

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C22C 38/24 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03813655.4

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 100402689C

[22] 申请日 2003.5.7 [21] 申请号 03813655.4

[30] 优先权

[32] 2002. 6. 13 [33] SE [31] 0201800 - 0

[32] 2003. 1. 30 [33] SE [31] 0300215 - 1

[86] 国际申请 PCT/SE2003/000728 2003.5.7

[87] 国际公布 WO2003/106727 英 2003.12.24

[85] 进入国家阶段日期 2004.12.13

[73] 专利权人 尤迪霍尔姆工具公司

地址 瑞典哈格福什

[72] 发明人 奥德·桑德伯格

[56] 参考文献

JP 4 - 354852A 1992.12.9

审查员 王怀东

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 范明娥 巫肖南

权利要求书 4 页 说明书 15 页 附图 4 页

[54] 发明名称

钢和塑料材料用的钢制模具

[57] 摘要

本发明关于一种钢，尤其是塑料成形用的模具钢，以重量%计，具有如下化学组成：0.43 - 0.60C，痕量到1.5Si，痕量到1.5(Si + Al)，0.1 - 2.0Mn，3.0 - 7.0Cr，1.5 - 4.0(Mo + W/2)，然而，最大1.0W，0.30 - 0.70V，Nb、Ti 和 Zr 中各为最大0.1，最大2.0Co，最大2.0Ni，基本以Fe平衡，和不可避免的杂质。在硬化和在 520 - 560℃下高温回火后，钢的硬度为 56 - 58HRC。

1. 一种钢，特征是以重量%计，具有如下化学组成，

0.43-0.60 C

从大于 0 到 0.5 Si

从大于 0 到 0.5(Si+Al)，其中 Al 大于 0

0.1-2.0 Mn

3.0-7.0 Cr

2.1-4.0(Mo+W/2)，但最大 1.0W

0.30-0.70 V

Nb、Ti 和 Zr 中的每一种最大 0.1

最大 2.0 Co

最大 2.0 Ni

基本以 Fe 平衡，和不可避免的杂质。

2. 根据权利要求 1 的钢，特征是以重量%计，具有如下化学组成，

0.43-0.60 C

从大于 0 到 0.5 Si

从大于 0 到 0.5(Si+Al)，其中 Al 大于 0

0.1-2.0 Mn

3.0-7.0 Cr

2.1-4.0(Mo+W/2)，但至少 2.1 Mo 和最大 1.0W

0.30-0.70 V

Nb、Ti 和 Zr 中的每一种最大 0.1

最大 2.0 Co

最大 2.0 Ni

基本以 Fe 平衡，和不可避免的杂质。

3. 根据权利要求 1-2 的钢，特征是它含有至少 0.44 的 C。

4. 根据权利要求 1-2 的钢，特征是它含有至少 0.46 的 C。

5. 根据权利要求 3 的钢，特征是它含有最大 0.55 的 C。

6. 根据权利要求 3 的钢，特征是它含有最大 0.53 的 C。

7. 根据权利要求 1-6 中任一项的钢，特征是它含有至少 0.40 的 V。

8. 根据权利要求 1-6 中任一项的钢, 特征是它含有至少 0.45 的 V。
9. 根据权利要求 7 的钢, 特征是它含有最大 0.65 的 V。
10. 根据权利要求 7 的钢, 特征是它含有最大 0.60 的 V。
11. 根据权利要求 1-10 中任一项的钢, 特征是它含有 0.49 的 C 和 0.52 的 V。
12. 根据权利要求 1-10 中任一项的钢, 特征是它含有至少 0.05 的 Si 和最大 0.5 的 Si。
13. 根据权利要求 11 的钢, 特征是它含有至少 0.1 的 Si 和最大 0.5 的 Si。
14. 根据权利要求 11 的钢, 特征是它含有至少 0.2 的 Si 和最大 0.5 的 Si
15. 根据权利要求 13 的钢, 特征是它额定地含有 0.2 的 Si。
16. 根据权利要求 1-15 中任一项的钢, 特征是它含有最大 1.0 的 Al。
17. 根据权利要求 1-15 中任一项的钢, 特征是它含有最大 0.3 的铝。
18. 根据权利要求 1-15 中任一项的钢, 特征是它含有最大 0.1 的 Al。
19. 根据权利要求 1-15 中任一项的钢, 特征是它含有最大 0.03 的 Al。
20. 根据权利要求 1-19 中任一项的钢, 特征是它含有最大 3.2 的 Mo。
21. 根据权利要求 20 的钢, 特征是它含有最大 2.6 的 Mo。
22. 根据权利要求 20 或 21 的钢, 特征是它含有最大 0.3 的 W。
23. 根据权利要求 20 或 21 的钢, 特征是它含有最大 0.1 的 W。
24. 根据权利要求 22 的钢, 特征是它不含有超过杂质量的钨。
25. 根据权利要求 1-24 中任一项的钢, 特征是它含有最大 0.7 的 Co。
26. 根据权利要求 25 的钢, 特征是不含有超过杂质量的钴。
27. 根据权利要求 1-26 的钢, 特征是它含有最大 1.0 的 Ni。
28. 根据权利要求 27 的钢, 特征是它含有最大 0.7 的 Ni。
29. 根据权利要求 28 的钢, 特征是它含有 0.3-0.7 的 Ni。
30. 根据权利要求 29 的钢, 特征是它不含有超过杂质量的镍。
31. 根据权利要求 1-30 的钢, 特征是钛、锆和铌中各元素的含量不超过 0.1 %。
32. 根据权利要求 31 的钢, 特征是钛、锆、和铌中各元素的含量不超过 0.03 %。

