



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111002000 B

(45) 授权公告日 2021.02.05

(21) 申请号 201911415526.5

G21D 1/25 (2006.01)

(22) 申请日 2019.12.31

G21D 1/28 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G21D 9/34 (2006.01)

申请公布号 CN 111002000 A

审查员 汪娅骅

(43) 申请公布日 2020.04.14

(73) 专利权人 宁波中大力德智能传动股份有限公司

地址 315300 浙江省宁波市慈溪市新兴产业  
业集群区宗汉街道新兴一路185号

(72) 发明人 陈正周 罗凯宇 黄炳

(74) 专利代理机构 北京维正专利代理有限公司  
11508

代理人 鲁勇杰

(51) Int. Cl.

B23P 15/14 (2006.01)

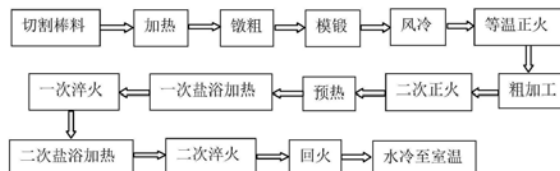
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法

(57) 摘要

本发明涉及谐波减速器的技术领域,尤其是涉及一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,包括如下步骤:(1)切割棒料;(2)加热;(3)镦粗;(4)模锻;(5)风冷;(6)等温正火;(7)粗加工;(8)二次正火;(9)调质处理。模锻风冷后平均晶粒尺寸可以达到26-33 μm,即晶粒度可以达到7-7.5级,而且组织不会发生过烧,也不会产生锻造裂纹或者带状组织。经过二次正火后晶粒度可以达到10-10.5级,经过两次盐浴加热和淬火后经过回火,晶粒尺寸达到5-6 μm,晶粒度达到12-12.5级,微观组织为回火索氏体与少量屈氏体,硬度为34-38HRC,力学性能的强塑积可以超过25000MPa%。



1. 一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其特征在于:包括如下步骤:

(1) 切割棒料;

(2) 加热,加热时间为9-11s,加热温度为1120-1150℃;

(3) 镦粗,镦粗温度控制在1120-1150℃;

(4) 模锻,始锻温度控制在1100-1130℃,终锻温度控制在880-920℃,工件壁厚控制在 $7.5 \pm 0.2\text{mm}$ ;

(5) 风冷,柔轮的平均晶粒尺寸为26-33 $\mu\text{m}$ ,晶粒度为7-7.5级;

(6) 等温正火,柔轮的硬度为27-32HRC;

(7) 粗加工;

(8) 二次正火,柔轮的晶粒度为10-10.5级;

(9) 调质处理,包括:

S2、一次盐浴加热:

将预热后的工件置于 $830 \pm 5^\circ\text{C}$ 熔盐中,待熔盐温度再次升到 $830^\circ\text{C}$ 时保温3-4min;

S3、一次淬火:

将工件迅速转移至淬火液中进行淬火,淬火前先将淬火槽中的搅拌设备开启;

S4、二次盐浴加热:

二次盐浴加热的操作与一次盐浴加热一致;

S5、二次淬火:

二次淬火的操作与一次淬火一致;

S6、回火:

柔轮的平均晶粒尺寸为5-6 $\mu\text{m}$ ,晶粒度为12-12.5级,硬度为34-38HRC,强塑积大于25000MPa%。

2. 根据权利要求1所述的一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其特征在于:步骤(5)风冷具体为:将工件置于网带上用风扇快速冷却。

3. 根据权利要求1所述的一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其特征在于:步骤(5)风冷具体为:工件冷却速度为25-30℃/s,待工件冷却到480-520℃,再置于空气中自由冷却。

4. 根据权利要求1所述的一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其特征在于:步骤(6)等温正火具体为:将工件加热至880-900℃保温150-180min,然后将工件置于缓冷槽中缓冷,冷却到600-650℃时再将工件置于保温炉中在 $620 \pm 5^\circ\text{C}$ 保温120-150min,然后出炉空冷。

5. 根据权利要求1所述的一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其特征在于:步骤(8)二次正火具体为:将工件加热至840-860℃保温60-70min,然后出炉将工件置于网带上用风扇快速冷却,风冷速度即工件冷却速度为30-35℃/s,等冷却到480-520℃时再置于空气中自由冷却。

6. 根据权利要求1所述的一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其特征在于:S6、回火具体为:预先将回火炉的温度升至 $400 \pm 5^\circ\text{C}$ ,然后将所述二次淬火后的工件置于回火炉中继续加热至 $585 \pm 5^\circ\text{C}$ 保温3-4h,再水冷至室温。

7. 根据权利要求1所述的一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其特征在于:在

进行S2之前进行S1、预热具体为：将工件加热至 $500\pm 5^{\circ}\text{C}$ 保温20-30min,预热可以在保温炉中进行,保温炉可以是高温回火炉。

8. 根据权利要求1所述的一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其特征在于:所述淬火液包括以下体积份数的组分:

5-10份的10号机油和90-95份的水;

在一次淬火的过程中,利用搅拌设备对淬火液进行搅拌。

## 一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及谐波减速器的技术领域,尤其是涉及一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法。

### 背景技术

[0002] 柔轮是谐波减速器的核心部件,决定着谐波减速器的使用寿命、传动精度和传动效率。由于柔轮的材料力学性能、齿形设计和制造精度都要求非常高,我国的研制水平与日本、美国和欧盟部分国家的先进制造水平相比仍有差距,所以,我国高质量的谐波减速器仍然依赖进口。高质量的柔轮除了齿形设计、制造精度、表面处理等因素的影响外,柔轮材料的晶粒度是影响其疲劳强度和使用寿命的关键内在材质因素。

