**CuNb单芯棒变形的参数化分析研究**

李鹏举

**西部超导公司 制造四厂研发技术组**

摘要

高临界电流(高Jc)Nb3Sn线材同时具有高磁场和高载流能力，是大型高场磁体的实现目前最可行的承载线材选择之一。而目前高Jc Nb3Sn长线线材的加工是目前遇到的最大难题之一，研究发现这主要跟线材原材料的品质和加工工艺等相关，比如原材料方面Cu、Nb原材料的纯度、晶粒组织级别及其均匀度等。要控制Nb芯丝能在最终拉伸的高Jc Nb3Sn线材中仍具有一定的均匀度来保证不断芯，控制Nb芯丝的变形程度具有很高的研究价值。

本论文通过设计实验，主要对比研究讨论由有无铌箔的Nb棒嵌入Cu包套中组成的CuNb单芯棒，在经过一次或二次挤压、多道次拉伸等工艺后，不同直径尺寸的CuNb单芯棒内部Nb芯丝的变形情况，并最终提出可以通过Nb芯丝变形后的半径R及其变形率α等来评价芯丝的变形程度。实验发现，在半径R为29mm的单芯棒中Nb芯丝的变化范围δR为2.1~2.5mm(有Nb箔时R变形范围较小，无Nb时单芯棒变形相对稍大)，当R最终经过拉伸、挤压成型、拉伸等多道工艺之后，δR减小到~0.3mm（R = 6.96mm）。可以得到，δR的大小与单芯棒的尺寸R正相关，随着拉伸的后线径减小，δR也在减小。进一步发现，在有Nb箔的单芯棒中δR相对要小，即通过Nb箔包裹Nb芯丝后，单芯棒变形均匀性得到提高。对于Nb芯丝的变形率α，α = δR/R，实验发现α由8.3%(R = 29mm，有Nb箔)，增加至18.7%(R = 1.96mm，有Nb箔)，α随着单芯棒线材线径减小而增大，芯丝在更小的尺寸下具有更大的变形程度。同时还发现，如果控制α在初始时较小，加工至小尺寸线径时α也相对要小很多。这个结果也显示出芯丝变形的加工延续性，在CuNb单芯棒的各个加工阶段出现的Nb芯丝变形具有不可恢复性，随着线径的不断减小，Nb芯丝变形率不断累加，芯丝变形程度也在增加。因此，为了最终获得~1μm直径的Nb芯丝不断芯，不仅要控制Nb原材料的晶粒度，还需要不断优化工艺，设计芯丝新结构，比如Nb箔的有无等，通过改善变形率来改善芯丝变形程度。

关键字：Nb3Sn、CuNb单芯棒、芯丝变形、变形率