



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103170797 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 02

(21) 申请号 201110432450. 4

(22) 申请日 2011. 12. 21

(73) 专利权人 北京有色金属研究总院
地址 100088 北京市西城区新街口外大街 2 号

(72) 发明人 郭胜利

(74) 专利代理机构 北京北新智诚知识产权代理有限公司 11100
代理人 刘徐红

(56) 对比文件

CN 102211270 A, 2011. 10. 12,
US 5894752 A, 1999. 04. 20,
CN 102240890 A, 2011. 11. 16,
CN 101873900 A, 2010. 10. 27,
CN 101153360 A, 2008. 04. 02,
CN 1853815 A, 2006. 11. 01,
CN 101538684 A, 2009. 09. 23,

审查员 李双庆

(51) Int. Cl.

B23P 15/00(2006. 01)

B21C 23/02(2006. 01)

B21J 5/00(2006. 01)

C21C 7/10(2006. 01)

G22C 33/04(2006. 01)

B22D 23/10(2006. 01)

权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,主要针对变形抗力大、热加工温度范围窄、热加工困难的难变形材料,包括(1)采用真空冶炼工艺,制备出纯净度较高的优质锭坯;(2)可选择进行均匀化处理,并进行多道次墩拔快锻开坯,细化组织和改善组织均匀性;(3)采用冲孔预制空心坯料;(4)对预制空心坯料进行等温/热模复合挤压,制备出组织均匀、细小的管坯;(5)后续机加工,获得成品管(环)和优质管坯。本发明提供了一种组织均匀、细小的大直径管(环)坯的制备加工新方法,该方法成形省力、节能、材料利用率高、产品质量高,能够有效解决传统工艺制备的管(环)坯存在组织粗大、均匀性差,成形力大等诸多问题。



1. 一种大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,包括如下步骤:

(1) 真空冶炼:将镍基合金、高强钢、钛合金或锆合金进行真空冶炼,得到合金铸锭;

(2) 将步骤(1)的合金铸锭加热后,在快锻机上锻造开坯,进行多道次墩拔后,滚圆成棒材;

(3) 将步骤(2)所得的棒材加热后,冲孔预制成空心坯料;

(4) 将步骤(3)预制的坯料加热后,放入挤压筒中进行等温或热模复合挤压,制备出大直径管坯或环坯;

(5) 将步骤(4)所得的管坯或环坯进行机加工,获得直径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 1000\text{mm}$ 的大直径成品管坯或环坯。

2. 根据权利要求1所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:所述的镍基合金为 Inconel 系合金、Hastelloy 系合金和 Monel 系合金,所述的钛合金为 TC4、TC11 和 β 型钛合金,所述的锆合金为 Zr-4、Zr-2 和 Zirlo 锆合金。

3. 根据权利要求1所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:所述真空冶炼的工艺为真空感应熔炼和电渣重熔二联冶炼工艺,真空感应熔炼、电渣重熔和真空自耗三联冶炼工艺,真空感应熔炼和真空自耗二联冶炼工艺,或者两次或三次真空自耗电弧熔炼工艺。

4. 根据权利要求1所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:所述真空冶炼得到合金铸锭的直径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 600\text{mm}$ 。

5. 根据权利要求1所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:在进行锻造开坯之前,先将步骤(1)所得的合金铸锭进行均匀化处理。

6. 根据权利要求5所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:所述的均匀化处理为单级或双级均匀化处理,温度为 $1150 \sim 1200^\circ\text{C}$ 。

7. 根据权利要求1所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:所述的锻造开坯为采用包套锻造,锻造火次为两次或三次,每火次锻造变形量大于70%。

8. 根据权利要求1所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:所述空心坯料的外径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 1000\text{mm}$,内径为 $\Phi 80\text{mm} \sim \Phi 400\text{mm}$ 。

9. 根据权利要求1所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:所述复合挤压的挤压比为 $1.5 \sim 10$,挤压速度为 $0.01 \sim 10\text{mm/s}$ 。

10. 根据权利要求1所述的大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,其特征在于:所述的成品管坯或环坯的壁厚为 $10\text{mm} \sim 80\text{mm}$,长度为 $300\text{mm} \sim 2000\text{mm}$ 。