[0003] 在申请公布号为CN108998643A的中国发明专利中提供了一种改善柔轮原材料带状组织的方法,采用自由锻、一次等温正火和二次等温正火的工艺对柔轮原材料中带状组织严重的材料进行改善,该发明改善了带状组织,加快了时间进度,避免了退料换货造成的时间浪费,自由锻和等温正火成本价格低廉,与扩散退火相比,大幅度地节省了加工成本。在申请公布号为CN109280851A的中国发明专利中提供了一种谐波减速器特殊钢材质柔轮及其循环热处理方法,其中,循环热处理方法由正火热处理、粗加工和调质处理三步组成,采用此发明提供的循环热处理方法对特殊钢材质(中碳高强度调质钢)柔轮进行处理后,能够使柔轮的原奥氏体晶粒细化 and 均匀化,最后可以使柔轮晶粒度最高达到10级。

[0004] 上述专利虽然改善了带状组织,柔轮晶粒度可以达到10级,但是目前柔轮在减速传动过程中需要承受较大的交变载荷,柔轮在工作时很容易损坏。利用上述专利仍然无法解决此问题,因而有必要研发出一种可以提高柔轮疲劳强度和使用寿命的加工方法。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,其优势在于,能够加工出疲劳强度高和使用寿命长的柔轮。

[0006] 本发明的上述发明目的是通过以下技术方案得以实现的:

[0007] 一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,包括如下步骤:

[0008] (1) 切割棒料;

[0009] (2) 加热,加热时间为9-11s,加热温度为1120-1150℃;

[0010] (3) 镦粗,镦粗温度控制在1120-1150℃;

[0011] (4) 模锻,始锻温度控制在1100-1130℃,终锻温度控制在880-920℃,工件壁厚控制在 $7.5 \pm 0.2$ mm;

[0012] (5) 风冷,柔轮的平均晶粒尺寸为26-33 $\mu$ m,晶粒度为7-7.5级;

[0013] (6) 等温正火,柔轮的硬度为27-32HRC;

[0014] (7) 粗加工;

[0015] (8) 二次正火,柔轮的晶粒度为10-10.5级;

[0016] (9) 调质处理, 柔轮的平均晶粒尺寸为 $5-6\mu\text{m}$ , 晶粒度为 $12-12.5$ 级, 硬度为 $34-38\text{HRC}$ , 强塑积大于 $25000\text{MPa}\%$ 。

[0017] 通过采用上述技术方案, 利用本发明中工艺生产的柔轮, 平均晶粒尺寸可以达到 $5-6\mu\text{m}$ , 晶粒度可以达到 $12-12.5$ 级, 微观组织为回火索氏体与少量屈氏体, 硬度为 $34-38\text{HRC}$ , 力学性能的强塑积可以超过 $25000\text{MPa}\%$ 。相对于现有技术, 平均晶粒尺寸小, 晶粒度等级高, 强塑积大。

[0018] 回火屈氏体为尚未再结晶、保持马氏体形态的铁素体和弥散细粒状渗碳体。回火屈氏体为多边等轴铁素体和粒状渗碳体的混合物, 回火屈氏体中由于保持有马氏体组织, 因此其硬度相对回火索氏体有提高, 但由于有弥散细粒状渗碳体, 因此, 其塑性也较强。经过调质处理后, 柔轮经过回复与再结晶, 固溶强化作用已完全消失, 硬度和强度显著降低, 而塑性和韧性却显著提高。因而, 柔轮整体上体现出强度大, 塑韧性强的优良特性。

[0019] 作为优选, 步骤(5)风冷具体为: 将工件置于网带上用风扇快速冷却。

[0020] 作为优选, 步骤(5)风冷具体为: 工件冷却速度为 $25-30^\circ\text{C}/\text{s}$ , 待工件冷却到 $480-520^\circ\text{C}$ , 再置于空气中自由冷却。

[0021] 通过采用上述技术方案, 模锻风冷后平均晶粒尺寸可以达到 $26-33\mu\text{m}$ , 即晶粒度可以达到 $7-7.5$ 级, 而且组织不会发生过烧, 也不会产生锻造裂纹或者带状组织, 组织比较均匀。

[0022] 作为优选, 步骤(6)等温正火具体为: 将工件加热至 $880-900^\circ\text{C}$ 保温 $150-180\text{min}$ , 然后将工件置于缓冷槽中缓冷, 冷却到 $600-650^\circ\text{C}$ 时再将工件置于保温炉中在 $620\pm 5^\circ\text{C}$ 保温 $120-150\text{min}$ , 然后出炉空冷。

[0023] 通过采用上述技术方案, 硬度可以控制在 $27-32\text{HRC}$ , 组织和硬度很均匀, 便于粗加工。

[0024] 作为优选, 步骤(8)二次正火具体为: 将工件加热至 $840-860^\circ\text{C}$ 保温 $60-70\text{min}$ , 然后出炉将工件置于网带上用风扇快速冷却, 风冷速度即工件冷却速度为 $30-35^\circ\text{C}/\text{s}$ , 等冷却到 $480-520^\circ\text{C}$ 时再置于空气中自由冷却。

