

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

C22C 23/02

C22F 1/06 B21C 1/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02810981.3

[43] 公开日 2004年7月14日

[11] 公开号 CN 1513063A

[22] 申请日 2002.5.16 [21] 申请号 02810981.3

[30] 优先权

[32] 2001.6.5 [33] JP [31] 170161/2001

[32] 2001.9.20 [33] JP [31] 287806/2001

[32] 2001.12.27 [33] JP [31] 398168/2001

[32] 2002.2.4 [33] JP [31] 27310/2002

[32] 2002.2.4 [33] JP [31] 27376/2002

[32] 2002.3.28 [33] JP [31] 92965/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2002/004759 2002.5.16

[87] 国际公布 WO2002/099148 日 2002.12.12

[85] 进入国家阶段日期 2003.11.28

[71] 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 大石幸广 河部望

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

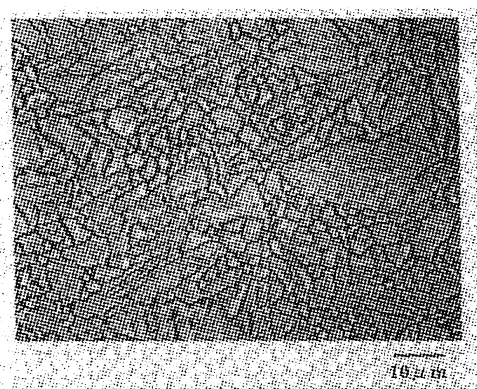
代理人 范明娥 巫肖南

权利要求书6页 说明书46页 附图1页

[54] 发明名称 镁基合金丝及其制造方法

[57] 摘要

一种镁基合金线以质量%计，含有0.1-12.0%Al和0.1-1.0%Mn，并具有直径d为0.1mm-10.0mm；长度L为1000d或更多；抗拉强度为250MPa或更高；断面收缩率为15%或更高；和伸长率为6%或更高。一种镁基合金丝的制备方法，它包括：提供具有上述组份的原料通过在50℃或更高的加工温度下拉拔原料成形，并所得丝加热到100℃-300℃的温度以制造。以及使用镁基合金丝制的弹簧。镁基合金丝的强度和韧性都优良。



ISSN 1008-4274

1. 一种镁基合金丝，它以质量%计，含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn 镁基合金线的特征在于：
- 5 其直径 d 为 0.1mm-10.0mm；
其长度 L 为 $1000d$ 或更多；
其抗拉强度为 250MPa 或更高；
其断面收缩率为 15%或更高；和
其伸长率为 6%或更高。
- 10 2. 如权利要求 1 所述的镁基合金丝，特征在于，以质量%计，它含有 0.1-小于 2.0%Al 和 0.1-1.0%Mn，并且其断面收缩率为 40%或更高，其伸长率为 12%或更高。
3. 如权利要求 1 所述的镁基合金丝，特征在于，以质量%计，它含有 0.1-小于 2.0%Al 和 0.1-1.0%Mn，并且其断面收缩率为 30%或更高，其伸长率为 15 6%或更高且小于 12%。
4. 如权利要求 1 所述的镁基合金丝，特征在于，以质量%计，它含有 2.0-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn，并且其抗拉强度为 300Mpa 或更高。
5. 一种镁基合金丝，它以质量%计，含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn，镁基合金线的特征在于：
- 20 其直径 d 为 1.0-10.0mm，和
其长度 L 为 $1000d$ 或更多；和
其在施加重复推拉应力幅度下在 1×10^7 次时其疲劳强度为 105MPa 或更高。
6. 一种镁基合金丝，它以质量%计，含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn， 25 镁基合金线的特征在于：
其 YP 比为 0.75 或更高。
7. 如权利要求 6 所述的镁基合金丝，特征在于，以质量%计，它含有 0.1-小于 2.0%Al 和 0.1-1.0%Mn，并且其 YP 比为 0.75 或更高且小于 0.90。
8. 如权利要求 6 所述的镁基合金线，特征在于，以质量%计，它含有 0.1- 30 小于 2.0%Al 和 0.1-1.0%Mn，并且其 YP 比为 0.90 或更高。
9. 如权利要求 6 所述的镁基合金丝，特征在于，以质量%计，它含有

2.0-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 并且其 YP 比为 0.75 或更高且小于 0.90。

10. 如权利要求 6 所述的镁基合金丝, 特征在于, 以质量%计, 它含有 2.0-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 并且其 YP 比为 0.90 或更高。

11. 一种镁基合金丝以质量%计, 含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 镁
5 基合金线的特征在于:

扭转试验中其 0.2%残余变形强度 $\tau_{0.2}$ 与其最大剪切应力 τ_{\max} 的比 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 为 0.50 或更高。

12. 如权利要求 11 所述的镁基合金丝, 特征在于, 以质量%计, 它含有
10 0.1-小于 2.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 并且扭转试验中其 0.2%残余变形强度 $\tau_{0.2}$ 与其最大剪切应力 τ_{\max} 的比 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 为 0.50 或更高且小于 0.60。

13. 如权利要求 11 所述的镁基合金丝, 特征在于, 以质量%计, 它含有
0.1-小于 2.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 并且扭转试验中其 0.2%残余变形强度 $\tau_{0.2}$ 与其最大剪切应力 τ_{\max} 的比 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 为 0.60 或更高。

14. 如权利要求 11 所述的镁基合金丝, 特征在于, 以质量%计, 它含有
15 2.0-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 并且扭转试验中其 0.2%残余变形强度 $\tau_{0.2}$ 与其最大剪切应力 τ_{\max} 的比 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 为 0.50 或更高且小于 0.60。

15. 如权利要求 11 所述的镁基合金丝, 特征在于, 以质量%计, 它含有
2.0-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 并且扭转试验中其 0.2%残余变形强度 $\tau_{0.2}$ 与其最大剪切应力 τ_{\max} 的比 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 为 0.60 或更高。

20 16. 一种镁基合金丝, 以质量%计, 含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 镁基合金线的特征在于: 构成金属丝的合金的晶粒尺寸为 10 μm 或更小。

17. 如权利要求 16 所述的镁基合金丝, 特征在于以质量%计, 它含有 0.1-小于 2.0%Al。

25 18. 如权利要求 16 所述的镁基合金丝, 特征在于, 以质量%计, 它含有 2.0-12.0%Al。

19. 如权利要求 16 所述的镁基合金丝, 特征在于, 构成丝的合金的晶粒尺寸为 5 μm 或更小。

20. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 镁基合金线的特征在于: 构成丝的合金的晶粒为细晶粒和粗晶粒的混合晶粒
30 结构。

21. 如权利要求 20 所述的镁基合金丝, 特征在于, 细晶粒的平均晶粒尺

寸为 $3\mu\text{m}$ 或更小, 粗晶粒的平均晶粒尺寸为 $15\mu\text{m}$ 或更大。

22. 如权利要求 20 所述的镁基合金丝, 特征在于, 平均晶粒尺寸为 $3\mu\text{m}$ 或更小的晶粒的表面积百分比为全部的 10% 或更多。

23. 如权利要求 20-22 中任一权利要求所述的镁基合金丝, 特征在于, 以质量%计, 它含有 0.1-小于 2.0%Al。

24. 如权利要求 20-22 中任一权利要求所述的镁基合金丝, 特征在于, 以质量%计, 它含有 2.0-12.0%Al。

25. 一种镁基合金, 它以质量%计, 含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 镁基合金丝的特征在于: 丝表面上的表面粗糙度为 $R_z \leq 10\mu\text{m}$ 。

26. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 镁基合金丝的特征在于: 丝表面上的轴向残余应力为 80MPa 或更低。

27. 如权利要求 26 所述的镁基合金丝, 特征在于, 丝表面上的轴向残余应力为 10MPa 或更低。

28. 如权利要求 1-27 中任一权利要求所述的镁基合金丝, 特征在于, 还含有一种或多种选自 0.5-2.0 质量%Zn 和 0.3-2.0 质量%Si 的元素。

29. 如权利要求 1-27 中任一权利要求所述的镁基合金丝, 特征在于, 还含有 0.5-2.0 质量%Zn, 且余量为 Mg 和杂质。

30. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于:

其直径 d 为 0.1mm-10.0mm;
其长度 L 为 $1000d$ 或更多;
其抗拉强度为 300MPa 或更高;
其断面收缩率为 15% 或更高; 和
其伸长率为 6% 或更高。

31. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于:

其直径 d 为 1.0-10.0mm, 和
其长度 L 为 $1000d$ 或更多; 和
在施加重复推拉应力幅度 1×10^7 次时其疲劳强度为 105MPa 或更高。

32. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于: 构成丝的合金的晶粒尺寸为 $10\mu\text{m}$ 或更小。

33. 如权利要求 32 所述的镁基合金丝, 特征在于, 构成丝的合金的晶粒尺寸为 $5\mu\text{m}$ 或更小。
34. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于: 构成丝的合金的晶粒为细晶粒和粗晶粒的混合晶粒
- 5 结构。
35. 如权利要求 34 所述的镁基合金丝, 特征在于, 细晶粒的平均晶粒尺寸为 $3\mu\text{m}$ 或更小, 粗晶粒的平均晶粒尺寸为 $15\mu\text{m}$ 或更大。
36. 如权利要求 35 所述的镁基合金丝, 特征在于, 平均晶粒尺寸为 $3\mu\text{m}$ 或更小的晶粒的表面积百分比为全部的 10%或更多。
- 10 37. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于: 丝表面上的表面粗糙度为 $R_z \leq 10\mu\text{m}$ 。
38. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于:
- 丝表面上的轴向残余应力为 80MPa 或更低。
- 15 39. 如权利要求 38 所述的镁基合金丝, 特征在于, 丝表面上的轴向残余应力为 10MPa 或更低。
40. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于: 其 YP 比为 0.90 或更高。
41. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr,
- 20 镁基合金丝的特征在于: 其 YP 比为 0.75 或更高且小于 0.90。
42. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于:
- 扭转试验中其 0.2%残余形变强度 $\tau_{0.2}$ 与其最大剪切应力 τ_{max} 的比 $\tau_{0.2}/\tau_{\text{max}}$ 为 0.60 或更高。
- 25 43. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 镁基合金丝的特征在于: 扭转试验中其 0.2%残余形变强度 $\tau_{0.2}$ 与其最大剪切应力 τ_{max} 的比 $\tau_{0.2}/\tau_{\text{max}}$ 为 0.50 或更高且小于 0.60。
44. 如权利要求 30-43 中任一权利要求所述的镁基合金丝, 特征在于, 还含有 0.5-2.0%Mn。
- 30 45. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土元素, 镁基合金丝的特征在于:

