[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01)
C21D 9/52 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03807947.X

[45] 授权公告日 2007 年 7 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1327024C

[22] 申请日 2003.3.26 [21] 申请号 03807947.X

[30] 优先权

[32] 2002.4.2 [33] JP [31] 100359/2002

[32] 2002.4.2 [33] JP [31] 100361/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/003700 2003.3.26

[87] 国际公布 WO2003/083151 日 2003.10.9

[85] 进入国家阶段日期 2004.10.8

[73] 专利权人 株式会社神户制钢所

地址 日本兵库县

共同专利权人 新确有限公司

[72] 发明人 须田澄惠 茨木信彦 吉原直 吉田茂次 原田浩司

[56] 参考文献

EP0614994A1 1994.9.14

JP11-199981A 1999.7.27

US6224686B1 2001.5.1

US5904787A 1999.5.18

JP7-136933A 1995.5.30

JP7-188852A 1995.7.25

JP11-246941A 1999.9.14

1Cr18Ni9 冷拉弹簧钢丝强度控制 李智彪，南方钢铁，第 103 期 1998

审查员 傅晓亮

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 汪惠民

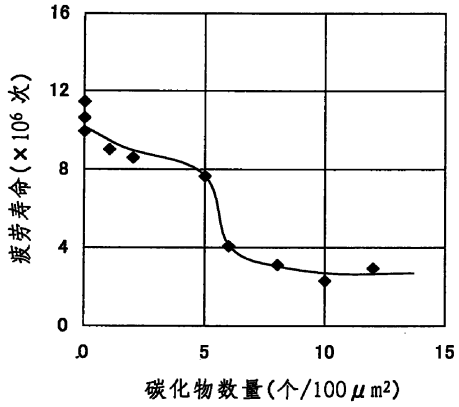
权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图 2 页

[54] 发明名称

疲劳强度和弹力减弱抗性优异的弹簧用冷拉钢丝以及其冷拉弹簧

[57] 摘要

一种冷拉弹簧，是使用含有 C：0.5～0.7%，Si：1.0～1.95%，Mn：0.5～1.5%，Cr：0.5～1.5%，其余为Fe和不可避免的杂质，并且等效直径大于等于0.1μm的碳化物为 5 个/100μm²以下的弹簧钢丝制成的，与使用油回火钢丝制成的弹簧相比，具有相同或更高的疲劳强度和弹力减弱抗性。



1. 一种具有优异的疲劳强度和弹力减弱抗性的弹簧用冷拉钢丝，其特征在于，含有:

C：0.5～0.7 质量%，Si：1.0～1.95 质量%，Mn：0.5～1.5 质量%，Cr：0.5～1.5 质量%，其余为 Fe 和不可避免的杂质；并且

等效直径大于等于 0.1μm 的碳化物为 5 个/100μm^2 以下。

2. 根据权利要求 1 所述的弹簧用冷拉钢丝，其特征在于，

还含有 Ni：0.05～0.5 质量%。

3. 根据权利要求 1 所述的弹簧用冷拉钢丝，其特征在于，

还含有 Mo：0.3%质量以下且大于 0 质量%。

4. 根据权利要求 2 所述的弹簧用冷拉钢丝，其特征在于，

还含有 Mo：0.3%质量以下且大于 0 质量%。

5. 一种具有优异的疲劳强度和弹力减弱抗性的冷拉弹簧，是绕制根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的弹簧用钢丝得到的。

6. 根据权利要求 5 所述的冷拉弹簧，其特征在于，

弹簧内侧表面的残余应力（R_+）与弹簧外侧表面的残余应力（R_-）之差[（R_+）－（R_-）]为 500MPa 以下。

7. 根据权利要求 6 所述的冷拉弹簧，其特征在于，

对其表面进行两次以上的喷丸处理。

8. 根据权利要求 7 所述的冷拉弹簧，其特征在于，

喷丸处理后的弹簧内侧表面的残余应力（R_{S+}）与弹簧外侧表面的残余应力（R_{S-}）之差[（R_{S+}）－（R_{S-}）]为 300MPa 以下。

9. 根据权利要求 5 所述的冷拉弹簧，其特征在于，

以最大高度 Ry 表示的表面粗糙度为 10μm 以下。

10. 根据权利要求 5 所述的冷拉弹簧，其特征在于，
对其表面进行渗氮处理。

11. 根据权利要求 5 所述的冷拉弹簧，其特征在于，
弹簧直径 D 和弹簧丝直径 d 的比 D/d 为 9.0 以下。

疲劳强度和弹力减弱抗性优异的弹簧用冷拉钢丝以及其冷拉弹簧

技术领域

本发明涉及一种弹簧用钢丝，有用于作为施予强冷拉拔加工而制得的弹簧（加工弹簧）的原材料，以及使用该弹簧用钢丝制得的弹簧。特别是涉及一种在拉丝前不进行淬火回火处理也好，可以获得发挥优异的疲劳强度和弹力减弱抗性（弹减抗性）的弹簧的、弹簧用冷拉钢丝，以及可以发挥这些优异特性的冷拉弹簧。

背景技术

伴随着汽车的轻量化和大功率化，在发动机或悬架等使用的气门弹簧或悬架弹簧也向高应力化发展。而且，随着这些弹簧承受的负荷应力的增加，要求有疲劳强度和弹减抗性优异的弹簧。

