**水平连铸工艺制造，直接获得大尺寸空心棒材。旋压工艺成型，产品具有更高的安全性，不易出现爆管、泄露等情况。
- 2、高热导性能：**纯铜管自身导热性能优异，旋压过程中形成的内齿使通过内表面积增加，导热性能显著提高。
- 3、加工优势：**可加工不同型号的细内螺纹铜管。



►缺陷分析:

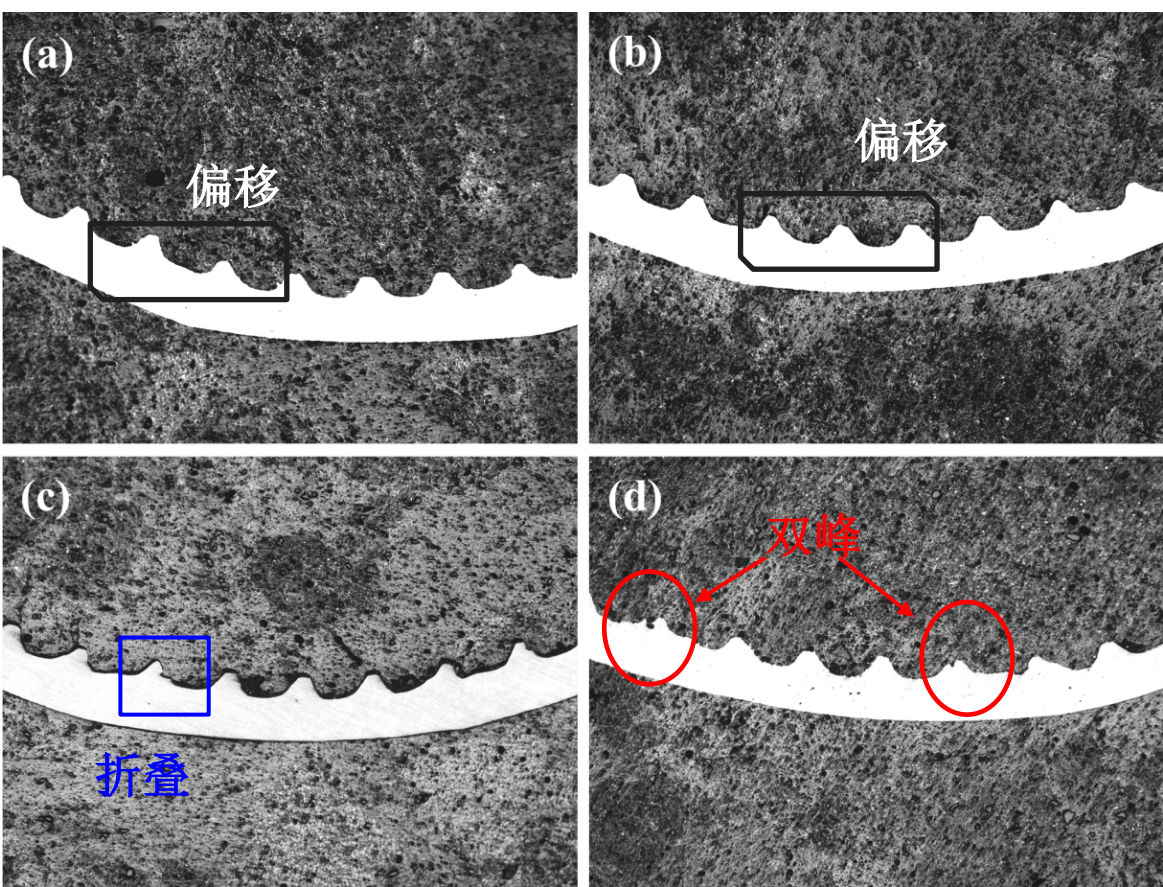
实际生产过程中发现，内螺纹铜管内表面会产生几种典型的缺陷：

- ①齿沿周向向一个方向发生偏移；
- ② 齿的根部发生折叠，形成类似于撕裂口的缺陷；
- ③ 形成双峰齿形。随旋压加工速度的增加，铜管壁厚也会逐渐增加。

本案例首先针对上述内螺纹铜管产品出现的缺陷进行分析，分析缺陷形成的规律和机理；然后依据分析结果，从模具结构、加工工艺等方面提出工艺改进方案，并实现产业化应用。



2.1 内螺纹铜管内表面缺陷



旋压过程中首先形成**雏齿**，但是由于螺纹芯头齿顶左右两边金属的流动速度存在差异，导致形成的雏齿形状不规则，中间出现一个**凹口**。旋压过程继续进行，使金属不断的沿着齿顶两侧向齿槽中填充，在此过程中凹口发生转移或者最终消失。若相邻芯头齿顶左右两侧金属流动速度差别极大便形成峰向流速大的一侧**偏移**；若形成的凹口转移到齿的顶端便形成**双峰齿**；若凹口一直停留在齿根处则形成齿根处的**折叠**。

