



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 02154510.3

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1179059C

[22] 申请日 2002.9.18 [21] 申请号 02154510.3
 [30] 优先权
 [32] 2001.9.18 [33] JP [31] 2001-284046
 [32] 2001.9.18 [33] JP [31] 2001-284055
 [71] 专利权人 本田技研工业株式会社
 地址 日本东京都
 [72] 发明人 须藤公治
 审查员 王怀东

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
 商标事务所
 代理人 蔡胜有

权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 5 页

[54] 发明名称 Ni 基合金, Ni 基合金的制备方法
及锻模

[57] 摘要

首先对组成与 Inconel 718(注册商标)相同的未热处理的 Ni 基合金进行固溶处理, 然后使该 Ni 基合金在 610℃ - 660℃ 下一次时效处理 5 - 10 小时, 然后使该 Ni 基合金在 710℃ - 760℃ 下二次时效处理 5 - 10 小时。在该 Ni 基合金的金属显微结构中每 μm^2 有 700 和更多个沉淀物, 这些沉淀物的长直径都不小于 0.5nm。其中的一些沉淀物是平均直径为 25nm - 1 μm 的大沉淀物。每 μm^2 有 10 个和更多个大沉淀物。用该 Ni 基合金生产锻模 (10)。

1、一种 Ni 基合金，其含有下述元素：50-55%重量比的 Ni，17-21%重量比的 Cr，2.8-3.3%重量比的 Mo，总量 4.75-5.5%重量比的 Ta 和 Nb，条件是 Ta 不超过 0.1%重量比，0.65-1.15%重量比的 Ti，0.2-0.8%重量比的 Al，和作为余量的 Fe 及不可避免的杂质，

其中，在用电子束透射厚度已标准化为 10nm 的透射电子显微镜进行二维观察时，所述 Ni 基合金中包括每 μm^2 不少于 700 个的第一种沉淀物，所述第一种沉淀物的长直径都不小于 0.5nm；和

其中，在所述第一种沉淀物中包括平均直径为 25nm-1 μm 的第二种沉淀物，所述平均直径定义为：(长直径+短直径)/2。

2、根据权利要求 1 的 Ni 基合金，其还含有下述元素：不超过 0.08%重量比的 Co，不超过 0.01%重量比的 B，不超过 0.08%重量比的 Cu，不超过 0.08%重量比的 C，不超过 0.35%重量比的 Si，不超过 0.35%重量比的 Mn，不超过 0.015%重量比的 P，和不超过 0.015%重量比的 S。

3、根据权利要求 1 的 Ni 基合金，其中，所述第一种沉淀物中包括每 μm^2 不少于 10 个的第二种沉淀物。

4、根据权利要求 1 的 Ni 基合金，其中，所述第一种沉淀物和所述第二种沉淀物中至少含有一种 γ ”相。

5、根据权利要求 1 的 Ni 基合金，其中，在所述 Ni 基合金中基础金属的晶粒尺寸不小于 ASTM 中规定的 8 级。

6、根据权利要求 5 的 Ni 基合金，其中，其洛氏 C 标度硬度大于 40。

7、一种 Ni 基合金的生产方法，其中，在用电子束透射厚度已标准化为 10nm 的透射电子显微镜进行二维观察时，所述 Ni 基合金中包括每 μm^2 不少于 700 个的第一种沉淀物，每个第一种沉淀物的长直径都不小于 0.5nm，在所述第一种沉淀物中包括平均直径为 25nm-1 μm 的第二种沉淀物，所述平均直径定义为：(长直径+短直径)/2，所述生产方法包括：

对含有下述元素的未热处理的 Ni 基合金进行固溶处理：50-55%重量比的 Ni，17-21%重量比的 Cr，2.8-3.3%重量比的 Mo，总量 4.75-5.5%重量比的 Ta 和 Nb，条件是 Ta 不超过 0.1%重量比，0.65-1.15%重量比的 Ti，0.2-0.8%重量

比的 Al, 和作为余量的 Fe 及不可避免的杂质;

所述固溶处理后在第一温度下进行一次时效处理; 和
在比第一温度高的第二温度下进行二次时效处理, 其中
所述第一温度是 610-660℃, 所述第二温度是 710-760℃; 所述一次时效处
理和所述二次时效处理中的保温时间都是 5-10 小时。

8、根据权利要求 7 的方法, 其中, 所述未热处理的 Ni 基合金还含有下述
元素: 不超过 0.08%重量比的 Co, 不超过 0.01%重量比的 B, 不超过 0.08%重
量比的 Cu, 不超过 0.08%重量比的 C, 不超过 0.35%重量比的 Si, 不超过 0.35%
重量比的 Mn, 不超过 0.015%重量比的 P, 和不超过 0.015%重量比的 S。