近年来，大部分气门弹簧或悬架弹簧一般是以施予了淬火回火处理的钢丝，其被称为油回火钢丝，为原材料，在常温下进行卷绕加工而制成。

上述油回火钢丝为回火马氏体组织，虽然有利于获得高强度、并具有疲劳强度及弹减抗性优异的优点，但是也存在着需要大型设备进行如淬火、回火等的热处理，且存在着增高成本的缺点。

另一方面，在设计成负荷应力较小的弹簧之中，有将（铁素体＋珠光体）组织或珠光体组织的碳素钢经过拉丝加工而提高强度的钢丝（称为“冷拉钢丝”），在常温下进行卷绕加工而制成的。这类弹簧在 JIS 标准的琴钢丝（JIS G3522）中，作为“用于气门弹簧或类气门弹簧”被特别规定为“琴钢丝 SWP－V 类”。

用上述冷拉钢丝制造的弹簧（以下称为“冷拉弹簧”），由于无需热处理，因而具有低成本的优点。但是，使用这种冷拉钢丝制成的弹簧，存在疲劳强度及弹减抗性低的缺点，无法满足近年来不断增高的对高应力弹簧的需求。

对于这种具有低成本制造优点的冷拉弹簧，已有不少谋求高应力化的

技术研究，例如在日本专利公开公报 特开平 11－199981 号中，作为“具备与油回火钢丝同等特性的琴钢丝”提出了通过改进共析一过共析钢珠光体的拉丝加工方法，得到渗碳体特定形状的方法。但是这种方法仍然不可避免如调动拉丝方向等的、由生产过程的复杂化造成的制造成本的上升。

本发明是鉴于上述状况而提出的，其目的在于提供一种冷拉弹簧制造用钢丝及其冷拉弹簧，能发挥与使用油回火钢丝制成的弹簧相同或更高的疲劳强度及弹减抗性。

发明内容

能够实现上述目的的本发明的弹簧用冷拉钢丝，其特征在于，含有：C：0.5～0.7 质量%，Si：1.0～1.95 质量%，Mn：0.5～1.5 质量%，Cr：0.5～1.5 质量%，其余为 Fe 和不可避免的杂质；并且等效直径大于等于 0.1μm 的碳化物为 5 个/100μm^2 以下。在该弹簧用钢丝中还含（a）Ni：0.05～0.5 质量%、（b）Mo：0.3%质量以下且大于 0 质量%等也是有效的。

通过使用上述弹簧用钢丝卷绕制成为冷拉弹簧，可以得到发挥优异的疲劳强度和弹减抗性的冷拉弹簧。再有，该冷拉弹簧之中，其弹簧内侧表面的残余应力（R_+）与弹簧外侧表面的残余应力（R_-）之差[（R_+）－（R_-）]在 500MPa 以下为宜。

另外，本发明的冷拉弹簧之中，至少一项满足以下（1）至（5）项条件的冷拉弹簧为宜：

（1）对其表面进行两次以上喷丸处理。

（2）上述喷丸处理后，弹簧内侧表面的残余应力（R_{S+}）与弹簧外侧表面的残余应力（R_{S-}）之差[（R_{S+}）－（R_{S-}）]为 300MPa 以下。

（3）以最大高度 Ry 表示的表面粗糙度为 10μm 以下。

（4）对其表面进行渗氮处理。

（5）弹簧直径 D 与钢丝直径 d 的比（D/d）为 9.0 以下。

附图说明

图 1 是碳化物数量与拉伸强度（拉丝后）的关系图。

图 2 是碳化物数量与残余剪应变的关系图。

图 3 是碳化物数量与疲劳寿命的关系图。

具体实施方式

本发明人以实现能达成上述目的的弹簧用冷拉钢丝为目标从各种角度进行了探讨。结果，得到以下构思：如果在严格规定钢丝的化学成分组成的同时，对钢丝中的碳化物的形态加以适当控制的话，就可以改善其疲劳强度和弹减抗性。即，发现：当铅浴淬火后析出有较大的析出物（碳化物）时，不仅不能得到拉丝加工预想的效果，而且还有疲劳强度和弹减抗性的下降。具体而言，若将等效直径大于等于 0.1μm 的碳化物的个数，在截面的视场每 100μm^2 中控制在 5 个以下，则疲劳强度和弹减抗性会显著提高，从而完成了本发明。

再说，本发明对象的碳化物指以析出物存在的粒状物，而不含渗碳体相的。还有，上述“等效直径”为，着眼于碳化物的大小，假设与其面积相等的圆而求得的该圆的直径。

本发明的弹簧用钢丝，有必要对其化学成分组成作出适当调整，其范围限定的理由如下：

C：0.5～0.7质量%

碳素，C 是提高拉丝材料的拉伸强度、保证疲劳强度以及弹减抗性的有用元素，普通琴钢丝含有 0.8%左右，但是作为本发明之目的的高强度拉丝材料，若 C 含量超过 0.7%，则加工时容易折断，并且会产生由表面伤痕或夹杂物引发的裂纹，要降低疲劳寿命，因此规定在 0.7%以下。然而，若 C 含量过少，不仅不能确保作为高应力弹簧所需的拉伸强度，还会降低疲劳强度和弹减抗性，因此有必要将 C 含量规定在 0.5%以上。再说，C 含量的下限优选为 0.63%，上限优选为 0.68%。