- 其直径 d 为 0.1mm-10.0mm;
其长度 L 为 $1000d$ 或更多;
其抗拉强度为 220MPa 或更高;
其断面收缩率为 15%或更高; 和
5 其伸长率为 6%或更高。
46. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土元素, 镁基合金丝的特征在于:
构成丝的合金的晶粒尺寸为 $10\mu\text{m}$ 或更小。
47. 如权利要求 46 所述的镁基合金丝, 特征在于, 构成丝的合金的晶粒
10 尺寸为 $5\mu\text{m}$ 或更小。
48. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土元素, 镁基合金丝的特征在于:
丝表面上的表面粗糙度为 $R_z \leq 10\mu\text{m}$ 。
49. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土
15 元素, 镁基合金丝的特征在于:
丝表面上的轴向残余应力为 80MPa 或更低。
50. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土元素, 镁基合金丝的特征在于:
其 YP 比为 0.90 或更高。
- 20 51. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土元素, 镁基合金丝的特征在于:
其 YP 比为 0.75 或更高且小于 0.90。
52. 一种镁基合金丝, 它以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土元素, 镁基合金丝的特征在于:
25 扭转试验中其 0.2%残余形变强度 $\tau_{0.2}$ 为 165MPa 或更高。
53. 如权利要求 1-52 中任一权利要求中所述的镁基合金丝, 特征在于, 丝的横截面形式为非圆形截面。
54. 如权利要求 1-52 中任一权利要求中所述的镁基合金丝, 特征在于, 直径为 0.8-4.0mm 的焊丝。
- 30 55. 如权利要求 1-52 中任一权利要求中所述的镁基合金丝, 特征在于, 丝的不圆度为 0.01mm 或更小。

56. 一种镁基合金弹簧, 特征在于, 用权利要求 1-53 和 55 中任一权利要求中所述镁基合金丝加工成的弹簧。

57. 一种镁基合金丝制造方法, 特征在于包括:

5 步骤:

(A) 以质量%计, 含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn 的镁基合金基材;

(B) 以质量%计, 含有 0.1-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn, 并且还含有一种或多种选自 0.5-2.0%Zn 和 0.3-2.0%Si 的元素的镁基合金基材;

(C) 以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr 的镁基合金基材;

10 (D) 以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr, 并且还含有 0.5-2.0%Mn 的镁基合金基材; 和

(E) 以质量%计, 含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土元素的镁基合金基材; 和

将原料基材拉拔并加工成线形的处理步骤。

15 58. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 拉拔处理时的加工温度为 50°C-200°C。

59. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 一次拉拔处理中的截面压缩率为 10%或更高。

20 60. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 拉拔处理时的总截面压缩率为 15%或更高。

61. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 拉拔处理时的线速度为 1m/min 或更高。

62. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 温度升到拉拔处理温度的速度为 1°C/sec-100°C/sec。

25 63. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 使用线模或辊模进行拉拔处理。

64. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 使用多个线模或辊模进行多道次拉拔处理。

30 65. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 拉拔处理完成后, 将得到的线形制品在 100°C-300°C 的温度下加热。

66. 如权利要求 57 所述的镁基合金丝制造方法, 特征在于, 在低于 50°C 时进行拉拔处理。

镁基合金丝及其制造方法

5 技术领域

本发明涉及高韧性的镁基合金丝和制造这种丝的方法。本发明还涉及使用这种镁基合金丝的弹簧。

背景技术

10 在飞机部件、汽车部件和各种电子产品壳体中已广泛使用比铝轻且其强度和相对刚度都超过钢与铝的镁基合金。

但是，由于其六方密堆集晶体结构，镁及其合金的延展性不足，并且其塑性加工能力非常差。这也是难以由 Mg 及其合金制造丝的原因。

而且，尽管可通过热轧和热压 Mg/Mg 合金铸造材料来制造圆棒，但由于它们缺乏韧性和断面收缩(横截面积缩减)率低于 15%，因而不适于，例如，冷加工制造弹簧。另外，当镁基合金用作结构材料时，与一般结构材料相比，其 YP(拉伸屈服点)比(这里定义为 0.2%耐力[即残余形变屈服强度]/抗拉强度)和扭转屈服比 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ (扭转试验中 0.2%残余形变强度 $\tau_{0.2}$ 与最大剪切应力 τ_{\max} 的比)之差。

20 其间，公布号为 H07-3375 的日本专利申请中公开了高强度 Mg-Zn-X 系(X: Y, Ce, Nd, Pr, Sm, Mm)镁基合金，并产生 600MPa-726MPa 的强度。这个公布的专利申请还公开了进行弯曲和压扁测试以评价合金的韧性。

但是，其获得的材料的形式仍未超出直径为 6mm、长为 270mm 的短棒，而且通过描述的方法(粉末挤出)不能制造更长的丝。同时由于它们含有约几个原子%的加入元素如 Y、La、Ce、Nd、Pr、Sm、Mm，所以不仅材料成本高，而且可重复利用性差。

另外，在 *Journal of Materials Science Letters*, 20, 2001, 457-459 页描述了 AZ91 合金铸造材料的疲劳强度，大约在 20MPa 的水平上，也是相当低的。

在日本机械工程师协会第 72 届全国会议的论文集(I)(*Symposium of Presentations at the 72nd National Convention of the Japan Society of Mechanical Engineers*)第 35-37 页上，描述了 AZ21 合金挤出材料的旋转弯曲

疲劳试验结果,显示疲劳强度为 100MPa,但测试未达到 10^7 次循环。另外,在 *Summary of Presentations at the 99th Autumn Convention of the Japan Institute of Light Metals*(2000)第 73-74 页上,描述了通过触融模制™AE40、AM60 和 ACaSr6350p 形成的材料的旋转弯曲疲劳性能。室温下的疲劳强度分别为 65MPa、90MPa 和 100MPa,但是,简言之,就镁基合金的旋转弯曲疲劳强度而言,未获得超过 100MPa 的疲劳强度。

发明的公开

本发明首要目的在于实现强度和韧性都优良的镁基合金丝及其制造方法,以及实现使用这种镁基合金丝制的弹簧。

本发明另一个目的还在于实现 YP 比和 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比高的镁基合金丝及其制造方法。

本发明另外的目的还在于实现具有超过 100MPa 的高疲劳强度的镁基合金丝及其制造方法。

由于对通常难以拉拔镁基合金方法作了多种研究,本发明人发现并因此完成了本发明,即通过在拉拔处理时的特定处理温度,并根据需要使拉拔处理与预定的热处理过程相结合,就能制造强度和韧性优良的丝。

(镁基合金丝)

根据本发明的镁基合金丝的第一个特征在于它是由下面列出的从(A)到(E)中任何化学组成构成的镁基合金丝,其中其直径 d 为 0.1mm-10.0mm,其长度 L 为 $1000d$ 或更长,其抗拉强度为 220MPa 或更高,其断面收缩率为 15% 或更大,其伸长率为 6% 或更高。

(A) 以质量%计,含有 2.0-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn 的镁基合金。

(B) 以质量%计,含有 2.0-12.0%Al 和 0.1-1.0%Mn,并且还含有一种或多种选自 0.5-2.0%Zn 和 0.3-2.0%Si 的元素的镁基合金。

(C) 以质量%计,含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr 的镁基合金。

(D) 以质量%计,含有 1.0-10.0%Zn 和 0.4-2.0%Zr,并且还含有 0.5-2.0%Mn 的镁基合金。

(E) 以质量%计,含有 1.0-10.0%Zn 和 1.0-3.0%稀土元素的镁基合金。

可使用镁基铸造合金或镁基可锻合金作为丝用镁基合金。更具体地,可使用 ASTM 规格的例如 AM 系列、AZ 系列、AS 系列、ZK 系列、EZ 系列等。

除了上面列出的化学组成，作为合金使用的是这些含有 Mg 和杂质的合金。这些杂质可为如 Fe、Si、Cu、Ni 和 Ca。

AM 系列中的 AM60 为含有 5.5-6.5%Al; 0.22%或更少的 Zn; 0.35%或更少的 Cu; 0.13%或更多的 Mn; 0.03%或更少的 Ni; 和 0.5%或更少的 Si 的镁基合金。AM100 是含有 9.3-10.7%Al; 0.3%或更少的 Zn; 0.1%或更少的 Cu; 0.1-0.35%的 Mn; 0.01%或更少的 Ni; 和 0.3%或更少的 Si 的镁基合金。

以质量%计，AZ 系列中的 AZ10 为含有 1.0-1.5%Al; 0.2-0.6%Zn; 0.2%或更多的 Mn; 0.1%或更少的 Cu; 0.1%或更少的 Si; 和 0.4%或更少的 Ca 的镁基合金。以质量%计，AZ21 为含有 1.4-2.6%Al; 0.5-1.5%Zn; 0.15-0.35%Mn; 0.03%或更少的 Ni; 和 0.1%或更少的 Si 的镁基合金。AZ31 为含有 2.5-3.5%Al; 0.5-1.5%Zn; 0.15-0.5%Mn; 0.05%或更少的 Cu; 0.1%或更少的 Si; 和 0.04%或更少的 Ca 的镁基合金。AZ61 为含有 5.5-7.2%Al; 0.4-1.5%Zn; 0.15-0.35%Mn; 0.05%或更少的 Ni; 和 0.1%或更少的 Si 的镁基合金。AZ91 为含有 8.1-9.7%Al; 0.35-1.0%Zn; 0.13%或更多的 Mn; 0.1%或更少的 Cu; 0.03%或更少的 Ni; 和 0.5%或更少的 Si 的镁基合金。

以质量%计，AS 系列中的 AS21 为含有 1.4-2.6%Al; 0.1%或更少的 Zn; 0.15%或更少的 Cu; 0.35-0.60%Mn; 0.001%Ni; 和 0.6-1.4%Si 的镁基合金。AS41 为含有 3.7-4.8%Al; 0.1%或更少的 Zn; 0.15%或更少的 Cu; 0.35-0.60%Mn; 0.001%或更少的 Ni; 和 0.6-1.4%Si 的镁基合金。

ZK 系列中的 ZK60 为含有 4.8-6.2%Zn 和 0.4%或更多的 Zr 的镁基合金。

EZ 系列中的 EZ33 为含有 2.0-3.1%Zn; 0.1%或更少的 Cu; 0.01%或更少的 Ni; 2.5-4.0%的 RE; 和 0.5-1%Zr 的镁基合金。这里的“RE”为稀土元素; 一般通常使用 Pr 和 Nd 的混合物。

尽管单从镁本身获得足够的强度是困难的，但通过包含上面列出的化学组成可得到理想的强度。而且，下文将要描述的制造方法能制造具有优异韧性的丝。

然后使合金具有上述的抗拉强度、断面收缩率和伸长率，以便同时具有强度和韧性，并有利于后续过程如把合金加工成弹簧。对于 AM 系列、AZ 系列、AS 系列和 ZK 系列，较优选的抗拉强度为 250MPa 或更高; 更优选为 300MPa 或更高; 尤其优选为 330MPa 或更高。对于 EZ 系列，较优选的抗拉强度为 250MPa 或更高。

同样,较优选的断面收缩率为30%或更高;尤其优选为40%或更高。AZ31的化学组成尤其适于获得40%或更高的断面收缩率。还有,由于含有0.1-小于2.0%Al和0.1-1.0%Mn的镁基合金可获得30%或更高的断面收缩率,因此
5 优选这种化学组成。对含有0.1-小于2.0%Al和0.1-1.0%Mn的镁基合金,较
优选的断面收缩率为40%或更高;尤其优选的断面收缩率为45%或更高。这时较优选的伸长率为10%或更高;抗拉强度为280MPa或更高。

