

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C22C 38/04 (2006.01)

C21D 8/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200310122282.4

[45] 授权公告日 2007 年 1 月 10 日

[11] 授权公告号 CN 1294288C

[22] 申请日 2003.12.4

[21] 申请号 200310122282.4

[30] 优先权

[32] 2002.12.5 [33] FR [31] 02/15380

[73] 专利权人 阿斯克迈塔尔公司

地址 法国库伯瓦

[72] 发明人 马克·罗贝莱特

[56] 参考文献

CN1245220A 2000.2.23 C22C38/08

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 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

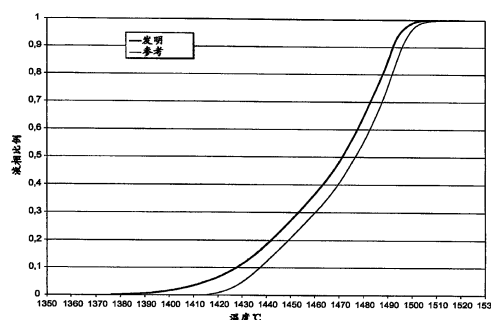
[54] 发明名称

机械结构用钢，热 - 成形该钢零件的方法和由此而得的零件

[57] 摘要

本发明涉及一种用于机械结构的钢，其特征在于其以重量百分比计的成分为： $0.35\% \leq C \leq 1.2\%$ ； $0.10\% \leq Mn \leq 2.0\%$ ； $0.10\% \leq Si \leq 3.0\%$ ；痕量 $\leq Cr \leq 4.5\%$ ；痕量 $\leq Mo \leq 2.0\%$ ；痕量 $\leq Ni \leq 4.5\%$ ；痕量 $\leq V \leq 0.5\%$ ；痕量 $\leq Cu \leq 3.5\%$ ，如果 $Cu \geq 0.5\%$ ，则 $Cu \leq Ni\% + 0.6Si\%$ ；痕量 $\leq P \leq 0.200\%$ ，痕量 $\leq Bi \leq 0.200\%$ ，痕量 $\leq Sn \leq 0.150\%$ ，痕量 $\leq As \leq 0.100\%$ ，痕量 $\leq Sb \leq 0.150\%$ ，且 $0.050\% \leq P\% + Bi\% + Sn\% + As\% + Sb\% \leq 0.200\%$ ，痕量 $\leq Al \leq 0.060\%$ ；痕量 $\leq Ca \leq 0.050\%$ ；痕量 $\leq B \leq 0.01\%$ ；痕量 $\leq S \leq 0.0200\%$ ；痕量 $\leq Te \leq 0.020\%$ ；痕量 $\leq Se \leq 0.040\%$ ；痕量 $\leq Pb \leq 0.070\%$ ；痕量 $\leq Nb \leq 0.050\%$ ；痕量 $\leq Ti \leq 0.050\%$ ；余量为铁和来自加

工中的杂质。本发明还涉及一种热 - 成形钢零件的方法，以及由触变锻造钢制成的零件。



1. 用于机械结构的钢, 特征在于其以重量百分数表示的组分为:
- $0.35\% \leq C \leq 1.2\%$
 - 5 - $0.10\% \leq Mn \leq 2.0\%$
 - $0.10\% \leq Si \leq 3.0\%$
 - 痕量 $\leq Cr \leq 4.5\%$
 - 痕量 $\leq Mo \leq 2.0\%$
 - 痕量 $\leq Ni \leq 4.5\%$
 - 10 - 痕量 $\leq V \leq 0.5\%$
 - 痕量 $\leq Cu \leq 3.5\%$, 如果 $Cu > 0.5\%$, 则 $Cu \leq Ni\% + 0.6Si\%$
 - 痕量 $\leq P \leq 0.200\%$, 痕量 $\leq Bi \leq 0.200\%$, 痕量 $\leq Sn \leq 0.150\%$, 痕量 $\leq As \leq 0.100\%$, 痕量 $\leq Sb \leq 0.150\%$, 且 $0.050\% \leq P\% + Bi\% + Sn\% + As\% + Sb\% \leq 0.200\%$,
 - 15 - 痕量 $\leq Al \leq 0.060\%$
 - 痕量 $\leq Ca \leq 0.050\%$
 - 痕量 $\leq B \leq 0.01\%$
 - 痕量 $\leq S \leq 0.0200\%$
 - 痕量 $\leq Te \leq 0.020\%$
 - 20 - 痕量 $\leq Se \leq 0.040\%$
 - 痕量 $\leq Pb \leq 0.070\%$
 - 痕量 $\leq Nb \leq 0.050\%$
 - 痕量 $\leq Ti \leq 0.050\%$
- 余量为铁和来自加工中的杂质。
- 25 2. 如权利要求1的钢, 特征在于其硅的含量是 $0.10\% \sim 1.0\%$.
3. 如权利要求1或2的钢, 特征在于 $Mn\%/Si\%$ 的比大于或等于 0.4.
4. 热-成形钢零件的方法, 特征在于:
- 得到的钢的坯料具有以下成分, 按重量百分数;
- $0.35\% \leq C \leq 1.2\%$
 - 30 - $0.10\% \leq Mn \leq 2.0\%$,