Si：1.0～1.95质量%

硅素，Si 是炼钢时作为脱氧剂的必要元素，而且它固溶在铁素体中，提高回火软化抗性，并能起到提高弹减抗性的效果。为了发挥上述效果，有必要含有 1.0%以上。然而，当 Si 含量超过 1.95%、导致过剩时，不但要降低韧性及延展性，还会增加表面的脱碳及伤痕等问题，要使耐疲劳性恶化。再说，Si 含量下限优选为 1.2%左右，上限优选为 1.6%左右。

Mn：0.5～1.5质量%

锰，Mn 是炼钢时对脱氧有效的元素，并能使珠光体组织致密且其排列规律化，对改善疲劳性能具有贡献的元素。为了发挥上述效果，至少需含 0.5%的 Mn。然而，若该含量过剩，则在热轧或铅浴淬火处理时容易生成如贝氏体等的过冷组织，要显著降低拉丝性能，因此必须规定在 1.5%以下。再说，Mn 含量下限优选为 0.6%左右，上限优选为 1.0%左右。

Cr：0.5～1.5质量%

铬，Cr 是缩小珠光体层片间距、提高轧制或热处理后的强度、提高弹减抗性的有用元素。为了发挥上述效果，Cr 含量必须规定在 0.5%以上。然而，若 Cr 含量过剩，则在铅浴淬火时容易生成贝氏体组织，并容易析出粗大的碳化物，要降低疲劳强度和弹减抗性，因此必须规定在 1.5%以下。再说，Cr 含量下限优选为 0.7%左右，上限优选为 1.0%左右。

本发明的弹簧用钢丝材料，其基本化学成分组成如上所示，其余为实质上由 Fe 形成，但根据需要加入一定量的 Ni 或 Mo 也有效。加入这些元素时的范围限定的理由说明如下：

Ni：0.05～0.5质量%

镍，Ni 是在提高材料淬透性的同时提高韧性、而且抑制在卷绕加工时发生的折损问题的同时、还提高疲劳强度的有效元素。为了发挥上述效果，Ni 含量优选为 0.05%以上。然而，若该含量过剩，则在热轧或铅浴淬火时会生成贝氏体组织，要显著降低拉丝加工性，因此该含量上限优选为 0.5%。

Mo：0.3质量%以下（不含 0 质量%）

钼，Mo 是通过在确保淬透性的同时提高抗软化性、而提高弹减抗性的有效元素。该含量越多上述效果越佳，但过剩就使铅浴淬火时间过长，并要降低延展性，因此该上限优选为 0.3%。

在本发明的弹簧用钢丝中，除了上述的各种成分以外，还可以含有一些不阻碍弹簧用钢特性的微量成分，这样的钢丝材料也包含在本发明的范围中。作为上述微量成分的杂质，可列举出 P、S、As、Sb、Sn 等的不可避免的杂质。

对于实现本发明的弹簧用钢丝，如上所述的等效直径大于等于 0.1μm

的碳化物在每 $100\mu m^2$ 中为 5 个以下，也是重要的条件。铅浴淬火后观察到的碳化物（Fe_3C 等）之中，尺寸较小的是通过析出硬化会提升强度。然而，当析出有大尺寸的析出物时，基体中的碳素就被此碳化物夺走，C 含量要少于基体中原有的量。本发明人发现：铅浴淬火后的强度及拉丝加工后的强度的上升是受 C 含量影响较大，若基体中的 C 含量减少，则铅浴淬火或拉丝后将得不到预计的强度，疲劳强度和弹减抗性也会降低。

因此，本发明者对有关碳化物形态对疲劳强度及弹减抗性的影响进行了研究，发现：尺寸（等效直径）为 0.1μm 以上的碳化物，在观察的每 $100\mu m^2$ 视场中超过 5 个时，会造成疲劳强度和弹减抗性的显著降低。

为了将本发明的弹簧用钢丝中的碳化物控制在上述形态，将热轧的加热温度控制在 1100°C 以上以促进碳化物的溶解，与此同时将轧制后在碳化物析出温度范围的 400～600°C 下的冷却速度以 5°C/秒以上、尽可能快地冷却，是有效的。但是，若冷却速度过快，反则生成贝氏体，要降低加工性，因此冷却速度优选为 10°C/秒以下。

另外，在进行铅浴淬火时，将其加热温度控制在 880～950°C（优选为 900～940°C 左右），可以减少碳化物的析出。若该加热温度高于 950°C，会造成奥氏体晶粒的粗大化，反而降低韧性及延展性，并且会增大淬透性而要生成过冷组织。还有，为了促进未固溶碳化物的溶解，在所定的加热温度下保持时间优选在 50 秒以上。

通过使用上述弹簧用钢丝进行拉丝加工及卷绕加工，就可以得到发挥所希望特性的弹簧（冷拉弹簧），但本发明人还发现：将本发明的冷拉弹簧在弹簧成形后（卷绕加工后），使弹簧内侧与弹簧外侧的残余应力之差（以下简称为“残余应力差”）控制在 500MPa 以下时，可以获得更为优异的疲劳强度。