[0025] 等温正火的主要目的: 一是消除因模锻后冷却不当而引起的铁素体偏析和带状组织等锻造缺陷, 使工件各个部位组织一致, 所以等温正火的工艺温度要比二次正火的温度要高; 二是细化晶粒, 所以出炉空冷时可以采用较高的冷却速度。

[0026] 作为优选, 步骤(9)调质处理包括:

[0027] S2、一次盐浴加热: 将预热后的工件置于 $830\pm 5^\circ\text{C}$ 熔盐中, 待熔盐温度再次升到 $830^\circ\text{C}$ 时保温 $3-4\text{min}$ ;

[0028] S3、一次淬火; 将工件迅速转移至淬火液中进行淬火, 淬火前先将淬火槽中的搅拌设备开启;

[0029] S6、回火。

[0030] 作为优选, 待S3结束后, 进行S4、二次盐浴加热: 二次盐浴加热的操作与一次盐浴加热一致;

[0031] 待S4结束后, 进行S5、二次淬火: 二次淬火的操作与一次淬火一致;

[0032] 待S5结束后再进行S6。

[0033] 通过采用上述技术方案, 两次盐浴加热与淬火, 使得奥氏体晶粒进一步细化。

[0034] 作为优选,S6、回火具体为:预先将回火炉的温度升至 $400\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,然后将所述二次淬火后的工件置于回火炉中继续加热至 $585\pm 5^{\circ}\text{C}$ 保温3-4h,再水冷至室温。

[0035] 通过采用上述技术方案,经过回火处理结束的工件,其微观组织为回火索氏体与少量屈氏体,硬度为34-38HRC。

[0036] 作为优选,在进行S2之前进行S1、预热具体为:将工件加热至 $500\pm 5^{\circ}\text{C}$ 保温20-30min,预热可以在保温炉中进行,保温炉可以是高温回火炉。

[0037] 通过采用上述技术方案,缩短了组织完全奥氏体化的加热时间,避免了奥氏体晶粒长大。

[0038] 作为优选,所述淬火液包括以下体积份数的组分:

[0039] 5-10份的10号机油和90-95份的水;

[0040] 在一次淬火的过程中,利用搅拌设备对淬火液进行搅拌。

[0041] 综上所述,本发明的有益技术效果为:

[0042] (1) 模锻风冷后平均晶粒尺寸可以达到 $26-33\mu\text{m}$ ,即晶粒度可以达到7-7.5级,而且组织不会发生过烧,也不会产生锻造裂纹或者带状组织,组织比较均匀。

[0043] (2) 等温正火,硬度可以控制在27-32HRC,组织和硬度很均匀,便于粗加工。

[0044] (3) 二次正火时通过快速风冷,奥氏体晶粒在等温正火的基础上可以进一步细化,晶粒度可以达到10-10.5级。

[0045] (4) 先将工件预热至 $480-520^{\circ}\text{C}$ ,然后将工件置于 $830^{\circ}\text{C}$ 熔盐中保温,能够使工件温度快速升至 $830^{\circ}\text{C}$ ,缩短了组织完全奥氏体化的加热时间,避免了奥氏体晶粒长大。

[0046] (5) 采用两次盐浴加热和淬火,可以使奥氏体晶粒进一步细化。

[0047] (6) 使用专门配制的淬火液,既保证淬火组织为细晶马氏体(包括隐晶马氏体),又保证淬火时工件不产生淬火裂纹。

[0048] (7) 采用本发明加工的柔轮,平均晶粒尺寸可以达到 $5-6\mu\text{m}$ ,晶粒度可以达到12-12.5级,微观组织为回火索氏体与少量屈氏体,硬度为34-38HRC,强塑积大于 $25000\text{MPa}\%$ 。

## 附图说明

[0049] 图1是一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法流程图。

[0050] 图2是本发明的热处理温度—时间曲线。

[0051] 图3是模锻风冷后柔轮的金相图。

[0052] 图4是二次正火后柔轮的金相图。

[0053] 图5是调质处理后柔轮的晶粒图(饱和苦味酸水溶液腐蚀)。

[0054] 图6是调质处理后柔轮的金相图(4%硝酸酒精腐蚀)。

## 具体实施方式

[0055] 以下结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0056] 一、加工方法

[0057] 一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,包括:

[0058] (1) 切割棒料。棒料选用40CrNiMoA中碳低合金钢。

[0059] (2) 加热。采用电磁感应加热,加热时间为9-11s,加热温度为 $1120-1150^{\circ}\text{C}$ 。

[0060] (3) 镦粗。镦粗温度控制在1120-1150℃。

[0061] (4) 模锻。始锻温度控制在1100-1130℃,终锻温度控制在880-920℃,锻件壁厚控制在 $7.5 \pm 0.2$ mm。在880-1130℃之间进行锻造,不但变形抗力较小,而且工件也不会产生锻造裂纹。

[0062] (5) 风冷。模锻结束后,将工件置于网带上用风扇快速冷却,风冷速度即工件冷却速度为25-30℃/s,等冷却到480-520℃时再置于空气中自由冷却。

[0063] 所述网带为钢丝编织的传送带,所述风扇置于网带上方,工件置于网带上一边传送,一边将风扇对着工件吹风冷却。所述冷却速度可以通过调节风扇转速来控制。置于网带上风冷可以使工件各个表面的冷却速度基本一致,从而保证工件组织更加均匀。采用较快的冷却速度能够使工件的温度迅速通过两相区温度,从而既可以防止组织偏析,也可以防止带状铁素体组织的形成,还可以使过冷奥氏体转变成珠光体的尺寸更加细小,平均晶粒尺寸可以达到26-33 $\mu$ m,即晶粒度可以达到7-7.5级。