- $0.10\% \leq \text{Si} \leq 3.0\%$,
 - 痕量 $\leq \text{Cr} \leq 4.5\%$
 - 痕量 $\leq \text{Mo} \leq 2.0\%$
 - 痕量 $\leq \text{Ni} \leq 4.5\%$
 - 5 - 痕量 $\leq \text{V} \leq 0.5\%$
 - 痕量 $\leq \text{Cu} \leq 3.5\%$, 如果 $\text{Cu} > 0.5\%$, 则 $\text{Cu} \leq \text{Ni}\% + 0.6\text{Si}\%$
 - 痕量 $\leq \text{P} \leq 0.200\%$, 痕量 $\leq \text{Bi} \leq 0.200\%$, 痕量 $\leq \text{Sn} \leq 0.150\%$, 痕量 $\leq \text{As} \leq 0.100\%$, 痕量 $\leq \text{Sb} \leq 0.150\%$, 且 $0.050\% \leq \text{P}\% + \text{Bi}\% + \text{Sn}\% + \text{As}\% + \text{Sb}\% \leq 0.200\%$,
 - 10 - 痕量 $\leq \text{Al} \leq 0.060\%$
 - 痕量 $\leq \text{Ca} \leq 0.050\%$
 - 痕量 $\leq \text{B} \leq 0.01\%$
 - 痕量 $\leq \text{S} \leq 0.0200\%$
 - 痕量 $\leq \text{Te} \leq 0.020\%$
 - 15 - 痕量 $\leq \text{Se} \leq 0.040\%$
 - 痕量 $\leq \text{Pb} \leq 0.070\%$
 - 痕量 $\leq \text{Nb} \leq 0.050\%$
 - 痕量 $\leq \text{Ti} \leq 0.050\%$
- 余量为铁和来自加工中的杂质;
- 20 - 如果需要, 可对坯料进行加热处理, 以获得球形原始结构;
- 在固体部分具有球形结构的条件下, 将其加热到其固相线温度和其液相线温度之间的中间温度;
- 将所述坯料触变锻造以获得所述零件;
- 将所述零件进行冷却。
- 25 5. 如权利要求 4 的方法, 其特征在于 $\text{Mn}\%/\text{Si}\% \geq 0.4$.
6. 如权利要求 4 或 5 的方法, 其特征在于 $0.10\% \leq \text{Si} \leq 1.0\%$.
7. 如权利要求 4 的方法, 特征在于所述触变锻造在坯料中存在的液体物质部分在 $10 \sim 40\%$ 的温度区域进行。

机械结构用钢，热-成形该钢零件
的方法和由此而得的零件

5

本发明涉及铁和钢的冶金，更确切地，涉及由钢制成的零件的制造，该钢特别地可以用于机械结构，并用已知的“触变锻造”（thixoforging）工艺成形。

触变锻造属于半-固态金属成形的工艺范畴。

10 该工艺由加热至固相线和液相线之间的坯料产生大幅度的变形工艺组成。

用于该工艺的钢是那些常规用于热-锻造的，并且如果必要，预先进行冶金操作的钢，该冶金操作由球化常规为树枝状的原始组织组成。事实上，这些树枝状原始组织是不能适用于触变锻造操作的。在加热到固相线和液相线间温度的过程中，存在于树枝晶和树枝晶间隙之间的微观偏析就会使得钢的熔化优先发生在这些树枝晶间隙间。在这些液体和固体内部生长的成形操作期间，液相在施加力初始的第一阶段就会被挤出。因此有必要使固相和液相的残余变形以最大限度的从固相中分离，这就会导致力的增加。在此条件下进行的变形操作得到的结果较差：大幅度偏析，内部缺陷。