33. 根据权利要求 32 的钢, 特征是钛、锆、和铌中的各元素含量不超过 0.01%。

34. 根据权利要求 32 的钢, 特征是钛、锆、和铌中的各元素含量不超过 0.005%。

35. 根据权利要求 1-34 中任一项的钢, 特征是钢中不含大于最大 0.035% 的 P。

36. 根据权利要求 1-34 中任一项的钢, 特征是钢中不含大于最大 0.015% 的 P。

37. 根据权利要求 1-34 中任一项的钢, 特征是钢中不含大于最大 0.010% 的 P。

38. 根据权利要求 1-37 中任一项的钢, 特征是钢中 O 含量最大为 20ppm。

39. 根据权利要求 1-37 中任一项的钢, 特征是钢中 O 含量最大为 10ppm。

40. 根据权利要求 1-39 中任一项的钢, 特征是钢中 N 含量最大为 30ppm。

41. 根据权利要求 1-39 中任一项的钢, 特征是钢中 N 含量最大为 15ppm。

42. 根据权利要求 1-39 中任一项的钢, 特征是钢中 N 含量最大为 10ppm。

43. 根据权利要求 1-42 中任一项的钢, 特征是钢中 S 含量最大为 0.03%。

44. 根据权利要求 1-42 中任一项的钢, 特征是钢中 S 含量最大为 0.01%。

45. 根据权利要求 1-42 中任一项的钢, 特征是钢中 S 含量最大为 30ppm。

46. 根据权利要求 1-42 中任一项的钢, 特征是它含有 0.10-0.30% 的 S。

47. 根据权利要求 46 的钢, 特征是它含有 5-75ppm 的 Ca 和 50-100ppm 的 O。

48. 根据权利要求 46 的钢, 特征是它含有 5-50ppm 的 Ca。

49. 根据权利要求 46 的钢, 特征是它含有 60-90ppm 的 O。

50. 根据权利要求 1-49 中任一项的钢,特征是在硬化和在 500-570℃下高温回火后的硬度为 54-59 HRC。

51. 根据权利要求 1-49 中任一项的钢,特征是在 520-560℃下高温回火。

52. 根据权利要求 1-49 中任一项的钢,特征是高温回火后的硬度为 56-58 HRC。

53. 根据权利要求 1-52 中任一项的钢,特处是它是 ESR 再熔融的。

54. 根据权利要求 1-53 中任一项的钢制造的塑料成形用模具。

55. 根据权利要求 54 的塑料成形用模具,特征是在硬化和在 500-570℃下高温回火后的硬度为 54-59 HRC。

56. 根据权利要求 54 的钢,特征是在 520-560℃下高温回火。

57. 根据权利要求 54 的钢,特征是高温回火后的硬度为 56-58 HRC。

钢和塑料材料用的钢制模具

技术领域

本发明是关于一种钢，即一种首先要用于制造模具的合金，其中在塑料的塑性和模制条件下，在模具中通过某些模制方法制造塑料制品，本发明还关于钢制的一些工具及工具配件，和用于制造塑料用的模具及模具配件用的钢合金坯料。

技术背景

用于塑料的模具可由许多各种钢合金进行制造，包括马氏体、中合金钢。在这些钢中，商业上可获得的钢，额定地含有 0.6% 的 C、4.5% 的 Cr、0.5% 的 Mo 和 0.2% 的 V，它用于冷加工工具和塑料加工用的模具。还发现在同类钢中，标准化钢 AISI S7 有时也用于其中的模制塑料的模制用工具。商业上获得的其他工具钢，额定地含有 0.55% 的 C、2.6% 的 Cr、2.25% 的 Mo、和 0.9% 的 V。上面首先提到的二种钢，只在低温下回火后，能达到所要求的硬度，高温处理后，钢中残存的应力会引发危险。提到的后一种钢，在高温回火，即 550℃ 下回火后，确实可获得满意的硬度，另一方面，这种钢的淬硬性不太好。

本发明的目的是提供一种用于成型塑料的模制钢，这种模制钢在使用这种钢以制造塑料用的模具中比目前商业上获得的工具钢，具有更好的组合特性。尤其是这种钢具有如下特性：

- 良好的延性/韧性
- 将厚度至少达 350mm 的产品在真空炉内通过结合通常硬化的硬化，具有良好的淬硬性。
- 在硬化和高温回火后，具有适宜的硬度，至少 54 HRC，优选至少 56 HRC，对塑料变形具有很高的阻抗性，至少就某些应用而言，还具有适宜的抗磨性而不用渗氮，或者通过如 PVD 或 CVD 技术，用碳化钛和/或氮化钛等涂敷表面。
- 为了通过任何所述技术进行渗氮或用碳化钛和/或氮化钛等涂敷表面，

具有好的抗回火性，对于某些应用，尤其是要求具有很好抗磨性的工具，材料的硬度不会降低。

- 良好的热处理特性。
- 良好的磨削性、切割操作的机加工性、电火花加工性、和抛光性。

其他重要的产品特性是：

- 热处理时具有良好的尺寸稳定性，
- 疲劳寿命长。

尤其是本发明的目的在于提供一种基质钢，它可以用作塑料用的模具的材料，即，一种钢，这种钢基本上没有一次碳化物，并且在它的使用条件下，具有由回火的马氏体形成的基质。

发明的公开

通过所附权利要求中所表征的钢，即可获得上述目的和特性。

就钢合金的各种元素和它们的相互作用而言，有如下应用。本文中提到的百分比，如果没有另外指出，都以重量%表示。

正如以上所述，本发明的钢不含有任何一次碳化物，但仍然具有适于大多数应用的抗磨性，在钢的硬化和高温回火的状态下，可获得 54-59 HRC 的范围内适宜的硬度，最适宜的范围为 56-58 HRC，同时这种钢具有非常好的韧性。为了获得这种特性，这种钢以最佳平衡量含有 C 和 V。因此，这种钢含有至少 0.43 % 的 C，优选至少 0.44 % 的 C，更好至少 0.46 % 的 C。进而这种钢含有至少 0.30 % 的 V，优选至少 0.40 % 的 V，适宜的至少 0.45 % 的 V，以便确保在硬化和回火状态下钢的马氏体基质，在固体溶液中应含有足够量的碳，以便获得所说硬度的基质，并为了获得适宜量的二次沉积，在钢基质中应形成很小的增加硬度的碳化钒。而且，存在于钢中的很小的一次沉积的碳化钒，在热处理时，有助于防止晶粒长大。任何其他除钒以外的碳化物都不应存在。为了获得所说的状态，钢不能含有大于 0.60 %，优选最大 0.55 %，适宜量最大为 0.53 % 的碳，和最大 0.70 %，优选最大为 0.65 %，适宜的最大为 0.60 % 的钒。额定地钢含有 0.49 % 的 C 和 0.52 的 V。在钢的硬化和高温回火条件下，固溶体中的碳含量额定值约为 0.45 %。

硅，作为制造钢时的残留元素，至少以可测的量存在，并通常存在的量是从痕量达最大 1.5 %。然而，硅能减弱钢的韧性，因此其存在量不能超过

1.0%，优选最大 0.5%。通常硅以至少 0.05% 的最小量存在。硅的一种作用是能增加钢中的碳活性，并因此有助于提供钢所要的硬度。因此，钢中含有至少 0.1% 的硅是有利的，额定地钢含有 0.2% 的硅。

在现型钢中，铝达到某种含量具有与硅相同或相似的作用。在有关制造钢方面两种都可用作氧化剂。两者是铁氧体的形成者，并在钢基质中可提供缓解硬化作用，因此硅可部分地被最大 10% 的铝所取代。然而钢中的铝是必需的，它使钢很好地脱氧，并具有非常低的氮含量，因为可形成氧化铝和氮化铝，这些会显著地降低钢的延性/韧性。因此，通常钢中的含铝量不大于最大 1.0%，优选最大 0.3%。在优选的实施方案中，钢含有最大 0.1%，最适宜的最大为 0.03% 的铝。

钢中可以以有效量存在锰、铬、钼，以便使钢具有适宜的淬硬性。锰也具有可与存在于钢中极少量的硫进行结合的功能以形成硫化锰。因此，锰的存在量为 0.1-2.0%，优选为 0.2-1.5%，适宜地钢含有至少 0.25 最大 1.0%。锰的额定含量为 0.50%。

铬的最小存在量为 3.0%，优选至少为 4.0%，适宜地至少 4.5%，以便当钢含有体现钢特征量的锰和铬时，使钢具有所要求的淬硬性。最大地，钢可含有 7.0%，优选最大 6.0%，适宜量最大为 5.5% 的铬。