本发明的镁基合金丝的第二个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金线,其中其YF比为0.75或更高。

YF比即用“0.2%耐力/抗拉强度”给出的比例。要求在用作结构材料时
10 镁基合金具有高强度。在这种情况下,因为实际工作极限不仅取决于抗拉强度,而且取决于0.2%耐力的大小,所以为了获得高强度的镁基合金,不但要提高抗拉强度的绝对值,还要使YF比更大。通常可通过热挤可锻材料如AZ10合金或AZ21合金来生产圆形棒材,但是其抗拉强度为200-240MPa,其YF比(0.2%耐力/抗拉强度)为0.5到少于0.75%。对于本发明,通过对拉拔处理
15 指定处理温度、温度升到加工温度的速度、成形性和线速度;并且在拉拔处理后,对材料进行预定的热处理,可制造YF比为0.75或更高的镁基合金丝。

例如,可通过在下列条件下进行拉拔处理制造YF比为0.9或更高的镁基合金丝:到加工温度的升温速度为1°C/sec-100°C/sec;加工温度为50°C-200°C(更优选150°C或以下);成形性为10%或更高;线速度为1m/sec或更高。
20 另外,通过在前述拉拔处理后冷却丝,并在150°C-300°C的温度下进行5min或更长停留时间的热处理,可制得YF比为0.75或更高但小于0.90的镁基合金丝。尽管较大的YF比意味着优良的强度,但由于这意味着在必要的后续处理时可加工性差,因此当考虑可加工性时,YF比为0.75或更高但小于0.90的镁基合金丝是实用的。YF比优选为0.8或更高但小于0.90。

25 本发明的镁基合金丝的第三个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金丝,其中在扭转试验中其0.2%残余变形强度 $\tau_{0.2}$ 与其最大剪切应力 τ_{max} 的比 $\tau_{0.2}/\tau_{max}$ 为0.50或更高。

对于其中扭转性能有影响的应用,如螺旋弹簧,拉紧时不仅YF比变得至关重要,而且扭转屈服比即 $\tau_{0.2}/\tau_{max}$ 也应该大。通过本发明指定的拉拔处理
30 时间、处理温度、到达加工温度的升温速度、成形性和线速度;并且在拉拔处理后,对材料进行预定的热处理,可制造 $\tau_{0.2}/\tau_{max}$ 为0.50或更高的镁基合金

丝。

例如，可通过在下列条件下进行拉拔处理制造 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 为0.60或更高的镁基合金丝：到达加工温度的升温速度为 $1^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ - $100^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ ；加工温度为 50°C - 200°C （更优选 150°C 或以下）；成形性为10%或更高；线速度为 $1\text{m}/\text{sec}$ 或更高。另外，通过在前述拉拔处理后冷却丝，并在 150°C - 300°C 的温度下进行5min或更长停留时间的热处理，可制得 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 为0.50或更高但小于0.60的镁基合金丝。

本发明镁基合金丝的第四个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金丝，其中构成丝的合金的平均晶粒尺寸为 $10\mu\text{m}$ 或更小。

10 限定镁基合金的平均晶粒尺寸以使镁基合金丝的强度和韧性平衡，可有利于后续处理如弹簧成形。主要通过调整拉拔处理时的加工温度而主要进行平均晶粒尺寸的控制。

更特别地，使合金显微结构具有 $5\mu\text{m}$ 或更小的平均晶粒尺寸，能制造强度和韧性更加平衡的镁基合金丝。通过在 200°C - 300°C 时，更优选 250°C - 300°C 时，热处理后挤出的材料可得到平均晶粒尺寸为 $5\mu\text{m}$ 或更小的精细晶体结构。此外，平均晶粒尺寸为 $4\mu\text{m}$ 或更小的精细晶体结构能提高合金的疲劳性能。

本发明镁基合金丝的第五个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金丝，其中构成丝的合金的晶粒大小为混合晶粒结构中的细晶粒和粗晶粒。

20 使晶粒进入混合晶粒结构能制造同时具有强度和韧性的镁基合金丝。举一个具体的例子，混合晶粒结构可以是一种平均晶粒尺寸为 $3\mu\text{m}$ 或更小的细晶粒和平均晶粒尺寸为 $15\mu\text{m}$ 或更大的粗晶粒的混合结构。尤其是使平均晶粒尺寸为 $3\mu\text{m}$ 或更小的晶粒的表面积百分比为全部的10%或更多时，能制造强度和韧性更加优异的镁基合金线。可通过结合下文描述的拉伸和热处理过程而获得这种类型的混合晶粒结构。其中特别的是优选在 100 - 200°C 下进行加热处理。

本发明镁基合金线的第六个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金丝，其中构成丝的合金的表面粗糙度为 $R_z \leq 10\mu\text{m}$ 。

30 制造外表面光滑的镁基合金丝有利于使用丝的弹簧的成形加工。主要通过调整拉拔处理时的加工温度进行表面粗糙度的控制。除此以外，表面粗糙度还受拉丝条件如拉拔速度和润滑剂的选择的影响。

本发明镁基合金丝的第七个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金丝，其中丝表面的轴向残余应力为 80MPa 或更低。

5 由于在轴向上的线表面(拉伸)的残余应力为 80MPa 或更低，从而能保证在下一阶段再成形或加工过程中有足够的加工精度。可通过如拉拔处理条件(温度、成形性)和随后的热处理条件(温度、时间)等因素来调整轴向残余应力。尤其是丝表面上的轴向残余应力为 10MPa 或更低时，能制造疲劳特征优良的镁基合金线。

本发明镁基合金线的第八个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金丝，其中施加重复推拉应力幅度 1×10^7 次时疲劳强度为 105MPa 或更高。

10 制造具有如刚才所述疲劳特征的镁基合金丝，能使镁基合金在对疲劳特征有更高需求的广泛应用领域内使用，如弹簧、便携式家用电子产品的增固架和螺杆。可通过在拉拔处理后对材料进行 150℃-250℃ 的热处理来得到具有这种疲劳特征的镁基合金丝。

15 本发明镁基合金丝的第九个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金丝，其中线的不圆度为 0.01mm 或更小。“不圆度”为通过丝的同一直径最大和最小值间的差异。不圆度为 0.01mm 或更小有利于在自动焊接机上所使用的丝。而且，使弹簧用丝的不圆度为 0.01mm 或更小能稳定弹簧成形加工，从而稳定弹簧性能。

20 本发明镁基合金线的第十个特征在于它是具有上述化学组成的镁基合金丝，其中线的横截面为非圆形。

丝在横截面形式上通常是圆的。但是，对于本发明的丝，其韧性优异，不必限制为圆形，并易于地加工成横截面为奇特的椭圆和矩形/多边形。通过改变拉丝模的形式可容易地控制以使丝的横截面形式为非圆形。这种类型的奇特形式的丝适于眼镜框、便携式电子设备的增固架材料等应用。

25 (镁基合金焊丝)

上述的丝可用作焊丝。特别是理想地适用于拉出卷绕在轴上的焊丝的自动焊接机上。对于焊丝，使用化学组成为 AM 系列、AZ 系列、AS 系列或 ZK 系列的镁合金丝—尤其是上述的从(A)到(C)的化学组成—是适宜的。另外，丝直径优选为 0.8-4.0mm。更理想的是抗拉强度为 330MPa 或更高。通过使丝
30 具有刚提到的直径和抗拉强度，焊丝能被卷到轴上并从轴上被拉出而没有结头。

(镁基合金弹簧)

本发明的镁基合金弹簧的特征在于为由上述镁基合金丝形成的弹簧。

由于上述镁基合金丝一方面具有强度，另一方面又同时具有韧性，因此可无任何障碍地将其加工成弹簧。丝尤其适于冷加工的弹簧成形。

5 (制造镁基合金线的方法)

本发明制造镁基合金线的方法的特征在于：包括制备由上述从(A)到(E)中任一化学组成构成的镁基合金作为原料基材的步骤，和拉拔原料基材将其加工成丝状的步骤。

10 根据本发明的方法有利于后续加工如弹簧成形过程，能制造的丝有效地用于便携式家用电子产品增固架、长焊接机、螺杆及其它应用。本方法尤其能使其易于制造长度为其直径的1000倍或更多的线。

可使用通过铸造、挤出或类似方法得到的散料或棒材作为原料基材。通过使原料基材经过如丝模或辊模进行拉拔处理。对于拉拔处理，优选在50℃或以上的加工温度下进行加工，更优选在100℃或以上。加工温度为50℃或以上有利于丝加工。但是，由于较高的处理温度引起强度降低，因此加工温度15 优选为300℃或以下。更优选地，加工温度为200℃或以下；还更优选地，加工温度为150℃或以下。在本发明中，在模前设置加热器，并设定加热器的加热温度为加工温度。

20 温度升到加工温度的速度优选为1℃/sec-100℃/sec。同样，拉拔处理时适宜的线速度为1m/min或更高。

还可利用多个丝模和辊模进行多道次拉拔处理。可通过这种重复的多道次拉拔处理来制造较细直径的线。特别是能容易地得到直径小于6mm的丝。

在一次拉拔处理循环时，截面压缩率优选为10%或更高。由于低的成形性使屈服强度就低的事实，通过在截面压缩率为10%或更高时进行处理，就可25 可容易地制造具有适宜强度和韧性的线。每次通过的截面压缩率为20%或更高则更为优选。但是，如果成形性太大，处理就不能进行，所以每道次截面压缩率上限大约为30%或更低。

对拉拔处理同样有利的是其中总截面压缩率为15%或更高。总截面压缩率更优选为25%或更高。按照这种总截面压缩率的拉拔处理与下文将要描述30 的热处理过程相结合，能制造同时具有强度和韧性的丝，并且金属具有混合晶粒或细晶粒的结构。

现在转向本发明方法中后拉拔的处理，冷却速度优选为 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 或更高。如果达不到这个下限，晶粒就开始生长。冷却方式可为例如吹风，这种情况下可通过吹风速度和量等来调整冷却速度。

另外，在拉拔处理后，可通过将线加热到 100°C - 300°C 来提高丝的韧性。
5 加热温度更优选为 150°C - 300°C 。保持加热温度的持续时间优选为约 5-20 分钟。这种加热(退火)改善了丝可从因拉拔处理引起的形变中恢复，以使其再结晶。当在拉拔处理后进行退火时，拉拔处理的温度应低于 50°C 。把拉拔处理温度设在 30°C 以上的水平，能使拉拔工作自动进行，而随后进行的退火能大大提高韧性。

10 特别是，进行后拉拔退火尤其适于制造至少具有一个下列特征的镁基合金丝：伸长率为 12%或更高，断面收缩率为 40%或更高，YP 比为 0.75 或更高但低于 0.90，和 $\tau_{0.2}/\tau_{\text{max}}$ 为 0.50 或更高但小于 0.60。

另一方面，拉拔加工后进行 150°C - 250°C 的热处理过程特别适于制造(1) 在施加重复推拉应力幅度下 1×10^7 次时疲劳强度为 105MPa 或更高的镁基合金丝；(2)线表面上的轴向残余应力为 10MPa 或更低的镁基合金丝；和(3)平均晶粒尺寸为 $4\mu\text{m}$ 或更小的镁基合金丝。
15