一种大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种管（环）坯的制备加工方法，特别是一种大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法，属于金属加工技术领域，主要针对热加工温度范围窄、变形抗力大、热加工困难的镍基合金、高强钢、钛合金和锆合金等难变形材料。

背景技术

[0002] 镍基合金、高强钢、钛合金、锆合金以及钨合金等难变形材料使用性能优秀，具有出色和独特的使用性能，因此在航空、航天、兵器、船舶、核工业等诸多军工技术领域应用十分广泛，是现代武器装备的物质基础。但这些材料的冷、热加工都十分困难，塑性加工难点主要有：(1) 塑性低，塑性加工过程中容易开裂；(2) 变形抗力高，变形抗力往往为普通钢的3倍以上，需要选择更大能量和载荷的设备，且金属难于充满模槽；(3) 塑性加工温度范围窄，合金的初熔温度低，且再结晶温度高；(4) 对应变速率和应力状态敏感，需要在压应力状态下进行塑性加工；(5) 对加热和塑性加工温度要求严格，需要精确控制温度的加热炉内进行加热，并精确控制塑性加工温度；(6) 再结晶温度高，速度慢，在塑性加工过程中容易造成再结晶晶粒与加工硬化晶粒混合的、未完全再结晶的、不均匀晶粒组织，需要精确控制塑性加工温度和温度的均匀性，并降低应变速率。此外，合金的临界变形程度范围宽，冷作硬化倾向明显，热导率低。

[0003] 镍基合金、钛合金和锆合金等难变形材料的管（环）和薄壁管材具有良好的力学性能和腐蚀性能，在航空、航天、兵器、船舶、核工业等诸多领域的军、民品上应用广泛。此外，大直径管坯制备是大直径薄壁管材制备加工中最关键、最重要的工序。随着航空、航天、核工业等领域的快速发展，对大直径管（环）的综合性能和质量提出更高要求，因此，研制开发高质量、高性能的大直径管（环）坯是非常必要的。

[0004] 目前，大直径难变形材料管（环）坯的制备工艺主要有：①真空冶炼、快锻开坯、冲孔、锻造成环、机加工、轧环、机加工；②真空冶炼、快锻开坯、锻造（热轧）棒材、机加工、斜轧穿孔、机加工；③真空冶炼、快锻开坯、锻造（热轧）棒材、反挤压、机加工；④中国发明专利[申请号：200910219593.X]公开了一种通过真空冶炼、铸造大直径管坯、热等静压制备大直径钛合金管坯的方法；⑤冶炼、离心铸造、机加工。传统的锻造-轧环或直接锻造工艺制备大直径难变形材料管（环）坯时，变形温度难以精确控制，容易出现混晶组织，且制备工艺复杂，加工过程难以精确控制；传统的挤压、斜轧穿孔方法难以制备大直径的管（环）坯；传统的反挤压工艺难以制备出长度较长的管坯，由于难变形材料的变形抗力大，成形压力大，使得传统反挤压工艺挤压难变形材料管坯，相当困难；铸造-热等静压工艺虽然可以消除气孔等铸造缺陷，但难以消除粗大的铸造组织；离心铸造制备大直径管坯，存在气孔、夹杂、缩孔等铸造缺陷，且不能制备合金元素比重差异较大材料的管坯，使得该方法具有较大的局限性。采用传统的制备工艺难以制备出组织均匀、细小的高质量管（环）；传统制备工艺难以适应航空、航天、核工业等领域发展对难变形材料管（环）的要求，更不能满足大直径薄壁管材制备加工中对高质量优质管坯的需求。

发明内容

[0005] 本发明针对上述现有技术中的不足,提供一种大直径高质量管(环)坯的制备方法,其制备工艺能够精确控制变形温度、成材率高、成形省力、节能、材料利用率高,可以解决传统工艺制备的大直径管(环)坯存在组织均匀性差、组织粗大以及成形力大等诸多问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:

[0007] 一种大直径高质量管坯或环坯的复合挤压制备方法,包括如下步骤:

[0008] (1) 真空冶炼:将镍基合金、高强钢、钛合金或锆合金等难变形材料进行真空冶炼,得到合金铸锭;

[0009] (2) 将步骤(1)的合金铸锭加热后,在快锻机上锻造开坯,进行多道次墩拔后,滚圆成棒材;

[0010] (3) 将步骤(2)所得的棒材加热后,冲孔预制成空心坯料;

[0011] (4) 将步骤(3)预制的坯料加热后,放入挤压筒中进行等温或热模复合挤压,制备出大直径管坯或环坯;

[0012] (5) 将步骤(4)所得的管坯或环坯进行机加工,获得大直径成品管或环和管坯。

[0013] 一种优选的技术方案,其特征在于:所述的镍基合金为变形镍基合金,如 Inconel 系合金、Hastelloy 系合金和 Monel 系合金等,所述的钛合金为 TC4、TC11 和 β 型钛合金等,所述的锆合金为 Zr-4、Zr-2 和 Zirlo 锆合金等,均为难变形材料。

[0014] 一种优选的技术方案,其特征在于:所述真空冶炼的工艺为①真空感应熔炼和电渣重熔二联冶炼工艺,②真空感应熔炼、电渣重熔和真空自耗三联冶炼工艺,③真空感应熔炼和真空自耗二联冶炼工艺,或者④两次或三次真空自耗电弧熔炼工艺。

[0015] 一种优选的技术方案,其特征在于:步骤(1)中,所述真空冶炼得到合金铸锭的直径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 600\text{mm}$ 。

[0016] 一种优选的技术方案,其特征在于:在进行锻造开坯之前,先将步骤(1)所得的合金铸锭进行均匀化处理,减少合金元素偏析,改善合金元素分布的均匀性,提高合金的热塑性。

[0017] 一种优选的技术方案,其特征在于:所述的均匀化热处理主要针对镍基合金、高强钢,均匀化处理温度为 $1150 \sim 1200^\circ\text{C}$,采用单级或双级均匀化处理。

[0018] 一种优选的技术方案,其特征在于:步骤(2)中,所述锻造开坯中镍基合金锻造温度为 $1150 \sim 1250^\circ\text{C}$,钛合金锻造温度为 $1100 \sim 1150^\circ\text{C}$,锆合金锻造温度为 $1050 \sim 1100^\circ\text{C}$;快锻开坯采用包套锻造,锻造火次为两次或三次,每火次锻造变形量大于 70%,确保铸造粗大组织充分破碎,细化组织。

[0019] 一种优选的技术方案,其特征在于:步骤(3)中,所述冲孔预制空心坯料的外径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 1000\text{mm}$,内径为 $\Phi 80\text{mm} \sim \Phi 400\text{mm}$ 。

[0020] 一种优选的技术方案,其特征在于:步骤(4)中,所述复合挤压坯料为空心坯料,减少所施加载荷的作用面积,显著降低挤压成形力;挤压比为 $1.5 \sim 10$,挤压速度为 $0.01 \sim 10\text{mm/s}$,当挤压温度高于 1050°C 时,预制空心坯料包套后进行热模复合挤压,当挤压温度低于 1050°C 时,采用等温复合挤压;由于变形温度高、变形速率低,坯料温度和模具

温度一致或相接近,几乎没有模冷效应,材料的流动应力较小,极大地降低挤压成形力。

[0021] 一种优选的技术方案,其特征在于:步骤(5)中,所述机加工后,成品管或环和管坯的直径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 1000\text{mm}$,壁厚为 $10\text{mm} \sim 80\text{mm}$,长度为 $300\text{mm} \sim 2000\text{mm}$ 。

[0022] 本发明主要针对变形抗力大、热加工温度范围窄、热加工困难的难变形材料,(1)采用真空冶炼工艺,制备出纯净度较高的优质锭坯;(2)通过均匀化处理,改善成分分布的均匀性,提高材料的热塑性,并进行多道次墩拔快锻开坯,细化组织和改善组织均匀性;(3)采用冲孔预制空心坯料;(4)对预制空心坯料进行等温/热模复合挤压,制备出组织均匀、细小的管坯;(5)后续机加工,获得成品管(环)和优质管坯。本发明提供了一种组织均匀、细小的大直径管(环)坯的制备加工新方法,该方法成形省力、节能、材料利用率高、产品质量高,能够有效解决传统工艺制备的管(环)坯存在组织粗大、均匀性差,成形力大等诸多问题。