钢中还应以适宜量存在钼，以便首先与铬一起，使钢具有所要求的淬硬性，还能使钢具有所要求的二次硬化。然而钼含量太高时，会引起 M₆C 碳化物沉积，这种沉淀优选不应存在于钢中。因此，在这背景情况下，钢可含至少 1.5 和最大 4.0% 的 Mo，优选含有至少 1.8 和最大 3.2%，适宜地含有至少 2.1 和最大 2.6% 的钼。以便不引起钢中含有不需要的 M₆C 碳化物，以所要量的 MC 碳化物为代价和/或除了需要量 MC 碳化物之外。为了获得所要求的淬硬性，可以用钨完全或部分取代钼，但需要二倍于钼量的钨量，这是一大缺点。如果钢中含有显著量的钨时，在钢制造中所产生的废料的循环会有更大的困难。因此，钨的存在量不能大于最大 10%，优选最大为 0.3%，适宜最大量为 0.1%。最适宜的是钢中不含有任何故意添加的钨量，在钢的多数优选实施方案中，不允许大于从钢制造所用原料析出的残留元素形式的杂质量的钨。

除了所述元素外，通常钢不需要含有任何其他故意添加的合金元素。例如，钴是一种通常对钢的所要求特性不是必需的元素。然而，为了进一步改

进耐回火性，钴可任选地以最大 2.0 % 的量存在，优选的最大 0.7 %，然而钢通常不含有超过杂质量的钴。在钢中通常也不需要存在的另一种元素是镍，为了改进钢的延性，它可任选地存在。然而，镍的含量太高时，有形成残留的奥氏体的危险。因此，镍含量最大不能超过 2.0 %，优选最大 1.0 %，适宜量最大 0.7 %。如果考虑到钢中需要有效量的镍，例如含量可在 0.30-0.70 %，适宜的约 0.5 %。在优选实施方案中，当考虑到在没有镍的情况下钢具有足够的延性和韧性时，鉴于费用的原因，钢中含有镍量不超过不可避免的来自所用原料中的以杂质形式存在的镍含量，即，小于 0.30 %。又钢以本身方式可任选地与很少量的不同元素形成合金，以改进钢的各个方面的特性，例如它的淬硬性，或者为了便于钢的制造。例如，为了改进钢的热延性，钢可任选地与含量至多达 30 ppm 的硼形成合金。

另一方面，其它元素显然是不需要的。因此，钢不含有任何比钒更强的碳化物形成者。例如，铌、钛、和锆都是明显不需要的。它们的碳化物比碳化钒更稳定，并需要比碳化钒更高的温度以使其在硬化操作中溶解。而碳化钒在 1000℃ 下就开始溶解，在 1100℃ 下则真正完全溶解，而碳化铌在直达约 1050℃ 时还没有开始溶解。碳化钛和碳化锆更稳定，直到温度达到 1200℃ 以上还没有开始溶解，并且直到在钢的熔化条件下，也没有完全溶解。除钒以外的强的碳化物和氮化物形成者，尤其是钛、锆、铌的存在量不能超过 0.1 %，优选为最大 0.03 %，适宜量最大 0.010 %。最合适的是钢不含有大于最大 0.005 % 的上述各元素。为了使钢的延性和韧性最大化，钢中的磷、硫、氮、和氧的含量要保持在非常低的水平。因此，磷可以 0.0035 % 的最大量作为不可避免的杂质存在，优选为最大 0.015 %，适宜为最大 0.010 %。氧可存在的最大量为 0.0020 % (20ppm)，优选为最大 0.0015 % (15ppm)，适宜量最大 0.0010 % (10ppm)。氮的存在量最大为 0.030 %，优选为最大 0.015 %，适宜为最大 0.010 %。

为了改进钢的机加工性，钢不进行硫化，钢含有硫的最大量为 0.03 %，优选为最大 0.010 %，适宜的为最大 0.003 % (30ppm) 硫。然而，可以设想通过有意添加硫，以改进钢的机加工性，其量可在 0.03 % 以上，优选在 0.10 % 以上，最大达到 0.30 % 的硫。如果钢被硫化，以其自身的方式，也可含有 5-75ppm 的 Ca 和 50-100ppm 的氧，优选含有 5-50ppm 的 Ca 和 60-90ppm 的氧。

在制造钢时，首先制得质量超过 100kg，优选达到 10 吨，厚度超过

200mm, 优选达到至少 350mm 的钢锭或坯料, 优选地通过钢锭铸造, 适宜的底铸而使用通常的熔融的冶金制造。也可以使用连续铸造, 只要它接着按上述通过再铸造成所要求的尺寸, 例如, 通过 ESR 再熔融。粉末冶金制造或喷射成形是一种不必要的昂贵方法, 不会得到任何诱导成本的好处, 当铸造结构也被破坏时可将制得的钢锭热加工成所要求的尺寸。

可通过热处理, 以不同方式使热加工材料的结构规格化以使材料的均质性达到最佳化, 例如在高温下, 最好在 1200-1300℃ 下进行均质化处理。通常由钢的制造者, 以软退火状态的钢, 将钢送到客户, 硬度为 160-220 HB, 通常约为 190 HB。工具通常通过以软退火状态的钢, 机加工制造, 但本身也可设想可通过以硬化的和退火状态的钢, 以传统的机加工或电火花加工制造工具。

制造工具的热处理通常由顾客进行, 优选在真空炉内, 通过在 950-1075℃, 优选 1000-1050℃ 的温度下进行硬化, 对完全溶解的存在的碳化物时间周期在 15 分钟到 2 小时之间, 优选 15-60 分钟, 接着冷却到 20-70℃, 再在 500-570℃, 优选 520-560℃ 下进行高温回火。在钢的软退火状态下, 钢具有含均匀分布的小的碳化物的铁氧体基质, 这些碳化物可以是不同类型的。在硬化和未回火状态下, 钢具有由未回火的马氏体构成的基质。根据用公知的理论计算进行的计算, 在平衡状态下钢含有约 0.6 Vol% 的 MC 碳化物, 在高温回火下, 可获得另外的 MC 碳化物沉积, 这就给钢提供了所要的硬度。这些碳化物具有亚微观的尺寸, 因此碳化物的量使用传统的微观研究是不可能说明的。如果温度增加太高, 会导致 MC 碳化物更粗, 并成为不稳定, 而不是导致产生不希望有的快速生长的碳化铬。为了这些理由, 重要的是, 就本发明的钢合金组成而言, 必须在以上提到的温度和持续时间下进行回火处理。

本发明的其他特征和内容, 根据权利要求和如下进行的实验描述和最后的讨论, 会更加清楚。

附图的简要描述

在以下进行实验的描述中, 参考附图, 其中

图 1 是说明检测钢硬化后的硬度与奥氏体化温度之间关系的曲线图。

图 2 是表示硬度与限定温度范围内回火温度之间关系的曲线图。

图 3 是检测钢的淬硬性说明图。

图 4 是对在真空炉内硬化随后回火到约 55 HRC 的样品，就冲击能量与冷却时间关系，表明延性的曲线图。

图 5 和图 6 是以高放大倍率显示 2 种检测钢的断面显微照片。

进行实验的描述

材料

以实验室钢锭的形式，制造 8 种质量为 50kg 的钢合金。以实验室规格制造的这些钢锭的化学组成列于表 1，钢 1A-8A。钢 1A-6A 是实验钢，而钢 7A 和 8A 是参考材料。表 1 中还列出了实验钢的目标组成 1R-6R 和参考材料的钢 7N 和 8N 的额定组成和一种在序言中提到的工业钢，钢 9N。因为制造技术的限制，大多数实验室熔体中 50kg 钢锭的含硫量都不能保持在所要求的低水平。在所有实验钢中，钛含量为 30ppm 量级，铌含量为 10ppm 量级，锆含量小于 10ppm，采用如下加工过程：在 1270℃/空气中均质处理 10 小时，锻造成 $\phi 60 \times 60\text{mm}$ ，在 1050℃/2h/空气下蓄热(regeneration)处理，在 850℃下软退火 2 小时，以 10℃/小时冷却到 600℃，然后空气中自由冷却。