附图简述

图 1 为本发明的丝的光学微观结构图

20

发明最佳实施方式

下面将说明本发明的实施例。

实施例 1

使用以质量%计，含有 3.0%Al、1.0%Zn 和 0.15%Mn，且余量由 Mg 和杂质构成的镁合金(一种相当于 ASTM 规格中 AZ-31 合金的材料)的 $\phi 6.0\text{mm}$ 挤出材料，通过在各种条件下经线模拉拔挤出材料而制造丝。将设置在线模前的加热器的加热温度设定为加工温度。温度升到加工温度的速度为 $1-10^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ ，拉拔处理时的丝速度为 $2\text{m}/\text{min}$ 。另外，通过吹风冷却进行拉拔后冷却处理。通过在显微镜下放大丝断面结构，而测定观察区域内大量晶体的粒度并对尺寸平均，得知平均晶粒尺寸。处理后的丝直径为 $4.84-5.85\text{mm}$ (截面压缩处理为 19%时为 5.4mm ；截面压缩率为 5-35%时为 $5.85-4.84\text{mm}$)。在表 I
30

中，列出了改变加工温度时得到的丝的性能，而在表II中，为改变截面压缩率时得到的丝的性能。

表I

合金类型	加工温度℃	截面压缩率%	冷却速度℃/sec	抗拉强度 MPa	断后伸长率%	断面收缩率%	晶粒尺寸 μm
AZ31	未处理			256	4.9	19.0	29.2
	20	19	10	不能处理			
	50	19	10	380	8.1	51.2	5.0
	100	19	10	320	8.5	54.5	6.5
	150	19	10	318	9.3	53.4	7.2
	200	19	10	310	9.9	52.6	7.9
	250	19	10	295	10.2	53.8	8.7
	300	19	10	280	10.2	54.0	9.2
	350	19	10	280	10.2	53.2	9.8

表II

合金类型		加工温度/℃	截面压缩率%	冷却速度/℃/sec	抗拉强度/MPa	断后伸长率%	断面收缩率%	晶粒尺寸/ μm
AZ31	对比样品	未处理			256	4.9	19.0	29.2
		100	5	10	280	5.2	30.0	13.5
	本发明 样品	100	10.5	10	310	8.2	45.0	6.7
		100	19	10	320	8.5	54.5	6.5
		100	27	10	340	9.0	50.0	6.3
		100	35	不能处理				

从表I中看出，拉拔处理前挤出材料的韧性为：断面收缩率 19%，和伸长率 4.9%。相反，经过了 50℃或更高温度下拉拔处理的本发明的样品，断面收缩率为 50%或更高，伸长率为 8%或更高。而且，它们的强度超过了拉拔处理前的强度；并在强度提高的同时获得了增强的韧性。

- 5 另外，对于 250℃或更高的拉拔处理温度，强度提高的比例小。因此，在 50℃-200℃加工温度内能明显显示出强度和韧性间的良好平衡。另一方面，在 20℃的室温下，由于丝折断而不能进行拉拔处理。

- 10 从表II看出，对于截面压缩率为 5%的成形性，断面收缩率和伸长率同时都低，但当成形性为 10%或更高时，可得到 40%或更高的断面收缩率和 8%或更高的伸长率。同时，对于截面压缩率为 35%的成形性，则不能进行拉拔。从这些事实明显看出，通过成形性为 10%-30%时的拉拔处理能显示出出色的韧性。

- 15 制造的这些丝的长度是其直径的 1000 倍或更多；对经过多道次处理的丝，能进行反复处理。另外，本发明样品的平均晶粒尺寸在各种情况下都为 10 μ m 或更小，同时表面粗糙度 R_z 为 10 μ m 或更小。此外，通过 X-射线衍射得到丝表面的轴向残余应力，其中对于本发明的样品，其在各种情况下都为 80MPa 或更低。

实施例 2

- 20 使用以质量%计，含有 6.4%Al、1.0%Zn 和 0.28%Mn，且余量由 Mg 和杂质构成的镁合金(一种相当于 ASTM 规格中 AZ-61 合金的材料)的 ϕ 6.0mm 挤出材料，在各种条件下通过使挤出材料经过线模对其进行拉拔处理。将设置在线模前的加热器的加热温度设定为加工温度。温度升到加工温度的速度为 1-10℃/sec，拉拔处理时的丝速度为 2m/min。另外，通过吹风冷却进行拉拔后的冷却处理。通过在显微镜下放大丝断面结构，测定观察区域内大量晶体的粒度并对尺寸平均，得知平均晶粒尺寸。处理后的线直径为 25 4.84-5.85mm(截面压缩处理为 19%时为 5.4mm；截面压缩率为 5-35%时为 5.85-4.84mm)。在表III中，列出了改变加工温度时得到的丝的性能，而在表IV中，为改变截面压缩率时得到的丝的性能。

表III

合金类型	加工温度℃	截面压缩率%	冷却速度℃/sec	抗拉强度 MPa	断后伸长率%	断面收缩率%	晶粒尺寸μm	
AZ61	未处理			282	3.8	15.0	28.6	
	20	19	10	不能处理				
	50	19	10	430	8.2	52.2	4.8	
	100	19	10	380	8.6	55.4	6.3	
	150	19	10	372	9.1	53.2	7.5	
	200	19	10	365	9.8	52.8	7.9	
	250	19	10	340	10.3	52.7	8.3	
	300	19	10	301	10.1	53.2	9.1	
	350	19	10	290	10.0	54.1	9.9	

表IV

合金类型		加工温度℃	截面压缩率%	冷却速度℃/sec	抗拉强度MPa	断后伸长率%	断面收缩率%	晶粒尺寸μm
AZ61	对比样品	未处理			282	3.8	15.0	28.6
		100	5	10	302	4.9	28.0	13.1
	本发明	100	10.5	10	350	8.3	44.3	6.5
	样品	100	19	10	380	8.8	55.4	6.3
		100	27	10	430	8.9	49.9	6.2
		100	35	不能处理				

从表III中看出，拉拔处理前挤出材料的韧性为：断面收缩率低至15%，和伸长率3.8%。相反，经过了50℃或更高温度下拉拔处理的本发明的样品，断面收缩率为50%或更高和伸长率为8%或更高。而且，它们的强度超过了拉拔处理前的强度；并且在强度提高的同时获得了增强的韧性。

- 5 另外，对于250℃或更高的拉拔处理温度，强度提高的比例小。因此，在50℃-200℃加工温度内能明显显示出强度和韧性间的良好平衡。另一方面，在20℃的室温下，由于丝折断而不能进行拉拔处理。

从表IV看出，对于截面压缩率为5%的成形性，使断面收缩率和伸长率同时都低，但当成形性为10%或更高时，可得到40%或更高的断面收缩率和
10 8%或更高的伸长率。同时，对于截面压缩率为35%的成形性，则不能进行拉拔。从这些事实明显看出，通过成形性为10%-30%时的拉拔处理能显示出出色的韧性。

制造的这些线的长度是其直径的1000倍或更多；对经过多道次处理的线，可进行反复处理。另外，本发明样品的平均晶粒尺寸在各种情况下都为
15 10μm或更小，而表面粗糙度 R_z 为10μm或更小。

· 实施例3

使用实施例1和2中制造的丝和同样直径的挤出材料进行弹簧成形。使用直径为5.0mm的丝进行弹簧成形加工来制造外径为40mm的弹簧；研究弹簧能否成形与材料的平均晶粒尺寸和粗糙度的关系。主要通过拉拔处理时
20 调节加工温度并进行平均晶粒尺寸和表面粗糙度的调整。本实施例的加工温度为50-200℃。通过在显微镜下放大丝断面结构，测定观察区域内大量晶体的粒度并对尺寸平均，得知平均晶粒尺寸。根据 R_z 评价表面粗糙度。结果列于表V。

表V

合金类型		晶粒尺寸 μm	表面粗糙度 μm	弹簧成形能/不能 能:+ 不能:-
AZ31	本发明样品	5.0	5.3	+
		6.5	4.7	+
		7.2	6.7	+
		7.9	6.4	+
		8.7	8.8	+
		9.2	7.8	+
		9.8	8.9	+
	对比样品	28.5	18.3	-
		29.3	12.5	-
	AZ61	本发明样品	4.8	5.1
6.3			5.3	+
7.5			6.8	+
7.9			5.3	+
8.3			8.9	+
9.1			7.8	+
9.9			8.8	+
对比样品		29.6	18.3	-
		27.5	12.5	-

实施例4

使用以质量%计, 含有 6.4%Al、1.0%Zn 和 0.28%Mn, 且余量由 Mg 和杂质构成的镁合金(一种相当于 ASTM 规格中 AZ61 合金的材料)的 $\phi 6.0\text{mm}$ 挤出材料, 在加工温度为 35°C 和截面压缩率(成形性)为 27.8%时对挤出材料进行拉拔处理。将设置在丝模前的加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 $1\text{-}10^\circ\text{C}/\text{sec}$, 拉拔处理时的丝速度为 $5\text{m}/\text{min}$ 。同样, 通过吹风进行冷却。冷却速度为 $0.1^\circ\text{C}/\text{sec}$ 或更快。得到的丝表现出的性能结果为: 抗拉强度 460MPa , 断面收缩率 15%, 伸长率 6%。在 $100\text{-}400^\circ\text{C}$ 温度下

对丝进行 15 分钟的退火；得到的拉伸性能测试结果列于表VI。

表VI

合金类型		退火温度 ℃	抗拉强度 MPa	断后伸长 率%	断面收缩率%
AZ61	对比样品	无	460	6.0	15.0
	本发明样品	100	430	25.0	45.0
		200	382	22.0	48.0
		300	341	23.0	40.0
		400	310	20.0	35.0

- 5 参考表VI可发现，尽管退火导致强度在一定程度上降低，但根据伸长率和断面收缩率的韧性显然恢复得相当充分。也就是说，拉丝处理后在 100-300℃下退火对恢复韧性非常有效，而且还能保持 330MPa 或更高的抗拉强度。即使在 400℃下退火，也能获得 300MPa 或更高的抗拉强度，并且能获得足够韧性。具体地说，拉拔加工后进行 100-300℃的退火，使得即使在拉拔处理温度小于 50℃时也能制造韧性出色的丝。

实施例5

- 15 使用以质量%计，含有 5.5%Zn 和 0.45%Zr，且余量由 Mg 和杂质构成的镁合金(一种相当于 ASTM 规格中 ZK60 合金的材料)的 $\phi 6.0\text{mm}$ 挤出材料，在各种条件下通过将挤出材料经过线模对其进行拉拔处理。将设置在线模前的加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 1-10℃/sec，拉拔处理时的丝速度为 5m/min。另外，通过吹风进行冷却。本发明样品的冷却速度为 0.1℃/sec 或以上。通过在显微镜下放大线断面结构，测定观察区域内大量晶体的粒度并对尺寸平均，得知平均晶粒尺寸。通过 X-射线衍射得到线表面的轴向残余应力。后处理的线直径为 4.84-5.85mm(截面压缩处理为 20 19%时为 5.4mm；截面压缩率为 5-35%时为 5.85-4.84mm)。在表VII中，列出了改变加工温度时得到的丝的性能，而在表VIII中，为改变截面压缩率时得到的丝的性能。