下面就规定上述条件的理由加以说明。通过弹簧成形（卷绕加工）被附加的残余应力是要在弹簧的内侧和外侧保持平衡的，因此，若卷绕后上述残余应力差变大，内侧的拉伸残余应力就会相应增高。而拉伸的残余应力（拉伸残余应力）变高会促使疲劳裂纹发生及其扩展，要降低疲劳强度。此外，喷丸处理会减小残余压缩应力。

基于上述认识，本发明人就弹簧内外侧的残余应力差[（R_+）－（R_-）]

与疲劳强度的关系进行了研究，结果发现：若将该差值控制在500MPa以下，则可以得到疲劳强度的显著改善。

再说，在弹簧成形时，弹簧内侧产生拉伸方向的残余应力（拉伸残余应力），而在弹簧外侧则根据加工条件的不同，有产生拉伸残余应力的场合和有产生压缩方向的残余应力（压缩残余应力）的场合。因此，当测定本发明所述的残余应力差时，还需要考虑这点。即：在两侧表面的残余应力都是拉伸残余应力的场合下，单纯测定该差值就可以，然而，在弹簧外侧的残余应力（R_-）为压缩残余应力的场合下，需要先将该残余应力取负值后、再减去的为该差值。例如，弹簧内侧的拉伸残余应力为150MPa、外侧的压缩残余应力为50MPa时，残余应力之差[（R_+）－（R_-）]为（150）－（－50）＝200MPa。

如上所述，在本发明中，通过将卷绕加工后的弹簧内外侧的残余应力差控制在500MPa以下，可以提升冷拉弹簧的疲劳强度，以上述残余应力差作为评价疲劳强度的指标的理由如下：弹簧所承受的应力（剪切应力）在内侧和外侧并不相同，而弹簧内侧的应力要比外侧大。例如，弹簧直径D与钢丝直径d的比值（D/d：以下称为“弹簧系数”）在2.0～9.0之间时，下式（1）表示的华尔的修正系数A_1成为1.16～2.06，所受应力就高达修正前的1.16～2.06倍（例如，《弹簧》，弹簧技术研究会编，丸善出版发行）。

$$A_1=\{(4c-1)/(4c-4)\}+\{0.615/c\}\cdots(1)$$

其中，c：弹簧系数（D／d）。

另一方面，弹簧外侧相关的弹簧修正系数A_2是以下式（2）表示，根据该式，当弹簧系数为2.0时，弹簧外侧所受的应力变为弹簧内侧的0.514倍。

$$A_2=\{(4c+1)/(4c+4)\}+\{0.615/c\}\cdots(2)$$

其中，c：弹簧系数（D／d）。

如此，弹簧内侧承受大的剪应力，若拉伸残余应力大，则使弹簧特性更恶化。从上述观点来看，应该规定弹簧内侧的残余应力就可以，但是在拉丝过的状态下，表面也会有拉伸残余应力，其值随拉丝加工条件及材质而会变动，从而卷绕后也会根据加算效果对表面拉伸残余应力带来变化，使得难以规定残余应力。因此，在本发明中规定弹簧内外侧的残余应力的

差值来作为评价疲劳强度的指标。

作为将上述残余应力差控制在 500MPa 以下的条件，举例而言，将卷绕后的消除应力退火温度控制在 400℃ 以上即可。以往的琴钢丝的话，在 400℃ 以上进行消除应力退火处理后就要引起强度下降，进而使疲劳强度和弹减抗性降低，然而本发明的冷拉弹簧，由于使用了大量含有能提高耐热性能的 Si 的钢丝材料，即使在 400℃ 以上进行消除应力退火处理也好，几乎不会造成强度下降，而可以消除卷绕产生的变形。

使本发明的冷拉弹簧更有效地发挥其效果，对其表面进行两次以上的喷丸处理即可。气门弹簧及类似的高应力弹簧一般都经过喷丸处理，在表面已附加好压缩残余应力的状态下使用。该喷丸处理是将高硬度的硬球（喷丸球）高速喷射到被处理材料表面来附加压缩残余应力的，是对抑制表面裂纹的产生、对提高疲劳强度有效的手段。

此外，如上所述的喷丸处理，对于在弹簧表面附加压缩残余应力、抑制疲劳裂纹的扩展是有效的。由于经喷丸处理地弹簧是在受特别高的应力下使用的，因此需要更高的压缩残余应力，必须将上述残余应力的差值更严格的控制。为此，上述残余应力的差值优选为 300MPa 以下。

还有，若弹簧表面粗度大，将此部位作为起点，容易产生疲劳破坏，使疲劳强度降低。因此，从提高疲劳强度的观点出发，弹簧表面的粗糙度 Ry（最大高度：JIS B 0601）优选在 10μm 以下。例如，若如上所述进行两次以上的高强度喷丸处理，可能会造成表面变形，使粗糙度增大。特别是对于如冷拉钢丝等的材料进行时，会使最软部的铁素体变形得更大，而使表面粗糙度变大。对于上述调整表面粗糙度的手段并无限制，例如，通过适当地控制喷丸条件就可以达成。

考虑到控制上述表面粗糙度 Ry 的喷丸条件优选如下：在第一次喷丸处理采用 1.0～0.3mm 球径的喷丸球，以 30～100m/秒的速度喷射 20～200 分钟。这时采用的喷丸球，优选其硬度以维氏硬度（Hv）表示为 500 以上。