表 1

以重量%计，实验合金的和参考材料化学组成平衡 Fe 和不可避免的杂质

R: 实验合金的目标组成

N: 参考材料的额定组成

A: 制造 50kg 熔体的分析组成

钢	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	V %	N %	O (ppm)
1R	0.42	0.20	0.50	<0.01	≤0.005	5.00	2.30	0.35	-	-
1A	0.41	0.22	0.47	0.004	0.006	4.97	2.33	0.36	0.016	71
2R	0.44	1.00	0.50	<0.01	≤0.005	5.00	2.30	0.35	-	-
2A	0.43	0.88	0.46	0.004	0.006	4.97	2.29	0.37	0.013	71
3R	0.43	0.20	0.50	<0.01	≤0.005	5.00	2.30	0.55	-	-
3A	0.41	0.19	0.40	0.003	0.006	4.89	2.34	0.51	0.020	75
4R	0.44	0.20	0.50	<0.01	≤0.005	5.00	2.30	0.52	-	-
4A	0.43	0.11	0.44	0.004	0.004	4.80	2.32	0.48	0.02	93
5R	0.48	0.20	0.50	<0.01	≤0.005	5.00	2.30	0.52	-	-
5A	0.46	0.11	0.45	0.004	0.005	4.90	2.31	0.49	0.02	-
6R	0.48	1.00	0.50	<0.01	≤0.005	5.00	2.30	0.55	-	-
6A	0.47	0.98	0.47	0.004	0.006	5.13	2.32	0.55	0.017	64
7N	0.60	0.35	0.80	<0.02	≤0.005	4.50	0.50	0.20	-	-
7A	0.59	0.32	0.72	0.004	0.006	4.44	0.54	0.28	0.013	59
8N	0.55	1.00	0.75	<0.02	≤0.005	2.60	2.25	0.88	-	-
8A	0.52	1.01	0.71	0.004	0.006	2.68	2.25	0.87	0.016	60
9N	0.53	0.30	0.70	<0.02	≤0.005	3.25	1.50	0.35	-	-

对上述材料有关软退火后的硬度、不同热处理后的微结构，由不同的奥氏体化温度硬化后的硬度，在不同回火温下回火后的硬度、淬硬性、冲击韧性、和耐磨损性进行检测。这些测试结果报导如下。而且，通过 Thermo-Calc 法对这些钢，在指定的奥氏体化温度下的溶解碳和碳化物的含量，进行理论性平衡计算，这些钢分别具有目标组成 1R-6R 和参考钢的额定组成 7N-9N，表 2。

表 2-在奥氏体化温度 T_A 下溶解碳的含量的重量 % 和在 T_A 的体积 % MC

钢	最佳 $T_A(^{\circ}\text{C})$	在 T_A % C	在 T_A 的 % MC	在 T_A 的 % M7C3
1R	1020	0.41	0.14	-
2R	1020	0.41	0.42	-
3R	1020	0.38	0.56	-
4R	1020	0.39	0.52	-
5R	1020	0.42	0.59	-
6R	1020	0.40	0.93	-
7N	960	0.52	0.13	1.23
8N	1050	0.39	1.67	-
9N	960	0.47	0.64	-

软退火硬度

表 3 中列出了合金 1A-8A 的软退火硬度，布氏(Brinell)硬度(HB)。表 1 和表 3 指出含硅量低时可降低软退火硬度。

表 3.软退火的硬度

钢	硬度(HB)
1A	174
2A	199
3A	176
4A	171
5A	181
6A	212
7A	191
8A	222

微结构

对合金 1R-8R 在软退火条件下,及在热处理到硬度为 55-58 HRC 之间后,检测其微结构。在钢的硬化和回火状况下,微结构由回火的马氏体构成。不存在一次碳化物,在任何合金中,都没有检测到碳化钛、氮化物和/或碳氮化物。

硬化和回火

在 1000-1050℃ 间的不同的温度下,对钢 1A-6A 通过加热 30 分钟以进行奥氏体化,而参考钢 7A 和 8A 分别在 960℃ 和 1050℃ 下实施奥氏体化 30 分钟,这温度是这些公知钢的最佳奥氏体化温度,奥氏体化温度对钢 1A-6A 硬度的影响示于图 1,图中还示出了在上述奥氏体化处理后参考材料 7A 和 8A 的硬度。

在钢 1A-6A 在 1025℃ 下,钢 7A 在 960℃ 下,和钢 8A 在 1050℃ 下奥氏体化 30 分钟后分别检测其回火温度对硬度的影响。除了钢 7A 之外,所有的钢在 450-600℃ 的温度下,都观察到典型的二次硬化。图 2 示出了在 500-600℃ 间的感兴趣的温度下,硬度与回火温度的关系。所有的钢在指定温度下回火 $2 \times 2\text{h}$,钢 6A 呈现出回火温度达到 550℃ 的被检材料的最佳耐回火性。钢 2A 具有直到 525℃ 的与参考材料 8A 一样好的耐回火性,而钢 1A 和 3A-5A,在低于钢 8A 的耐回火性但是又明显高于钢 7A 的耐回火性时具有耐磨性。因此可以认为实验合金 1A-6A 的耐回火性都很好,这对基质钢来说是很重要的,可以在高达 500℃ 的温度下要求进行表面涂敷,以便对某些工具应用获得所需要的耐磨性。换句话说,在 450-600℃ 的温度下,更具体地说是在 500-560℃ 的温度下,通过 MC 碳化物的沉积,可获得明显的二次硬化。利用高硅含量有利于耐磨性,但是,如果硅含量低,像钢 5A,在高达 540℃ 的高温回火后,仍能保持 56 HRC 以上的硬度。这是有利的,因为使它能够相当宽的温度范围内进行表面处理,而不会导致工具的硬度太低。

淬硬性

根据 Vicker 硬度(HV10)与由 800℃ 冷却到 500℃ 所需时间的关系,使用 CCT 曲线图的绘制数据,对淬硬性进行比较,对检测合金 1A-8A 的比较结果示于图 3。正如图中所明示的,所有的实验合金 1A-6A 比参考钢 7A 和 8A 具有更好的淬硬性。尤其是钢 5A,具有非常好的淬硬性,而参考材料 8A 在 $t_{8-5}=1000\text{s}$ 的硬化条件下,也只达到 52 HRC。参考钢 7A 达到 55 HRC,而所