表 VII

合金类型	加工温度℃	截面压缩率%	冷却速度℃/sec	抗拉强度 MPa	断后伸长率%	断面收缩率%	晶粒尺寸 μm	
ZK60	对比样品	未处理		320	20.0	13.0	31.2	
		19	10	不能处理				
	本发明 样品	20	19	10	479	8.5	17.9	5.0
		50	19	10	452	8.3	20.1	6.8
		100	19	10	420	9.8	25.6	6.8
		150	19	10	395	9.7	32.0	8.0
		200	19	10	374	10.5	31.2	8.6
		250	19	10	362	11.2	35.4	9.3
		300	19	10	344	11.3	38.2	9.9
		350	19	10				

表 VIII

合金类型	加工温度 °C	截面压缩率 %	冷却速度 °C/sec	抗拉强度 MPa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	晶粒尺寸 μm
ZK60	未处理			320	20.0	13.0	31.2
	100	5	10	329	9.9	14.9	18.2
	100	10.5	10	402	9.8	21.5	6.5
	100	19	10	452	8.3	20.1	6.8
	100	27	10	340	9.0	19.5	6.3
	100	35	不能处理				

从表VII中看出，挤出材料的韧性，其断面收缩率低至 13%。相反，经过 50℃或更高温度下拉拔处理的本发明的样品，强度为 330MPa 或更高，证实强度大大提高。同时，它们的断面收缩率为 15%或更高，伸长率为 6%或更高。另外，对于 250℃或更高的处理温度，强度提高的比例小。因此，在 50℃-200℃加工温度内能明显显示出强度-韧性间的良好平衡。另外，在 20℃的室温下，由于丝折断而不能进行拉拔处理。

从表VIII明显看出，成形率为 5%时，断面收缩率和伸长率同时都低，当成形率为 10%或更大时，强度的提高则是显著的。同时，对于 35%的成形性，则不能进行拉拔。这证明应通过成形率为 10%-30%的拉拔处理来制造丝。

10 制造的这些丝的长度是其直径的 1000 倍或更多；对经过多道次处理的线，可进行反复处理。另外，在本发明中，平均晶粒尺寸在各种情况下都为 10 μ m 或更小，表面粗糙度 R_z 为 10 μ m 或更小，轴向残余应力为 80MPa 或更低。

实施例 6

15 使用实施例 5 中制造的丝和同样直径的挤出材料进行弹簧成形。使用 5.0mm 规格的丝进行弹簧成形加工以制造外径为 40mm 的弹簧；测定弹簧能否成形、材料的平均晶粒尺寸和粗糙度。根据 R_z 评价表面粗糙度。结果列于表IX。

20 从表IX明显看出，用平均晶粒尺寸为 10 μ m 或更小和表面粗糙度 R_z 为 10 μ m 或更小的镁丝能进行弹簧成形，但在其它情况下，由于丝折断而不能进行加工。本发明因此证实，用平均晶粒尺寸为 10 μ m 或更小和表面粗糙度 R_z 为 10 μ m 或更小的镁基合金丝能进行弹簧成形。

表IX

合金类型		晶粒尺寸 μ m	表面粗糙度 μ m	弹簧成形能/不能 能:+ 不能:-
ZK60	本发明样品	4.8	5.0	+
		6.3	6.8	+
		7.5	6.8	+
		7.9	8.0	+
		8.3	8.6	+
		9.1	9.3	+
		9.9	9.9	+
		对比样品	30.2	19.2
	26.8		13.7	-

实施例7

将下面列出的相应于合金 AZ31、AZ61、AZ91 和 ZK60 的材料制成 ϕ 6.0mm 挤出材料。化学组成的单位均为质量%。

- 5 AZ31: 含 3.0%Al, 1.0%Zn 和 0.15%Mn; 余量为 Mg 和杂质。
 AZ61: 含 6.4%Al, 1.0%Zn 和 0.28%Mn; 余量为 Mg 和杂质。
 AZ91: 含 9.0%Al, 0.7%Zn 和 0.1%Mn; 余量为 Mg 和杂质。
 ZK60: 含 5.5%Zn 和 0.45%Zr; 余量为 Mg 和杂质。

- 10 使用这些挤出材料, 用线模在 100℃ 的加工温度下进行拉丝, 保持每道次成形性为 15-25%, 直到 ϕ 为 1.2mm。将设置在线模前的加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 1-10℃/sec, 拉拔处理时的丝速度为 5m/min。同样, 通过吹风进行冷却。冷却速度为 0.1℃/sec 和以上。由于本发明的材料在拉拔加工中没有丝折断, 因此能制造长丝。制得丝的长度为其直径的 1000 倍或更多。

- 15 另外, 测定不圆度和表面粗糙度。“不圆度”为通过丝的另一截面上直径的最大和最小值间的差异。根据 R_z 评价表面粗糙度。结果列于表X。还给出了作为对比材料的挤出材料的这些性能。

表X

合金类型	制造方法	抗拉强度	伸长率%	断面收缩率%	不圆度	表面粗糙度
		MPa			mm	μm
AZ31	拉丝	340	50	9	0.005	4.8
AZ61	"	430	21	9	0.005	5.2
AZ91	"	450	18	8	0.008	6.2
ZK60	"	480	18	9	0.007	4.3
AZ31	挤出	260	35	15	0.022	12.8
AZ61	"	285	35	15	0.015	11.2
AZ91	"	320	13	9	0.018	15.2
ZK60	"	320	13	20	0.021	18.3

20

如表X所示, 本发明材料的特征是明显的: 抗拉强度为 300MPa 或更大,

而且断面收缩率为 15%或更大和伸长率为 6%或更大; 另外, 表面粗糙度 $R_z \leq 10\mu\text{m}$ 。

实施例8

对上述实施例, 按照与实施例 7 中同样的方法制造丝规格为 $\phi 0.8$ 、 $\phi 1.6$ 和 $\phi 2.4\text{mm}$ 的丝, 拉拔加工温度分别为 50°C 、 150°C 和 200°C , 并按照同样方法进行评价。结果证实每个样品的抗拉强度为 300MPa 或更大, 同时断面收缩率为 15%或更大和伸长率为 6%或更大; 另外, 不圆度为 0.01mm 或更小, 表面粗糙度 $R_z \leq 10\mu\text{m}$ 。

再把得到的丝分别在卷轴上做成 1.0-5.0kg 的均匀绕组。从卷轴上抽出的丝在卷绕弯曲方面有良好的适应性, 这意味着在人工焊接、MIG、TIG 和类似自动焊接中可期望由线得到良好焊缝。

实施例9

使用 AZ-31 镁合金 $\phi 8.0\text{mm}$ 挤出材料, 通过在加工温度为 100°C 下进行拉拔处理直至材料变为 $\phi 4.6\text{mm}$ (单次通过成形率为 10%或更大; 总成形率为 67%)来制造丝。将设置在线模前的加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 $1-10^\circ\text{C}/\text{sec}$, 拉拔处理时的线速度为 $2-10\text{m}/\text{min}$ 。拉拔处理后通过吹风进行冷却, 冷却速度为 $0.1^\circ\text{C}/\text{sec}$ 或更高。将得到的线在 $100^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$ 进行 15 分钟的热处理。其拉伸性能列于表 XI。其中标有“本发明样品”的丝的结构为混合晶粒和其平均晶粒尺寸为 $5\mu\text{m}$ 或更小的线。

20 表 XI

合金类型		加热温度 $^\circ\text{C}$	抗拉强度 MPa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	晶粒尺寸 μm
AZ31	参考样品	50	423	2.0	10.2	22.5
		80	418	4.0	14.3	21.2
	本发明样品	150	365	10.0	31.2	混合晶粒
		200	330	18.0	45.0	混合晶粒
		250	310	18.0	57.5	4.0
		300	300	19.0	51.3	5.0
	参考样品	350	270	21.0	47.1	10.0

从表 XI 看出, 尽管热处理温度为 80°C 或更低时强度高, 但同时伸长率和

断面收缩率低，缺乏韧性。在这种情况下，晶体结构为经加工的结构，平均粒度反映了处理前的粒度，大约为 20 μm 。

- 同时，当加热温度为 150 $^{\circ}\text{C}$ 或更高时，尽管强度有一定程度下降，但伸长率和断面收缩率恢复显著，其中可得到强度和韧性平衡的丝。在这种情况下，加热温度为 150 $^{\circ}\text{C}$ 和 200 $^{\circ}\text{C}$ 时的晶体结构变为晶粒度为 3 μm 或更小的晶粒和晶粒度为 15 μm 或更小的晶粒的混合晶粒结构(同上)。在 250 $^{\circ}\text{C}$ 或更高时，显示出其中晶粒尺寸几乎均匀的结构；其平均粒度列于表XI。同时保证 300MPa或更高的强度并且平均粒度为 5 μm 或更小是可能的。

实施例 10

- 10 使用 AZ-31 镁合金的 $\phi 8.0\text{mm}$ 挤出材料，通过单道次成形率为 10%或更大和加工温度为 150 $^{\circ}\text{C}$ 时进行拉拔处理来改变总成形率而制得线，将丝在 200 $^{\circ}\text{C}$ 下热处理 15 分钟，评价经过热处理的材料的拉伸性能。将设置在线模前的加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 2-5 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ ，拉拔处理时的线速度为 2-5m/min。拉拔处理后通过吹风冷却进行冷却，冷却速度为 0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 或更高。结果列于表XII。其中标有“本发明样品”的丝是结构为混合晶粒。

表XII

合金类型		成形性 %	抗拉强度 MPa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	晶粒尺寸 μm
AZ31	参考样品	9.8	280	9.5	41.0	18.2
	本发明样品	15.6	302	18.0	47.2	混合晶粒
		23.0	305	17.0	45.9	混合晶粒
		34.0	325	18.0	44.8	混合晶粒
		43.8	328	19.0	47.2	混合晶粒
		66.9	330	18.0	45.0	混合晶粒

- 20 从观察表XII可发现，尽管总成形率为 10%或更低时结构控制不适当，但为 15%或更高(同上)时，结构成为平均粒度为 3 μm 或更小的晶粒和 15 μm 或更小(同上)的晶粒的混合结构，并同时达到了高强度和高韧性。

图 1 提供了成形率为 23%时，后热处理的丝的结构的光学显微照片。从

图中可清楚了解，其结构证实为平均粒度为 $3\mu\text{m}$ 或更小的晶粒和 $15\mu\text{m}$ 或更小(同上)的晶粒的混合结构，并且其中 $3\mu\text{m}$ 或更小的晶粒的表面积百分比约为 15%。从本发明实施例中的混合晶粒结构可看到，在任何情况下， $3\mu\text{m}$ 或更小的晶粒的表面积百分比为 10%或更高。同样，30%或更高的总成形性更加有效地提高了强度。

