

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷
C22C 38/00
C22C 38/60



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00800083.2

[45] 授权公告日 2003 年 7 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 1113973C

[22] 申请日 2000.1.25 [21] 申请号 00800083.2

[30] 优先权

[32] 1999.1.28 [33] JP [31] 19888/1999

[32] 1999.11.24 [33] JP [31] 333127/1999

[86] 国际申请 PCT/JP00/00369 2000.1.25

[87] 国际公布 WO00/44953 日 2000.8.3

[85] 进入国家阶段日期 2000.9.27

[71] 专利权人 住友金属工业株式会社

地址 日本国大阪府

[72] 发明人 渡里宏二 冈田康孝

审查员 王怀东

[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 41 页 附图 6 页

[54] 发明名称 机械结构用钢材

[57] 摘要

一种机械结构用钢材含有按质量% C: 0.05 - 0.55、Si: 0.50 - 2.5、Mn: 0.01 - 2.00、P ≤ 0.035、S: 0.005 - 0.2%、N ≤ 0.0150, 同时根据需要含有 Cu、Ni、Cr、Mo、V、Nb、Ti、B、Al、Bi、Ca、Pb、Te、Se, 满足 $-23C + Si(5 - 2Si) - 4Mn + 104S - 3Cr - 9V + 10 \geq 0$ 、 $3.2C + 0.8Mn + 5.2S + 0.5Cr - 120N + 2.6Pb + 4.1Bi - 0.001\alpha^2 + 0.13\alpha \geq 3.0$, 其余为由 Fe 和杂质构成的化学组成, 组织中的 10 - 80% 为铁素体相、Hv 硬度为 160 - 350。在上式中的 α 表示按组织的铁素体相的%的面积比例。一种机械结构部件是以上述机械结构用钢材为原材料, 经切削加工能比较容易制造。

I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

5 1. 一种机械结构用钢材，按质量百分比含有：C：0.05—0.55%、Si：
0.50—2.5%、Mn：0.01—2.00%、P：0.035%以下、S：0.005—0.2%、Cu：
0—1.5%、Ni：0—2.0%、Cr：0—2.0%、Mo：0—1.5%、V：0—0.50%、
Nb：0—0.1%、Ti：0—不到0.04%、B：0—0.01%、Al：0.04%以下、N：
10 0.015%以下、Bi：0—0.10%、Ca：0—0.05%、Pb：0—0.12%、Te：0—
0.05%、Se：0—0.5%，并满足用下述式（1）所表示的fn1的值为0以上、
用下述式（2）所表示的fn2的值为3.0以上，其余具有由Fe及杂质构成
的化学组成，按面积比例在组织中所占的铁素体相的比例为10—80%，Hv
硬度为160—350；

$$\text{fn1} = -23\text{C} + \text{Si}(5 - 2\text{Si}) - 4\text{Mn} + 104\text{S} - 3\text{Cr} - 9\text{V} + 10 \quad (1)$$

$$\text{fn2} = 3.2\text{C} + 0.8\text{Mn} + 5.2\text{S} + 0.5\text{Cr} - 120\text{N} + 2.6\text{Pb} + 4.1\text{Bi} - 0.001\alpha^2 + 0.13\alpha \quad (2)$$

各式中，元素符号表示其元素的质量%， α 表示按组织中的铁素体相
的%的面积比例。

2. 根据权利要求1所述的机械结构用钢材，S含量为0.005—0.080
20 %，用下述式（3）所表示的fn3的值为100以下；

$$\text{fn3} = 100\text{C} + 11\text{Si} + 18\text{Mn} + 32\text{Cr} + 45\text{Mo} + 6\text{V} \quad (3)$$

上述式（3）中，元素符号表示按其元素的质量%的含量。

3. 根据权利要求2所述的机械结构用钢材，对于钢材的加工长度方
向的纵截面的夹杂物以n1作为最大直径为0.5—3 μm 的夹杂物的个数、n2
25 作为最大直径为超过3 μm 的夹杂物的个数，用下述式（4）所表示的fn4
的值为5.0以上，

$$\text{fn4} = \text{n1} / \text{n2} \quad (4)$$

4. 根据权利要求2或3所述的机械结构用钢材，用下述式（5）表
示的fn5的值为100以下，

$$\text{fn5} = 87\text{C} + 7\text{Si} + 10\text{Mn} + 41\text{Cr} + 15\text{Mo} + 50\text{V} \quad (5)$$

在上述式(5)中,元素符表示按其元素的质量%的含量。

5. 根据权利要求1所述的机械结构用钢材, Mn 含量为 0.15—2.00%、S 含量超过 0.080% 并为 0.2% 以下, 用上述式(1)所表示的 fn_1 的值为 7.5 以上。

5 6. 一种机械结构部件是以权利要求 1—5 中任意一项所述的机械结构钢材作为原材料。

5

机械结构用钢材

本发明涉及一种切削性能优异的机械结构用钢材以及由这种钢材所制造的机械结构部件。具体地说，是提供一种切削性能，其中例如钻头开孔时“钻头寿命”和“切屑处理性”优异的机械结构用钢材以及用这种钢材所制造的机械结构的部件。

对各种机械结构部件，大多用热锻造等热加工将钢材粗加工成一定的形状，接着，通过切削加工，精加工成所希望的形状。然后，可以不经热处理直接使用，或者在切削加工后再进行退火、退火一回火、淬火一回火等热处理后使用。也有在热加工后进行热处理，然后再利用切削加工精加工成所希望的形状后使用。对其中一部分部件作为最后处理还进行渗碳、氮化、高频淬火等表面硬化处理后使用。

切削性能优异的钢，即易切钢根据所付与的易切性元素被分成 S 系列、Pb 系列、S-Pb 系列、Ca 系列、S-Pb-Ca 系列、Ti 系列、石墨系列等。在这些易切钢中，作为最终制品要求硬度的机械结构用的易切钢，用 S 易切钢、Pb 易切钢或 Ca 易切钢以及这些复合易切钢的多。这是由于钢的硬度一升高，则切削性恶化，因此多量地添加 Pb、S、Ca 等能付与易切性的元素改善其切削性能。

但是，大量添加上述的 Pb、S、Ca 等对最终制品的各种机械结构部件有造成欠陷的情况。例如，在大量添加 Pb、S 或 Ca 的情况下，由于夹杂物变粗大，经高频淬火或渗碳等表面硬化处理发生淬裂，并有残存在最终制品上的情况。

而且，在钢中若多量添加 Pb、S、Ca 等，则必然造成韧性降低。因此，除象曲轴、连杆、印刷机轴等要求韧性不高的机械结构部件的情况以外，对于要求高韧性的机械结构部件象轮毂、主轴、转间节臂、转矩臂等，当把以前所用的所述易切钢作原料钢使用时，则难于确保所希望

的高韧性。例如，在按维氏硬度需要 160 以上的高硬度机械结构部件的情况下，为了提高所述易切钢的切削性能，需要含有大量的 S，或者为了提高切屑处理性，需要含有 Pb 的量多，所以造成韧性的各向异性变大，而且也使韧性显著的降低。

5 因此，例如，在 W098/23784 号国际公开公报中公开有一种含有 Ti 为 0.04—1.0 质量%并且使 Ti 的碳硫化物微细分散的切削性能优异的机械结构用的易切钢材。在该公报中所提出的易切钢材的情况下，能抑制由于粗大夹杂物最终制品产生不良，并且也能确保机械结构部件良好的硬度和韧性的均衡。然而，目前对在产业界的提高切削性的要求越来越高，
10 在自动化生产线上为了更加缩短切削时间，希望能使切削速度进一步提高。为此，需要超过在上述公报中所提出的钢材的切削性的结构用钢材。

作为能提高切削性的新技术，在特开平 9—49067 号公报中公开有一种提高 Si 含量的“塑料成型模具用钢”。但是，即使把在该公报中所提出的“塑料成型模具用钢”直接作为机械结构部件的材料钢使用，也不能
15 得到稳定的切屑处理性以满足例如象所谓连杆或齿轮的汽车部件那样的自动化的生产线上大量生产部件的切削中的要求。这是因为，由于模具的切削加工对每个模具都是在开放状态下进行，在上述公报中所提出的“塑料成型模具用钢”的情况下，不存在作为切削性的切屑处理性的问题，因此，不必考虑对切屑处理性。

20 本发明的目的是提供一种切削性优良的机械结构用钢材和用这种钢材所制造的机械结构部件。具体地说，这种钢材使用含有通常的 Co 的高速钢制的钻头（所谓“高速钢钻头”）并且开孔（开孔深）/（开孔直径）为 5 以上的所谓“深孔”情况下的“钻头寿命”和“切屑处理性”优良。这里，作为本发明的机械结构用钢材及机械结构部件的标准的硬度用维
25 氏硬度（以下称 Hv 硬度）为 160—350，作为“钻头寿命”的开孔个数为 150 个以上。作为要求具有上述特性的机械结构部件的具体例子可列举曲轴、连杆、印刷机轴。

本发明的另一目的，是提供一种机械结构用钢材及用这种钢材所制造的机械结构部件。这种钢材除 Hv 硬度为上述的 160—350 和在“钻头
30 寿命”以及“切屑处理性”方面的切削性以外，具有 40J 以上的值作为在

用按 JISZ 2202 规定的 3 号摆锤式冲击试验片的冲击试验的室温吸收能 (uE_{RT})。作为要求具有上述特性的机械结构部件, 例如可列举轮毂、主轴、转向节臂、转矩臂。