20 另一方面，当触变锻造用于通过加热到液相线和固相线之间温度而使其达到半-固体状态的球形结构钢时，液相中的球形固体颗粒分布较均匀。通过优化固体/液体比的选择，就可能得到在相当大剪切应力的作用下具有高变形率的材料。它因此而具有较高的可变形能力。

25 然而在这样的条件下，可能在触变锻造前的加热过程中就能得到所需的球形结构，而不必要进行球化分离原始结构的操作。特别的，当在由来自连铸初轧坯和钢锭的轧制条材制成的坯料上操作时就是这种情况。钢承受的多重再加热和大幅度变形会导致叠层和弥散结构，其中原始结构实际上是不可能呈现的。它可以在触变锻造前的加热期间得到球形结构的固相。

30 因此，与常规的热-锻造方法相比，触变锻造可以采用一个单一的变形操作生产可能具有低成形力的薄壁（1mm或更少）的复杂几何形状的零件。事实上，在外部压力的作用下，适于触变锻造操作的钢的行为与粘性液体相同。

对于机械结构用钢来说, 其中的碳含量可以从 0.2% 至 1.1% 变化, 通过触变锻造工艺变形所必需的加热温度, 举例来说, 对于 100Cr6 钢种是 $1430^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C} = 1480^{\circ}\text{C}$ (测定的固相线温度 + 50°C 以得到变形所必需的好的液相/固相比) 和 $1315^{\circ}\text{C} + 50^{\circ}\text{C} = 1365^{\circ}\text{C}$ 。

- 5 加热温度和形成液相的量是触变锻造工艺的重要参数。得到“好”温度的容易程度和限制液相量的变化的离散此温度的范围取决于凝固范围。凝固范围越大, 控制加热参数越容易。

例如, 此凝固范围对于 C38 钢种是 110°C , 对于 100Cr6 钢种是 172°C 。因此处理具有低固相线温度 1315°C 和大凝固范围 172°C 的后一钢种就较容易。

- 10 触变锻造工艺中所用的非常高的成形温度、大的变形率导致在常见的极端情况下变形工具上的热应力。这就会导致使用热态时具有很高机械性能的合金或陶瓷材料的那些工具。制造一定几何体或大体积工具 (插入件) 的难度和生产它们的成本减缓了触变锻造工艺的发展。

- 15 本发明的目的是提出新钢种, 它比那些常规使用的钢种能更好地适用于触变锻造, 因为它们可以减小变形工具上的应力。而且, 这些新钢种不会降低制得零件的机械性能。

为此目的, 本发明涉及一种机械结构用钢, 特征在于其组成 (重量百分数) 是:

- $0.35\% \leq C \leq 1.2\%$
- 20 - $0.10\% \leq \text{Mn} \leq 2.0\%$
- $0.10\% \leq \text{Si} \leq 3.0\%$
- 痕量 $\leq \text{Cr} \leq 4.5\%$
- 痕量 $\leq \text{Mo} \leq 2.0\%$
- 痕量 $\leq \text{Ni} \leq 4.5\%$
- 25 - 痕量 $\leq \text{V} \leq 0.5\%$
- 痕量 $\leq \text{Cu} \leq 3.5\%$, 如果 $\text{Cu} \geq 0.5\%$, 则 $\text{Cu} \leq \text{Ni}\% + 0.6\text{Si}\%$
- 痕量 $\leq \text{P} \leq 0.200\%$, 痕量 $\leq \text{Bi} \leq 0.200\%$, 痕量 $\leq \text{Sn} \leq 0.150\%$, 痕量 $\leq \text{As} \leq 0.100\%$, 痕量 $\leq \text{Sb} \leq 0.150\%$, 且 $0.050\% \leq \text{P}\% + \text{Bi}\% + \text{Sn}\% + \text{As}\% + \text{Sb}\% \leq 0.200\%$,
- 30 - 痕量 $\leq \text{Al} \leq 0.060\%$