[0023] 本发明提供了一种大直径管(环)坯组织均匀且细小、成形省力、材料利用率高的加工新方法,主要优点有:

[0024] (1)采用真空冶炼工艺,极大的减少了有害元素和气体含量,减少了杂质和夹渣物,极大的提高了合金的纯净度;

[0025] (2)挤压成形过程中材料受到三向压应力极大的发挥了材料的成形性,采用空心坯料,减少所施加载荷的作用面积,显著降低挤压力,成形省力;

[0026] (3)采用等温或热模挤压,坯料温度和模具温度一致或相接近,材料变形温度均匀,变形均匀,制备的管坯组织均匀、细小;

[0027] (4)挤压成形应变速率较小,变形温度高,几乎没有模冷效应,材料变形抗力较小,大幅度的减小了挤压成形力,成形省力;

[0028] (5)采用等温/热模复合挤压解决了传统挤压无法挤压大直径难变形材料管(环)坯和反挤压管坯长度受限的难题;

[0029] (6)本发明提出的等温模复合挤压可用于其他变形抗力较低合金管(环)坯的挤压,可显著降低载荷,节约能源,亦可用于塑性较低的非连续体增强金属复合材料管(环)坯的挤压。

[0030] 本发明为高性能、高质量、大直径难变形材料管(环)坯制备加工提供了新途径,可用于航空、航天和核工业等高科技领域,具有良好的应用推广。

[0031] 下面通过具体实施方式对本发明做进一步说明,但并不意味着对本发明保护范围的限制。

附图说明

[0032] 图1为本发明大直径高质量管坯或环坯复合挤压制备方法的工艺流程图。

具体实施方式

[0033] 如图1所示,为本发明大直径高质量管坯或环坯复合挤压制备方法的工艺流程图,本发明的复合挤压制备方法包括真空冶炼,均匀化处理,快锻开坯,冲孔,等温/热模复合挤压和机加工,具体包括如下步骤。

[0034] (1)真空冶炼:将镍基合金、钛合金、高强钢或锆合金等难变形材料进行真空冶

炼,得到合金铸锭;镍基合金可采用真空感应熔炼+电渣重熔二联冶炼工艺或真空感应熔炼+电渣重熔+真空自耗三联冶炼工艺,高强度可采用真空感应熔炼+真空自耗二联冶炼工艺,钛合金和锆合金可采用两次或三次真空自耗电弧熔炼工艺;镍基合金为变形镍基合金,如 Inconel 系合金、Hastelloy 系合金和 Monel 系合金等,钛合金为 TC4、TC11 和 β 型钛合金等,锆合金为 Zr-4、Zr-2 和 Zirlo 锆合金等。真空冶炼得到合金铸锭的直径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 600\text{mm}$ 。

[0035] (2) 将步骤 (1) 的合金铸锭加热后,在快锻机上锻造开坯,进行多道次墩拔后,滚圆成棒材;锻造开坯中镍基合金锻造温度可为 $1150 \sim 1250^\circ\text{C}$,钛合金锻造温度可为 $1100 \sim 1150^\circ\text{C}$,锆合金锻造温度可为 $1050 \sim 1100^\circ\text{C}$;快锻开坯采用包套锻造,锻造火次为两次或三次,每火次锻造变形量大于 70%,确保铸造粗大组织充分破碎,细化组织。

[0036] (3) 将步骤 (2) 所得的棒材加热后,冲孔预制成空心坯料;冲孔预制空心坯料的外径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 1000\text{mm}$,内径为 $\Phi 80\text{mm} \sim \Phi 400\text{mm}$ 。