9、根据权利要求 7 的方法, 其中, 所述第一种沉淀物和所述第二种沉淀物
中至少含有一种 γ ”相。

10、根据权利要求 7 的方法, 其中, 所述未热处理的 Ni 基合金中基础金属
的晶粒尺寸不小于 ASTM 中规定的 8 级。

11、一种由 Ni 基合金制成的锻模(10), 所述 Ni 基合金含有下述元素: 50-55%
重量比的 Ni, 17-21%重量比的 Cr, 2.8-3.3%重量比的 Mo, 总量 4.75-5.5%重
量比的 Ta 和 Nb, 条件是总计 Ta 不超过 0.1%重量比, 0.65-1.15%重量比的 Ti,
0.2-0.8%重量比的 Al, 和作为余量的 Fe 及不可避免的杂质,

其中, 在用电子束透射厚度已标准化为 10nm 的透射电子显微镜进行二维
观察时, Ni 基合金中包括每 μm^2 不少于 700 个的第一种沉淀物, 所述第一种沉
淀物的长直径都不小于 0.5nm; 和

在所述第一种沉淀物中包括平均直径为 25nm-1 μm 的第二种沉淀物, 所述
平均直径定义为: (长直径+短直径)/2。

12、根据权利要求 11 的锻模(10), 其中, 所述 Ni 基合金还含有下述元素:
不超过 0.08%重量比的 Co, 不超过 0.01%重量比的 B, 不超过 0.08%重量比的
Cu, 不超过 0.08%重量比的 C, 不超过 0.35%重量比的 Si, 不超过 0.35%重量
比的 Mn, 不超过 0.015%重量比的 P, 和不超过 0.015%重量比的 S。

13、根据权利要求 11 的锻模(10), 其中, 所述第一种沉淀物中包括每 μm^2
不少于 10 个的第二种沉淀物, 所述第二种沉淀物的所述平均直径均为
25nm-1 μm 。

14、根据权利要求 11 的锻模(10), 其中, 所述第一种沉淀物和所述第二种

沉淀物中至少含有一种 γ'' 相。

15、根据权利要求11的锻模(10)，其中，在所述Ni基合金中基础金属的晶粒尺寸不小于ASTM中规定的8级。

16、根据权利要求15的锻模(10)，其中，其洛氏C标度硬度大于40。

17、根据权利要求11的锻模(10)，其中，所述锻模(10)用于热锻。

18、根据权利要求16的锻模(10)，其中，所述锻模(10)用于热锻。

Ni 基合金, Ni 基合金的制备方法及锻模

技术领域

本发明涉及具有极好的强度、硬度和韧性的 Ni 基合金, Ni 基合金的制备方法及 Ni 基合金锻模。

背景技术

图 5 示出用于如汽车变速器上的齿轮 1。齿轮 1 具有大直径部分 2 和小直径部分 3, 小直径部分 3 的直径小于大直径部分 2 的直径。在小直径部分 3 的侧周壁上有外齿 4。

例如, 用热锻法生产齿轮 1。首先将由 SCR420H、SCM420H、HNCM 等(根据 JIS(日本工业标准))制成的环状工件(没有图示)加热到约 1100-1200℃。然后将环状工件置于模具中。然后用冲压机等挤压该工件, 使该工件塑性变形, 以具有对应于齿轮 1 的形状。在此过程中, 用模具上形成轮齿的部分在环状工件的侧周壁上形成外齿 4。在热锻时, 工件由于再结晶而软化。因此, 不会造成加工硬化。工件的延展性因此而得以提高, 所以这种工件易于加工。

包括高速工具钢和马氏体时效型不锈钢的用于热加工的模具钢广泛用作热锻模具的原材料, 这是因为用于热加工的模具钢便宜且易于形成各种形状。

当用上述热锻法生产齿轮 1 时, 模具的温度上升, 因为从环状工件向模具传热。模具温度约为 725℃, 瞬间就能达到约 1100℃。

因此, 当热锻法重复进行约 3000 次时, 模具将磨损并碎裂。如果使用这样的模具, 将形成尺寸偏离预定标准的不合格齿轮。因此, 应当使锻造机停止工作, 然后用新模具替换旧模具。