- 痕量 $\leq$ Ca $\leq$ 0.050%
- 痕量 $\leq$ B $\leq$ 0.01%
- 痕量 $\leq$ S $\leq$ 0.0200%
- 痕量 $\leq$ Te $\leq$ 0.020%
- 5 - 痕量 $\leq$ Se $\leq$ 0.040%
- 痕量 $\leq$ Pb $\leq$ 0.070%
- 痕量 $\leq$ Nb $\leq$ 0.050%
- 痕量 $\leq$ Ti $\leq$ 0.050%

余量为铁和来自加工中的杂质。

- 10 根据本发明的变化, 其Si含量为0.10%~1.0%。

Mn%/Si%的比优选大于或等于0.4。

本发明还涉及一种热-成形钢零件的方法, 特征在于:

- 获得具有前述成分的钢坯;
- 如果需要, 对钢坯进行热处理, 以使其获得球形原始结构;
- 15 - 在固体部分具有球形结构的条件下, 将其加热到其固相线温度和液相线温度之间的中间温度;
- 对所述坯料进行触变锻造以得到所述零件;
- 对所述零件进行冷却。

- 20 所述触变锻造优选在坯料中存在的液相物质部分为10~40%的温度区域内进行。

所述冷却优选在静止空气中进行。

所述冷却可以在比空气中的自然冷却速度更慢的速度下进行。

本发明还涉及由触变锻造钢制得的零件, 特征在于其用前述的方法制造。

- 25 正如可以理解的一样, 本发明基本由向具有常规成分的机械结构用钢中以所限定的比例添加一种或几种选自磷、铋、锡、砷和锑, 以及硅的元素组成。这种分析改性使得该钢更加适于通过触变锻造将由其制成的零件成形。

本发明在阅读关于附图1和关于图2的下列描述后会更好理解, 其中图1表示参考钢和根据本发明的作为温度函数的钢中液相比例, 图2表示另一对参考钢和根据本发明的钢的同一数值。

- 30 为了减少触变锻造期间施加于工具的应力, 并且使之方便操作, 本领域技

术人员首要的解决方法（正如所述）由通过添加碳来降低加工温度组成。此解决方法可以降低液相线和固相线温度。然而，其缺陷在于它对钢的机械性能有较大影响。

发明人设想对应力的有益影响可通过添加在晶界处具有强烈偏析趋势的元素来获得。这种强烈偏析不是能经常找到的。事实上，该偏析区域在比固相线低的温度的熔化（一般称为燃烧温度），这对常规的热-成形操作（轧制和锻造）是不利的。

在一定的锻造或轧制温度下，低于变形金属母体的固相线温度，液体区域的存在是由于在低熔点偏析的元素，即使在固体晶界非常少的量（少许%）也会导致成形材料解体；这就是控制这些成形方法中变形机理的固体部分，且成形所必须的压力导致了（部分或全部）材料的破裂，这对产品的生产和其性能都是不利的。在液相大于10%的情况下，触变变形就是这种情况，材料是两相的，在变形期间会导致非常不同的行为：固体颗粒包含在液体中，如果固体颗粒间相互接触（称为搭桥），破坏它们所必须的非常微弱的应力就不会引起材料的毁坏。

在触变锻造的情况下，其中大大超出燃烧温度，偏析区域的熔化产生液体坑，这会促成和加速钢内液相的形成。因此促进此现象是有利的。

因此，当这些元素的含量总量至少为0.050%时，如果不继续添加至少一种磷、铋、锡、砷或锑元素，是可以获得在低于通常必须的温度下顺利进行触变片的造所必须的液相的量的。

磷、铋、锡、砷和锑元素的总量必须不超过0.200%以避免出现热-轧制或锻造中上述提到的问题，从而能够得到用于触变变形的坯料。

自然地，在液体金属生产过程中添加砷的情况下，必须采取所有的必要措施以使释放的毒气采用不毒害炼钢车间工作人员的方法收集。事实上，砷的存在通常来自铜或锡的添加，砷一般通过杂质伴随其中。由于砷是一种高偏析元素，因此，必须考虑确保其与其它偏析金属一起不会导致已提到的对热变形的不利影响。