[0064] (6) 等温正火。将工件加热至880-900℃保温150-180min,然后将工件置于缓冷槽中缓冷,冷却到600-650℃时再将工件置于保温炉中在 $620 \pm 5$ ℃保温120-150min,然后出炉空冷。缓冷槽的冷却介质为循环自来水,冷却到600-650℃所需时间为120-150s。保温炉可以是高温回火炉。

[0065] 先采用等温正火,一方面使工件整体组织均匀,保证工件各个位置的硬度基本一致,便于切削加工,另一方面使晶粒尺寸大小一致,提高了工件各个部分力学性能的一致性。

[0066] (7) 粗加工。粗加工后工件的单边加工余量保留 $1.5 \pm 0.2$ mm,即保证工件壁厚4-5mm。这个壁厚既能够确保后续淬火时能够淬透,又确保后续中加工和精加工时工件装夹不变形。

[0067] (8) 二次正火。将工件加热至840-860℃保温60-70min,然后出炉将工件置于网带上用风扇快速冷却,此时风冷速度即工件冷却速度可以采用较大的冷却速度,即为30-35℃/s,等冷却到480-520℃时再置于空气中自由冷却。

[0068] 等温正火后再一次进行所述二次正火,此时加热温度比第一次等温正火的加热温度低40℃左右,保温时间也缩短,并通过较快的冷却速度进行冷却,可以进一步的细化晶粒尺寸,晶粒度可以达到10-10.5级。

[0069] (9) 调质处理。

[0070] S1、预热。将工件加热至 $500 \pm 5$ ℃保温20-30min,预热可以在保温炉中进行,保温炉可以是高温回火炉。

[0071] 先将工件预热并保温一定时间,可以使工件在即将所述一次盐浴加热时能够快速升至所需温度,缩短淬火前的加热时间,避免加热过程的奥氏体晶粒长大。预热时工件置于料框中,料框用钢丝编织而成。

[0072] S2、一次盐浴加热。先将熔盐温度升到 $830 \pm 5$ ℃,然后将预热后的工件连带料框一起置于熔盐中,等熔盐温度再次升到830℃时继续保温3-4min。

[0073] 所述熔盐的主要成分为KCl、NaCl、KNO<sub>3</sub>和NaNO<sub>3</sub>的混合物。采用盐浴加热,一方面可以使料框里工件温度比较均匀,另一方面可以使工件快速升温,进一步避免奥氏体晶粒长大。

[0074] S3、一次淬火。将所述一次盐浴加热的工件连带料框迅速转移至淬火槽中淬火。

[0075] 所述淬火使用的淬火介质为专门配制的淬火液,所述淬火液主要成分为10号机油和水,所述机油水溶液的浓度为5-10% (体积比)。所述淬火液装在淬火槽中,所述淬火槽为一个容池,容池中配备两台电动搅拌器,当料框连带工件浸入淬火液时,电动搅拌器对淬火液进行搅拌,使淬火槽内的淬火液温度均匀,有效地提高淬火液的冷却能力,改善淬火效果。使用专门配制的淬火液,可以使工件在12-16s内冷却到室温,即冷却速度可以达到50-70°C/s,这个冷却速度高于油冷速度,但是又低于水冷速度。这个冷却速度既可以使淬火组织为细晶马氏体组织,又避免淬火后工件产生淬火裂纹。

[0076] 经过一次盐浴加热和一次淬火后,晶粒度可以达到10.5-11.5级。

[0077] S4、二次盐浴加热:二次盐浴加热的操作与一次盐浴加热一致。

[0078] S5、二次淬火:二次淬火的操作与一次淬火一致。

[0079] 通过二次盐浴加热和二次淬火,可以进一步将晶粒度提高到12-12.5级。

[0080] S6、回火。预先将回火炉的温度升至 $400 \pm 5^\circ\text{C}$ ,然后将所述二次淬火的工件置于回火炉中继续加热至 $585 \pm 5^\circ\text{C}$ 保温3-4h。

[0081] 预先将回火炉的温度升至 $400^\circ\text{C}$ ,可以使工件快速升至 $400^\circ\text{C}$ ,避免了回火时在中温区工件产生回火脆性。在 $585 \pm 5^\circ\text{C}$ 保温3-4h后,可以使回火组织为回火索氏体和少量回火屈氏体,索氏体中的铁素体形貌呈短棒状,渗碳体呈颗粒状,这种形貌的回火索氏体同时具有很高的强度和塑性。

[0082] (10) 水冷至室温。将所述回火结束的工件置于自来水中冷却至室温。

[0083] 二、实施例与对比例实施例1

[0084] 一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,包括如下步骤:

[0085] (1) 切割棒料。棒料选用40CrNiMoA中碳低合金钢。

[0086] (2) 加热。采用电磁感应加热,加热时间为10s,加热温度为 $1135^\circ\text{C}$ 。

[0087] (3) 镦粗。镦粗温度为 $1130^\circ\text{C}$ 。

[0088] (4) 模锻。始锻温度为 $1120^\circ\text{C}$ ,终锻温度为 $900^\circ\text{C}$ ,锻件壁厚为7.5mm。

[0089] (5) 风冷。模锻结束后,将工件置于网带上用风扇快速冷却,风冷速度即工件冷却速度为 $28^\circ\text{C}/\text{s}$ ,等冷却到 $500^\circ\text{C}$ 左右时再置于空气中自由冷却。