在该过程中, 由于锻造作业的中断而使得齿轮 1 的生产效率下降。另外, 因为经常替换模具而使得热锻设备费用昂贵。

因为普通热锻模具的使用寿命短, 所以难以提高锻造产品的生产效率。因此, 其加工成本很高。

发明内容

本发明的主要目的是提供一种因存在沉淀物而使其硬度、强度和韧性得到

提高的 Ni 基合金, 这种合金优选用作锻模的原材料; 提供一种 Ni 基合金的制备方法及 Ni 基合金锻模。

本发明提供的 Ni 基合金含有下述元素: 50-55%重量比的 Ni, 17-21%重量比的 Cr, 2.8-3.3%重量比的 Mo, 总量为 4.75-5.5%重量比的 Ta 和 Nb, 条件是 Ta 不超过 0.1%重量比, 0.65-1.15%重量比的 Ti, 0.2-0.8%重量比的 Al, 和作为残余物的 Fe 及不可避免的杂质。

在用电子束透射厚度已标准化为 10nm 的透射电子显微镜进行二维观察时, 该 Ni 基合金中包括每 μm^2 不少于 700 个的第一种沉淀物, 第一种沉淀物的长直径都不小于 0.5nm; 和

在第一种沉淀物中包括平均直径为 25nm-1 μm 的第二种沉淀物, 平均直径定义为: (长直径+短直径)/2。

该 Ni 基合金的组成与 Inconel 718(注册商标)的主要组分的组成相等。应当注意的是, 在组成与 Inconel 718 相同的商购 Ni 基合金的金属显微结构中并没有上述大沉淀物。

在该 Ni 基合金中, 金属显微结构中含有沉淀物和大沉淀物, 当 Ni 基合金中产生热应力时, 或将机械应力施加于 Ni 基合金时, 沉淀物和大沉淀物的存在显著抑制了热应力或机械应力的传递。因此, 本发明的 Ni 基合金具有极好的强度、硬度和韧性。换句话说, 本发明的 Ni 基合金是沉淀硬化合金。

本发明的 Ni 基合金还可以含有下述元素: 不超过 0.08%重量比的 Co, 不超过 0.01%重量比的 B, 不超过 0.08%重量比的 Cu, 不超过 0.08%重量比的 C, 不超过 0.35%重量比的 Si, 不超过 0.35%重量比的 Mn, 不超过 0.015%重量比的 P, 和不超过 0.015%重量比的 S。

在金属显微结构中优选每 μm^2 有 10 个或更多个大沉淀物。如果每 μm^2 有少于 10 个大沉淀物, 则大沉淀物不易抑制应力传递。因此, Ni 基合金的各种性能不能令人满意。

沉淀物和大沉淀物的组成主要是 Ni_3Nb , 即 γ'' 相。 γ'' 相能够改进等同于 Inconel 718 的 Ni 基合金的各种性能。沉淀物或大沉淀物中可以包括 $\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$, 即 γ' 相。

在金属显微结构中基础金属的晶粒尺寸优选不小于 ASTM(美国实验材料学会)中规定的 8 级。

在 ASTM 中, 晶粒尺寸的级别越大, 晶粒的平均横截面积越小。在本发明的 Ni 基合金中, 金属显微结构中基础金属的晶粒平均横截面积优选很小。在这种条件下, 应力更难以通过金属显微结构传递。因此, 各种性能能够得到进一步的改进。具体来说, 在许多情况下, Ni 基合金中洛氏 C 标度硬度都大于 40。

本发明的另一方面是提供一种 Ni 基合金的制备方法, 其中, 在用电子束透射厚度已标准化为 10nm 的透射电子显微镜进行二维观察时, Ni 基合金中包括每 μm^2 不少于 700 个的第一种沉淀物, 第一种沉淀物的长直径都不小于 0.5nm, 而且, 其中, 在第一种沉淀物中包括平均直径为 25nm-1 μm 的第二种沉淀物, 平均直径定义为: (长直径+短直径)/2, Ni 基合金的制备方法包括:

对含有下述元素的未热处理的 Ni 基合金进行固溶处理: 50-55%重量比的 Ni, 17-21%重量比的 Cr, 2.8-3.3%重量比的 Mo, 总量为 4.75-5.5%重量比的 Ta 和 Nb, 条件是 Ta 不超过 0.1%重量比, 0.65-1.15%重量比的 Ti, 0.2-0.8%重量比的 Al, 和作为残余物的 Fe 及不可避免的杂质;

固溶处理后在第一温度下进行一次时效处理; 和在比第一温度高的第二温度下进行二次时效处理。

在该制备方法中, 用组成与 Inconel 718(注册商标)的主要组分的组成相同的未热处理的 Ni 基合金作为原材料。固溶处理后, 在低温下进行一次时效处理, 在高温下进行二次时效处理。通常对组成与 Inconel 718 相同的未热处理的 Ni 基合金固溶处理后的时效处理是在高温下进行一次时效处理, 在低温下进行二次时效处理。但是, 在本发明的生产方法中, 在低温下进行一次时效处理, 在高温下进行二次时效处理。