根据本发明的钢的碳含量可以在0.35%~1.2%变化。在此条件下，可以得到适宜用于机械结构的触变锻造钢零件所需的冶金结构、机械性能和耐磨性。碳含量必须根据所需用途进行选择。

根据本发明的钢的硅含量典型地可以在 0.10~1.0% 变化,但如果特别的强调需要添加偏析元素的且作用大量添加硅的成本对制造者来说不是不可以的,则硅的含量可以最高达到 3.0%。和碳一样,硅可以降低固相线和液相线温度和扩大凝固范围。它也对其它元素的偏析有协同的作用。而且它可以提高金属的流动性。

锰的含量可以是 0.10~2.0%。它应该根据所需机械性能,与碳和硅的含量一起进行调整。它对液相线和固相线温度有相对较小的影响。但是如果由于高的硅含量(例如 1% 或更多)导致流动性增加,则太低的锰含量就不能在连铸期间的冷却过程中给予金属足够的机械性能,从而有出现裂纹的危险。这种裂纹在触变锻造后的冷却中也会由于同样的原因出现,当零件的厚度变化较大导致局部冷却速度有很大不同时更加突出。因此如果钢的机械性能不足时,可能有利于裂纹出现的应力就会产生。由于该原因, $Mn\%/Si\%$ 的比优选大于或等于 0.4。

铬含量可以是痕量~4.5%。

钼含量可以是痕量~2.0%。

镍含量可以是痕量~4.5%。

铬、钼和镍含量的调整可以确保生产的零件的机械性能:抗破裂、屈服强度和弹性。

钒的含量是痕量~0.5%。

在弹性不是很重要的应用中,该元素可以获得高机械性能的钢,它能代替更昂贵的富铬和/或富钼和/或富镍的钢。

铜含量可以是痕量~3.5%。该元素可以增加机械性能、增加抗腐蚀性能和降低固相线温度。应该注意,如果铜以高含量(0.5% 和更多)存在,则镍和/或硅也必须以足够的含量存在以避免热-轧制或锻造问题的出现。一般认为,如果 $Cu\% \geq 0.5\%$, 则有必要使 $Cu \leq Ni\% + 0.6Si\%$ 。

关于偏析元素,它们在本发明中典型存在,磷、铋、锡、砷和锑含量的总量必须至少为 0.050%,且必须不超过 0.200%。这些元素可以单独存在或同时存在。如果它们单独存在(也就是说,列表中的其它元素只以痕量存在),则必须至少有 0.050% 的磷、或 0.050% 的铋、或 0.050% 的锡、或 0.050% 的砷或 0.050% 的锑。

铝和钙(脱氧元素)的含量,分别是:对铝为痕量~0.060%,对钙为痕量~0.0050%。

硼(硬化元素)含量是痕量~0.010%。

硫含量是痕量~0.200%。高含量有利于金属的机械加工性,特别是如果其中加入了,比如碲(高至0.020%)硒(高至0.040%)和铅(高至0.070%)元素。这些用于机械加工性的元素对固相线和液相线温度只有较小的影响。当硫以较大的量加入时,最好使Mn%/S%的比至少为4,以使热-轧时缺陷不会形成。

铌和钛,当它们被加入时,能够控制晶体尺寸。它们最大允许含量为0.050%。

根据本发明的钢和能够成功地用于生产触变锻造零件的参考钢的成分的例子在表1中给出,同时还有在静止空气中冷却后的触变锻造零件获得的机械特性Re(屈服强度)和Rm(抗拉强度)。百分数为以重量计,并用 $10^{-3}\%$ 表示,Re和Rm用MPa表示。

表1: 根据本发明的钢和参考钢的试样的成分(用 $10^{-3}\%$ 表示)和它们的机械特性(用MPa表示)

编号	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	Cu	S	Al	P	Re	Rm
1	502	1391	200	164	<5	152	<5	194	315	<0.3	15	423	773
2	493	1451	990	156	<5	152	2	201	302	1	26	510	852
3	505	1420	256	166	<5	159	<5	196	287	3	55	455	856
4	526	1478	255	156	<5	150	<5	200	315	2	97	482	866
5	508	1425	220	164	<5	155	121	203	306	7	58	583	877
6	500	1209	279	153	<5	155	7	204	83	21	99	484	871
7	508	1178	202	108	<5	158	6	204	70	25	187	528	885
8	496	1454	945	156	<5	158	<5	202	291	<0.3	55	498	877