接着，在第二次及以后的喷丸处理采用比第一次小的喷丸球进行。这时的喷丸球的大小优选为第一次喷丸球径的 1/10 以下。再有，喷射时间为 10～200 分钟。通过上述第二次以后的喷丸处理，可以在减小表面粗糙

度的同时，增加表面的压缩残余应力，可以进一步提高疲劳强度。还有，本发明人确认了与经淬火、回火处理的油回火钢丝相比，对冷拉弹簧施予的第二次以后的喷丸处理，是更有效果。

本发明的冷拉弹簧，如果预定在受特别严酷的应力条件下使用时，对其表面进行渗氮处理是有效的。通过该渗氮处理，可以进一步改善疲劳强度。关于施予渗氮处理来说，虽然在用油回火钢丝制造气门弹簧中已得到应用，但对冷拉弹簧还没应用过。其原因是，就通常冷拉钢丝所含的化学成分而言，即使施予渗氮处理也好不能期待有多大效果，还有，拉丝时引入的变形在渗氮时会被回复，要造成强度的急剧下降，等等。

与此相反，对于符合本发明规定的化学成分组成的钢丝在冷拉后进行渗氮处理时，可以进一步改善弹簧的疲劳寿命。发挥上述效果的理由推测如下：本发明中使用的钢丝，通过以 Si、Cr 等合金元素强化了铁素体，钢丝的强度主要依赖于铁素体自身的强度，因此可认为通过渗氮提高铁素体的强度是与疲劳强度的直接改善相联系的。再说，经渗氮处理制成的弹簧，从其表面 0.02mm 深处的硬度以维氏硬度值（Hv）表示，优选为 600 以上，更优选为 700 以上，但根据所要求的疲劳强度，Hv 为 500～600 左右也可以。

对上述渗氮处理的方法并无特殊限定，除气体渗氮、液体（盐浴）渗氮之外，还可采用离子渗氮等方法，例如采用气体渗氮时，其条件优选如下：在 100%氨气气氛、或以氨气为主体的含 50%以下氮气和 10%以下二氧化碳的气氛中，在 350～470°C×1～6 小时的条件下进行渗氮处理即可。

将本发明应用到前述弹簧系数（D/d）为 9.0 以下的小直径弹簧时，更能发挥效果。对弹簧来说，上述 D/d 表示弹簧系数，符合上述比值（D/d）的弹簧要得到所要求的负荷应答（load response）时，弹簧内侧与外侧的应力差要大，并且内侧要承受高应力。即使在该高应力环境下使用也好，本发明的弹簧仍能维持其功能。再说，其效果随（D/d）变小而增大，但若小于 2.0，则如喷丸处理等的表面加工不易见效，故其下限优选为 2.0。

实施例

下面通过实施例对本发明做更详细的说明，但下述实施例并不对本发明具有限定性的，只要是根据上述和后述要点的任何设计变更，都属于本发明的技术范围。

实施例1

冶炼化学成分组成如下述表1所示的钢（A～K），将它热轧成直径（线径）8.0mm的线材。该热轧条件为：加热温度1150℃，轧制后的冷却速度6.3℃/秒。其后，进行剥皮、铅浴淬火及拉丝加工，制成线径3.1mm的钢丝。该铅浴淬火的条件为：在下述表2所示的加热温度下进行奥氏体化处理；然后，再根据不同的钢种，在550～650℃的铅浴中进行恒温相变。此外，关于铅浴淬火的加热时间，下述表2中的No.2为130秒、No.3为100秒、其余为240秒，以此调整碳化物量。

表1

钢种	化学成分组成（质量%）					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
A	0.65	1.45	0.82	0.85	—	—
B	0.53	1.53	0.75	1.00	—	—
C	0.65	1.91	0.90	0.64	—	—
D	0.61	1.36	0.59	1.45	—	—
E	0.82	0.25	0.71	—	—	—
F	0.92	0.25	0.75	—	—	—
G	0.80	1.90	0.85	0.85	—	—
H	0.45	1.41	0.72	0.69	—	—
I	0.62	1.35	0.79	1.68	—	—
J	0.60	1.51	0.83	0.92	0.21	—
K	0.55	1.47	0.78	0.82	0.23	0.18

钢种E是相当于JIS－SWP－V的钢

对制成的钢丝（拉丝材）测定碳化物的尺寸和个数。此时的测定为，对钢丝横截面取样，用扫描型显微镜（SEM）在D/4位置（D为直径）拍摄5000倍倍率的照片，测定拍得的照片上100μm^{2}中等效直径为0.1μm以上的碳化物数量。此外还测定了拉丝后的拉伸强度TS。

对上述拉丝材在常温下进行了弹簧成形、消除应力退火（400℃×20

分钟）、端面磨削、两段喷丸、低温退火（230°C×20 分钟）以及冷作调整（presetting）。此外，测定了施加相当于消除应力退火的回火处理之后的拉伸强度 TS。另外，对部分钢种（下述表 2 中的 No.3）在 NH_3 80% + N_2 20%、400°C×2 小时条件下进行了气体渗氮处理。

对制得的各弹簧在 588±441MPa 的负荷应力下进行疲劳试验，测定了断裂寿命。另外，测定了 120°C、1000MPa 条件下、压紧 48 小时后的残余剪应变，将它作为弹减抗性指标（残余剪应变越小弹减抗性越好）。