当以上述顺序进行时效处理时, 可以得到在金属显微结构中每 μm^2 有 700 或更多个长直径不小于 0.5nm 的沉淀物的 Ni 基合金, 其中的一些沉淀物是平均直径为 25nm-1 μm 的大沉淀物。在组成与 Inconel 718 相同的商购 Ni 基合金的金属显微结构中没有上述大沉淀物。

未热处理的 Ni 基合金还可以含有下述元素: 不超过 0.08%重量比的 Co, 不超过 0.01%重量比的 B, 不超过 0.08%重量比的 Cu, 不超过 0.08%重量比的 C, 不超过 0.35%重量比的 Si, 不超过 0.35%重量比的 Mn, 不超过 0.015%重量比的 P, 和不超过 0.015%重量比的 S。

为了在金属显微结构中得到不少于 10 个/ μm^2 的大沉淀物, 优选在 610-660

℃下进行一次时效处理，在 710-760℃下进行二次时效处理。

当分别在上述温度范围内进行时效处理时，沉淀物和大沉淀物的组成主要是 Ni_3Nb ，即 γ'' 相。 γ'' 相能够改进等同于 Inconel 718 的 Ni 基合金的各种性能。当然，沉淀物或大沉淀物中可以包括 $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ ，即 γ' 相。

为了沉淀出具有使 Ni 基合金获得所要求各种性能所需的平均直径和密度的沉淀物和大沉淀物，一次时效处理和二次时效处理中的保温时间优选都是 5-10 小时。

在未热处理的 Ni 基合金中基础金属的晶粒尺寸优选不小于 ASTM 中规定的 8 级。

本发明的另一方面是提供一种由 Ni 基合金制成的锻模，该 Ni 基合金含有下述元素：50-55%重量比的 Ni，17-21%重量比的 Cr，2.8-3.3%重量比的 Mo，4.75-5.5%重量比的 Ta 和 Nb，条件是 Ta 不超过 0.1%重量比，0.65-1.15%重量比的 Ti，0.2-0.8%重量比的 Al，和作为残余物的 Fe 及不可避免的杂质，

其中，在用电子束透射厚度已标准化为 10nm 的透射电子显微镜进行二维观察时，Ni 基合金中包括每 μm^2 不少于 700 个的第一种沉淀物，第一种沉淀物的长直径都不小于 0.5nm，在第一种沉淀物中包括平均直径为 25nm-1 μm 的第二种沉淀物，平均直径定义为：(长直径+短直径)/2。

本发明的锻模由上述 Ni 基合金制成。换句话说，这种锻模具有极好的强度、硬度和韧性。因此，即使重复进行锻造，这种模具也几乎不会磨损和碎裂。所以将大大减少替换模具的频率。模具需要的成本因此而降低。所以能够降低进行锻造的设备成本。另外，中断锻造作业的次数也减少。因此，锻造产品的生产效率也能够提高。

本发明锻模的 Ni 基合金还可以含有下述元素：不超过 0.08%重量比的 Co，不超过 0.01%重量比的 B，不超过 0.08%重量比的 Cu，不超过 0.08%重量比的 C，不超过 0.35%重量比的 Si，不超过 0.35%重量比的 Mn，不超过 0.015%重量比的 P，和不超过 0.015%重量比的 S。

如上所述，考虑到要可靠地抑制应力传递，优选每 μm^2 中有 10 个或更多个大沉淀物。

模具具有各种优异性能的原因是沉淀物和大沉淀物中含有 γ'' 相，当然可以含有 γ' 相。

在锻模的 Ni 基合金中, 金属显微结构中基础金属的晶粒尺寸优选不小于 ASTM 中规定的 8 级。在这种条件下, 锻模的各种性能更为优异。例如, 锻模的洛氏 C 标度硬度大于 40。

这种模具可用于热锻。在这种情况下, 因为 Ni 基合金的金属显微结构中沉淀出新的沉淀物, 所以模具能够保持各种良好性能。因此, 锻模的使用寿命得以延长。

通过阅读下述说明书并参照附图, 本发明的上述和其它目的、特征和优点将更为明显, 所述附图中, 用说明性实施例示出了本发明的优选实施方案。

附图简述

图 1 是根据本发明的一个实施方案的锻模的垂直横截面的示意性透视图;

图 2 是图 1 所示锻模的平面图;

图 3 说明沉淀物(大沉淀物)的长直径和短直径的定义;