另外, 上述的 160—350 的 Hv 硬度大约相当 520—1100MPa 的拉伸强度。

本发明的要点如下。

本发明的机械结构用钢材, 含有按质量%为 C: 0.05—0.55%、Si: 0.50—2.5%、Mn: 0.01—2.00%、P: 0.035%以下、S: 0.005—0.2%、Cu: 0—1.5%、Ni: 0—2.0%、Cr: 0—2.0%、Mo: 0—1.5%、V: 0—0.50%、Nb: 0—0.1%、Ti: 0—不到 0.04%、B: 0—0.01%、Al: 0.04%以下、N: 0.015%以下、Bi: 0—0.10%、Ca: 0—0.05%、Pb: 0—0.12%、Te: 0—0.05%、Se: 0—0.5%, 用下述式 (1) 所表示的 fn1 的值为 0 以上、用下述式 (2) 所表示的 fn2 的值为 3.0 以上, 其余具有由 Fe 及杂质构成的化学组成, 按面积比例在组织中所占的铁素体相的比例为 10—80%, Hv 硬度为 160—350;

$$fn1 = -23C + Si(5 - 2Si) - 4Mn + 104S - 3Cr - 9V + 10$$

(1)

$$fn2 = 3.2C + 0.8Mn + 5.2S + 0.5Cr - 120N + 2.6Pb + 4.1Bi - 0.001\alpha^2 + 0.13\alpha$$

(2)

各式中, 元素符号表示其元素的质量%, α 表示按组织的铁素体相的%的面积比例。

另外, 为了确保良好的韧性, 可使上述机械结构用钢材的化学组成按质量% S 含量为 0.005—0.080%, 用下述式 (3) 所表示的 fn3 的值为 100 以下。

$$fn3 = 100C + 11Si + 18Mn + 32Cr + 45Mo + 6V \quad (3)$$

上述式 (3) 中的元素符号表示按其元素的质量%的含量。

除使所述机械结构用钢材的化学组成按质量% S 含量为 0.005—0.080%, 用所述式 (3) 所表示的 fn3 值为 100 以下以外, 对于钢材的加工长度方向的纵截面的更杂物, 若以 n1 作为最大直径为 0.5—3 μ m 的夹杂物的个数、n2 作为最大直径为超过 3 μ m 的夹杂物的个数, 用下述式 (4)

所表示的 fn_4 的值为 5.0 以上, 则能付于机械结构部件良好的韧性。这时, 能防止热锻造成型后的机械结构部件, 例如用所谓超声波操作检查或磁粉探伤检查的无损伤性检查产生质量不良制品。并且, 也能防止在进行所谓对机械结构部件作为最后处理的渗碳、高频淬火等表面硬化处理时的裂缝。

$$fn_4 = n_1 / n_2 \quad (4)$$

另外, 为了给机械结构部件付与更好的钻头寿命, 可使所述机械结构用钢材的化学组成按质量%, Mn 含量为 0.15—2.00%, S 含量为超过 0.080% 和 0.2% 以下, 用上述式 (1) 所示的 fn_1 的值为 7.5 以上。

10 钻头开孔条件如前所述, 为用含有普通的 Co 的高速钢钻头并开孔 (开孔深) / (开孔直径) 为 5 以上的所谓“深孔”。另外, 所述的“开孔”即可为向钻头加工方向不贯穿的所谓“盲孔”, 也可为贯穿的“孔”。

另外, 当一个钻头开孔时, 在一开始钻孔后从钻头前部涂去排出的切屑的其他切屑的切断情况成各种状态。用所述式 (2) 所表示的 fn_2 表示作为“切屑处理性”的“切屑切断指数”, 其值与所述切屑的切断状况间的关系为如图 1 所示。并且, 在该 fn_2 的值为 0 以下的情况下都定义为“0”。

组织的面积比例是指用显微镜所观察时的组织比例。

20 还有, 所谓本发明的钢材的“加工长度方向纵截面” (以下称之为“L 截面”) 是指平行于钢材的加工方向, 通过其中心线所截的面, 而所谓夹杂物的“最大直径”是指“L 截面的各各夹杂物的最宽幅度的部分”。

下面对附图进行简单的说明。

图 1 为表示作为“切屑处理性”的用所述式 (2) 所表示的“切屑切断指数” fn_2 的值和切屑的切断状况间的关系图。

25 图 2 为表示按质量%的基本化学组成为 0.43% C—0.6% Mn—0.02% P—0.10% S—0.5% Cr—0.01% Al—0.05% N 的钢中的 Si 含量与旋转切削磨损量的关系图。

30 图 3 为表示按质量%的基本化学组成为 0.15% C—1.0% Si—0.02% P—0.025% S—0.5% Cr—0.01% Al—0.05% N 的钢中的 Mn 含量与作为钻头寿命的钻头开孔个数的关系图。

图 4 为表示按质量%的基本化学组成为 $0.43\%C-1.0\%Si-0.02\%P-0.05\%S-0.5\%Cr-0.01\%Al-0.05\%N$ 的钢中的 Mn 含量与用显示夹杂物的微细化的所述式 (4) 所表示的 fn_4 的值的关系图。

图 5 为表示按质量%的基本化学组成为 $0.43\%C-0.6\%Mn-0.02\%P-0.05\%S-0.5\%Cr-0.01\%Al-0.05\%N$ 的钢中的 Si 含量与作为钻头寿命的钻头开孔个数的关系图。

图 6 为表示按质量%的基本化学组成为 $0.43\%C-0.6\%Mn-0.02\%P-0.04\%S-0.5\%Cr-0.01\%Al-0.05\%N$ 的钢中的 Si 含量与旋转切削磨损量的关系图。

10 本发明者们反复调查和研究了钢材的化学组成和组织对切削性的影响。并且本发明者也反复调查和研究了钢材的化学组成与组织对作为切削及机械性质的硬度和韧性的影响。

其结果，得到下述共识。

15 (a) 若能控制在钢材的组织中所占的铁素体相的面积比例，则能大大地提高作为切削性的钻头加工性，其中例如切屑处理性。另外，在以下的说明中，“铁素体相”只称“铁素体”，而也有“面积比例”只称“比例”的情况。

20 (b) 若使用所述式 (1) 的 fn_1 的值为 0 以上，则用含有通常的 Co 的高速钢钻头在 Hv 硬度为 160—350 的高硬度机械结构部件上开孔（开孔深）/（开孔直径）为 5 以上的所谓“深孔”时，能使作为“钻头寿命”的开孔个数为 150 以上。

(c) 若使上述 fn_1 的值为 7.5 以上，则可使用上述 (b) 所述的开孔个数为 300 以上。因此，深孔加工时的钻头寿命是被极其重视的，而韧性对于象不太要求韧性的曲轴那样的机械结构部件，还是 S 的含量高好。

25 (d) 提高作为切削性的“切屑处理性”，特别是在钻头开孔的情况下，在谋求钻头的寿命稳定及高寿命的同时，为了不要切屑的后处理并使作业流程自动化是重要不可缺少的。

30 (e) 除适当地控制在组织中所点的铁素体的比例之外，若使“切屑切断指数”，即用所述式 (2) 所表示的 fn_2 的值为 3.0 以上，则对于上述的高硬度机械结构部件，能改善进行所述钻头加工（钻头开孔）时的切

屑处理性并使切屑的排出的容易。因此，能稳定和提高钻头寿命，并且由于不需要切屑的后处理，因此能自动化作业流程。

(f) 若用所述式(3)所表示的 fn_3 的值为 100 以下，则对于按 Hv 硬度为 160—350 的高硬度机械结构部件，能使用 JIS Z 2202 中所规定的 3 号摆锤式冲击试验片的冲击试验的在室温的吸收能 (uE_{RT}) 具有 40J 以上 5 的良好韧性。

(g) 对于钢材的 L 截面的夹杂物，若用所述式(4)所表示的 fn_4 值为 5.0 以上，则能防止，例如由热锻造成型后的机械结构部件，用所谓超声波操作检查或磁粉探伤检查出现不良制品。并且，也能防止在对机械结构部件进行所谓作为最后处理的渗碳、高频淬火的表面硬化处理的情况 10 下的裂缝。

基于上述结果完成了本发明。

下面，对于本发明的各要素给予详细的说明。另外，各元素的含量“%”表示“质量%”。

15 钢材的化学组成

C: 0.05—0.55%。

C 是提高钢的硬度并且付与机械结构部件所希望的高硬度的必须的元素。并且 C 也有提高作为切削性的“切屑处理性”的作用。但是，C 的含量不到 0.05 则难得到所述效果。相反，当 C 含量过高，则“切屑处理性”饱和或者反而降低，并且增大旋转切削时的工具磨损量，即降低了 20 旋转切削工具寿命。特别是当 C 含量超过 0.55% 时，包括所述的旋转切削磨损性在内所有切削性都降低。因此，C 的含量为 0.05—0.55%。

Si: 0.50—2.5%。

Si 对改善切削性是有效的元素。所述的作用在 Si 含量为 0.50% 以上 25 能够得到。另一方面，Si 含量为 2.0% 的程度改善切削性的效果饱和，而当超过 2.5% 时，切屑的变形状态移向断续的剪切变形，并且切屑的厚度变大，反而有损工具寿命。因此，Si 的含量为 0.50—2.5%。另外，当为提高硬度不太有利的多量添加 Si 时，由于使韧性变差，因此，为了改善切削性，在把多量使用 Si 的机械结构用钢材作为象轮毂、主轴、转向节臂、转矩臂那样要求良好的韧性部件的原料钢使用的情况下，兼顾保持 30

韧性是重要的。

Mn: 0.01—2.00%。

Mn 有提高硬度的作用及改善韧性的作用。而且，也有在 Mn 中固定钢中的 S 并提高热加工性的作用。但是，其含量不到 0.01% 则得不到所述的效果，而 Mn 含量为 2.00% 时所述的效果达到饱和。因此，Mn 的含量为 0.01—2.00%。