这些结果与各制造条件（铅浴淬火的加热温度），钢丝的拉伸强度 TS（拉丝后和消除应力退火后）、碳化物数量、表面粗糙度 Ry、有无施予渗氮处理等、一同记在下述表 2 中。另外，基于这些结果，将碳化物数量与拉伸强度（拉丝后）的关系、将碳化物数量与残余剪应变的关系、以及将碳化物数量与疲劳寿命的关系各自分别表示于图 1、图 2、以及图 3。

表 2

No.	钢种	铅浴淬火的加热温度（℃）	拉伸强度 TS（MPa）		碳化物数量 [个/(100μm²)]	表面粗糙度 Ry（μm）	渗氮处理	残余剪应变（×10^{-4}）	疲劳寿命（×10^{6}次）
			拉丝后	消除应力退火后					
1	A	930	1915	1911	0	9.8	没施予	4.2	10.1
2	A	900	1881	1901	2	6.7	没施予	5.3	8.7
3	A	890	1853	1898	5	8.4	施予	3.7	15.8
4	A	940	1944	1941	0	12.4	没施予	4.8	5.3
5	B	920	1938	1870	1	5.5	没施予	3.1	9.1
6	C	930	1955	2054	0	7.9	没施予	1.9	11.5
7	D	950	1910	1874	0	9.2	没施予	2.2	10.7
8	A	870	1843	1732	8	8.6	没施予	11.1	3.1
9	E	910	1770	1668	0	5.8	没施予	10.1	2.5
10	F	950	1953	1742	0	8.3	没施予	12.8	0.9
11	G	940	1831	1845	0	7.3	没施予	9.5	4.6
12	H	880	1743	1652	0	9.8	没施予	12.5	1.0
13	I	920	1733	1796	12	8.3	没施予	10.8	2.9
14	J	900	1921	1953	0	7.2	没施予	3.5	10.4
15	K	930	1967	1999	0	8.3	没施予	2.7	12.6

根据上述结果，可作出如下解释。首先，由于 No.1～7、14 及 15 皆满足本发明规定的所有条件，因此疲劳强度和弹减抗性均优异。特别是将规定尺寸的碳化物数量在 5 个/100μm^2 以下时，可以看到发挥了优异的特性。

与此相对，No.8～12 皆在本发明所规定的条件中有所欠缺，故此某些特性变差。即，如 No.8，虽然其化学成分组成与 No.1～4 的弹簧相同，但由于铅浴淬火的加热温度低，造成碳化物析出量的增大，拉丝后就不能确保充分的强度，导致缩短疲劳寿命，而且增大残余剪应变。

No.9 是相当于 JIS－SWP－V 的钢（琴钢丝），因 C 含量大，造成由夹杂物引发的早期折损，缩短疲劳寿命。此外，由于 Si 含量小，造成回火软化抗性变低，又因为不含有 Cr，所以增大残余剪应变。

No.10 的 C 含量比 No.9 更大，因此与 No.9 一样造成有由夹杂物引发的早期折损，使疲劳寿命更短。此外，由于 Si 含量小，造成回火软化抗性变低，又因为不含有 Cr，所以增大残余剪应变。

No.11 由于 C 含量大，造成有由夹杂物引发的早期折损，使疲劳寿命缩短。

No.12 由于 C 含量小，造成铅浴淬火后的强度降低，拉丝后得不到充分的强度，导致缩短疲劳寿命，而且增大残余剪应变。

No.13 由于 Cr 含量大，铅浴淬火时碳化物就不能充分溶解，拉丝后不能确保充分的强度，导致缩短疲劳寿命，而且使弹减抗性非常差。

实施例2

冶炼化学成分组成如下述表 3 所示的钢材（L～U），将它热轧成直径（线径）8.0mm 的线材。其后，进行剥皮、铅浴淬火及拉丝加工，制成线径 3.1mm 的钢丝。该铅浴淬火的条件为：奥氏体化温度控制在 910 °C；再根据不同的钢种，在 550～650 °C 的铅浴中进行恒温相变。此外，关于铅浴淬火时的保持时间，下述表 5、6 中的 No.20、31 为 300 秒、No.30 为 30 秒、其余为 120 秒，以此调整碳化物量。

表 3

钢种	化学成分组成（质量%）					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
L	0.65	1.51	0.77	0.82	—	—
M	0.58	1.45	0.79	0.75	—	—
N	0.51	1.49	0.75	1.15	—	—
O	0.66	1.97	0.93	0.62	—	—
P	0.61	1.33	0.55	1.45	—	—
Q	0.92	0.25	0.75	—	—	—
R	0.45	1.41	0.72	0.69	—	—
S	0.62	1.35	0.79	1.68	—	—
T	0.64	1.47	0.81	0.97	0.31	—
U	0.61	1.53	0.70	0.85	0.18	0.21

在制得的钢丝（拉丝材）中，对钢种 L、M、N 的拉丝材进行了弹簧成形（弹簧系数：6.81）、消除应力退火（350，380，410°C×20 分钟）、端面磨削及冷作调整，以制成弹簧。