图 4 示出本发明一个实施方案中的 Ni 基合金的生产方法的流程图; 和

图 5 是在小直径部分上有外齿的完整齿轮的示意性透视图。

优选实施方案描述

首先说明根据本发明一个实施方案的 Ni 基合金及用该 Ni 基合金生产的锻模。

图 1 是锻模 10 的垂直横截面的示意性透视图; 图 2 是图 1 所示锻模 10 的平面图。基本上圆柱形的锻模 10 是用于形成图 5 所示齿轮 1 的模具。锻模 10 优选用于热锻。

如图 1 和 2 所示, 锻模 10 有一个大直径通孔 12 和一个与大直径通孔 12 相比为小直径的通孔 14, 大直径通孔 12 在锻模 10 的下端面开孔, 大直径通孔 12 与小直径通孔 14 垂直相通, 在锻模 10 的上端面上形成用于连接锻模 10 和锻造机(图中未示出)的圆柱形凹槽 16。

特别之处是, 在小通孔 14 的内周壁的下端有多个彼此以相同间距隔开的形成轮齿的沟槽 18。形成齿轮 1 的外齿 4 时(参见图 5), 环状工件材料流入形成轮齿的沟槽 18(参见图 1 和 2)。

锻模 10 是用组成等同于 Inconel 718 的 Ni 基合金制成的, 该 Ni 基合金含有下述元素: 50-55%重量比的 Ni, 17-21%重量比的 Cr, 2.8-3.3%重量比的 Mo, 4.75-5.5%重量比的 Ta 和 Nb, 条件是 Ta 不超过 0.1%重量比, 0.65-1.15%

重量比的 Ti, 0.2-0.8%重量比的 Al, 不超过 0.08%重量比的 Co, 不超过 0.01%重量比的 B, 不超过 0.08%重量比的 Cu, 不超过 0.08%重量比的 C, 不超过 0.35%重量比的 Si, 不超过 0.35%重量比的 Mn, 不超过 0.015%重量比的 P, 和不超过 0.015%重量比的 S, 和作为残余物的 Fe 及不可避免的杂质。根据电子显微镜等的观察结果, Ni 基合金的金属显微结构中存在分散在基础金属中的沉淀物。

特别之处是, 基础金属的晶粒尺寸是 ASTM 中规定的 8 级。换句话说, 晶粒的平均横截面积约为 0.00049mm^2 。

另一方面, 至于本发明实施方案中的沉淀物, 在金属显微结构中每 μm^2 (平方微米) 约有 1100 个长直径不小于 0.5nm 的沉淀物。该值略低于等同于 Inconel 718 的商购 Ni 基合金, 在商购 Ni 基合金中, 每 μm^2 约有 2100 个沉淀物。

用透射电子显微镜的观察结果决定沉淀物的比例。当用透射电子显微镜观察 Ni 基合金样品时, 用二维平面视场中出现的金属显微结构中的沉淀物密度计算该比例。

沉淀物的密度随样品厚度变化。原因在于: 在样品的厚度方向(电子束的透射方向)上处于相互不同的高度的所有沉淀物都会出现在视场中。例如, 当样品厚度加倍时, 沉淀物的密度也加倍。

因此, 在本发明的实施方案中, 通过将样品厚度(电子束透射厚度)标准化为 10nm 来计算密度。例如, 当样品厚度是 15nm 时, 沉淀物的比例是这样计算的: 透射电子显微镜视场中出现的金属显微结构中的沉淀物密度除以 1.5。同样, 当电子束透射厚度是 20nm 时, 金属显微结构中的沉淀物密度除以 2。

如图 3 所示, 本申请中涉及的长直径定义为间距 x 除以测量放大倍数所得到的值, 其中, 当透射电子显微镜(TEM)拍摄的沉淀物的纵向两端插入两个平行线 L1、L2 之间时, 最大距离就是间距 x 。另一方面, 当沉淀物插入与平行线 L1、L2 垂直的平行线 M1、M2 之间时得到的最大距离就是图 3 中的 y , y 除以测量放大倍数所得到的值就是短直径。

一些沉淀物是平均直径为 25nm- $1\mu\text{m}$ 的大沉淀物, 平均直径用下面的式(1)定义:

$$\text{平均直径} = (\text{长直径} + \text{短直径}) / 2 \quad (1)$$

在这种情况下, 在金属显微结构中每 μm^2 约有 15 个大沉淀物。平均直径大

于 $1\mu\text{m}$ 的巨大沉淀物不能使锻模的各种性能有大的改进。

大沉淀物的粒度分布较窄。换句话说，这些大沉淀物的平均直径基本上相同。

在用等同于 Inconel 718 的 Ni 基合金制成的商购产品中根本不存在具有所述大平均直径的大沉淀物。在普通 Ni 基合金的金属显微结构中不存在的沉淀物却包含在形成本发明实施方案的锻模 10 的 Ni 基合金的金属显微结构中。