另外，根据对机械结构部件所要求的特性，使 Mn 含量按与所述的 S 含量的关系变化是理想的。

也就是，象轮毂、主轴、转向节臂、转矩臂那样的对于机械结构部件的韧性和切削性同时要求高水平的情况下，把 S 的含量为 0.005—0.080% 并且 Mn 含量尽可能地低的限于能给与机械结构部件所希望的硬度的限度是理想的。即，Mn 含量的上限为 1.50% 好，而最好的把 Mn 含量的上限为 1.00%。另外，当 Mn 含量变低时，则主要使 MnS 减少，能使夹杂物的微细分散，因此，能防止在进行作为最后处理的表面硬化处理时的裂缝。

对于机械结构部件，在同时要求极高水平的韧性和切削性的情况下，对于 S 含量使 Mn 含量的上限为 0.50% 是更加理想的。并且，若将 Mn 含量的上限为 0.30%，则能提高韧性，甚至在低温区域的韧性，而且，提高切削性与 MnS 系夹杂物减少，并减少最大直径超过 3 μ m 的夹杂物，因此，即使对夹杂物的微细分散化也能得到进一步的效果。

另一方面，对于象曲轴、连杆、印刷机轴等那样的机械结构部件，要求良好的切削性而对韧性要求不是那么高的情况下，使 S 含量超过 0.080% 在 0.2% 以下，为固定 S，Mn 含量为 0.15% 以上是理想的。而最好 Mn 含量的下限为 0.30%。

P: 0.035% 以下。

P 使热加工性降低，尤其是其含量超过 0.035% 时，热加工性显著地降低。因此，P 的含量为 0.035% 以下。

S: 0.005—0.2%。

S 在钢中形成 MnS 具有改善切削性的作用，其中例如，改善旋转切削的工具寿命的作用。但是，S 含量不到 0.005% 则难得到所述的效果。

而当 S 的含量超过 0.2% 时, 则在作为表面硬化处理的渗碳或高频淬火等的淬火时产生裂缝, 并多使制品质量不好。因此, 使 S 含量为 0.005—0.2%。

另外, 根据对机械结构部件所要求的特性改变 S 含量是理想的。

5 也就是说, 对象轮毂、主轴、转向节臂、转矩臂那样的机械结构部件同时要求高水平韧性和切削性的情况下, 使所述的 f_n3 的值为 100 以下, 并且使 S 含量为 0.005—0.080% 是理想的。这是由于, 当 S 含量超过 0.080% 时, 在 L 截面中, 最大直径超过 $3\mu\text{m}$ 的 MnS 变多韧性的各向异性变显著的同时, 也有韧性变差的情况。

10 另外, 为了在韧性方面不产生显著的各向异性并提高高硬度钢材的切削性, 使 L 截面的 MnS 的最大直径变小, 而且能提高切削性的方法是必要的。为此, 在本发明中, 适当地控制合金元素的组合及铁氧的比例。在极其重视确保韧性的情况下 S 含量的上限为 0.035% 是理想的。在这种情况下, 严格控制合金元素的组合及铁素体的比例, 能确保充分的切削性。
15 对比较重视确保韧性的情况下, S 含量的上限为 0.02% 是理想的。在这种情况下, 例如, 在提高 Si 含量的同时, 降低 Mn 含量, 并且通过使含有适量的 Cr 或 V 可以确保充分的切削性。

另一方面, 对象曲轴、连杆、印刷机轴等那样的机械结构部件, 韧性不要求那么高而要求具良好的切削的情况下, 使 S 含量超过 0.080% 是理想的。在这种情况下, 可以稳定作为深孔加工时的“钻头寿命”的开孔个数, 并且确保为 300 以上。

Cu: 0—1.5%。

不添加 Cu 也可以。若添加 Cu 有提高硬度的效果。并且, 在钢中形成低熔点的硫化物也具有改善切削性的作用。在按 Hv 硬度为 160—280 的所谓“软”的机械结构用部件的情况下, 为了确实地得到所述的效果,
25 Cu 含量为 0.02% 以上是理想的, 而最好 Cu 含量为 0.05% 以上。另外, 在按 Hv 硬度超过 280 的所谓“硬”(在本发明中, 按 Hv 硬度超过 280 为 350 以下) 的机械结构用部件的情况下, 为了确实能得到所述的效果, Cu 含量为 0.2% 以上是理想。但是, 当 Cu 含量超过 1.5% 时, 则招致热加工性显著的降低。因此, Cu 含量为 0—1.5%。
30

Ni: 0—2.0%。

不添加 Ni 也可以。若添加 Ni 具有提高硬度和韧性的作用，并且在
进行淬火处理的钢材中，有提高淬火性的作用。为了确实能得到这种效
果，Ni 含量为 0.2% 以上是理想的。但是，当其含量超过 2.0% 时，不但
5 所述的效果达到饱和，而且切屑和工具的凝接变显著；降低工具寿命，
而只提高成本缺乏经济性。因此，Ni 含量为 0—2.0%。

Cr: 0—2.0%。

不添加 Cr 也可以。若添加 Cr，有提高硬度的作用。并且，也具有提
高作为切削性的“切屑处理性”的作用或使微细的夹杂物（CrS）在钢材
10 中生成的作用。为了确实能得到这种效果，Cr 含量为 0.2% 以上是理想的，
而 Cr 含量为 0.5% 以上则更理想。但是，当其含量超过 2.0%，则组织中的
铁素体的比例大幅度降低，所以“切屑处理”相反显著地降低。因此，
Cr 含量为 0—2.0%。并且，Cr 含量的上限在 C 含量为 0.25% 程度以下的
情况为 1.5% 是理想的。对于 C 含量为 0.55% 上限的所述范围的 C 含量，
15 Cr 含量的上限为 1.0% 是更加理想的。

Mo: 0—1.5%。

不添加 Mo 也可以。若添加 Mo 具有提高硬度和韧性的作用，并且在
进行淬火处理的钢材中，具有提高淬火性的作用。为了确实能得到这种
效果，Mo 含量为 0.1% 以上是理想的。但是，其含量超过 1.5% 时，所述
20 的效果饱和并提高成本缺乏经济性。因此，Mo 含量为 0—1.5%。

V: 0—0.5%。

不添加 V 也可以。若添加 V 具有不使韧性或钻头寿命大幅降低而大
幅度提高硬度的作用，并且也有抑制旋转切削时的工具磨损的效果。为
了确实能得到这种效果，V 含量为 0.01% 以上是理想的。但是，当其含有
25 量超过 0.50% 时，生成未固溶的 V 的碳氮化合物，并且不仅没提高硬度，
反招致切削性很大的降低。因此，V 含量为 0—0.50%。

Nb: 0—0.1%。

不添加 Nb 也可以，若添加 Nb，有使晶粒微细化提高韧性的同时提
高强度，特别是屈服强度的作用。为了确实能得到这种效果，Nb 含量为
30 0.005% 以上是理想的。但是，当其含量超过 0.1% 时，则以未固溶的粗大

硬质的 Nb 的碳氮化合物残留，反到降低了韧性，并且切削性也降低。因此，Nb 的含量为 0—0.1%。

Ti: 0—不到 0.04%。

不添加 Ti 也可以。若添加 Ti，形成 Ti 的硫化物，并抑制 MnS 的生成，因此能使夹杂物微细分散化。并且，由于 Ti 的碳化物析出，能提高硬度。为了确实得到这种效果，Ti 含量为 0.005%以上是理想的。但是，当使 Ti 含量多，则提高由 TiC 的硬度变大，并有延展性，即延长和拉深降低的情况，特别是当其含量为 0.04%以上时，具有延展性显著降低的情况。因此，Ti 的含量为 0—不到 0.04%。

10 B: 0—0.01%。

不添加 B 也可以。若添加 B 具有更加提高切削性的作用。为了确实得到这种效果，B 的含量为 0.001%以上是理想的。但是，当其含量超过 0.01%时，则造成韧性和热加工性降低。因此，B 的含量为 0—0.01%。

Al: 0.04%以下。

15 Al 是对钢的脱氧有效的元素。但是本发明中由于含有上述量的 Si，所以可用 Si 脱氧。因此，不是特别需要用 Al 脱氧处理，所以不添加 Al 也可以。另外，当 Al 的含量超过 0.04%，则工具与切屑的凝接变显著，所以造成用钻头加工或旋转切削的工具寿命降低。因此，Al 的含量为 0.04%以下。

20 在象轮毂、主轴、转间节臂、转矩臂那样的要求高水平的韧性的机械结构部件的情况下，为了确保良好的韧性，把钢中的氧含量控制在 0.15%以下是理想的。因此，在具有脱氧效果的 C、Si 的含量低的情况下，Al 的含量为 0.010%是理想的。

N: 0.015%以下。

25 限制 N 含量是极其重要的。也就是说，N 使“切屑处理性”恶化，特别是当 N 含量超过 0.015%时，“切屑处理性”的降低变得极其显著。因此，即使添加其它的改善“切屑处理性”元素，也不能改善“切屑处理性”。因此，N 含量为 0.015%以下，另外，以往为提高非调质钢的硬度添加 N，但是，用适当地控制已述的 C、Si、Mn、Cr 及 V 等的含量，即使不有意地添加 N 也能得到所希望的硬度，所以尽可能地抑制低的 N 含

30

量是理想的，而为 0.010% 以下好。特别是，在硬度为 Hv 280 以下并且切屑处理性容易恶化的情况下，N 含量为 0.006% 以下是理想的。但是，当 N 含量不到 0.002% 时，则存在切屑处理性恶化的情况，所以 N 含量的下限值为 0.002% 好。