实施例 11

使用 ZK-60 合金的 $\phi 6.0\text{mm}$ 挤出材料，在加工温度为 150°C 时进行拉拔处理直到材料成为 $\phi 5.0\text{mm}$ (总成形性为 30.6%)。将设置在线模前的加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 $2\text{-}5^\circ\text{C}/\text{sec}$ ，拉拔处理时的线速度为 $2\text{m}/\text{min}$ 。拉拔处理后通过吹风冷却进行冷却，冷却速度为 $0.1^\circ\text{C}/\text{sec}$ 或更高。冷却后在 $100^\circ\text{C}\text{-}350^\circ\text{C}$ 下对丝进行 15 分钟的热处理。经过后热处理的丝的拉伸性能示于表 XIII。其中标有“本发明样品”的丝的结构为混合晶粒和平均晶粒尺寸为 $5\mu\text{m}$ 或更小的丝。

表 XIII

合金类型		加热温度 $^\circ\text{C}$	抗拉强度 MPa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	晶粒尺寸 μm
ZK60	参考样品	50	525	3.2	8.5	17.5
		80	518	5.5	10.2	16.8
	本发明样品	150	455	10.0	32.2	混合晶粒
		200	445	15.5	35.5	混合晶粒
		250	420	17.5	33.2	3.2
		300	395	16.8	34.5	4.8
	参考样品	350	360	18.9	35.5	9.7

15

从表 XIII 看出，尽管热处理温度为 80°C 或更低时强度高，但同时伸长率和断面收缩率低，缺乏韧性。在这种情况下，晶体结构为经加工的结构，晶粒尺寸反映了处理前的粒度，大约为十多 μm 。

同时，当加热温度为 150°C 或更高时，尽管强度有一定程度下降，但伸长率和断面收缩率恢复显著，并可得到强度和韧性平衡的丝。在这种情况下，加热温度为 150°C 和 200°C 时的晶体结构成为平均粒度为 $3\mu\text{m}$ 或更小的晶粒和 $15\mu\text{m}$ 或更小(同上)的晶粒的混合晶粒结构。在 250°C 或更高时，显示出粒

度均匀的结构；其粒度列于表XIII。并可同时保证 390MPa 或更高的强度和平均粒度为 5 μ m 或更小。

实施例12

5 使用 AZ31 合金、AZ61 合金和 ZK60 合金的 ϕ 5.0mm 挤出材料，将材料经过线模进行拉拔的热加工处理，直到 ϕ 为 4.3mm。将设置在线模前的加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 2-5 $^{\circ}$ C/sec，拉拔处理时的线速度为 3m/min。拉拔处理后通过吹风冷却进行冷却，冷却速度为 0.1 $^{\circ}$ C/sec 或更高。拉拔加工时的加热温度和得到的线的性能列于表XIV到

10 度。扭转屈服比为扭转试验中 0.2%的残余形变强度 $\tau_{0.2}$ 与最大剪切应力 τ_{max} 的比。扭转试验中夹具间的距离设为 100d(d: 线直径)；由试验中的扭矩和扭转角之间的关系得到 $\tau_{0.2}$ 和 τ_{max} 。作为对比材料的挤出材料的性能也被列于表中。

表XIV

合金类型		加热温度 $^{\circ}$ C	抗拉强度 MPa	0.2% 耐力 MPa	YP 比	τ_{max} MPa	$\tau_{0.2}$ MPa	$\tau_{0.2}/\tau_{max}$ MPa
AZ31	本发明样品	100	345	333	0.96	188	136	0.72
		200	331	311	0.94	186	133	0.72
		300	309	282	0.91	182	115	0.63
	对比样品	挤出材料	268	185	0.69	166	78	0.47

15 表XV

合金类型		加热温度 $^{\circ}$ C	抗拉强度 MPa	0.2% 耐力 MPa	YP 比	τ_{max} MPa	$\tau_{0.2}$ MPa	$\tau_{0.2}/\tau_{max}$ MPa
ZK60	本发明样品	100	376	359	0.96	205	147	0.72
		200	373	358	0.96	210	138	0.66
		300	364	352	0.97	214	130	0.61
	对比样品	挤出材料	311	222	0.71	192	88	0.46

表XVI

从表XIV到XVI看出，与挤出材料的 YP 比为 0.7 左右相比，本发明样品的 YP 比在各种情况下都为 0.9 或更大，并且 0.2%耐力值增加到或超过抗拉强度的增加。

也可以理解任一挤出材料组成中 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比小于 0.5，而本发明样品却显示出 0.6 或更高的较高值。这些结果与横断面为奇特形式(非圆形)的线材和棒材一致。

实施例 13

10 使用 AZ31 合金、AZ61 合金和 ZK60 合金的 $\phi 5.0\text{mm}$ 挤出材料，将材料经过线模进行拉拔的热加工处理，直到 ϕ 为 4.3mm。将设置在线模前的加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 5-10 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ ，拉拔处理时的线速度为 3m/min。拉拔处理后通过吹风冷却进行冷却，冷却速度为 0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 或更高。冷却后对丝进行 100 $^{\circ}\text{C}$ -300 $^{\circ}\text{C}$ \times 15 分钟的热处理。

15 实施例 12 中同样的方式，用 YP 比和扭转屈服比 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 评价线性能。结果列于表XVII到表XIX。作为对比材料的挤出材料的性能也被列于表中。

表XXVII

合金 类型	加热温度 ℃	抗拉强度 MPa	0.2%耐力 MPa	YP 比	伸长率 %	τ_{\max} MPa	$\tau_{0.2}$ MPa	$\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ MPa
AZ31 本发明样品	无	335	310	0.93	7.5	187	137	0.73
	100	340	328	0.96	6.0	186	132	0.71
	150	323	303	0.94	9.0	184	129	0.7
	200	297	257	0.87	17.0	175	100	0.57
	250	280	210	0.75	19.0	174	94	0.54
	300	277	209	0.75	21.0	172	91	0.53
对比样品	挤出材料	268	185	0.69	16.0	166	78	0.47

表XVIII

合金类型	加热温度 °C	抗拉强度 MPa	0.2%耐力 MPa	YP 比	伸长率 %	τ_{\max} MPa	$\tau_{0.2}$ MPa	$\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ MPa
AZ61 本发明样品	无	398	363	0.91	3.0	220	158	0.72
	100	393	364	0.93	5.0	220	154	0.7
	150	375	352	0.94	7.0	218	150	0.69
	200	370	309	0.83	18.0	212	119	0.56
	250	354	286	0.81	17.0	211	114	0.54
	300	329	248	0.75	18.0	209	107	0.51
对比样品	挤出材料	315	214	0.68	15.0	195	82	0.42

表XIX

合金类型	加热温度 °C	抗拉强度 MPa	0.2%耐力 MPa	YP 比	伸长率 %	τ_{\max} MPa	$\tau_{0.2}$ MPa	$\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ MPa
ZK60 本发明样品	无	371	352	0.95	8.0	210	153	0.73
	100	369	339	0.92	7.0	208	146	0.7
	150	355	327	0.92	9.0	205	139	0.68
	200	350	298	0.85	18.0	204	116	0.57
	250	347	285	0.82	21.0	202	111	0.55
	300	345	262	0.76	20.0	200	104	0.52
对比样品	挤出材料	311	222	0.71	18.0	192	88	0.46

从表XVII到XIX可以看出，与挤出材料的 YP 比为 0.7 相比，经过拉丝和热处理的本发明样品的 YP 比为 0.75 或更大。显然，在其中，对 YP 比被控制在 0.75-0.90 的本发明样品，伸长率大，加工性能也相当好。即使需要更高的强度，在 YP 比为 0.80 或更高但低于 0.90 的样品中间，也能得到与伸长率很好的平衡。

同时，对任何一种组成的挤出材料，扭转屈服比 $\tau_{0.2}/\tau_{max}$ 小于 0.5，但对经过拉丝和热处理的样品，则显示出 0.50 或更大的高值。在成形性达到要求并且要保证伸长率的情况下，优选扭转屈服比 $\tau_{0.2}/\tau_{max}$ 为 0.5 或更高但小于 0.60 是可以理解的。

这些结果显示出同样的与组成无关的趋势。另外，热处理的最佳条件受拉丝成形性和加热时间的影响，并取决于拉丝条件而不同。而且这些结果还与横断面为奇特形式(非圆形)的线材和棒材一致。

实施例 14

使用以质量%计含有 1.2%Al、0.4%Zn 和 0.3%Mn，余量由 Mg 和杂质构成的 AZ10 合金镁合金的 $\phi 5.0\text{mm}$ 挤出材料，在总截面压缩率为 36%时，在 100℃加工温度下进行拉拔处理(两道次)，直到材料为 $\phi 4.0\text{mm}$ 。拉拔处理使用线模。另外对于加工温度，在线模前设置加热器，并将加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 10℃/sec；冷却速度为 0.1℃/sec 或更快；拉拔处理时的线速度为 2m/min。同样，通过吹风冷却进行冷却。然后，在 50℃-350℃温度下对得到的丝状产品进行 20 分钟的热处理，以生产各种丝。

研究抗拉强度、断后伸长率、断面收缩率、YP 比、 $\tau_{0.2}/\tau_{max}$ 和晶粒尺寸。通过在显微镜下放大丝的断面结构，测定观察区域内大量晶体的粒度并对尺寸平均，得到平均晶粒尺寸。结果列于表XX。 $\phi 5.0\text{mm}$ 挤出材料的抗拉强度为 225MPa；其韧性：断面收缩率 38%，伸长率 9%；其 YP 比，0.64；其 $\tau_{0.2}/\tau_{max}$ 比，0.55。

表XX

合金类型	合金号	加热温度 ℃	抗拉强度 MPa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	0.2% MPa	耐力 比	YP MPa	τ_{max} MPa	$\tau_{0.2}$ MPa	$\tau_{0.2}/\tau_{max}$ MPa	晶粒尺寸 μm
AZ10	1	无	350	6.5	35.2	343	0.98	193	193	139	0.72	23.5
	2	50	348	7.5	34.5	338	0.97	195	195	142	0.73	23.5
	3	100	345	7.5	37.5	335	0.97	193	193	139	0.72	23.0
	4	150	305	13.0	45.0	271	0.89	189	189	110	0.58	混合晶粒
	5	200	290	19.0	50.2	247	0.85	183	183	102	0.56	4.2
	6	250	285	22.5	55.2	234	0.82	185	185	104	0.56	5.0
	7	300	265	20.0	48.0	207	0.78	164	164	87	0.53	7.5
	8	350	255	18.0	48.0	194	0.76	158	158	82	0.52	9.2

加热温度：是指后拉拔加热处理温度

晶粒尺寸：是指平均晶粒尺寸

从表XX明显看出，与挤出材料相比，拉拔加工后丝的强度大大提高。从热处理后的机械性能看，对于 100℃或更低的加热温度，在后拉拔性能中丝没有重大变化。显然，对于 150℃或更高的温度，断裂后伸长和断面收缩率大大提高。与经过拉拔加工但没有进行热处理的丝相比，抗拉强度、YP 比和 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比可能会降低，但大大超过了原来挤出材料的抗拉强度、YP 比和 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比。如果热处理温度超过 300℃，抗拉强度、YP 比和 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比的增加变小，所以选择热处理温度为 300℃或以下。