几乎所有的沉淀物和大沉淀物的组成都是 Ni_3Nb (γ'' 相)。沉淀物或大沉淀物中可以包括组成为 $\text{Ni}_3(\text{Al,Ti})$ 的 γ' 相。

如上所述，本发明实施方案的锻模 10 由 Ni 基合金制成，该 Ni 基合金的金属显微结构中含有与商购产品中的沉淀物相比更大且主要是 γ'' 相的沉淀物。换句话说，该 Ni 基合金是沉淀硬化合金，该合金具有极好的硬度、强度和韧性。如上所述，该 Ni 基合金的金属显微结构中沉淀物的比例略低于商购产品。

与其中的基础金属颗粒的晶粒尺寸小于 ASTM 中规定的 8 级的锻模，即具有大颗粒尺寸密度的锻模相比，锻模 10 的洛氏 C 标度硬度(HRC)高。具体来说，大粒度密度的锻模的 HRC 最大是 40。相反，本发明实施方案的锻模 10 的 HRC 大于 40。具有所述高硬度的该锻模具有良好的耐磨性。因此，该锻模具有长的使用寿命。

接下来说明本发明实施方案的 Ni 基合金的生产方法。如流程图 4 所示，该生产方法包括对未热处理的 Ni 基合金进行固溶处理的第一个步骤 S1、进行一次时效处理的第二个步骤 S2 和进行二次时效处理的第三个步骤 S3。

至于本发明实施方案的未热处理的 Ni 基合金，选择的未热处理的 Ni 基合金中的晶粒尺寸为 ASTM 中的 8 级且其组成等同于 Inconel 718。在第一个步骤 S1 中对未热处理的 Ni 基合金进行固溶处理，以在合金的基础金属中形成溶质原子的固溶体。这一步骤的处理条件可以是：温度约为 $980-1000^\circ\text{C}$ ，保温时间约为 1.5-2 小时。

然后在第二个步骤 S2 中通过一次时效处理沉淀出沉淀物。对组成等同于 Inconel 718 的未热处理的 Ni 基合金进行一次时效处理的温度范围优选为 $610-660^\circ\text{C}$ 。当设定上述温度范围时，在基础金属晶粒和晶粒边界处将浓密地沉淀出小沉淀物(主要是 γ'' 相)。如果温度低于 610°C ，很少沉淀出沉淀物，因为产生的晶核数目少。因此，成品 Ni 基合金的金属显微结构中大沉淀物的密度难

以达到 10 个/ μm^2 ，并且，难以改进 Ni 基合金及其制成的锻模 10 的各种性能。另一方面，如果温度高于 660℃，则形成大的晶核。结果导致平均直径大于 1 μm 的巨大沉淀物的比例增加。如上所述，巨大沉淀物不能使 Ni 基合金(锻模 10)的各种性能有大的改进。另外在这种情况下，不容易改进 Ni 基合金(锻模 10)的各种性能。优选温度为 630℃。

一次时效处理的保温时间优选为 5-10 小时。如果保温时间少于 5 小时，则形成的晶核数目少。另一方面，即使处理时间超过 10 小时，Ni 基合金的各种性能也不会有大的改进。因此，这样的处理是不经济的。另外，成品锻模 10 的生产效率下降。优选的保温时间为 8 小时。

然后在第三个步骤 S3 中进行二次时效处理。二次时效处理使一次时效处理中沉淀的沉淀物长大，成为大沉淀物。另外，也会形成新的晶核并长大。因此，可以得到在金属显微结构中分散有前面定义的沉淀物和大沉淀物的 Ni 基合金。

在二次时效处理中，优选的温度范围为 710-760℃，优选的保温时间为 5-10 小时。如果温度低于 710℃和/或保温时间少于 5 小时，则难以得到大沉淀物，因为沉淀物生长不充分。如果温度高于 760℃和/或保温时间超过 10 小时，则平均直径大于 1 μm 的巨大沉淀物的比例很大，因为晶核生长很大。这两种情况都难以改进 Ni 基合金(锻模 10)的各种性能。优选的温度为 740℃，优选的保温时间为 8 小时。

对得到的上述 Ni 基合金进行各种加工工序可以生产出锻模 10。

用装备有锻模 10 的锻造机进行热锻，方法如下：首先将由 SCR420H、SCM420H、HNCM 等制成的环状工件(没有图示)加热到约 1100-1200℃。然后将环状工件置于锻模 10 的大通孔 12 中。在该工序中，环状工件置于大通孔 12 的底部。