[0090] (6) 等温正火。将工件加热至 $890^\circ\text{C}$ 保温170min,然后将工件置于缓冷槽中缓冷,冷却到 $630^\circ\text{C}$ 时再将工件置于保温炉中在 $620^\circ\text{C}$ 保温140min,然后出炉空冷。保温炉采用高温回火炉。缓冷槽的冷却介质为循环自来水,冷却时间为130s。

[0091] (7) 粗加工。粗加工后工件壁厚为4.5mm。

[0092] (8) 二次正火。加热至 $850^\circ\text{C}$ 保温65min,然后出炉将工件置于网带上用风扇快速冷却,风冷速度为 $33^\circ\text{C}/\text{s}$ ,等冷却到 $500^\circ\text{C}$ 左右时再置于空气中自由冷却。

[0093] (9) 调质处理。

[0094] S1、预热。加热至 $500^\circ\text{C}$ 保温25min,预热在保温炉中进行,保温炉为高温回火炉。

[0095] S2、一次盐浴加热。将工件置于 $830^\circ\text{C}$ 熔盐中,等熔盐温度再次升到 $830^\circ\text{C}$ 时保温210s。熔盐主要成分为KCl、NaCl、 $\text{KNO}_3$ 和 $\text{NaNO}_3$ 的混合物。

[0096] S3、一次淬火。将一次盐浴加热的工件迅速转移至淬火槽中淬火,使用的淬火介质为专门配制的淬火液,淬火液主要成分为10号机油和水,机油水溶液浓度为6.5% (体积

比),工件冷却速度为65℃/s。淬火前先开启搅拌设备,对淬火液进行搅拌。

[0097] S4、二次盐浴加热。将一次淬火的工件重复一次步骤S2的工艺过程。

[0098] S5、二次淬火。将二次盐浴加热的工件重复一次步骤S3的工艺过程。

[0099] S6、回火。预先将回火炉的温度升至400℃,然后将二次淬火的工件置于回火炉中继续加热至585℃保温210min。

[0100] S7、水冷至室温。将回火的工件置于自来水中冷却至室温。

[0101] 经过检测,模锻风冷后工件的平均晶粒尺寸为27.2μm,晶粒度为7.5级。二次正火后工件的平均晶粒尺寸为9.5μm,晶粒度为10.5级。回火水冷结束后工件的平均晶粒尺寸为5.5μm,晶粒度介于12级与12.5级之间。微观组织为回火索氏体和少量屈氏体,硬度为36.5HRC。抗拉强度1265MPa,屈服强度1060MPa,断后延伸率22%,强塑积27830MPa%。

[0102] 实施例2

[0103] 一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,包括如下步骤:

[0104] (1) 切割棒料。棒料选用40CrNiMoA中碳低合金钢。

[0105] (2) 加热。采用电磁感应加热,加热时间为9s,加热温度为1120℃。

[0106] (3) 墩粗。墩粗温度为1120℃。

[0107] (4) 模锻。始锻温度为1110℃,终锻温度为880℃,锻件壁厚为7.5mm。

[0108] (5) 风冷。模锻结束后,将工件置于网带上用风扇快速冷却,风冷速度即工件冷却速度为25℃/s,等冷却到500℃左右时再置于空气中自由冷却。

[0109] (6) 等温正火。将工件加热至880℃保温180min,然后将工件置于缓冷槽中缓冷,冷却到620℃时再将工件置于保温炉中在620℃保温150min,然后出炉空冷。保温炉采用高温回火炉。缓冷槽的冷却介质为循环自来水,冷却时间为122s。

[0110] (7) 粗加工。粗加工后工件壁厚为4.5mm。

[0111] (8) 二次正火。加热至840℃保温70min,然后出炉将工件置于网带上用风扇快速冷却,风冷速度为30℃/s,等冷却到500℃左右时再置于空气中自由冷却。

[0112] (9) 调质处理。

[0113] S1、预热。加热至500℃保温28min,预热在保温炉中进行,保温炉为高温回火炉。

[0114] S2、一次盐浴加热。将工件置于830℃熔盐中,等熔盐温度再次升到830℃时保温230s。熔盐主要成分为KCl、NaCl、KNO<sub>3</sub>和NaNO<sub>3</sub>的混合物。

[0115] S3、一次淬火。将一次盐浴加热的工件迅速转移至淬火槽中淬火,使用的淬火介质为专门配制的淬火液,淬火液主要成分为10号机油和水,机油水溶液浓度为6.5%(体积比),工件冷却速度为65℃/s。淬火前先开启搅拌设备,对淬火液进行搅拌。

[0116] S4、二次盐浴加热。将一次淬火的工件重复一次步骤S2的工艺过程。

[0117] S5、二次淬火。将二次盐浴加热的工件重复一次步骤S3的工艺过程。

[0118] S6、回火。预先将回火炉的温度升至400℃,然后将二次淬火的工件置于回火炉中继续加热至585℃保温190min。

[0119] S7、水冷至室温。将回火的工件置于自来水中冷却至室温。

[0120] 经过检测,模锻风冷后工件的平均晶粒尺寸为26.5μm,晶粒度为7.5级。二次正火后工件的平均晶粒尺寸为9.5μm,晶粒度为10.5级。回火水冷结束后工件的平均晶粒尺寸为5.7μm,晶粒度介于12级与12.5级之间。微观组织为回火索氏体和少量屈氏体,硬度为