可以理解本实施例中得到的丝可证实具有非常细的晶粒，因为，正如表XX所示，加热温度为 150℃以上时，晶粒尺寸为 10 μm 或更小，加热温度为 200-250℃时，为 5 μm 或更小。同样，150℃的温度产生 3 μm 以下的晶粒和 15 μm 以上的晶粒的混合晶粒结构，其中，3 μm 或更小的晶粒的表面积百分比为 10%或更高。

制造的这些丝的长度是其直径的 1000 倍或更多，同时表面粗糙度 R_z 为 10 μm 或更小。另外，通过 X-射线衍射得到线表面的轴向残余应力，其中所述应力为 80MPa 或更低。此外，不圆度为 0.01mm 或更小。“不圆度”为通过丝的同一直径的最大和最小值之间的差。

然后在室温下使用得到的丝(ϕ 4.0mm)进行弹簧成形加工以制造外径为 35mm 的弹簧，其中本发明的丝可没有任何问题地形成弹簧。

实施例 15

使用以质量%计，含有 1.2%Al、0.4%Zn 和 0.3%Mn，余量由 Mg 和杂质构成的 AZ10 合金镁基合金的 ϕ 5.0mm 挤出材料，通过在不同条件下拉拔加工挤出材料来制造不同线材。拉拔处理使用线模。另外对于加工温度，在线模前设置加热器，并将加热器的加热温度设为加工温度。温度升到加工温度的速度为 10℃/sec，拉拔处理时的线速度为 2m/min。得到线的性能列于表XXI 和XXII。表XXI中的条件和结果是在截面压缩率固定、加工温度变化时的情况下进行，表XXII则为加工温度固定、截面压缩率变化时的情况下进行。在本实施例中，拉拔加工仅为单道次，这里的“截面压缩率”为总截面压缩率。

表XXI

合金类型	样品号	加工温度 °C	截面压缩 率%	冷却速度 °C/sec	抗拉强度 MPa	断后伸长率 %	断面收缩率 %	0.2%耐力 MPa	YP比	τ_{max} MPa	$\tau_{0.2}$ MPa	$\tau_{0.2}/\tau_{max}$ MPa
AZ10	1-1	未处理			205	9.0	38.0	131	0.64	113	62	0.55
	1-2	20	19	不能处理								
	1-3	50	19	10	321	7.0	35.2	315	0.98	177	129	0.73
	1-4	100	19	10	310	10.0	40.0	301	0.97	174	123	0.71
	1-5	150	19	10	292	10.0	45.2	277	0.95	166	117	0.70
	1-6	200	19	12	285	10.5	42.1	268	0.94	165	112	0.68
	1-7	250	19	12	271	11.0	48.2	249	0.92	160	104	0.65
	1-8	300	19	15	265	11.5	49.3	244	0.92	159	102	0.64
	1-9	350	19	15	252	11.8	42.3	229	0.91	151	95	0.63

表XXI

合金类型	样品号	加工温度 ℃	截面压缩 率%	冷却速度 ℃/sec	抗拉强度 MPa	断后伸 长率%	断面收 缩率%	0.2% 耐 力 MPa	YP 比	τ_{\max} MPa	$\tau_{0.2}$ MPa	$\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ MPa
AZ10	2-1	未处理			205	9.0	35.0	131	0.64	113	62	0.55
	2-2	100	5	10	235	10.5	41.5	188	0.8	130	75	0.58
	2-3	100	10.5	10	260	10.5	42.5	237	0.91	152	97	0.64
	2-4	100	19	10	310	10.0	40.0	301	0.97	174	123	0.71
	2-5	100	27	10	330	10.0	40.5	321	0.97	187	140	0.75
	2-6	100	35	不能处理								

从表XXI看出，挤出材料的抗拉强度为 205MPa；其韧性：断面收缩率 38%，伸长率 9%。另一方面，在 50℃或更高温度下经过拉拔加工的样品 1-3 到 1-9 的断面收缩率为 30%或更高，伸长率为 6%或更高。而且，这些试验材料显然具有高的 250MPa 或更高的抗拉强度、0.9 或更高的 YP 比和 0.60 或更高的 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比，并且这些样品，具有提高的强度而没有明显降低韧性。尤其是在 100℃或更高温度下经过拉拔加工的样品 1-4 到 1-9，断面收缩率为 40% 或更高，伸长率为 10%或更高，就韧性而言，它们都是特别出色的。相反，如果拉拔加工温度超过 300℃，抗拉强度的增加减小；在 20℃室温下拉拔加工的样品 1-2 由于丝折断而不能被处理。因此，采用 50℃-300℃(优选 100℃-300℃)的加工温度，能显示出极好的强度-韧性平衡。

从表XXII看出，对于成形性为 5%的样品 2-2，抗拉强度、YP 比和 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比的增加率小；但如果成形性为 10%或更高，则抗拉强度、YP 比和 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比就变大。同时，对于成形性为 35%的样品 2-6，不能进行拉拔加工。从这些事实可了解到，成形性为 10%-30%的拉拔处理能带来优异的性能—250MPa 或更高的高抗拉强度、0.9 或更高的 YP 比和 0.60 或更高的 $\tau_{0.2}/\tau_{\max}$ 比，而不牺牲韧性。

表XXI或表XXII中得到的丝的长度是其直径的 1000 倍或更多，并分别能以多道次重复拉拔加工。而且，表面粗糙度 Rz 为 10 μ m 或更小。通过 X-射线衍射得到线表面的轴向残余应力，其中所述应力为 80MPa 或更低。此外，不圆度为 0.01mm 或更小。“不圆度”为通过线的同一截面上的直径的最大值和最小值之间的差异。

然后在室温下使用得到的丝进行弹簧成形加工以制造外径为 40mm 的弹簧，其中本发明的丝可没有任何问题地形成弹簧。

实施例 16

使用以质量%计，含有 4.2%Al、0.50%Mn 和 1.1%Si、余量由 Mg 和杂质构成的 AS41 镁合金和含有 6.1%Al 和 0.44%Mn、余量由 Mg 和杂质构成的 AM60 镁合金的 ϕ 5.0mm 挤出材料，在截面压缩率为 19%时通过线模进行材料拉拔处理，直到其为 ϕ 4.5mm。其处理条件和得到线的性能列于表XXIII。

表XXXIII

合金类型	加工温度 °C	截面压缩率 %	冷却速度 °C/sec	抗拉强度 MPa	0.2%弹性极限应力 MPa	YP比	断后伸长率 %	断面收缩率 %
AS41 对比样品	未处理			259	151	0.58	9.5	19.5
	20	19	10	不能处理				
AM60 对比样品	150	19	10	365	335	0.92	9.0	35.3
	未处理			265	160	0.60	6.0	19.5
本发明样品	20	19	10	不能处理				
	150	19	10	372	344	0.92	8.0	32.5

从表XXIII看出, AS41 合金挤出材料的抗拉强度为 259MPa, 0.2%耐力为 151MPa; 而 YP 比低至 0.58。此外, 断面收缩率为 19.5%, 伸长率为 9.5%。

AM60 合金挤出材料的抗拉强度为 265MPa, 0.2%耐力为 160MPa; 而 YP 比低至 0.60。

- 5 另一方面, 被加热到 150℃ 温度并都经过拉拔处理的 AS41 合金和 AM60 合金, 断面收缩率为 30% 或更高, 伸长率为 6% 或更高, 并具有 300MPa 或更高的高抗拉强度和 0.9 或更高的 YP 比, 显然, 在不明显牺牲韧性的情况下就能提高强度。同时, 在 20℃ 的室温下由于线折断而不能进行拉拔处理。

实施例 17

- 10 使用以质量%计, 含有 4.2%Al、0.50%Mn 和 1.1%Si、余量由 Mg 和杂质构成的 AS41 镁合金和含有 6.1%Al 和 0.44%Mn、余量由 Mg 和杂质构成的 AM60 镁合金的 $\phi 5.0\text{mm}$ 挤出材料, 在截面压缩率为 19% 通过线模在加工温度为 150℃ 的条件下进行材料拉拔处理, 直到其为 $\phi 4.5\text{mm}$ 。处理后的冷却速度为 10℃/sec。将这种情况下得到的丝在 80℃ 和 200℃ 加热 15 分钟, 测试其
- 15 室温拉伸性能和晶粒尺寸。结果列于表 XXIV。

表 XXIV

合金类型		加工温度 ℃	抗拉强度 MPa	0.2% 耐力 MPa	YP 比	伸长率 %	断面收缩率 %	晶粒尺寸 μm
AS41	对比样品	无	365	335	0.92	9.0	35.3	20.5
		80	363	332	0.91	9.0	35.5	20.3
	本发明样品	200	330	283	0.86	18.5	48.2	3.5
	对比样品	挤出材料	259	151	0.58	9.5	19.5	21.5
AM60	对比样品	无	372	344	0.92	8.0	32.5	19.6
		80	370	335	0.91	9.0	33.5	20.2
	本发明样品	200	329	286	0.87	17.5	49.5	3.8
	对比样品	挤出材料	265	160	0.60	6.0	19.5	19.5

- 拉丝处理后, 抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比大大提高。就机械性能而言, 经过 80℃ 的加工温度, 后拉伸和热处理的材料在后拉拔性能上没有重大变化。显然, 温度为 200℃ 时, 断后伸长率和断面收缩率大大增加。与经过同样拉拔的线材比, 抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比可能降低, 但具有大大超过
- 20

原来挤出材料的抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比。

如表XXIV所示，在这个实施例中，加热温度为 200℃时得到的晶粒尺寸为 5 μm 或更小，以非常细的晶粒存在。此外，制得的丝的长度为直径的 1000 倍或更多；而表面粗糙度 Rz 为 10 μm 或更小，轴向残余应力为 80MPa 或更小，不圆度为 0.01mm 或更小。

另外，在室温下使用得到的丝(ϕ 4.5mm)进行弹簧成形加工以制造外径为 40mm 的弹簧，其中本发明的丝可没有任何问题地形成弹簧。

实施例 18

将以质量%计，含有 2.5%Zn、0.6%Zr 和 2.9%RE，且余量由镁和杂质构成的 EZ33 镁合金铸造材料通过热铸制成 ϕ 5.0mm 棒材，并在 19%的截面压缩率下通过线模对其进行拉拔处理，直到它为 ϕ 4.5mm。其中的处理条件和制得的丝的性能列于表XXV。这里，使用铈镨混合物作为 RE。

表XXXV

合金类型	加工温度 °C	截面压缩率 %	冷却速度 °C/sec	抗拉强度 MPa	0.2% 耐力 MPa	YP 比	断后伸长率 %	断面收缩率 %
EZ33	未处理			180	121	0.67	4.0	15.2
	20	19	10	不能处理				
本发明样品	150	19	10	253	229	0.91	6.0	30.5

从表XXV可看出, EZ33 合金挤出材料的抗拉强度为 180MPa, 0.2%耐力为 121MPa; 而 YP 比低至 0.67。此外, 断面收缩率为 15.2%, 伸长率为 4.0%。

另一方面, 被加热到 150℃ 的温度并经过拉拔处理的材料, 断面收缩率超过 30%, 伸长率超过 6%, 并具有超过 220MPa 的高抗拉强度和超过 0.9 的 YP 比, 显然, 在不明显牺牲韧性的情况下就能提高强度。同时, 在 20℃ 的室温下由于线折断而不能进行拉拔处理。