5 **Bi: 0—0.10%。**

不添加 Bi 也可以，若添加 Bi，则有更加提高切削性的作用。为了确实得到这种效果，Bi 含量为 0.01% 以上是理想的。但是，当其含量超过 0.10% 时，招致韧性及热加工性降低。因此，Bi 的含量为 0—0.10%。

Ca: 0—0.05%。

10 不添加 Ca 也可以。若添加 Ca，由于主要球状化 MnS，所以能防止，例如用非破坏性检查由热锻造成形后的机械结构部件产生不良制品，并且能防止进行最后处理的表面硬化处理时情况的裂缝。为了确实能得到这种效果，Ca 含量为 0.001% 以上是理想的。但是，其含量超过 0.05% 时，则招致热加工性的显著降低。并且，在作为表面硬化处理的渗碳或高频
15 淬火等的淬火时发生裂缝，存在制品多发生不良品的情况。因此，Ca 的含量为 0—0.05%。

Pb: 0—0.12%。

不添加 Pb 也可以。若添加 Pb 有进一步提高切削性的作用。为了确实能得到这种效果，Pb 含量为 0.02% 以上是理想的。但是，当其含量超
20 过 0.12% 时，招致热加工性降低。并且，在进行作为表面硬化处理的渗碳或高频淬火等的淬火时有发生裂缝并使制品多发生不良品的情况。因此，Pb 的含量为 0—0.12%。

Te: 0—0.05%。

不添加 Te 也可以。若添加 Te，由于主要球状化 MnS，所以能防止，
25 例如用非破坏检查由热锻所成型后的机械结构部件产生不良品，并且也能防止在进行作为最后处理的表面硬化处理的情况下的裂缝。为了确实能得到这种效果，Te 含量为 0.005% 以上是理想的。但是，当其含量超过 0.05% 时，则招致热加工性的显著降低。因此，Te 含量为 0—0.05%。

Nd: 0—0.05%。

30 不添加 Nd 也可以。若添加 Nd，由于主要球状化 MnS，所以能防止，

例如用非破坏检查由热锻所成型后的机械结构部件产生不良品，并且也能防止进行作为最终处理的表面硬化处理的情况下的裂缝。为了确实能得到这种效果，Nd 含量为 0.005% 以上是理想的。但是，当其含量超过 0.05% 时，则招致热加工性的显著降低。因此，Nd 含量为 0—0.05%。

5 Se: 0—0.5%。

不添加 Se 也可以。若添加 Se，则具有进一步提高切削性的作用。为了确实能得到这种效果，Se 含量为 0.05% 以上是理想的。但是，当其含量超过 0.5% 时，则招致韧性和热加工性显著的降低。因此，Se 的含量为 0—0.5%。

10 在本发明中，也可以对氧含量不作特别的规定。但是，当其含量一多，则钢中的氧化物变粗大化，成为超声波检查等的不良主要因素有降低了成品率的情况，所以其含量为 0.015% 以下是理想的。在想确保良好韧性的情况下，氧含量为 0.015% 以下是极其理想的。

15 另外，在以往的易削钢中，作为所谓“脱氧调整钢”被实用化。这种“脱氧调整钢”控制 Si 或 Al 的含量并且不进行充分的脱氧，添加 Ca 等元素，使 Si、Al、Ca 等的复合氧化物形成，并且用适当控制这些复合氧化物的组成比使氧化物的熔点降低，改善切削性。

20 与此相对应，在本发明的机械结构用钢材及机械结构部件中，为改善切削性不需利用上述的低熔点氧化物。把所述各元素的含量及用下面详细描述所述式 (1) 或 (2) 所表示的 f_{n1} 和 f_{n2} 的值控制在适当的范围，并且，用把在后述的组织中所占的铁素体的比例控制在适当的范围，即使所谓 Hv 硬度为 160—350 的高硬度，也能确保充分的切削性。因此，例如本发明的机械结构用钢材及机械结构部件的氧化物，即使有前述的“脱氧调整钢”的情况的组成比，改善切削性也不是基于其氧化物。

25 f_{n1} : 0 以上。

30 在机械结构用钢材的情况下，在切削性方面，特别是提高钻头加工性是重要的。也就是说，对机械结构部件利用钻头加工，象用油孔所代表的那样，对最大直径开孔深度大的所谓“深孔”。作为加工这种“深孔”时的钻头材质，由于使用耐磨损性优良的超硬合金困难，所以特别使用含 Co 并且韧性和耐摩损性优良的高速钢。因此，对于作为钻头加工性的

钻头寿命，钻头材质的改良的提高不要求很大，而且取决于被加工材料的机械结构用钢材的情况大。

作为机械结构用钢材的钻头加工性，需要提高作为“钻头寿命”的开孔个数和“切屑处理性”两者，其中“钻头寿命”依赖加工钢材的硬度和化学组成。也就是，被加工钢材的硬度变高，则“钻头寿命”降低，而这些很大地依赖于被加工钢材的化学组成，在用所述式（1）所表示的 $fn1$ 的值为 0 以上的场合，当用含有通常 Co 的高速钢钻头在机械结构部件上加工所谓“深孔”，即（开孔深）/（开孔直径）为 5 以上的孔时，则能得到作为“钻头寿命”的 150 以上的大的开孔个数。因此， $fn1$ 的值为 0 以上。另外，若 Mn 含量为 0.15—2.00%，S 含量超过 0.080% 并为 0.2% 以下，并且 $fn1$ 的值为 7.5 以上，则能得到 300 以上的极其大的开孔个数。该 $fn1$ 的上限值，本发明的钢材用 Hv 硬度为 160—350 的硬度范围，并且也需要满足涉及下述的切削性的 $fn2$ 的规定来决定。

$fn2$: 3.0 以上。

除如后述的将在组织中所占的铁素体的面积比例适当地控制之外，在用作为“切屑切断指数”的所述式（2）所表示的 $fn2$ 的值为 3.0 以上的情况下，首先改善切屑处理性，在深孔加工中，使切屑的排出容易（参照图 1）。为此，能稳定并提高钻头寿命，由于不需要切屑的后处理，能使作业流程自动化。另外，在“切屑切断指数” $fn2$ 的值为不到 3.0 的情况下，由于切屑切断性显著地降低，因此，发生如图 1 所示的长延伸的切屑。因此，需要进行切屑的后处理，作业流程的自动化困难。并且，钻头寿命降低。因此， $fn2$ 的值为 3.0 以上。

用合金元素含量和铁素体的面积比例所规定的“切屑切断指数” $fn2$ 与硬度、韧性和钻头寿命有关。即，当硬度变高，则切屑切断性变好，但是韧性和钻头寿命降低。另一方面，当硬度变低时，韧性和钻头寿命变高，由于延展性提高切屑处理性恶化。因此，该 $fn2$ 的上限值，由本发明的钢材用 Hv 硬度为 160—350 的硬度范围，也需要满足涉及切削性的 $fn1$ 及铁素体的比例的各种规定来决定。另外，实际上 $fn2$ 的上限值为 8.0 左右。

$fn3$: 100 以下。

当 S 含量为 0.005—0.080%，S 以外的各元素的含量均在所述的范围内，而且用所述式 (3) 所表示的 fn_3 的值为 100 以下时，则按用 JIS Z 2202 所规定的 3 号摆锤式冲击试验片的冲击试验，能得到 40J 以上的室温吸收能 (uE_{RT})，并且能付与高硬度机械结构部件良好的韧性。因此，对于象
5 轮毂、主轴、转间节臂、转矩臂那样要求高韧性的机械结构部件，使 S 含量为 0.005—0.080%，并且使 fn_3 的值为 100 以下好。该 fn_1 的下限值也由需要满足钢材按 Hv 硬度为 160—350 的硬度范围以及涉及切削性的 fn_1 、 fn_2 的规定来决定。

另外，在寒冷地区使用机械结构部件的情况下，以使用按 JIS Z 2202
10 所规定的 3 号摆锤式冲击试验片的冲击试验，要求作为 -50℃ 的吸收能 (uE_{-50}) 为 20J 以上的值。在这种情况下，用下述式 (5) 所表示的 fn_5 的值为 100 以下是理想的。

$$fn_5 = 87C + 7Si + 10Mn + 41Cr + 15Mo + 50V \quad (5)$$

另外，上述式 (5) 的元素符号也表示其元素的质量%的含量。

15 钢材的组织

为了提高具有上述的化学组成的机械结构用钢材的切削性，其中例如钻头开孔的“切屑处理性”，按面积比例，需要使在组织中所占的铁素体的比例为 10—80%。由于铁素体是软质相，在钻头加工时首先变形，并成为切屑切断的起点，提高“切屑处理性”。但是，铁素体的比例不到
20 10%，得不到上述的效果，切屑处理性降低。并且，也有作为“切屑处理性”的“切屑切断指数” fn_2 的值在 3.0 以下的情况。另一方面，当铁素体的比例超过 80%，则按下述项 (c) 所述的 Hv 硬度确保为 160 以上的高硬度变难，软质的组织变得过多，反而降低了“切屑处理性”。因此，使在组织中所占的铁素体的比例为 10—80%。

25 这里，所述的组织的比例，即面积比例是指用显微镜观察时的组织的比例。

除组织中的铁素体以外的其余部分为珠光体、贝氏体或马氏体。所定的组织在非调质处理、即最后的热加工后直接冷却能得到，也可在热加工后进行退火、退火一回火、淬火一回火等的热处理得到。另外，在
30 组织中包括在所谓贝氏体或马氏体的低温的变态生成物的情况下，进行