有的实验合金 1A-6A, 在所说的冷却速率下, 达到的硬度都>56 HRC。

延性

用无缺口试验棒在 20℃ 下的吸收冲击能量表示延性, 示于图 4, 图 4 中示出了在真空炉内冷却的合金 1A-8A 棒, 冲击能量与由 800℃ 冷却到 500℃ 的冷却时间之间的关系。对于实物尺寸的塑料模制工具, 示出的冷却时间都是真实的冷却时间。所有的钢都回火到目标值 55HRC。实验合金 3A、4A 和 5A 都获得了最好的延性, 这些合金都含有约 0.1-0.2% 的 Si 和约 0.5% 的 V。这也示于表 4 中。表 4 表明在真空炉内硬化的和在相当于 $t_{8-5}=1190s$ 速率下冷却的和回火到 55 ± 0.8 HRC 硬度的无缺口试验棒, 在 20℃ 下吸收的冲击能量表示的延性。具有较低钒含量的相应变体呈现出较低的延性。断面的比较表明具有较低钒含量的变体都具有较大的奥氏体粒子尺寸, 通过如下事实可解释图 5, 即, 与具有稍高钒含量的变体比较, 这些合金含有较低量的阻止基质中碳化钒的奥氏体晶粒增长。图 5 和图 6 分别表示由合金 1A 和 3A 制造的试验棒的断面。图 6 中的显微照片表明了根据本发明由具有适宜合金组成的钢所制造的试验棒的延性断裂, 具有很细小的奥氏体晶粒尺寸, 这对良好的延性是先决条件。

表 4-在 20℃ 下, 对无缺口试验棒以横向的吸收冲击能量表示的延性; 硬度 55 ± 0.8 HRC

钢	延性(J)
1A	195
2A	80
3A	245
4A	255
5A	275
6A	180
7A	175

耐磨性

用 SiO_2 作为磨损剂, 对检测的合金 1A-8A 进行销对销(pin against pin)试验。钢 7A 具有最低的耐磨性。在可比较硬度时, 其他钢具有同样良好的耐磨性, 然而具有较高硅含量的那些合金多少具有稍好的耐磨性。

讨论

与本发明研发有关的所进行的工作是获得一种具有所要求组合特性的钢，如表 5 左栏中指出的。表中使用了标号 1-3，其中 1=最差、3=最好。最接近理想的实验合金是钢 5A。这种钢已与参考材料 8A 作过比较，没有严重的缺陷，而具有许多优点，就它对塑料成形用模具来说，在这种比较中，可注册为钢 5A。在与参考材料 7A 比较中，一个重要的优点是钢可在高温下回火，而钢 7A 需要低温回火，并具有已知的缺点，这种缺点关连到电火花加工，热处理后仍保持很高的应力，并且就选择表面处理而言，受到限制。参照钢的洁净度可计算出疲劳寿命的标号。根据材料的回火温度和回火后的硬度可计算出压力强度。根据材料的延性、软退火硬度，和碳化物含量可计算出磨削性、机加工性、和抛光性。焊接性与碳含量和合金元素的含量有关。可参照用传统方法制造钢的可行性，而且没有问题，来考虑生产的经济性。

表 5-要求的组合特性；检测钢的特性比较

参量/特性	要求的组合特性	钢 8A	钢 7A	钢 5A
淬硬性	3	1	2	3
热处理下的尺寸稳定性	3	1	2	3
回火后的硬度(56-58HRC)	3	3	3	3
冲击韧性	3	2	1	3
耐磨性	2	2	3	3
疲劳寿命	3	3	3	3
压力强度	3	3	3	3
磨削性	3	3	3	3
机加工性	3	3	3	2
电火花加工性	3	3	2	3
焊接性	2	2	1	2
抛光性	3	3	3	3
生产经济性	3	3	2	3

在与理想的组合特性比较中，钢 5A 在硬化和高温回火后，具有稍低的硬度。根据由实验获得的经验，可以估计到最佳钢组成的硅含量约为 0.2%，在这种钢中 1020℃下的溶解碳的含量约为 0.45%。然而，为了提供合金的最佳延性/韧性，在最佳组成中碳含量不应超过 0.25%。在这种情况下，为了在

硬化和高温回火后获得 57-58 HRC 的目标硬度, 钢的碳含量的目标值应为 0.49%, 为了获得一个阻止有关热处理时晶粒生长的较宽的范围, 最佳组成的适宜钒含量估计为 0.52%。为了使延性和韧性最大, 磷、硫、氮、氧的含量要保持在一个非常低的水平。除了钒外, 钢中不应含有任何其他故意添加的碳化物形成者, 其他碳化物形成者, 如钛、锆、铌, 在最佳合金中各限止到最大 0.005%。铝可以作为制造钢时的残留物存在, 并限止到最大 0.030%, 优选最大 0.015%。

因此对于塑料成形用模具钢的最佳合金, 具有的组成列于表 6。

生产规模的试验

在电弧炉内制造本发明钢 10P, 目标组成是表 6 中列出的组成。熔体的重量为 65 吨。分析组成偏离目标组成非常小。超出给定限额的元素仅有硫和氮, 其含量分别为 0.011% 和 0.013%, 而不是最大的 0.010%。钢 10P 的全部组成列于表 7, 其中也列出了最重要杂质含量。在同一表内, 还列出了由申请人生产得到的 3 种检测参考材料 7P、8P 和 9P 的组成。这些钢相当于钢 7N、8N 和 9N, 其所具有的额定组成列于表 1 中。参考材料也都是在电弧炉以 65 吨熔体炉量制造。所有熔体都是底铸成钢锭形状。由钢 9P 所制造的钢锭也用 ESR 再熔融进行精炼。包括 ESR 钢锭在内的所有钢锭锻造成具有不同尺寸的条钢。在取出试验样品前, 所有的条钢都要经受不同的热处理。表 8 中列出了检测条钢的尺寸和热处理条件。

然后, 在电弧炉中再制造三种具有本发明化学组成的产品熔体, 每个为 65 吨。由这些钢制成电极, 经受 ESR(电渣精炼)。ESR 钢锭锻造成不同尺寸的条钢, 这些条钢在取出试验样品之前, 也经受不同的热处理。这些条钢, 钢 11P、12P 和 13P 的化学组成列于表 7 中, 其尺寸和热处理条件列于表 8 中。

表 8-条钢尺寸和热处理

钢	条钢尺寸, mm	热处理条件
7P	φ 315	T _A 960℃, 30 分钟, 回火 200℃, 2 × 2h
8P	粗扁平条钢厚度 102mm	T _A 950℃, 30 分钟, 回火 200℃, 2 × 2h
9P	φ 330mm	T _A 1050℃, 30 分钟, 回火 575℃, 2 × 2h
9P	扁平条钢, 350 × 127mm	-” -
10P	φ 350mm	T _A 1025℃, 30 分钟, 回火 525℃, 2 × 2h
10P	扁平条钢, 396 × 136mm	-” -
11P	扁平条钢 396 × 136mm	T _A 1020℃, 30 分钟, 回火 525℃, 2 × 2h
12P	φ 350	T _A 1000℃, 30 分钟, 回火 550℃, 2 × 2h
13P	扁平条钢 596 × 346mm	T _A 1000℃, 30 分钟, 回火 550℃, 2 × 2h

表 6-最佳合金组成, 重量-%, 1020℃下溶解碳的含量和碳化物含量

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Al	N	O	C	MC 体积-%
最小	0.46	0.10	0.40	-	-	4.85	2.20	0.47	-	-	-	0.42	0.51
目标值	0.49	0.20	0.50	≤0.010	≤0.0010	5.00	2.30	0.52	≤0.015	≤0.010	≤0.0008	0.44	0.56
最大	0.51	0.25	0.60	≤0.010	≤0.010	5.15	2.40	0.57	≤0.030	≤0.010	≤0.0008	0.46	0.59