图2 内螺纹铜管微齿缺陷的显微照片（OM）



2.2 三维有限元模型的建立

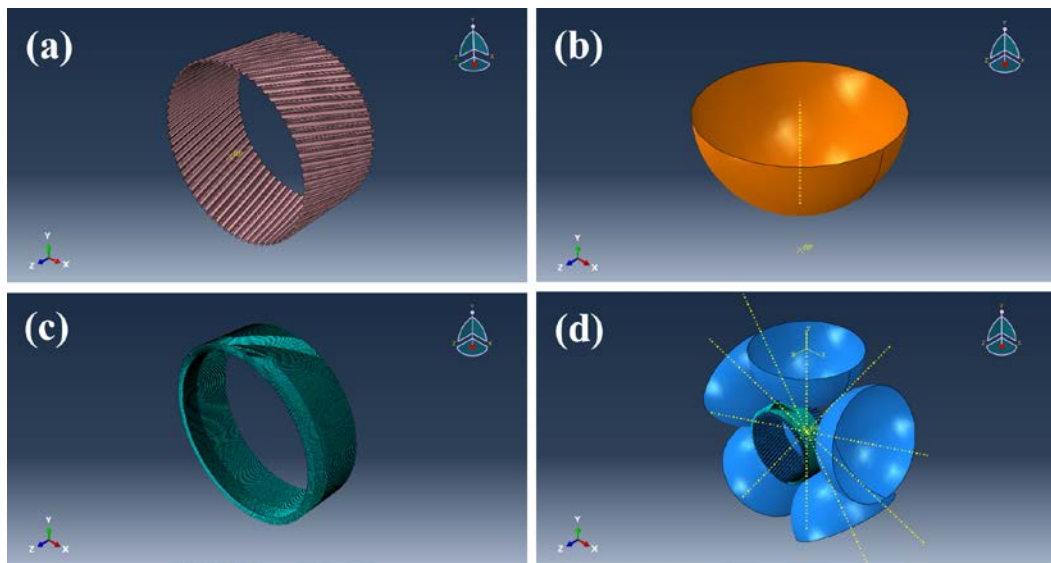


图3 内螺纹铜管旋压成型三维有限元模型
(a)芯模；(b)简化后的滚珠；(c)铜管；(d)模型的装配图



旋压参数对铜管壁厚影响的模拟

表1 样品的旋压加工参数

样品	进给速度 (m/min)	旋转速度 (r/min)
1	40	19550
2	50	24190
3	55	26550
4	60	28920
5	65	31350
6	70	33910
7	75	36160