37.5HRC。抗拉强度1272MPa,屈服强度1055MPa,断后延伸率21.5%,强塑积27348MPa%。

[0121] 实施例3

[0122] 一种提高谐波减速器柔轮晶粒度的加工方法,包括如下步骤:

[0123] (1) 切割棒料。棒料选用40CrNiMoA中碳低合金钢。

[0124] (2) 加热。采用电磁感应加热,加热时间为11s,加热温度为1150℃。

[0125] (3) 镦粗。镦粗温度为1145℃。

[0126] (4) 模锻。始锻温度为1130℃,终锻温度为918℃,锻件壁厚为7.5mm。

[0127] (5) 风冷。模锻结束后,将工件置于网带上用风扇快速冷却,风冷速度即工件冷却速度为30℃/s,等冷却到500℃左右时再置于空气中自由冷却。

[0128] (6) 等温正火。将工件加热至900℃保温150min,然后将工件置于缓冷槽中缓冷,冷却到635℃时再将工件置于保温炉中在620℃保温150min,然后出炉空冷。保温炉采用高温回火炉。缓冷槽的冷却介质为循环自来水,冷却时间为140s。

[0129] (7) 粗加工。粗加工后工件壁厚为4.5mm。

[0130] (8) 二次正火。加热至860℃保温60min,然后出炉将工件置于网带上用风扇快速冷却,风冷速度为35℃/s,等冷却到500℃左右时再置于空气中自由冷却。

[0131] (9) 调质处理。

[0132] S1、预热。加热至500℃保温22min,预热在保温炉中进行,保温炉为高温回火炉。

[0133] S2、一次盐浴加热。将工件置于830℃熔盐中,等熔盐温度再次升到830℃时保温190s。熔盐主要成分为KCl、NaCl、KNO<sub>3</sub>和NaNO<sub>3</sub>的混合物。

[0134] S3、一次淬火。将一次盐浴加热的工件迅速转移至淬火槽中淬火,使用的淬火介质为专门配制的淬火液,淬火液主要成分为10号机油和水,机油水溶液浓度为6.5% (体积比),工件冷却速度为67℃/s。淬火前先开启搅拌设备,对淬火液进行搅拌。

[0135] S4、二次盐浴加热。将一次淬火的工件重复一次步骤S2的工艺流程。

[0136] S5、二次淬火。将二次盐浴加热的工件重复一次步骤S3的工艺流程。

[0137] S6、回火。预先将回火炉的温度升至400℃,然后将二次淬火的工件置于回火炉中继续加热至585℃保温4h。

[0138] S7、水冷至室温。将回火的工件置于自来水中冷却至室温。

[0139] 经过检测,模锻风冷后工件的平均晶粒尺寸为29μm,晶粒度为7.5级。二次正火后工件的平均晶粒尺寸为10.5μm,晶粒度为10.5级。回火水冷结束后工件的平均晶粒尺寸为5.3μm,晶粒度介于12级与12.5级之间。微观组织为回火索氏体与少量屈氏体,硬度为34.5HRC。抗拉强度1240MPa,屈服强度1010MPa,断后延伸率20.5%,强塑积25420MPa%。

[0140] 对比例1

[0141] 本对比实施例为国内多数公司在生产谐波减速器柔轮时采取的加工方法,其关键步骤如下:(1) 切割棒料。棒料选用40CrNiMoA中碳低合金钢。

[0142] (2) 加热。采用电磁感应加热,加热温度为1160℃。

[0143] (3) 模锻。始锻温度为1160℃,终锻温度为820℃。

[0144] (4) 正火。加热至870℃保温2h,然后出炉置于空气中自由冷却。

[0145] (5) 粗加工。粗加工后工件壁厚为5mm。

[0146] (6) 调质处理。

[0147] S1采用箱式多用炉在保护气氛下加热至860℃,保温2.5h。保护气氛为氮气和甲醇混合气体。

[0148] S2淬火。淬火介质为淬火油。

[0149] S3回火。室温时装炉,加热至600℃保温3h。

[0150] S4空冷至室温。将回火的工件置于空气中冷却至室温。

[0151] 经过检测,模锻后柔轮的平均晶粒尺寸为40μm,晶粒度为6.5级。正火后工件的平均晶粒尺寸为16.2μm,晶粒度为9级。调质结束后柔轮的平均晶粒尺寸为12.5μm,晶粒度介于9.5级与10级之间。微观组织为回火索氏体,硬度为36HRC。抗拉强度1095MPa,屈服强度975MPa,断后延伸率12%,强塑积13140MPa%。

[0152] 对比例2

[0153] 参见申请公布号为CN109280851A的中国发明专利,调质后柔轮晶粒度最高级别为10级。

[0154] 三、数据检测与分析

[0155] 1、参考《GB/T 6349-2017金属平均晶粒度测定方法》进行柔轮晶粒度的检测;

[0156] 2、参考《GB/T 228.1-2010金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》进行柔轮抗拉强度、屈服强度、断后延伸率的检测;

[0157] 3、参考《GB/T21143-2014金属材料准静态断裂韧度的统一试验方法》进行柔轮准静态断裂韧度(即强塑积)的检测。

[0158] 表1我司采用本发明生产的谐波减速器柔轮的性能与现有技术的比较

性能	晶粒度	抗拉强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	断后延伸率 (%)	强塑积 (MPa%)
[0159] 实施例 1	12.0~12.5	1265	1060	22	27830
实施例 2	12.0~12.5	1272	1055	21.5	27348
实施例 3	12.0~12.5	1240	1010	20.5	25420
对比例 1	9.5~10	1095	975	12	13140
对比例 2	10	—	—	—	—