表 7-检测生产规模钢的化学组成, 分别以重量%和重量-ppm 表示, 平衡量的铁和杂质

钢号	C%	Si%	Mn %	P ppm	S ppm	Cr%	Ni%	Mo %	W ppm	Co ppm	V%	Ti ppm	Nb ppm	Al ppm	N ppm	B ppm	O ppm
7P	0.59	0.34	0.81	80	33	4.59	0.07	0.49	100	n a	0.25	10	20	250	170	n a	<12
8P	0.53	0.34	0.68	190	20	3.11	0.09	1.53	n a	n a	0.04	20	<20	160	80	n a	9
9P	0.55	1.02	0.74	140	2	2.60	0.08	2.23	n a	n a	0.83	<20	<20	410	80	23	<12
10P	0.51	0.22	0.44	70	11	5.03	0.08	2.32	20	10	0.50	25	<10	260	130	1	8
11P	0.48	0.19	0.48	70	6	5.00	n a	2.31	n a	n a	0.50	n a	n a	160	160	n a	10
12P	0.46	0.18	0.48	70	5	4.96	0.06	2.27	30	90	0.50	17	10	60	100	1	14
13P	0.51	0.13	0.48	80	3	5.02	0.06	2.34	20	80	0.51	16	10	90	110	1	8

注: n.a.=未分析

根据表 8 从条钢中选取的样品，检测其硬度和冲击韧性。结果列于表 9。在表中也列出了试验棒的类型(所有试验棒都是无缺口的)和条钢中的试验棒的位置。

CL2 是指取自圆条钢的试验棒，沿着条钢的纵向取自条钢的中心，并在条钢的垂直方向有冲击方向。

CR2 是指与 CL2 一样，但在条钢的纵方向上具有冲击方向(最不利的状态)。

TL2 是指取自扁平条钢的试验棒，其他方面按照 CR2。

LT2 是指取自扁平条钢的试验棒，其他方面按照 CL2。和

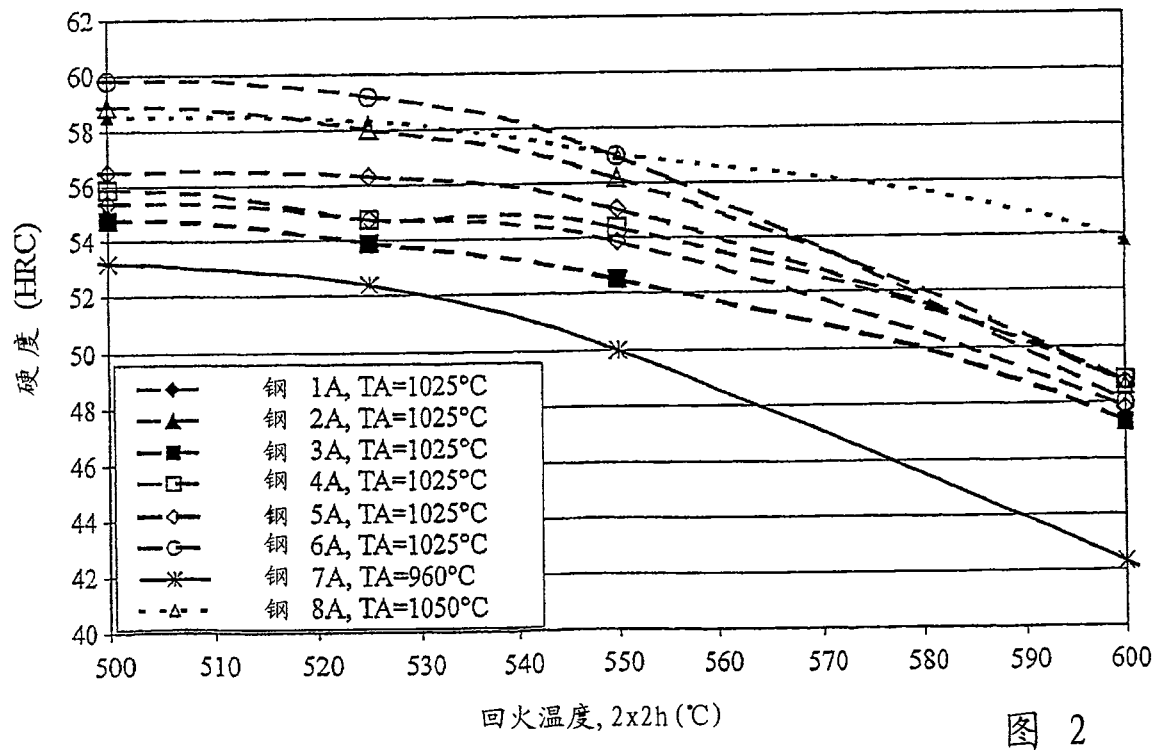
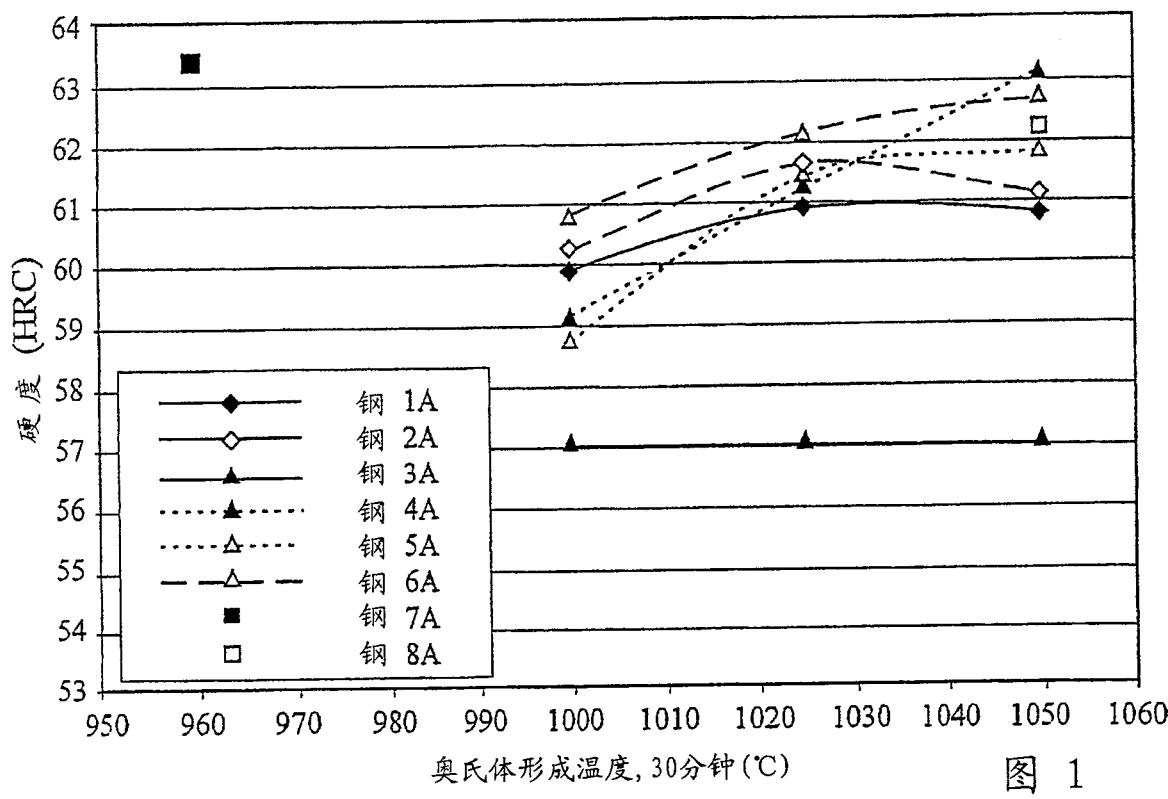
ST2 是指取自扁平条钢的试验棒，沿着最短的垂直方向，从条钢的中心选取，并在纵方向上具有冲击方向(最不利的状态)。