[0037] (4) 将步骤 (3) 预制的坯料加热后,放入挤压筒中进行等温或热模复合挤压,制备出大直径管坯或环坯;复合挤压坯料为空心坯料,减少所施加载荷的作用面积,显著降低挤压成形力;挤压比为 $1.5 \sim 10$,挤压速度为 $0.01 \sim 10\text{mm/s}$,当挤压温度高于 1050°C 时,预制空心坯料包套后进行热模复合挤压,当挤压温度低于 1050°C 时,采用等温复合挤压;由于变形温度高、变形速率低,坯料温度和模具温度一致或相接近,几乎没有模冷效应,材料的流动应力较小,极大地降低挤压成形力。

[0038] (5) 将步骤 (4) 所得的管坯或环坯进行机加工,获得大直径成品管或环和管坯。成品管(环)和管坯的直径为 $\Phi 200\text{mm} \sim \Phi 1000\text{mm}$,壁厚为 $10\text{mm} \sim 80\text{mm}$,长度为 $300\text{mm} \sim 2000\text{mm}$ 。

[0039] 在进行锻造开坯之前,先将步骤 (1) 所得的合金铸锭进行均匀化处理,减少合金元素偏析,改善合金元素分布的均匀性,提高合金的热塑性;均匀化热处理主要针对镍基合金、高强度,均匀化处理温度为 $1150 \sim 1200^\circ\text{C}$,采用单级或双级均匀化处理。

[0040] 实施例 1

[0041] 按照 In718 合金成分,利用真空感应炉冶炼出直径为 $\Phi 300\text{mm}$ 的电极棒;将电极棒表面打磨和切除冒口后,利用电渣重熔炉重溶出直径为 $\Phi 400\text{mm}$ 的铸锭。In718 钢锭的双级均匀化热处理工艺为: 1160°C ,保温 24h 和 1200°C ,保温 44h。利用壁厚为 10mm 的普碳钢对均匀化处理后的 In718 合金铸锭进行包套;将包套的铸锭放入加热炉,升温到 850°C ,保温 2h,随后升温到 1150°C ,保温 4h;在快锻机上开坯锻造,进行三火次墩拔锻造,每火次的变形量大于 70%,并滚圆成棒材,将锻棒下料后进行冲孔锻造和机加工,预制成外径为 $\Phi 300\text{mm}$ 和内径为 120mm 的空心坯料。将预制空心坯料预热到 260°C 喷涂高温防氧化玻璃润滑剂,随后加热到 850°C ,保温 2h,继续升温到 1050°C ,保温 4h;然后覆涂玻璃润滑粉,放入挤压筒进行等温复合挤压,挤压速度为 1mm/s ,挤压比为 3.4;机加工后,In718 合金成品管(环)和优质管坯的外径为 $\Phi 295\text{mm}$,壁厚为 12mm。

[0042] 实施例 2

[0043] 按照 GH4698 合金成分,利用真空感应炉冶炼出直径为 $\Phi 240\text{mm}$ 的电极棒;将电极棒表面打磨和切除冒口后,利用真空自耗电弧炉进行二次熔炼,铸锭的直径为 $\Phi 320\text{mm}$ 。GH4698 钢锭的均匀化热处理工艺: 1160°C ,保温 60h。利用壁厚为 10mm 的普碳钢对均匀化处

理后的 GH4698 合金铸锭进行包套。将包套的铸锭放入加热炉,升温到 860℃,保温 2h,随后升温到 1200℃,保温 4h;在快锻机上开坯锻造,进行三火次墩拔锻造,每火次的变形量大于 70%,并滚圆成棒材,将锻棒下料后进行冲孔锻造和机加工,预制成外径为 $\Phi 260\text{mm}$ 和内径为 120mm 的空心坯料。用壁厚为 10mm 的普碳钢包套预制空心坯料,加热到 860℃,保温 2h,继续升温到 1220℃,保温 3h;然后覆涂玻璃润滑粉,放入挤压筒进行热模复合挤压,挤压速度为 1.5mm/s,挤压比为 2.7,挤压工模具温度为 950℃。清除包套材料,机加工后, GH4698 合金成品管(环)和优质管坯的外径为 $\Phi 255\text{mm}$,壁厚为 10mm。