回火处理是理想的。另一方面，从成本上看，不进行热处理，而进行能得到所定组织的非调质处理是理想的。在这种“非调质处理”的情况下，由于不需要进行热处理，在成本方面是有利的，并由于能简化流程在工期方面也是有利的。

5 Hv 硬度

按 Hv 硬度不到 160 的机械结构部件，由于使用时变形，或产生大的磨损，或引起疲劳破坏，因此，即使切削性优良也难于利用。另一方面，当硬度按 Hv 硬度超过 350 时，确保所希望的良好切削性变得困难。特别是，在“非调质处理”的情况下，使在组织中所占的铁素体的比例为 10—18%，确保切削性变得极其困难。因此，Hv 硬度为 160—350。

夹杂物

在象轮毂、主轴、转间节臂、转矩臂那样要求高韧性的机械结构部件的情况下，使 S 含量为 0.05—0.080%，用所述式 (3) 所表示的 fn_3 的值为 100 以下，同时对钢材的 L 截面的夹杂物，使用所述式 (4) 所表示的 fn_4 的值为 5.0 以上好。这是由于，在满足所述的 S 含量范围和 fn_3 的值的机械结构用钢材的情况，使 fn_4 的值为 5.0 以上长延伸的 MnS 变得极其少，能防止用非破坏检查由热锻等热加工的成型后的机械结构部件产生的不良制品，并能防止进行作为最后处理的表面硬化处理时的裂缝。

另外，在具有已规定了的化学组成的机械结构用钢材中的 S 含量为 0.005—0.080% 的钢材中，最大直径超过 $3\mu\text{m}$ 的夹杂物的大部分为 MnS，而最大直径为 $0.5\text{—}3\mu\text{m}$ 的夹杂物以硫化物（例如，CrS）、碳化物、氮化物等，也包括一部分 MnS。

当 fn_4 的值为 10 以上时，夹杂物的大部分最大直径为 $3\mu\text{m}$ 以下。因此，在非破坏检查的不良判定基准严格的情况下， fn_4 的值为 10 以上是理想的。该 fn_4 的上限值没有特别地规定，越大越好。

所述夹杂物的个数，若以显微镜为能识别最大直径 $0.5\mu\text{m}$ 的夹杂物程度的倍数，例如 400 倍下进行测定。

这里，为了使 fn_4 的值为 5.0 以上，在不添加 Cr 的情况，例如在 (a) Mn 和 S 的含量分别为低到 0.5% 以下、0.05% 以上，或者 (b) 添加适当量的 Te、Ti 或 Nd，在钢的凝固阶段把 MnS 成微细状，并且在其后的热

加工成不向长延伸的组成。在添加 Cr 把夹杂物作为 CrS 被分散的情况，例如使 Mn 的含量为 0.5% 以下，同时在使用 Si 或 Al 脱氧后，添加 Cr，并且在之后可以添加 Mn。

另外，在上述任何一种情况下，用真空精炼及铁水包精炼等 2 次精炼的过程，充分地搅拌熔钢使粗大的 MnS 上浮，并且以充分大的凝固时的钢块的冷却速度，把 2 次枝晶间距为 250 μm 以下是理想的。因此，以连续铸造制造钢锭是理想的。若进行上述的处理，能得到所谓“微偏析”或“S 偏析”极其少的良好的钢块。

控制夹杂物并改善切削性的以往的易削钢作为所谓的“脱氧调整钢”被实用化。在这种“脱氧调整钢”的情况，把半脱氧型的钢作为基本组成，用适当地控制 SiO_2 、 MnO 、 Al_2O_3 、 CaO 、 TiO_2 等氧化物的组成比，首先可以提高切削性。为此，在本发明的机械结构用钢材的情况下，与以氧化物为开始的夹杂物的组成范围没有关系，即夹杂物的组成范围无论为怎样，若满足已述的化学组成规定和组织规定，则按 Hv 硬度在所谓 160—350 的硬度范围，即能得到良好的切削性。

另外，S 含量为 0.005—0.080%， f_n3 的值为 100 以下的钢材，以满足已述的夹杂物的规定，能防止，例如用非破坏检查由热锻所成型后的机械结构部件产生不良品，也能防止进行作为最后处理的表面硬化处理时的裂缝。

本发明的机械结构部件，用热锻造等热加工将已述的本发明的机械结构用钢材精加工成所定的形状，然后，切削加工成所希望的形状进行制造。或者在上述的切削加工后，进行退火、退火—回火、淬火—回火等的处理进行制造。另外，在所述热加工后，进行热处理，然后，切削加工成所希望的形状，也能制造。另外，对一部分部件，作为表面硬化处理也可进行渗碳、氮化以及高频淬火等的热处理或喷丸硬化等的塑性加工。

下面通过实施例对本发明给予进一步详细的说明，但是本发明不限于这些实施例。

实施例 1

将在表 1—4 所示的化学组成的钢用 150kg 的真空熔解炉或 70 吨转

炉进行熔炼。用 70 吨转炉所熔炼的为钢 A4 和钢 B8，在转炉熔炼后进行连结铸造。其它的钢都是用 150kg 真空熔解炉进行熔炼的。另外，在表 1—4 中，也一并分别示出式(1)所表示的 f_{n1} 的值。氧含量钢 B11 在 0.0187% 和 0.15%，而其它的钢都为 0.015% 以下。

- 5 在表 1—4 的钢 A1—B20 以及钢 D1—D4 各元素的含量值在本发明所规定的范围内，而且， f_{n1} 的值也为满足在本发明所规定的条件的钢。

另一方面，表 3、表 4 的钢 C1—C13 各元素的任何一种含量都为偏离本发明所规定的范围的钢。其中钢 C8 的 f_{n1} 的值也为偏离本发明所规定的条件的钢。

表 1

钢	化 学 组 成 (质量%)										其余: Fe 及杂质	
	C	Si	Mn	S	Cr	P	V	N	Al	其它	fn1	
A1	0.09	0.97	1.87	0.149	-	0.017	0.30	0.0040	0.010	-	16.2	
A2	0.33	0.88	1.22	0.117	-	0.033	-	0.0068	-	-	12.5	
A3	0.49	1.16	0.23	0.096	-	0.010	0.11	0.0050	0.016	-	9.9	
A4	0.42	0.99	0.34	0.106	-	0.029	-	0.0021	0.023	-	13.0	
A5	0.26	1.03	0.89	0.083	-	0.007	0.33	0.0030	0.025	-	8.8	
A6	0.36	1.15	1.25	0.100	-	0.013	-	0.0081	0.006	Ca:0.005,Te:0.03	10.2	
A7	0.39	1.03	0.52	0.119	-	0.023	-	0.0070	0.010	Pb:0.11,Se:0.10	14.4	
A8	0.40	0.69	0.82	0.097	-	0.028	0.12	0.0059	0.024	Nb:0.04	9.0	
A9	0.41	0.69	0.77	0.114	-	0.025	0.09	0.0065	0.003	B:0.0023,Bi:0.09	11.0	
A10	0.24	1.24	1.49	0.086	-	0.009	0.20	0.0070	0.012	Mo:0.21	8.8	
B1	0.08	1.06	0.82	0.129	1.56	0.016	0.24	0.0035	0.009	-	14.5	
B2	0.52	1.26	0.17	0.127	0.16	0.025	0.08	0.0090	0.013	-	12.5	
B3	0.26	0.51	0.38	0.096	1.51	0.027	-	0.0035	0.027	-	10.0	

fn1=23C+Si(5-2Si)-4Mn+104S-3Cr-9V+10
(在上述各式的元素符号表示其元素的含量)

表 2

钢	化 学 组 成 (质量%)											其余: Fe 及杂质	
	C	Si	Mn	S	Cr	P	V	N	Al	其它	fn1		
B4	0.28	1.00	0.79	0.123	0.79	0.004	-	0.0025	0.030	-	13.8		
B5	0.30	0.79	1.03	0.103	0.90	0.003	0.13	0.0080	0.012	-	8.5		
B6	0.37	2.03	0.37	0.139	1.09	0.010	-	0.0052	0.036	Te:0.03	13.1		
B7	0.09	1.13	0.51	0.099	1.68	0.016	0.22	0.0021	0.023	-	12.3		
B8	0.34	1.09	0.35	0.088	0.57	0.014	-	0.0043	0.007	Pb:0.08,Nb:0.03	10.4		
B9	0.23	1.02	0.18	0.083	1.57	0.009	-	0.0037	0.013	Ni:0.85,Te:0.02	10.9		
B10	0.49	1.26	0.22	0.100	0.88	0.020	-	0.0055	0.009	Cu:0.55,Se:0.11	8.7		
B11	0.46	1.10	0.38	0.120	0.23	0.021	0.40	0.0047	0.002	-	9.2		
B12	0.25	1.06	0.67	0.092	1.42	0.022	0.10	0.0044	0.007	-	9.0		
B14	0.27	1.15	0.87	0.144	1.09	0.017	0.36	0.0026	0.008	Mo:0.14;Ca:0.002	11.9		
B15	0.25	0.98	0.78	0.100	1.42	0.006	0.10	0.0075	0.002	Bi:0.03	9.3		
B16	0.20	1.16	0.80	0.103	1.53	0.013	0.10	0.0090	0.033	-	10.5		

fn1=-23C+Si(5-2Si)-4Mn+104S-3Cr-9V+10

(在上述各式的元素符号表示其元素的含量)