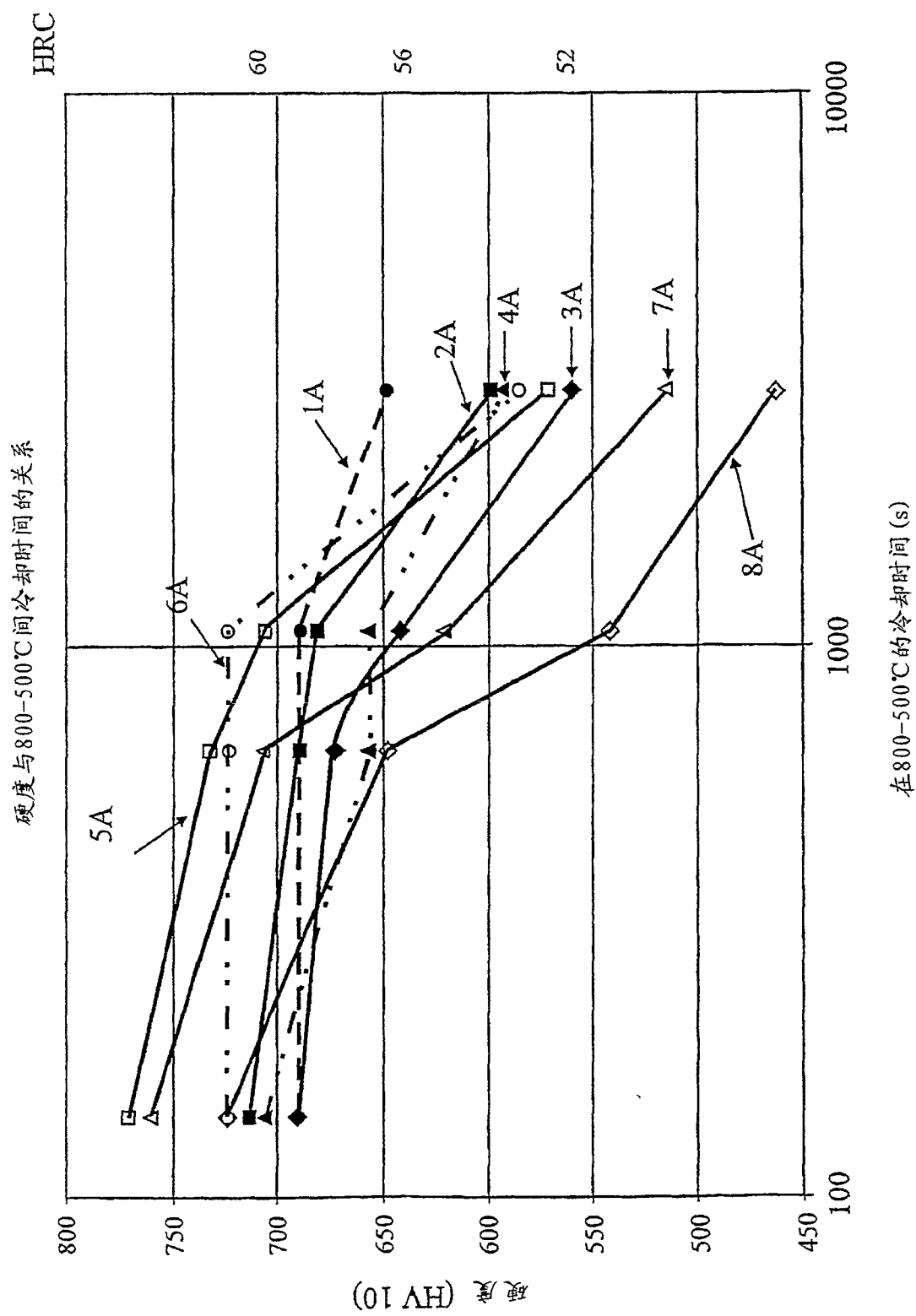
表 9-以生产规模制造的检测钢的硬度和冲击韧性

钢号，试验棒的形式和位置	硬度，HRC	冲击韧性，J
7P, CL2	58	42
8P, TL2	57	83
9P, CL2	58	60
9P, TL2	58	159
10P, CR2	57.5	58
10P, TL2	57.5	196
11P, LT2	55.9	336
11P, ST2	55.9	216
12P, CR2	57	285
13P, ST2	57.7	239

正如表 9 所示，检测钢的硬度都同样好，但是，就钢 7P 和 8P 而言，需要低温回火，并具有其已知缺点。然而，钢 8P 的可比较的良好冲击韧性，首先认为由于该钢制成的检测的扁平条钢的尺寸较细的原因所造成的。对于钢 9P，只获得了中等好的冲击韧性，虽然钢是 ESR 精炼的。钢 10P 的圆条钢，其冲击韧性的测定值为 58J 稍低于钢 9P，圆条钢的冲击韧性测定值 60J，尽管是不利的冲击方向。还可观察到，对于钢 9P 和 10P 的扁平条钢，在同等冲击韧性试验的情况下，对本发明的钢 10P 清楚地观察到最佳的冲击韧性

196J, 可与钢 9P 的 159J 相比较, 在这比较中, 特别考虑到的是钢 9P 为 ESR 精炼的, 这种通常改进了韧性, 最后, 可以注意到本发明钢 11P、12P 和 13P 的冲击韧性, 与未进行 ESR 再熔融的材料, 钢 10P 进行比较, 通过 ESR 再熔融已有极大的改进。