在这些例子中,根据本发明的钢(编号3至8)添加了磷,该元素的含量在0.050~0.200%。相对于两种低磷含量(0.015和0.026%)参考钢,没发现其机械性能的恶化。

表2表示了参考钢和与之可比的,并引入磷和少量硅的根据本发明的钢的成分。

表 2: 参考钢和根据本发明的钢的试样的成分 (用 $10^{-3}\%$ 表示)

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	V	P	S	Al
参考	392	1383	523	193	29	87	118	88	8	56	25
发明	396	1405	620	158	21	85	151	89	96	85	2

图 1 代表这些钢中作为温度函数的液相和固相的比。对于参考钢, 测定的固相线温度为 1415°C , 而根据本发明的钢为 1375°C 。测定的液相线温度分别为 1525°C 和 1520°C 。因而, 磷和硅的加入仅对固相线温度产生重要影响, 但是已足以大幅度 (35°C) 的扩大凝固范围。而且必须注意的是, 钢的液体部分所占比例

- 对参考钢, 从 1437°C 至 1468°C ;
- 对根据本发明的钢, 从 1427°C 至 1463°C 。

因此可以看到该范围降低了大约 5 至 10°C 且范围扩大了 5°C 。所有在触变锻造期间能减少工具所受应力和容易获得的条件的事都有利于操作的进步。如果加入的磷量增加或者如果在所述的限制范围内加入其它偏析元素, 则此影响就会加强。

表 3 表示参考钢的成分和除了加入的磷、硅、锰 (为补偿硅的加入以便保持合适的 $\text{Mn}\%/\text{Si}\%$ 比) 和硫外, 与之相比的根据本发明的钢的成分。

15 表 3 参考钢和根据本发明钢的试样的成分 (用 $10^{-3}\%$ 表示)

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	P	S	Al
参考	0.377	0.825	0.19	0.167	0.039	0.113	0.143	0.007	0.009	0.022
发明	0.396	1.405	0.62	0.158	0.021	0.085	0.151	0.095	0.085	0.002

图 2 表示这些钢中作为温度函数的液相/固相的比。对于参考钢, 测定的固相线温度为 1430°C , 而根据本发明的钢为 1378°C 。测定的液相线温度分别为 1528°C 和 1521°C 。因此凝固范围已扩大了 45°C 。其中包含的固相部分比例在 $10\sim 40\%$ 的温度范围是:

- 对参考钢, 从 1470°C 至 1494°C ;
- 对根据本发明的钢, 从 1428°C 至 1464°C 。

因此可以看到该范围降低了约 30 至 42°C 且范围扩大了 12°C 。

关于实施本发明将要考虑的固相线和液相线温度的确定, 应该注意, 它们与那些在钢成分基础上, 借助于文献中通常采用的公式计算的结果并不总是一

致的。事实上，这些公式在凝固期间从液体钢到固体钢的转化和钢的冷却以及冷却速度为每分钟几度的情况下是有价值的。

在考虑应用于触变锻造的测量的条件下，测量必须通过从固体钢开始直至液体钢，也就是说，在钢的加热然后熔化的情况下。试验也在以每分钟增加几十度的条件下进行，与触变锻造操作前的加热条件一致。

一般地，如果球形结构不存在或者如果经验表明为了触变锻造而在加热坯料时不能得到球形结构时，在根据本发明钢上实施的触变锻造操作的应该先通过加热处理球化坯料的原始结构。如果坯料在触变锻造前突然冷却，在触变锻造一定成分和经历的钢前得到此种球形结构，是可以被证实的。观察到的结构正如冷却前的结构。

关于触变锻造后的零件的冷却，此冷却必须在静止空气中进行。而且在零件横截面变化较大的情况下，此类零件很常见，不能以强制方式进行。比如薄壁（1至2mm）与厚区域（5至10mm或更厚）连接。在这种情况下，是不能采用喷吹空气的，因为会有在薄壁和厚区域间引入大量残余应力的危险。这会导致表面缺陷，降低触变锻造零件的性能。