表3

钢	化学组成 (质量%)										其余: Fe 及杂质	
	C	Si	Mn	S	Cr	P	V	N	Al	其它	fn1	
B17	0.35	1.16	0.80	0.143	0.83	0.013	0.10	0.0146	0.033	-	13.3	
B18	0.31	0.69	1.30	0.119	1.57	0.027	-	0.0066	0.029	-	7.8	
B19	0.52	0.56	1.30	0.144	0.33	0.011	-	0.0103	0.026	-	9.0	
B20	0.26	0.59	1.06	0.092	1.34	0.029	-	0.0146	0.017	-	7.6	
C1	*0.04	1.79	0.89	0.086	-	0.007	-	0.0123	0.023	-	17.0	
C2	*0.59	0.68	0.55	0.075	0.25	0.022	0.08	0.0026	0.010	-	3.0	
C3	0.40	*0.27	1.37	0.103	-	0.017	0.06	0.0065	0.047	-	6.7	
C4	0.39	*2.66	1.28	0.081	-	0.013	-	0.0125	0.010	-	3.3	
C5	0.33	0.95	*2.47	0.091	1.11	0.030	-	0.0073	0.026	-	1.6	
C6	0.37	0.87	1.13	0.096	2.29	0.053	-	0.0062	0.021	-	2.9	

fn1=-23C+Si(5-2Si)-4Mn+104S-3Cr-9V+10
(在上述各式的元素符号表示其元素的含量)
* 记号表示偏离在本发明所规定的条件。

表 4

钢	化 学 组 成 (质量%)										其余: Fe 及杂质	
	C	Si	Mn	S	Cr	P	V	N	Al	其它	fn1	
C8	0.40	0.57	*2.43	0.091	1.03	0.027	-	*0.0251	0.009	*Ni:2.24	*-0.3	
C9	0.36	0.77	1.13	0.095	1.26	0.017	0.18	0.0075	0.017	*Mo:1.84	4.3	
C10	0.46	1.15	0.90	0.087	1.57	0.008	-	0.0047	0.030	B:0.010,*Bi:0.17	3.3	
C11	0.30	1.00	1.21	0.090	0.90	0.030	-	0.0043	0.032	*Pb:0.26,*Te:0.07	7.9	
C12	0.39	0.58	1.26	0.110	-	0.023	-	0.0103	0.030	*Cu:1.89	9.7	
C13	0.51	0.93	1.22	0.126	0.60	0.015	0.15	*0.0171	0.023	*Nb:0.13	6.3	
D1	0.37	0.90	1.07	0.081	1.00	0.021	0.09	0.0120	0.020	-	4.6	
D2	0.49	0.72	1.09	0.090	1.06	0.030	0.14	0.0068	0.032	-	1.9	
D3	0.16	2.26	1.30	0.088	1.56	0.024	0.30	0.0060	0.017	-	3.1	
D4	0.41	0.59	1.46	0.092	0.22	0.029	-	0.0088	0.017	-	5.9	

fn1=-23C+Si(5-2Si)-4Mn+104S-3Cr-9V+10
 (在上述各式的元素符号表示其元素的含量)
 * 记号表示偏离在本发明所规定的条件。

然后，这些钢的钢锭加热到 1250℃后在 1000℃以上进行精加工的热锻造，制成直径 60mm 的圆棒。热锻造后空气冷却并模拟非调质钢材的制造流程。另外，钢 A3、钢 A4、钢 A8、钢 B4、钢 B5、钢 B19、钢 C5、钢 C6、钢 C12、钢 D2 及钢 D3 进行热加工后的空气冷却后，根据钢的化学组成，加热到 850—1000℃进行退火或淬火，除钢 D2，然后再进行回火。

从这样所得的圆棒的 1 / 2 半径的位置，即从圆棒表面 15mm 的位置，沿热锻方向平行地采取按 JIS Z 2201 所规定的 14A 号拉伸试验片（平行部分的直径为 8mm），并考察在室温的拉伸特性。另外，在下面的说明中，把圆棒的 1 / 2 半径的位置称作 R / 2 部位置。

从直径 60mm 的圆棒中切出 20mm 长的硬度试验片，用截面也进行 R / 2 部位置的 Hv 硬度测度。另外，把 6 处所测定的平均值作为 Hv 硬度。

另外，以圆棒的 R / 2 部位置为中心，镜面研磨沿热锻造方向平行地所采取的试验片的 L 截面，用硝酸乙醇腐蚀液腐蚀被检测面并用放大倍数为 400 倍的光学显微镜观察 R / 2 部位置的组织，进行铁素体的比例（面积比例）测定和组织的判定。

也进行由钻头开孔试验及旋转切削试验的切削性研究。

钻头开孔试验，在直径 60mm 的圆棒的直径方向开孔深度 50mm 的孔，由于刃前端磨损，把不能开孔时的前面的开数作为钻头寿命。开孔使用钻头直径为 6.0 mm，全长 225mm，前端角为 118 度的含 6%Co 的高速钢钻头，同时用乳浊剂（水溶性润滑剂）进行润滑，以旋转速度 980rpm，送刀量 0.15mm / rev 的条件下进行试验。

旋转切削试验，把在超硬合金的刀头上施加超长切片断裂器的试样为基础，用进行了 Ti(C、N)—Al—TiN 包覆的试样，并在无润滑、切削速度为 160m / 分，送刀量 0.25mm / re·v，切入量 3mm 的条件下进行。并且用切削 30 分钟后的刀片的铲背面的磨损量进行切削性评价。

另外，钢 C10 及钢 C11，由于在热锻造中产生裂纹，对这些钢进行上述的 R / 2 部位置的组织观察，只进行铁素体的比例（面积比例）测定的组织判定。

在表 5—8 中示出上述各种试验的结果。在该表 5—8 的热处理中的

“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火，“—”为非调质处理。另外，在组织栏中的“F”表示铁素体、“P”表示珠光体、“B”表示贝氏体、“M”表示马氏体。“ α ”指组织中铁素体的面积比例，如前所述。在上述的表中在括号内也一并示出回火温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

- 5 另外，钢 C10 和钢 C11 的各各组织的相为“B+M”和“F+M”，铁素体的比例（ α ）为 0%和 21%。因此，按所述条件，所制作直径 60mm 的圆棒时的 f_{n2} 值，在钢 C10 的情况为 3.6，在钢 C11 的情况为 5.4。

表5

试验序号	钢	热处理	组织		fn2	拉伸特性				Hv 硬度	钻头 寿命 (开孔个数)	旋转切削 磨损量 (μm)
			相	α (%)		TS (MPa)	YS (MPa)	YS/TS	拉深 (%)			
1	A1	-	F+P	73	6.2	590	453	0.77	69.4	184	1059	20
2	A1	-	F+P	61	6.0	718	435	0.60	24.5	225	681	74
3	A3	NT(600)	F+P+B	29	4.6	890	505	0.57	26.5	281	408	126
4	A4	NT(600)	F+P+B	25	4.5	775	423	0.55	26.5	244	565	112
5	A5	-	F+P	79	5.7	736	538	0.73	41.8	231	351	16
6	A6	-	F+P	56	5.8	771	483	0.63	20.4	243	514	82
7	A7	-	F+P	73	5.9	755	412	0.55	28.6	238	908	91
8	A8	QT(650)	F+P+B	23	4.2	796	489	0.61	23.5	251	311	106
9	A9	-	F+P	64	6.3	794	462	0.58	28.6	251	513	107
10	A10	-	F+P	65	5.8	749	544	0.73	58.1	236	401	12
11	B1	-	F+P	29	4.9	639	444	0.70	69.4	200	899	34
12	B2	-	F+P	62	5.7	925	480	0.52	28.6	293	833	126

热处理栏的“-”为非调质、“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、括号内的数值为回火温度(°C)。
 组织栏的“F”为铁素体、“P”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为铁素体的面积比例。
 拉伸特性栏的“TS”为拉伸强度、“YS”为屈服强度

表6

试验序号	钢	热处理	组织		fn2	拉伸特性				Hv 硬度	钻头 寿命 (开孔个数)	旋转切削 磨损量 (μm)
			相	α (%)		TS (MPa)	YS (MPa)	YS/TS	拉深 (%)			
13	B3	-	F+P	21	4.3	697	411	0.59	35.7	228	366	103
14	B4	NT(600)	F+B+M	16	4.1	811	513	0.63	27.5	228	628	62
15	B5	QT(650)	F+M	26	4.5	860	623	0.72	46.9	228	428	77
16	B6	-	F+P	28	5.0	883	479	0.54	30.6	279	1215	54
17	B7	-	F+P	31	4.9	641	455	0.71	59.2	201	698	21
18	B8	-	F+P	57	5.9	742	444	0.60	26.5	233	519	98
19	B9	-	F+P	30	4.7	687	414	0.60	37.7	216	577	76
20	B10	-	F+P	27	4.8	938	514	0.55	27.5	297	399	150
21	B11	-	F+P	19	4.1	984	609	0.62	17.3	319	305	90
22	B12	-	F+P	20	4.2	760	493	0.65	43.9	240	358	64
23	B13	-	F+P	34	5.0	852	544	0.64	24.5	270	359	89
24	B14	-	F+P	13	4.1	898	580	0.65	30.6	300	662	6

热处理栏的“-”为非调质、“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、括号内的数值为回火温度(°C)。
 组织栏的“F”为铁素体、“P”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为铁素体的面积比例。
 拉伸特性栏的“TS”为拉伸强度、“YS”为屈服强度