对制得的各弹簧在 588±441MPa 的负荷应力下进行疲劳试验，测定了断裂寿命，同时利用 X 射线衍射法测定弹簧内侧的残余应力（R_+）以及弹簧外侧的残余应力（R_-），求出了残余应力差[（R_+）－（R_-）]。此外，测定拉丝材的拉伸强度（拉丝后及消除应力退火后）的同时，还测定了其表面粗糙度 Ry。这些结果与消除应力退火的温度一同记录在下述表 4 中。

表 4

No.	钢种	D / d	拉伸强度（MPa）		消除应力退火温度	（R+）－（R－）	表面粗糙度Ry	疲劳寿命
			拉丝后	消除应力退火后	（℃）	（MPa）	（μm）	（$\times 10^6$）
16	L	6．81	1942	1960	350	954	2．7	1．8
17	L	6．81	1942	1963	380	764	3．6	2．7
18	L	6．81	1942	1949	410	253	3．1	8．7
19	M	6．81	1856	1881	410	108	2．4	10．0
20	N	6．81	1832	1854	410	333	2．2	7．9

上述结果明确显示，残余应力差为 500MPa 以下的钢种（No.18～20）具有优异的疲劳强度。与此相对，残余应力差超出 500MPa 的钢种（No.16、17），疲劳强度就显著劣化。

实施例3

对与实施例 2 同样方式制得的各拉丝材（钢种 L～U），进行了各种弹簧系数的弹簧成形、消除应力退火（350，380，410°C×20 分钟）、端面磨削、两段喷丸、低温退火（230°C×20 分钟）以及冷作调整。此外，还对端面磨削后的钢种 N，在 NH_3 80% + N_2 20%的气氛中进行了 400°C×2 小时的渗氮处理后，再进行了两段喷丸、低温退火（230°C×20 分钟）及冷作调整（后述表 5 中 No.26）。

对制得的各弹簧进行与实施例 1 同样的疲劳试验，测定了断裂寿命及残余剪应变。而且，利用 X 射线衍射法测定弹簧成形之后（喷丸处理前）的弹簧内侧的残余应力（R_+）和弹簧外侧的残余应力（R_-）、以及喷丸处理之后的弹簧内侧的残余应力（R_{S+}）和弹簧外侧的残余应力（R_{S-}），并求出了各自的残余应力差[（R_+）－（R_-）]及[（R_{S+}）－（R_{S-}）]。此外，与实施例 2 同样，在测定拉丝材的碳化物数量和拉伸强度（拉丝后及消除应力退火后）的同时，还测定了其表面粗糙度 Ry。这些结果与弹簧系数和消除应力退火温度一同记录在下述表 5、6 中。

表 5

No.	钢种	D / d	拉伸强度（MPa）		碳化物数量
			拉丝后	消除应力退火后	[个 / (100μm²)]
21	L	6.81	1942	1960	1
22	L	6.81	1942	1963	2
23	L	6.81	1942	1949	2
24	M	3.65	1856	1881	5
25	N	2.87	1832	1854	4
26	N	2.55	1832	1854	0
27	O	8.55	1905	1970	2
28	P	7.02	1911	1945	0
29	Q	6.81	1930	1769	5
30	R	6.81	1705	1638	0
31	S	6.81	拉丝时断裂		
32	T	6.81	1937	1949	5
33	U	6.81	1985	2016	4

表6

No.	钢种	消除应力退火温度（℃）	（R_+）－（R_-）（MPa）	（R_{S+}）－（R_{S-}）（MPa）	表面粗糙度Ry（μm）	渗氮处理	残余剪应变（$\times10^{-4}$）	疲劳寿命（$\times10^6$次）
21	L	350	954	531	7．3	没施予	4．1	0．8
22	L	380	764	429	8．1	没施予	3．7	3．9
23	L	410	253	131	7．9	没施予	4．5	8．7
24	M	410	108	67	6．7	没施予	4．0	12．5
25	N	410	333	265	5．4	没施予	3．7	9．8
26	N	410	401	176	6．2	施予	2．9	16．3
27	O	410	96	45	11．8	没施予	3．9	7．0
28	P	410	179	103	5．5	没施予	3．9	10．8
29	Q	410	233	119	7．6	没施予	12．0	2．1
30	R	410	319	164	9．5	没施予	12．1	0．9
31	S	在拉丝中断裂						
32	T	410	427	214	6．9	没施予	4．1	11．7
33	U	410	214	93	10．8	没施予	4．3	13．5

根据上述结果，可作出如下解释。首先，由于 No.23～28、32 和 33 皆满足本发明规定的所有条件，因此可知疲劳强度和弹减抗性均优异。

与此相对，No.21、22、29、31 皆在本发明所规定的条件中有所欠缺，故此某些特性变差。即，如 No.21 和 22，由于弹簧内侧与外侧的残余应力差（弹簧成形后和喷丸处理后）变大，因此疲劳强度就显著下降。