在一定的条件下，有必要降低零件的冷却以有助于其不同零件的结构均一性。为了此目的，零件可以通过一个温度控制在比如200-700℃的隧道。

然而，如果触变锻造的零件的横截面中不会具有这种大幅度的变化，它可以在吹动的空气中有效冷却。此冷却有利于在零件的横截面中得到均一的冶金结构和好的机械性能。

图1

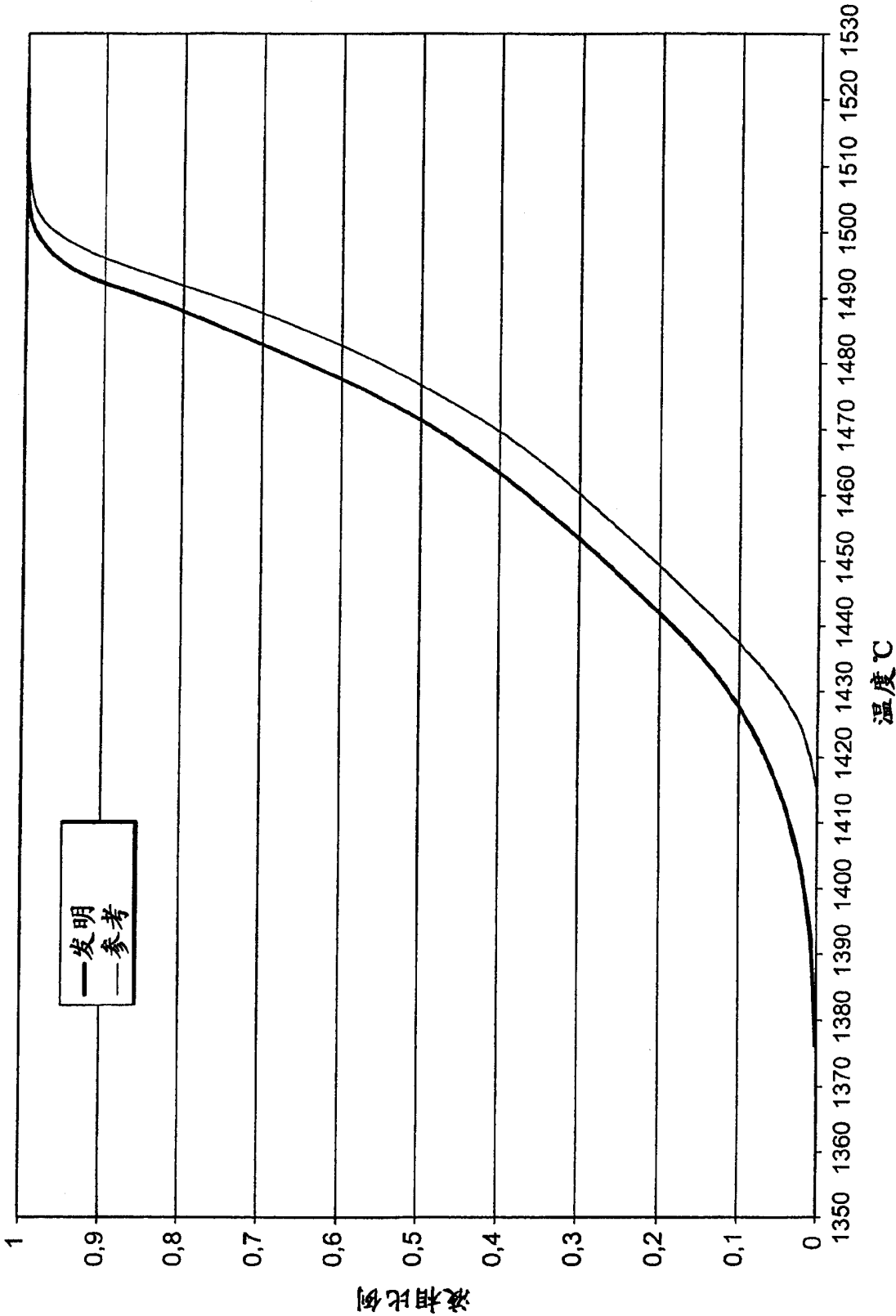


图2