表 7

试验序号	钢	热处理	组织		fn2	拉伸特性			Hv 硬度	钻头寿命 (开孔个数)	旋转切削 磨损量 (μm)
			相	α (%)		TS (MPa)	YS (MPa)	YS/TS			
25	B15	-	F+P	21	4.2	761	490	0.64	43.9	240	64
26	B16	-	F+P	15	3.3	729	478	0.66	63.2	229	37
27	B17	-	F+P	13	2.7	989	548	0.55	12.2	314	123
28	B18	-	B+M	0	2.6	821	504	0.61	41.8	260	107
29	B19	NT(600)	B+M	0	2.4	939	512	0.55	27.5	298	162
30	B20	-	F+P	8	2.1	726	468	0.64	41.8	228	98
31	C1	-	F+P	96	3.1	440	338	0.77	52.0	135	92
32	C2	-	F+P	6	3.3	997	580	0.58	17.3	317	206
33	C3	-	F+P	41	5.8	779	485	0.62	24.5	246	223
34	C4	-	F+P	51	5.2	907	598	0.66	20.4	287	213
35	C5	NT(550)	M+B	0	3.2	888	629	0.71	26.5	281	107

热处理栏的“-”为非调质、“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、括号内的数值为回火温度(°C)。
组织栏的“F”为铁素体、“P”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为铁素体的面积比例。
拉伸特性栏的“TS”为拉伸强度、“YS”为屈服强度

表 8

试验序号	钢	热处理	组 织		fn2	拉 伸 特 性				Hv 硬度	钻头 寿命 (开孔个数)	旋转切削 磨损量 (μm)
			相	α (%)		TS (MPa)	YS (MPa)	YS/TS	拉深 (%)			
36	C6	QT(600)	M	0	3.0	952	591	0.62	31.6	302	152	226
37	C7	-	F+P	11	3.2	934	605	0.65	27.5	296	168	37
38	C8	-	B+M	0	1.2	931	636	0.68	24.5	295	45	234
39	C9	-	B+M	0	2.3	1086	765	0.70	12.2	348	111	276
40	C12	QT(600)	F+B+M	6	2.3	766	460	0.60	16.3	242	284	195
41	C13	-	F+P	9	2.6	1016	605	0.60	18.4	322	150	218
42	D1	-	F+P	11	2.9	865	564	0.65	33.7	273	150	118
43	D2	N	B+M	0	2.6	1008	630	0.62	24.5	320	150	239
44	D3	QT(550)	F+B	5	2.6	853	658	0.77	38.8	270	223	47
45	D4	-	F+P	33	5.2	941	591	0.63	28.6	259	173	199

热处理栏的“-”为非调质、“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、括号内的数值为回火温度(°C)。
 组织栏的“F”为铁素体、“P”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为铁素体的面积比例。
 拉伸特性栏的“TS”为拉伸强度、“YS”为屈服强度

如表 5—表 8 所示，在各元素的含量值在本发明所规定的范围内，而且 fn1 的值、fn2 的值及在组织中所占的铁素体的比例也满足本发明规定的试验序号 1—26 及试验序号 45 的场合。任何一种 Hv 硬度都为 184—319 的高硬度，钻头寿命优良，“切削处理性”也良好。在上述的各试验序号的情况下，旋转切削磨损量也不到 200 μ m，以旋转切削的切削性也优良。其中，特别是试验序号 1—26，其供试验钢的 Mn 含量为 0.17—1.87%，S 含量为 0.083—0.149%，满足 Mn 含量为 0.15—2.00%，S 含量超过 0.08% 并在 0.2% 以下的条件，而且 fn1 的值为 8.5—16.2，为大于 7.5 以上，因此能得到 300 以上极大的开孔个数，具有极好的钻头寿命。

另一方面，在试验序号 27 和 42 的场合，供试样钢的钢 B17 和钢 D1 的各元素的含量值在本发明所规定的范围内，fn1 的值也满足本发明所规定的条件（参照表 3、表 4），由于 fn2 的值偏离本发明所规定的条件，所以“切屑处理性”差。

试验序号 28—30、43 及 44 的场合，供试钢的钢 B18—20、钢 D2 及钢 D3 的各元素的含量值在本发明的规定范围内，fn1 的值也满足在本发明所规定的条件（参照表 3、表 4），由于 fn2 的值及在组织中所占铁素体的比例偏离在本发明所规定的条件，所以“切屑处理性”差。

试验序号 31—41 的场合，至少供试钢的各元素中任何一种的含量、fn1 的值、fn2 的值、在组织中所占的铁素体的比例中一项偏离本发明的条件，所以按 Hv 硬度为 135，硬度低，或钻头开孔数不到 150、钻头寿命短，“切屑处理性”及旋转切削磨损性差。

另外，由于钢 C10 和钢 C11 在热锻造中产生裂缝，所以仅进行由组织观察的铁素体的比例测定和组织的判定，如前所述，没进行其它的试验。

实施例 2

以 0.43% C—0.6% Mn—0.10% S—0.5% Cr—0.01% Al—0.05% N—0.02% P 为基本的化学组成，用 150kg 的真空熔解炉熔炼改变 Si 含量的各种钢。

然后，将这些钢的钢锭加热到 125 $^{\circ}$ C 后在 1000 $^{\circ}$ C 以上进行精加工的热锻造，制作直径 60mm 的圆棒。另外，热锻造后空气冷却并模拟非调

质钢材的制造工艺。

用这样所得到的直径 60mm 的圆棒按与所述实施例 1 同样条件进行旋转切削试验。

图 2 中整理并示出 Si 含量对旋转切削磨损量的影响。

5 由图 2 可知, 当 Si 含量为 0.50% 以上, 旋转切削磨损量为 200 μ m 以下, 但当 Si 含量一超过 2.5%, 则旋转切削磨损量就急速地变大。

实施例 3

用 150kg 的真空熔解炉或 70 吨转炉熔炼表 9—12 表示化学组成的钢。用 70 吨转炉熔炼的是钢 E4 和钢 F8、用转炉熔炼后进行连续铸。其它的
10 钢都用 150kg 真空熔解炉熔炼。另外, 在表 9—12 中, 也一并示出分别用所述式 (1)、式 (3) 及式 (5) 所表示的 fn_1 、 fn_3 及 fn_5 的值。还有, 氧含量钢 F11 在 0.0195% 和 0.015% 上变动, 而其它的钢都为 0.015% 以下。

表 9、10 及 12 的钢 E1—F16 及钢 H1 各元素的含量值在本发明所规定的范围内, 而且是 fn_1 的值满足在本发明所规定条件的钢。
15

表 11 的钢 G1 及钢 G7, 其 fn_1 的值满足在本发明所规定的条件, 而各元素的任何一种的含量都偏离在本发明所规定的范围。另外, 表 12 的钢 H2—H8, 是各元素的含量值在本发明所规定的范围内, fn_1 的值偏离
20 本发明所规定的条件的钢。表 11、表 12 的钢 G2—G6、钢 G8—G14 及钢 J1 是各元素的任一种的含量都偏离在本发明所规定的范围, 同时 fn_1 的值也偏离本发明所规定的条件的钢。在所述的钢中, 钢 J1 是相当于以往型的 S 易削钢。

另外, 钢 E3 和钢 E4, Mn 及 S 的含量低, MnS 微细, 用所述式 (4) 所表示的 fn_4 的值为 5.0 以上。

25 钢 F1—F3、钢 F6—F16、钢 G2、钢 G6、钢 G7、钢 H1、H2 及钢 H5, 为了优先生成 Cr 的硫化物, 首先用 Si 脱氧后添加 Cr, 然后添加 Al、最后添加 Mn, 用式 (4) 所表示的 fn_4 的值为 5.0 以上。

表9

钢	化学组成 (质量%)											其余: Fe 及杂质			
	C	Si	Mn	S	Cr	P	V	N	Al	其它	fn1	fn3	fn5		
E1	0.08	0.96	1.86	0.078	-	0.016	0.29	0.0039	0.009	-	9.2	54	47		
E2	0.32	0.87	1.21	0.046	-	0.032	-	0.0067	-	-	5.4	63	46		
E3	0.48	1.15	0.22	0.025	-	0.009	0.10	0.0049	0.015	-	2.9	65	57		
E4	0.41	0.98	0.33	0.035	-	0.028	-	0.0020	0.022	-	5.9	58	46		
E5	0.25	1.02	0.88	0.009	-	0.006	0.32	0.0029	0.024	-	1.8	54	54		
E6	0.35	1.14	1.24	0.029	-	0.012	-	0.0080	0.005	Ca:0.005,Te:0.02	3.1	70	51		
E7	0.38	1.02	0.51	0.048	-	0.022	-	0.0069	0.009	Pb:0.11,Se:0.11	7.2	58	45		
E8	0.39	0.68	0.81	0.026	-	0.027	0.11	0.0058	0.023	Nb:0.05	2.0	62	52		
E9	0.40	0.68	0.71	0.043	-	0.024	0.08	0.0064	0.002	B:0.0026,Bi:0.09	4.0	62	51		
E10	0.23	1.23	1.48	0.015	-	0.008	0.19	0.0069	0.011	Mo:0.21	1.8	74	56		
F1	0.07	1.05	0.81	0.058	1.55	0.015	0.23	0.0034	0.008	-	7.5	84	97		
F2	0.51	1.25	0.08	0.056	0.15	0.024	0.07	0.0089	0.012	-	5.8	71	64		
F3	0.25	0.50	0.37	0.025	1.50	0.026	-	0.0034	0.026	-	2.9	85	90		
fn1=-23C+Si(5-2Si)-4Mn+104S-3Cr-9V+10															
fn3=100C+11Si+18Mn+32Cr+45Mo+6V															
fn5=87C+7Si+10Mn+41Cr+15Mo+50V															
(在上述各式的元素符号表示其元素的含量)															