然后用冲杆(没有图示)挤压环状工件。挤压使环状工件的材料流入小通孔 14。另外，进入小通孔 14 的部分材料流入形成轮齿的沟槽 18。插入小通孔 14 的销钉(没有图示)使该材料的流动停止。

在该工序中，热量从环状工件传递到锻模 10。锻模 10 难以膨胀，因为锻造机在锻模 10 周围紧固有多个支撑件。因此在锻模 10 中产生热应力。但是，如上所述，在锻模 10 的 Ni 基合金的金属显微结构中分散有平均直径基本相同的大沉淀物。另外，金属显微结构中含有合适密度的沉淀物。因此，沉淀物和

大沉淀物(主要是 γ'' 相)大大抑制了Ni基合金(锻模10)中热应力的传递。

简而言之,锻模10由因为金属显微结构中含有沉淀物和大沉淀物而使其硬度、强度及韧性都改进的Ni基合金制成。因此,对热应力的抵抗力很高,该模具不易磨损和碎裂。具体来说,可以重复热锻约14700次。用由本发明的实施方案的生产方法得到的Ni基合金制成的锻模10的使用寿命约为普通锻模的五倍。

在热锻过程中,从环状工件传来的热使锻模10的温度升高。如上所述,锻模10的Ni基合金是在610-660℃下一次时效处理5-10小时、然后在710-760℃下二次时效处理5-10小时得到的合金。因此,沉淀物没有完全沉淀。因此在热锻过程中,Ni基合金的金属显微结构中新沉淀出附加沉淀物。新沉淀的沉淀物使Ni基合金的硬度、强度及韧性得到进一步改进。锻模10的使用寿命显著延长。

锻模10具有高的耐磨性,原因在于其HRC大于40。因此,使用寿命得以进一步延长。

用由本发明的实施方案的生产方法得到的Ni基合金制成的锻模10很少磨损和碎裂。因此,替换锻模10的频率极低。因此,没有必要制备大量备用锻模。因此,可以降低锻造作业需要的费用。

中断锻造作业的频率也很小,因为替换锻模10的频率小。因此,齿轮1的生产效率高。

在上述锻造工序中,流入小通孔14的材料形成小直径部分3,流入形成轮齿的沟槽18的材料形成外齿4。在大通孔12中形成直径拓宽至通孔12的直径的大直径部分2。这样就得到成品齿轮1。

在上述实施方案中,锻模10用于热锻。锻模10也可以用于冷锻。

在上述实施方案中,Ni基合金应用于锻模10。该Ni基合金也可用于生产结构部件如涡轮机叶片或其它结构部件。

虽然已经参照优选实施方案对本发明进行了特定演示和说明,但是应当理解的是,在不背离所附权利要求书所限定的精神和保护范围的情况下,本领域普通技术人员能够对其进行一些变化和改进。