实施例 19

将以质量%计, 含有 2.5%Zn、0.6%Zr 和 2.9%RE, 且余量由镁和杂质构成的 EZ33 镁合金铸造材料通过热铸制成 ϕ 5.0mm 棒材, 并在 19% 的截面压缩率下通过线模对其进行拉拔处理, 直到它为 ϕ 4.5mm。处理后的冷却速度为 10℃/sec 或更高。将这种情况下得到的丝在 80℃ 和 200℃ 加热 15 分钟, 测试其室温拉伸性能和晶粒尺寸。结果列于表 XXVI。这里, 使用钹镨混合物作为 RE。

表 XXVI

合金类型		加工温度 ℃	抗拉强度 MPa	0.2% 耐力 MPa	YP 比	伸长率 %	断面收缩率 %	晶粒尺寸 μm
EZ33	对比样品	无	253	229	0.91	6.0	30.5	23.4
		80	251	226	0.90	7.0	31.2	21.6
	本发明样品	200	225	195	0.87	16.5	42.3	4.3
	对比样品	铸造+铸造材料	180	121	0.67	4.0	15.2	22.5

15

拉丝处理后, 抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比大大提高。就机械性能而言, 对于 80℃ 的加工温度, 经过后拉拔和热处理的材料在后拉拔中的性能上没有大的变化。显然, 温度为 200℃ 时, 断后伸长率和断面收缩率大大增加。与经过同样拉拔的线材比, 抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比可能降低, 但仍大大超过原始挤出材料的抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比。

20

如表 XXVI 所示, 在加热温度为 200℃ 的这个实施例中, 得到的晶粒尺寸为 5μm 或更小, 以非常细的晶粒存在。此外, 制得的丝的长度为其直径的 1000 倍或更多; 而表面粗糙度 Rz 为 10μm 或更小, 轴向残余应力为 80MPa 或更小, 不圆度为 0.01mm 或更小。

实施例 20

使用以质量%计, 含有 1.9%Al、0.45%Mn 和 1.0%Si, 且余量由 Mg 和杂质构成的 AS21 镁合金的 $\phi 5.0\text{mm}$ 挤出材料, 在截面压缩率为 19% 时通过线模进行材料拉拔处理, 直到其为 $\phi 4.5\text{mm}$ 。其中的处理条件和制得的丝的性能

5 能列于表 XXVII。

表XXXVII

合金类型	加工温度 °C	截面压缩率 %	冷却速度 °C/sec	抗拉强度 MPa	0.2% 耐力 MPa	YP 比	断后伸长率 %	断面收缩率 %
AS21 对比样品	未处理			215	141	0.66	10.0	35.5
	20	19	10	不能处理				
本发明样品	150	19	10	325	295	0.91	9.0	45.1

从表XXVII看出, AS21 合金挤出材料的抗拉强度为 215MPa, 0.2%耐力为 141MPa; 而 YP 比低至 0.66。

另一方面, 被加热到 150℃ 的温度并经过拉拔处理的材料, 断面收缩率超过 40%, 伸长率超过 6%, 并具有超过 250MPa 的高抗拉强度和超过 0.9 的 YP 比, 显然, 在不明显牺牲韧性的情况下就能提高强度。同时, 在 20℃ 的室温下由于线折断而不能进行拉拔处理。

此外, 制得的丝的长度为其直径的 1000 倍或更多; 而表面粗糙度 Rz 为 10μm 或更小, 轴向残余应力为 80MPa 或更小, 不圆度为 0.01mm 或更小。另外, 在室温下使用得到的丝(φ4.5mm)进行弹簧成形加工以制造外径为 40mm 的弹簧, 其中本发明的丝可没有任何问题地成形为弹簧。

实施例 21

使用以质量%计, 含有 1.9%Al、0.45%Mn 和 1.0%Si, 且余量由 Mg 和杂质构成的 AS21 镁合金的 φ5.0mm 挤出材料, 在截面压缩率为 19% 时通过线模在加工温度为 150℃ 下进行材料拉拔处理, 直到其为 φ4.5mm。处理后的冷却速度为 10℃/sec。将这种情况下得到的线在 80℃ 和 200℃ 加热 15 分钟, 测试室温拉伸性能和晶粒尺寸。结果列于表 XXVIII。

表 XXVIII

合金类型		加工温度 ℃	抗拉强度 MPa	0.2%耐力 MPa	YP 比	伸长率%	断面收缩率%	晶粒尺寸 μm
AS21	对比样品	无	325	295	0.91	9.0	45.1	22.1
		80	322	293	0.91	9.5	46.2	20.5
	本发明样品	200	303	263	0.87	18.0	52.5	3.8
	对比样品	挤出材料	215	141	0.66	10.0	35.5	23.4

拉丝处理后, 抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比大大提高。就机械性能而言, 加工温度为 80℃ 的, 后拉拔和热处理的材料在后拉拔中的性能没有重大变化。显然, 温度为 200℃ 时, 断后伸长率和断面收缩率大大增加。与经过同样拉拔的线材相比, 抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比可能降低, 但仍大大超过原来挤出材料的抗拉强度、0.2%耐力和 YP 比。

如表XXVIII所示，在这个加热温度为 200℃的实施例中，得到的晶粒尺寸为 5 μm 或更小，以非常细的晶粒存在。此外，制得的丝的长度为其直径的 1000 倍或更多；而表面粗糙度 Rz 为 10 μm 或更小，轴向残余应力为 80MPa 或更小，不圆度为 0.01mm 或更小。

- 5 另外，在室温下使用得到的丝(ϕ 4.5mm)进行弹簧成形加工以制造外径为 40mm 的弹簧，其中本发明的丝可没有任何问题地成形为弹簧。

实施例 22

- 10 制备 AZ31 合金的 ϕ 5.0mm 挤出材料，在截面压缩率为 36%时在加工温度为 100℃对材料进行拉拔处理(二道次)，直到其为 ϕ 4.0mm。拉拔处理后的冷却速度为 10℃/sec。然后，在 100℃-350℃温度下对材料进行 60 分钟的热处理，以生产各种线。然后用 Nakamura 旋转弯曲疲劳测试仪测定线的旋转弯曲疲劳强度。在疲劳试验中，运行了 10^7 次循环。同时还测定样品的平均晶粒尺寸和轴向残余应力。结果列于表XXIX。

15 表XXIX

合金类型	加热温度℃	疲劳强度 MPa	平均晶粒尺寸 μm	残余应力 MPa
AZ31	100	80	-	98
	150	110	2.2	6
	200	105	2.8	-1
	250	105	3.3	0
	300	95	6.5	2
	350	95	12.2	-3

从表XXIX明显看出，在 150℃-250℃下的热处理使疲劳强度达到最大的 105MPa 或更大。这种情况下平均晶粒尺寸证实为 4 μm 或更小；轴向残余应力为 10MPa 或更小。

- 20 另外，由 AZ61 合金、AS41 合金、AM60 合金和 ZK60 合金制备的 ϕ 5.0mm 挤出材料，并按照同样的方式测试。结果列于表XXX到XXXIII。

表XXX

合金类型	加热温度℃	疲劳强度 MPa	平均晶粒尺寸 μm	残余应力 MPa
AZ61	100	80	-	92
	150	120	2.1	5
	200	115	2.9	3
	250	115	3.1	-3
	300	105	5.9	2
	350	105	9.9	-1

表XXXI

合金类型	加热温度℃	疲劳强度 MPa	平均晶粒尺寸 μm	残余应力 MPa
AS41	100	80	-	95
	150	115	2.3	6
	200	110	2.5	-2
	250	110	3.4	0
	300	100	6.2	1
	350	100	10.2	-1

5

表XXXII

合金类型	加热温度℃	疲劳强度 MPa	平均晶粒尺寸 μm	残余应力 MPa
AM60	100	80	-	96
	150	115	2.0	5
	200	110	2.3	3
	250	110	3.2	-1
	300	100	6.1	-2
	350	100	10.5	0

表XXXIII

合金类型	加热温度℃	疲劳强度 MPa	平均晶粒尺寸 μm	残余应力 MPa
ZK60	100	80	-	96
	150	120	2.2	6
	200	115	2.7	2
	250	115	3.3	0
	300	105	6.2	1
	350	105	9.7	-1

对于任一种合金系，拉拔处理与随后的热处理过程的结合都能产生105MPa或更高的疲劳强度；在150℃-250℃下的热处理使疲劳强度达到最大值。此外，平均晶粒尺寸证实为4 μm 或更小；轴向残余应力为10MPa或更小。

工业实用性

如前所述，根据本发明的金属丝制造方法能对按惯例存在问题的镁合金进行拉拔加工，并使其制造强度和韧性优良的镁基合金丝。

而且，由于有高韧性，本发明的镁基合金线有利于随后的成形加工—开始弹簧成形—和有效地作为韧性和相对强度优良的轻质材料。

因此，可期望这种线有效应用于MD播放器、CD播放器、移动电话等的增固架，并在手提箱架上使用；另外还可用于轻质弹簧、自动焊接机上使用的长焊丝等，以及螺杆等。

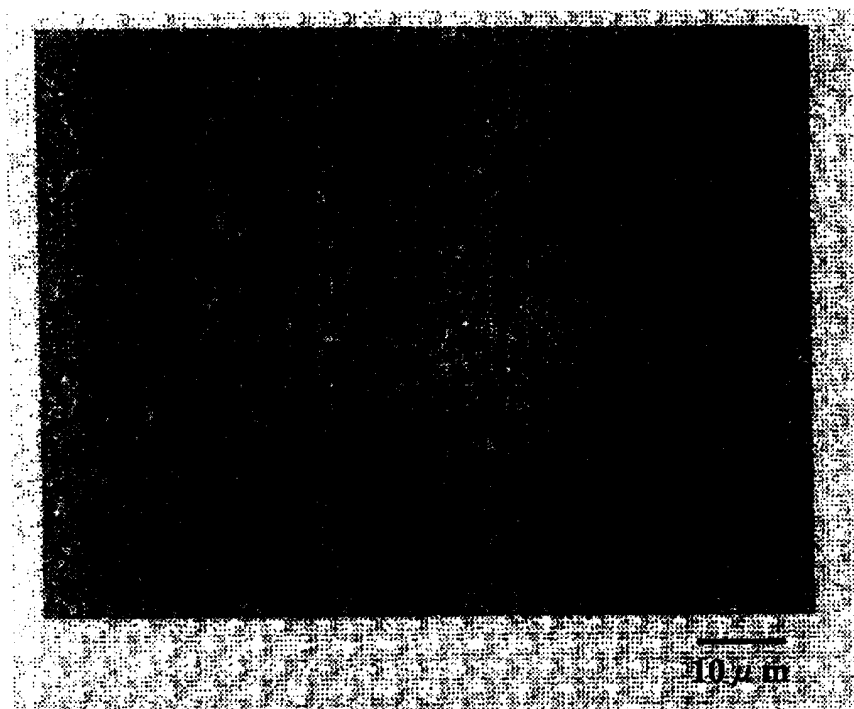


图 1