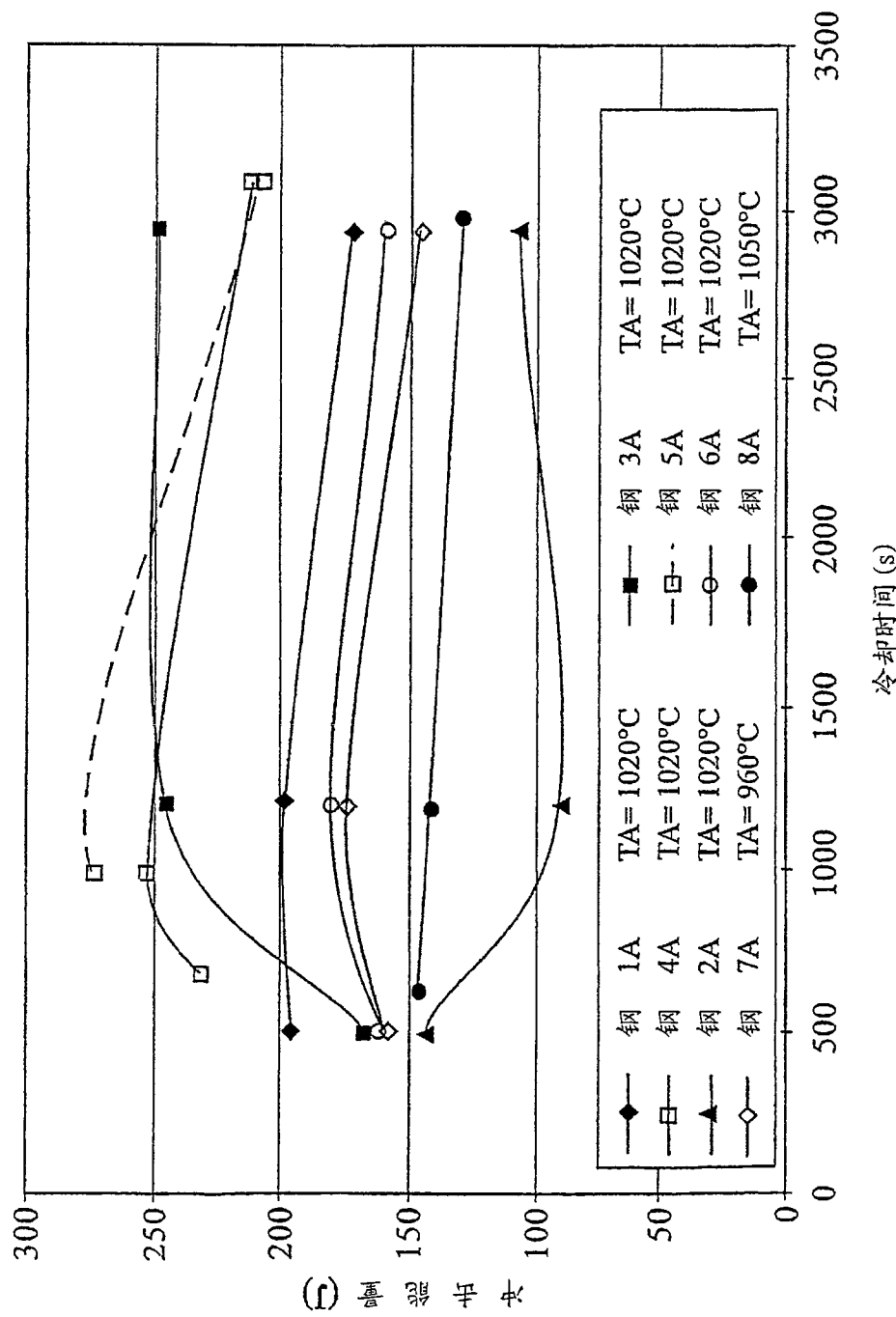


图 4

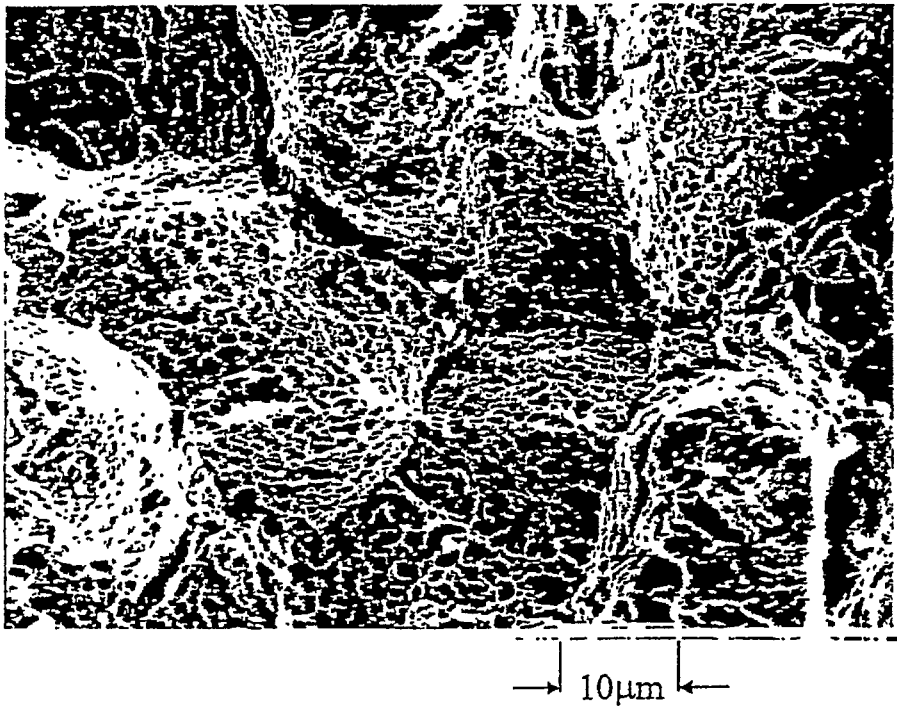


图 5

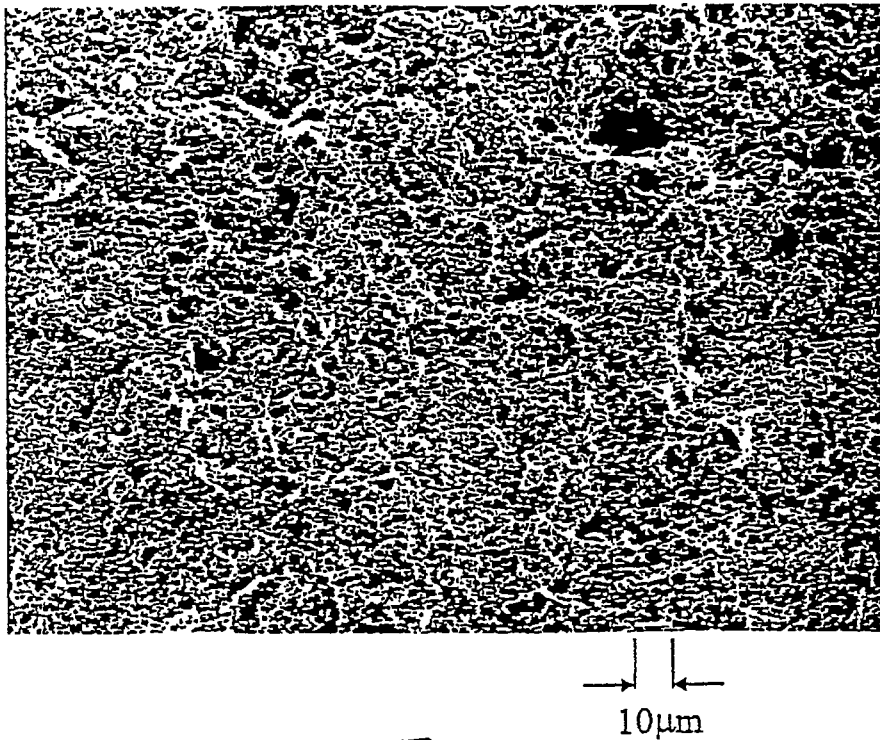


图 6