此外，No.29 由于 C 含量大，使缺陷敏感性增高，而且由于 Si 含量小，消除应力退火后就得不到充分的强度，使疲劳寿命缩短并使弹减抗性降低。

No.31 由于 C 含量小，造成铅浴淬火后的强度降低，拉丝后得不到充分的强度，导致缩短疲劳寿命，而且使弹减抗性降低。

No.32 由于 Cr 含量大，铅浴淬火时生成有贝氏体，在拉丝时发生了断裂。

产业上利用的可能性

本发明的构成如上，实现了一种冷拉弹簧制造用钢丝及其冷拉弹簧，能发挥与到拉丝加工为止使用油回火钢丝制成的弹簧相同或更高的疲劳强度及弹减抗性。

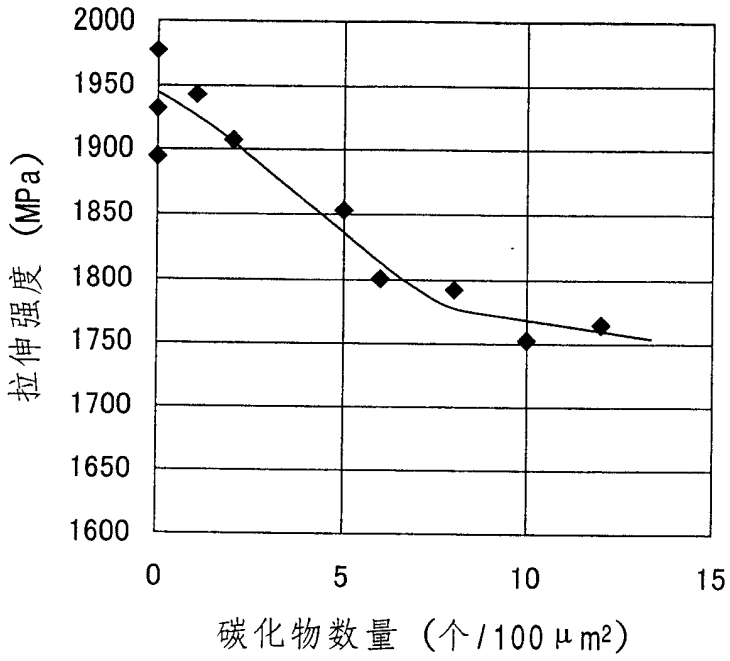

2000
1950
1900
1850
1800
1750
1700
1650
1600
拉伸强度（MPa）
0
5
10
15
碳化物数量（个/100μm²）

图 1

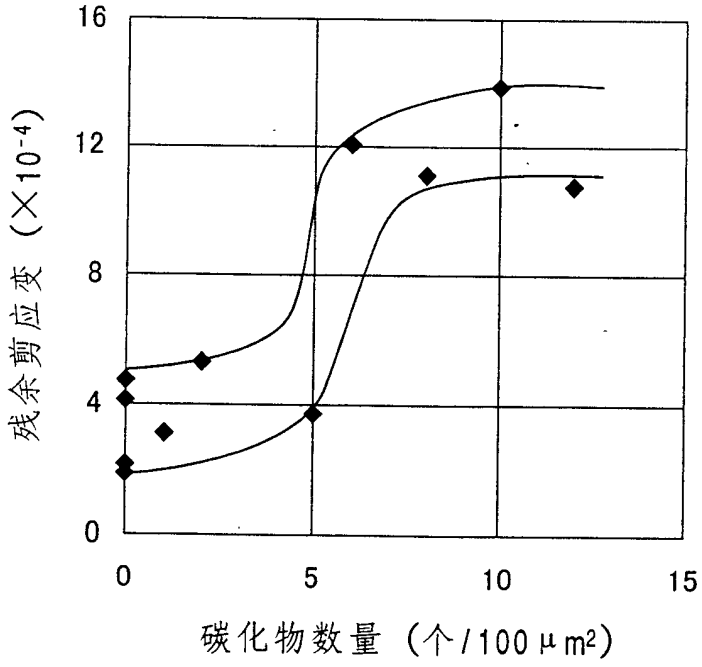

16
12
8
4
0
残余剪应变（×10⁻⁴）
0
5
10
15
碳化物数量（个/100μm²）

图 2

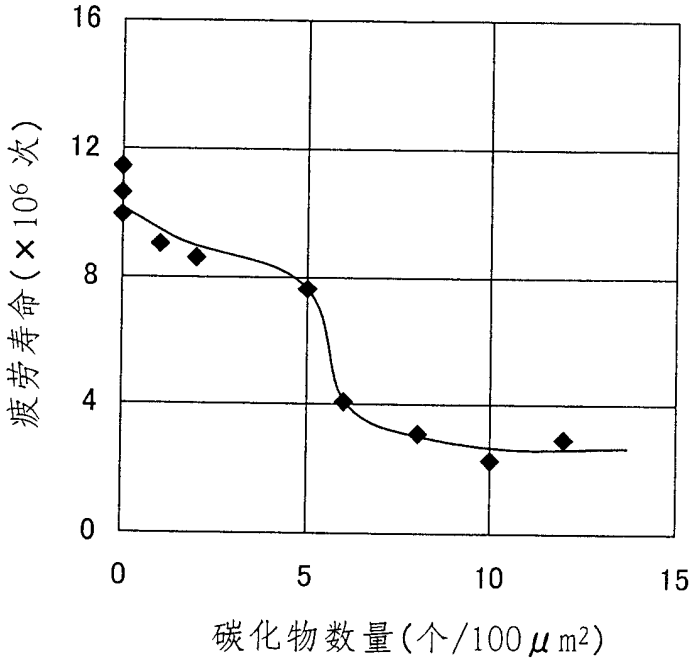


图 3