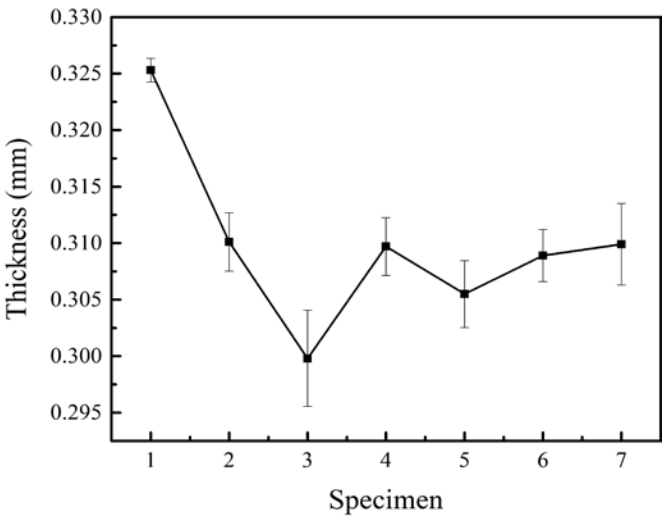


图5 旋压参数对铜管壁厚影响的模拟结果



旋压参数对管壁厚的分析

齿不够饱满与旋压参数密切相关，实验测量得出随着旋压速度的增加（保持旋压比），铜管壁厚增加，齿高减小的结果。而有限元模拟的结果显示随着旋压速度的增加，铜管壁厚存在先减小后趋于水平的关系。实验结果与理论计算出现分歧，这是因为有限元计算考虑的是理想情况，而实际加工中滚珠在挤压铜管的过程中由于磨损会产生碎屑，致使铜管与芯模之间的间隙增加，阻碍齿的填充，从而增加了管壁厚。从实验结果可以看出齿高的变化幅度较小，若考虑经济因素，增加旋压速度可以在保证产品质量的前提下，提高生产效率。通过有限元模拟发现，过小的旋压速度会使滚珠的旋压力不够，影响齿的填充。



3、工艺改进

1、旋压工艺改造

- (1) 在保证合理旋压比的情况下，提高旋压速度，从而提高旋压力，使铜管在变形过程中充分填充齿槽，消除齿偏移、折叠、双峰等缺陷。
- (2) 调整铜管与芯模之间的间隙，既保证润滑剂能充分进入间隙，又保证间隙不至于过大，影响铜管填充齿槽。
- (3) 优化芯模的几何结构，降低芯头两侧金属流动速度的差异性，从源头上减小缺陷的形成。
- (4) 探索旋压成型前合理的退火工艺，降低铜管在拉拔过程中产生的加工硬化，提高铜管在后续变形过程中的金属流动性。



2、改进工艺后生产的产品

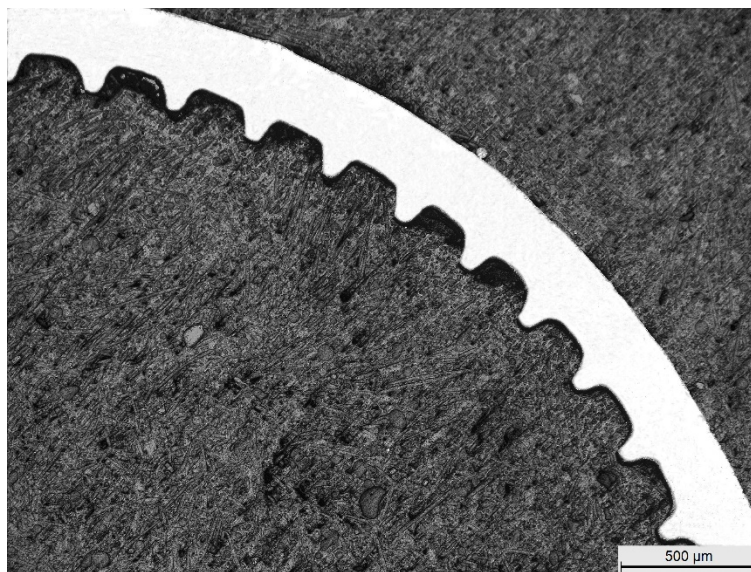


图6 工艺改进后生产的内螺纹铜管内齿



通过分析总结了内螺纹铜管旋压成型过程中的内表面缺陷，并提出了相应的工艺改进方案，得出如下结论：

- 1) 铜管在旋压过程中会产生几种典型的缺陷，如**齿偏移**、**折叠**、**双峰**、**齿不够饱满**。
- 2) 齿偏移、折叠以及双峰三种缺陷的形成机理相似，与旋压过程中螺纹芯头齿顶两侧**金属流动的差异性**有关。形成雏齿以后，若两侧金属流动速度差异极大，会形成齿偏移，否则形成凹口。若凹口在后续旋压过程中未发生转移，停留在根部，则形成折叠；如移动到顶端则形成双峰。
- 3) 铜管的壁厚主要与**旋压参数**相关。过小的旋压速度导致铜管壁厚增大，超过临界速度以后铜管的壁厚趋于稳定。合理的提高旋压速度既可以保证齿的填充，又可以增加生产效率。
- 4) **改善铜管内表面缺陷问题**可通过优化旋压成型参数，增加旋压力，使金属充分流动来消除。

思考：

- 1、针对此类内螺纹铜管产品，是否还有更好的加工方式？或者，能否设计出更佳的材料结构？
- 2、内螺纹铜管主要应用在哪些领域？



谢谢！