[0044] 实施例 3

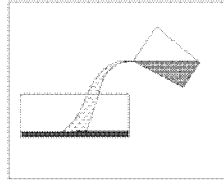
[0045] 按 Monel400 合金成分,将配好的原料放入真空感应电炉中进行二次熔炼,铸锭的直径为 $\Phi 520\text{mm}$,锻造温度为 1050 ~ 1150℃,进行两火次墩拔锻造,每火次的变形量大于 70%,每火次墩拔 7 次,然后打圆成直径为 $\Phi 610\text{mm}$ 的饼材,进行冲孔锻造和机加工,预制成外径为 600mm 和内径为 240mm 的空心坯料。将所述的预制空心坯料预热到 200℃喷涂高温抗氧化玻璃润滑剂,随后加热到 980℃,保温 4h,然后放入挤压筒中进行等温复合挤压,挤压速度为 0.5mm/s,挤压比为 4.4,机加工后, Monel400 合金成品管(环)和优质管坯的外径为 $\Phi 590\text{mm}$,壁厚为 $\Phi 26\text{mm}$ 。

[0046] 实施例 4

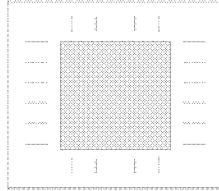
[0047] 按照 TC4 合金的成分,采用海绵钛和 Al-V 中间合金,进行充分混料,压制电极块,并组焊成电极,利用真空自耗电弧炉进行三次熔炼,铸锭的直径为 $\Phi 500\text{mm}$ 。锻造温度为 1100 ~ 1150℃,进行三火次墩拔锻造,每火次的变形量大于 70%,并滚圆成棒材,将锻棒下料后进行冲孔锻造和机加工,预制成外径为 420mm 和内径为 180mm 的空心坯料。将预制空心坯料预热到 200℃喷涂高温抗氧化玻璃润滑剂,加热到 950℃,保温 4h,然后放入挤压筒中进行等温复合挤压,挤压速度为 0.5mm/s,挤压比为 4.5;机加工后, TC4 成品管(环)和优质管坯外径为 $\Phi 410\text{mm}$,壁厚为 12mm。

[0048] 实施例 5

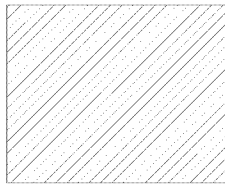
[0049] 按照 Zr-4 合金的成分,将海绵锆和合金元素压制成电极块,并组焊成电极,利用真空自耗电弧炉进行三次熔炼,铸锭的直径为 $\Phi 500\text{mm}$ 。锻造温度为 1050℃ ~ 1100℃,进行三火次墩拔锻造,每火次的变形量大于 70%,然后进行滚圆、下料和冲孔锻造,对空心坯料在 β 相区范围进行热处理,固溶温度为 1100℃,采用水淬,将 β -淬火的空心坯料进行机加工,预制成外径为 395mm 和内径为 165mm 的空心坯料。采用壁厚为 2.5mm 的紫铜包套,加热到 650℃,保温 3h,将加热的坯料放入挤压筒进行等温复合挤压,挤压模具和挤压筒的润滑剂为汽缸油 + 石墨 + 二硫化钼,挤压速度为 1mm/s,挤压比为 4.4;机加工后, Zr-4 成品管(环)和优质管坯的外径为 $\Phi 390\text{mm}$,壁厚为 16.5mm。



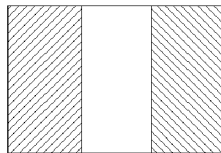
真空冶炼



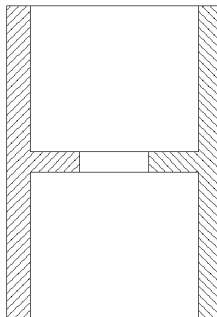
均匀化处理



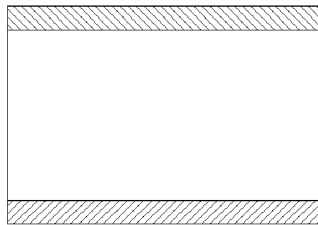
快锻开坯



冲孔



等温/热模复合挤压



机加工

图 1