图1

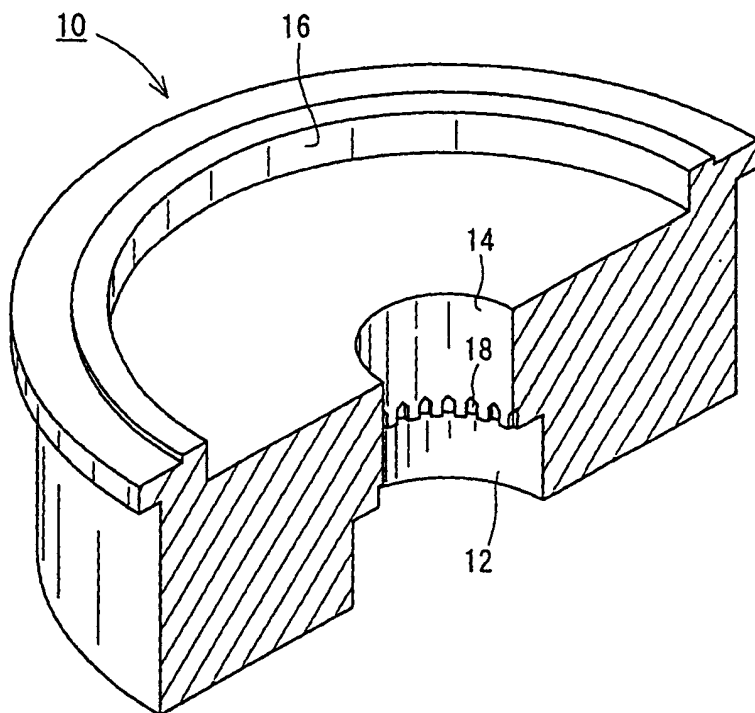


图2

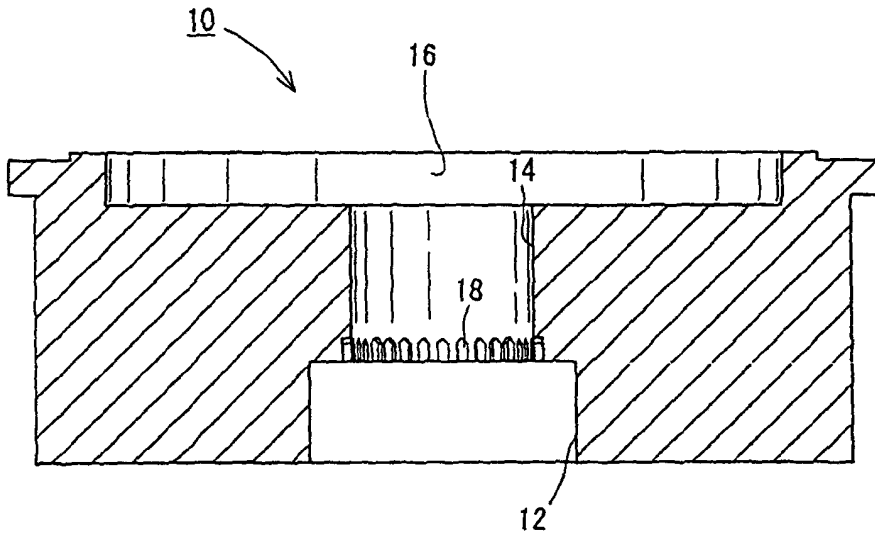
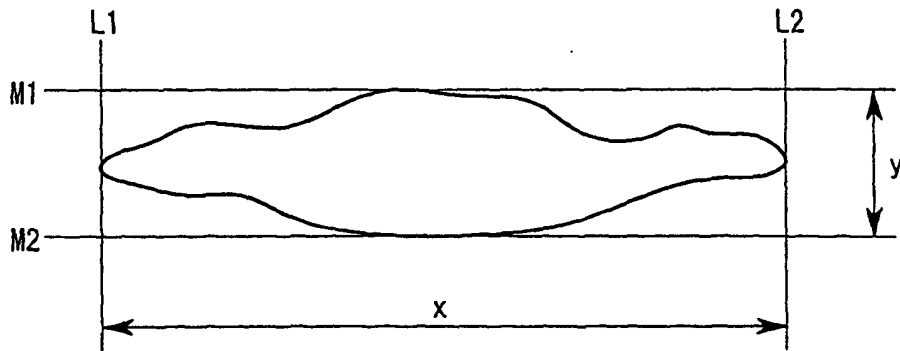


图3



$$\text{长直径} = \frac{x}{\text{测量放大倍数}}$$

$$\text{短直径} = \frac{y}{\text{测量放大倍数}}$$

图4

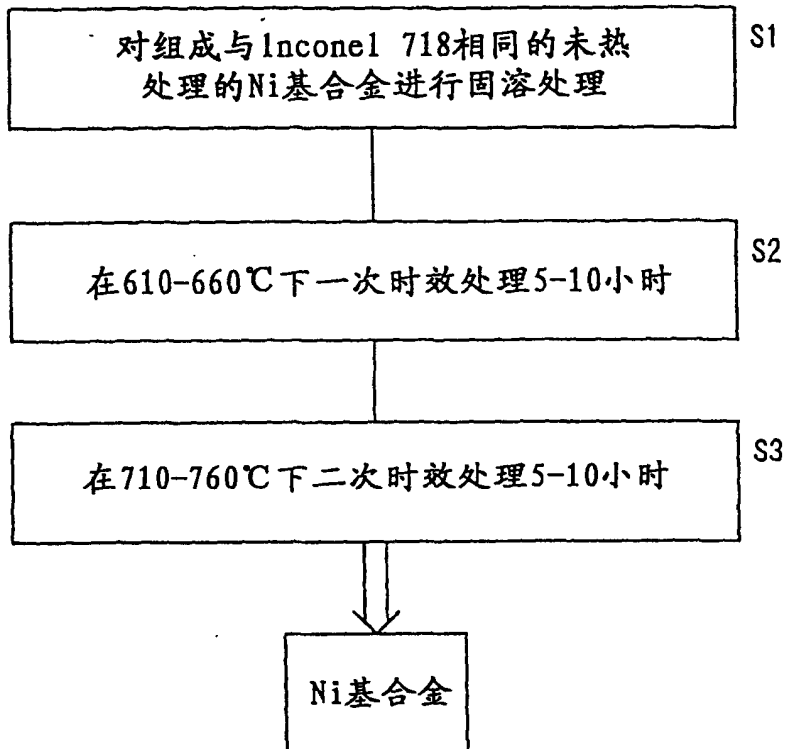


图5