[0160] 回火冷却后,柔轮的强塑积大于25000MPa%。表1为我司采用本发明生产的谐波减速器柔轮的性能与其他公司采用现有技术生产的柔轮性能进行对比的结果。本发明的热处理温度—时间曲线见图2。

[0161] 从表1数据可以看出,利用本申请中的加工方法对柔轮进行加工,有效的提升了柔轮的晶粒度,实施例1-3中的晶粒度均大于等于12,而抗拉强度、屈服强度、断后延伸率、强塑积相对于现有技术有了明显的提升。

[0162] 本具体实施方式的实施例均为本发明的较佳实施例,并非依此限制本发明的保护范围,故:凡依本发明的结构、形状、原理所做的等效变化,均应涵盖于本发明的保护范围之内。

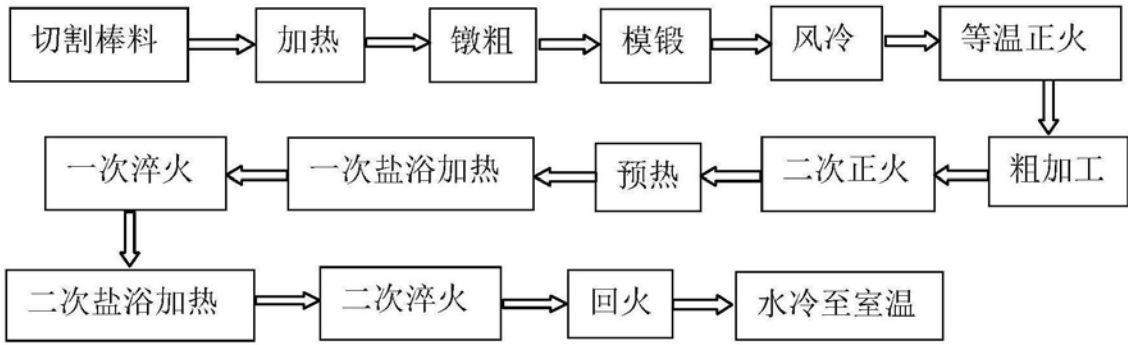


图1

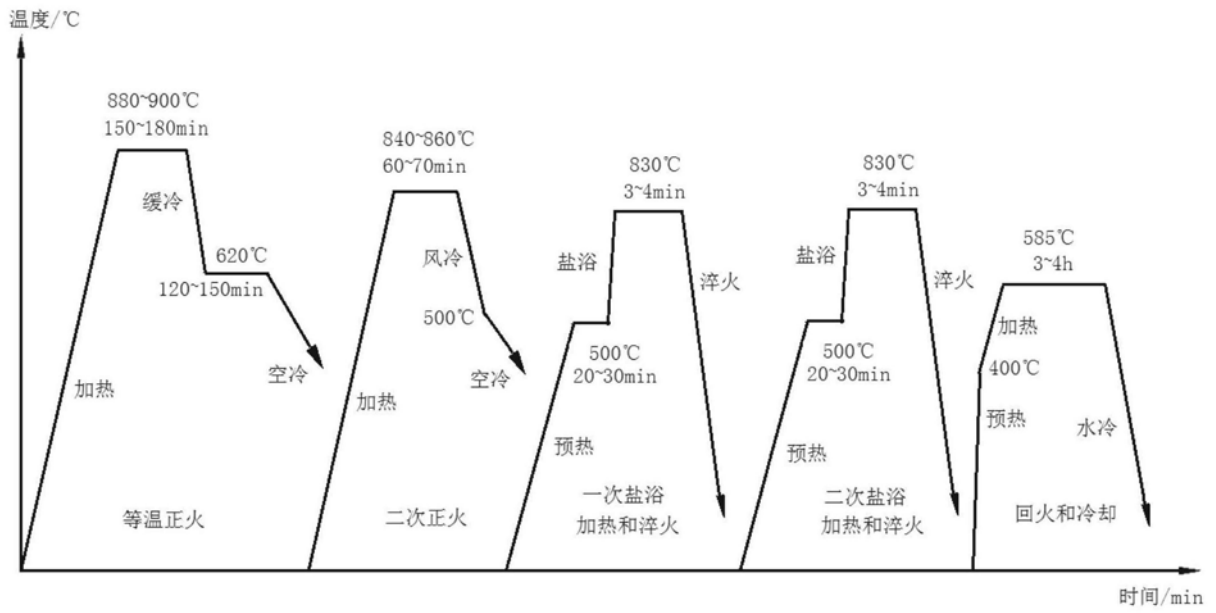


图2

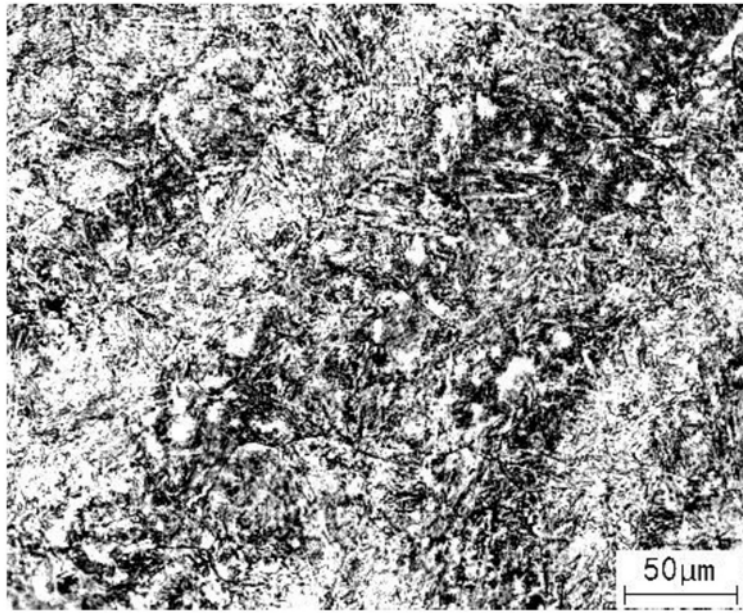


图3

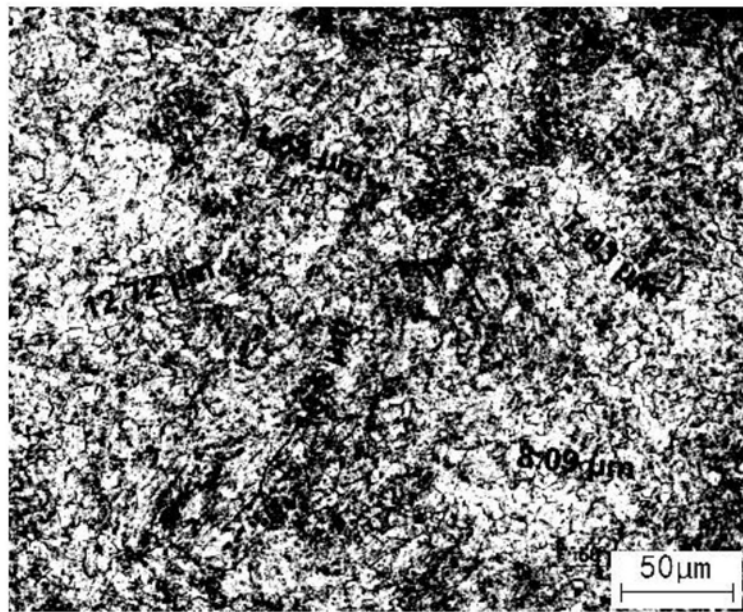


图4

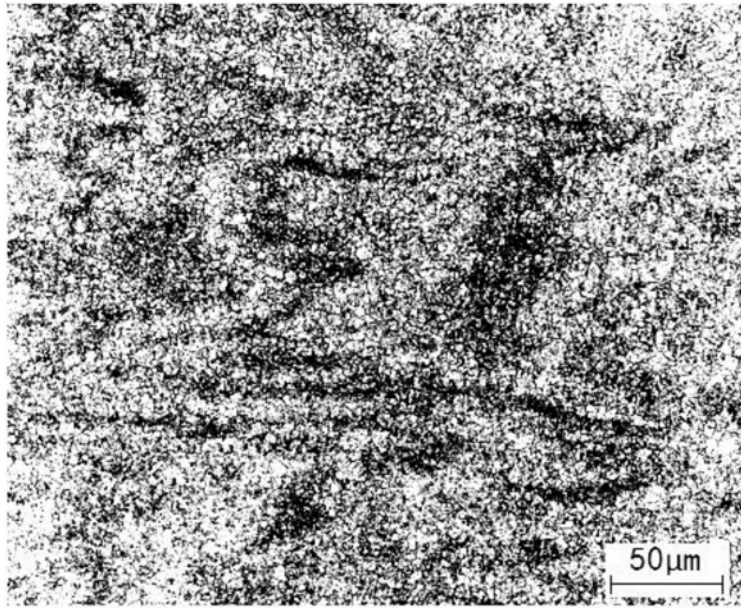


图5

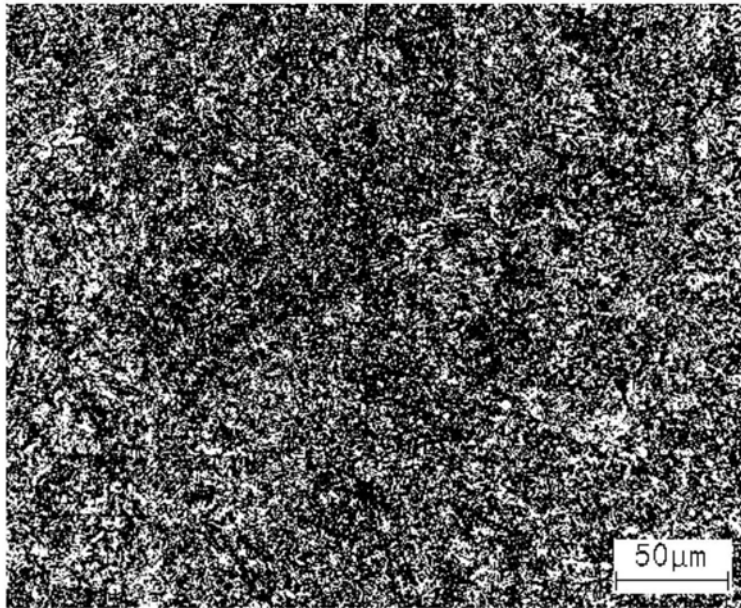


图6