表 10

钢	化 学 组 成 (质量%)										其 余: Fe 及 杂 质				
	C	Si	Mn	S	Cr	P	V	N	Al	其它	fn1	fn3	fn5		
F4	0.27	0.99	0.78	0.052	0.78	0.003	-	0.0024	0.029	-	6.7	77	70		
F5	0.29	0.78	1.02	0.032	0.89	0.002	0.12	0.0079	0.011	-	1.5	85	83		
F6	0.36	2.02	0.36	0.068	1.08	0.009	-	0.0051	0.035	Te:0.02	6.1	99	93		
F7	0.08	1.12	0.50	0.028	1.67	0.015	0.21	0.0020	0.022	-	5.3	84	99		
F8	0.33	1.08	0.34	0.008	0.56	0.013	-	0.0042	0.006	Pb:0.08,Nb:0.02	3.3	69	63		
F9	0.22	1.01	0.08	0.012	1.56	0.008	-	0.0036	0.012	Ni:0.87,Ti:0.03	4.2	84	91		
F10	0.48	1.25	0.21	0.029	0.87	0.019	-	0.0054	0.008	Cu:0.59,Se:0.12	1.7	93	88		
F11	0.45	1.09	0.37	0.049	0.22	0.020	0.39	0.0046	0.001	-	2.2	73	79		
F12	0.24	1.05	0.66	0.021	1.41	0.021	0.09	0.0043	0.006	-	2.0	93	97		
F14	0.26	1.14	0.86	0.073	1.08	0.016	0.35	0.0025	0.007	Mo:0.15,Ca:0.001	4.9	97	103		
F15	0.24	0.97	0.77	0.029	1.41	0.005	0.09	0.0074	0.001	Bi:0.03	2.3	94	98		
F16	0.19	1.15	0.79	0.032	1.52	0.012	0.09	0.0089	0.032	-	3.5	95	99		
fn1=-23C+Si(5-2Si)-4Mn+104S-3Cr-9V+10															
fn3=100C+11Si+18Mn+32Cr+45Mo+6V															
fn5=87C+7Si+10Mn+41Cr+15Mo+50V															
(在上述各式的元素符号表示其元素的含量)															

表 11

钢	化 学 组 成 (质量%)										其余: Fe 及杂质				
	C	Si	Mn	S	Cr	P	V	N	Al	其它	fn1	fn3	fn5		
G1	*0.03	1.78	0.88	0.015	-	0.006	-	0.0122	0.022	-	9.9	38	24		
G2	*0.58	0.67	0.54	*0.004	0.24	0.021	0.07	0.0025	0.009	-	*-4.0	83	74		
G3	0.39	*0.26	1.36	0.032	-	0.016	0.05	0.0064	*0.046	-	*-0.4	67	52		
G4	0.38	*2.65	1.27	0.008	-	0.012	-	0.0124	0.009	-	*-3.8	90	64		
G5	0.32	0.94	*2.46	0.020	1.10	0.029	-	0.0072	0.025	-	*-5.5	122	104		
G6	0.36	0.86	1.12	0.025	*2.28	*0.052	-	0.0061	0.020	-	*-4.2	139	142		
G7	0.24	1.15	0.76	0.110	1.51	0.016	*0.56	0.0055	0.009	-	6.4	102	126		
G8	0.39	0.56	*2.42	0.020	1.02	0.026	-	*0.0250	0.008	*Ni:2.25	*-7.5	121	104		
G9	0.35	0.76	1.12	0.024	1.25	0.016	0.17	0.0074	0.016	*Mo:1.86	*-2.7	188	135		
G10	0.45	1.14	0.89	0.016	1.56	0.007	-	0.0046	0.029	*B:0.012,Bi:0.17	*-3.8	123	120		
G11	0.29	0.99	1.20	0.019	0.89	0.029	-	0.0042	0.031	*Pb:0.26,*Te:0.06	0.8	90	81		
G12	0.38	0.57	1.25	0.039	-	0.022	-	0.00102	0.029	*Cu:1.88	2.5	67	50		
fn1=-23C+Si(5-2Si)-4Mn+104S-3Cr-9V+10															
fn3=100C+11Si+18Mn+32Cr+45Mo+6V															
fn5=87C+7Si+10Mn+41Cr+15Mo+50V															
(在上述各式的元素符号表示其元素的含量) *记号 表示偏离在本发明所规定的条件。															

表 12

钢	化 学 组 成 (质量%)										其余: Fe 及杂质				
	C	Si	Mn	S	Cr	P	V	N	Al	其它	fn1	fn3	fn5		
G13	0.50	0.92	1.21	0.055	0.59	0.014	0.14	*0.0170	0.022	*Nb:0.12	*-0.7	102	93		
G14	0.39	0.55	0.98	0.036	0.78	0.017	0.11	0.0035	0.020	*Ti:0.32	*-0.3	88	85		
H1	0.48	1.15	0.79	0.072	0.82	0.012	0.09	0.0145	0.032	-	3.1	102	96		
H2	0.30	0.68	1.29	0.048	1.56	0.026	-	0.0065	0.028	-	0.7	101	108		
H3	0.36	0.89	1.06	0.009	0.99	0.020	0.08	0.0119	0.019	-	*-2.4	97	93		
H4	0.51	0.55	1.29	0.073	0.32	0.010	-	0.0102	0.025	-	1.9	91	74		
H5	0.48	0.71	1.08	0.019	1.05	0.029	0.13	0.0067	0.031	-	*-5.2	110	107		
H6	0.15	2.24	1.29	0.008	1.55	0.023	0.29	0.0059	0.016	-	*-3.9	114	120		
H7	0.25	0.58	1.05	0.021	1.33	0.028	-	0.0145	0.016	-	0.5	93	91		
H8	0.40	0.58	1.45	0.021	0.21	0.028	-	0.0087	0.016	-	*-1.2	79	62		
J1	0.48	*0.29	1.20	0.043	-	0.025	-	0.0093	0.019	-	*-0.1	73	56		

fn1=-23C+Si(5-2Si)-4Mn+104S-3Cr-9V+10
fn3=100C+11Si+18Mn+32Cr+45Mo+6V
fn5=87C+7Si+10Mn+41Cr+15Mo+50V
(在上述各式的元素符号表示其元素的含量) *记号 表示偏离在本发明所规定的条件。

接着，将这些钢的钢锭加热到 1250℃后在 1000℃以上进行精加工热锻造，制作直径 60mm 的圆棒。热锻后空气冷却并模拟非调质钢材的制造过程。另外，钢 E3、钢 E4、钢 E8、钢 F4、钢 F5、钢 G5、钢 G6、钢 G12 及钢 H4—H6 在热加工后进行空气冷却，之后根据钢的化学组成加热到 850—1000℃进行退火或淬火，除钢 H5 外，然后再进行回火。

从这样所得的圆棒的 R / 2 部位置，沿热锻造方向平行地采取按 JIS Z 2201 所规定的 14A 号拉伸试验片(平行部位的直径为 8mm)和按 JIS Z 2202 所规定的 3 号摆锤式冲击试验片(2mmU 缺口摆锤式试验片)、考察在室温的拉伸特性和韧性(吸收能: uE_{RT})及-50℃的韧性(吸收能: uE_{-50})。

由直径 60mm 的圆棒切出 20mm 长的硬度试验片，在截面也进行 R / 2 部位置的 Hv 硬度测定，以与实施例 1 的情况相同测定 6 处的平均值作为 Hv 硬度。

并且，把圆棒的 R / 2 部位为中心，沿热锻方向平行地镜面研磨所采取的试验片的 L 截面，用放大倍数 400 倍的光学显微镜 60 视场进行观察、并考虑夹杂物。然后，用硝酸乙醇腐蚀溶液腐蚀经镜面研磨的被检测面，用放大倍数 400 倍的光学显微镜进行 R / 2 部位置的组织观察，并测定铁素体的比例(面积比例)和判定组织。

对于直径 60mm 圆棒，用与所述实施例 1 相同的条件进行钻头开孔试验及旋转切削试验的切削性研究。

另外，钢 G10 及钢 G11 在热锻造产生裂缝，所以对这些钢进行上述的 R / 2 部位置的组织观察，并进行铁素体的比例(面积比例)测定和组织的判定。

在表 13—16 示出上述各种试验的结果。该表 13—16 的记号如上所述，热处理栏的记号“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、“—”为非调质处理，组织栏的记号“F”为铁素体、“P”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为组织的铁素体的面积比例。在热处理栏的括号内数值为回火温度(℃)。

另外，钢 G10 及钢 G11 的各各的组织的相为“B+M”和“F+M”，铁素体的比例“ α ”为 0%和 21%。因此，按所述条件制作直径 60mm 的圆棒时的 f_{n2} 的值钢 G10 的场合为 3.2，钢 G11 的场合为 4.9。

表 13

试验序号	钢	热处理	组织		fn2	fn4	拉伸特性			韧性		Hv 硬度	钻头寿命 (开孔个数)	旋转切削 磨损失量 (μm)
			相	α (%)			TS (MPa)	YS (MPa)	YS/TS	拉深 (%)	UE _{RT} (J)			
46	E1	-	F+P	72	5.9	0.0	602	467	0.78	68	125	60	188	25
47	E2	-	F+P	60	5.6	0.0	733	448	0.61	24	106	51	230	39
48	E3	NT(600)	F+P+B	28	4.1	9.1	908	521	0.57	26	102	58	287	157
49	E4	NT(600)	F+P+B	24	4.1	5.5	791	436	0.55	26	117	45	249	140
50	E5	-	F+P	78	5.3	0.0	751	555	0.74	41	125	52	236	20
51	E6	-	F+P	55	5.4	0.0	787	498	0.63	20	92	46	248	103
52	E7	-	F+P	72	5.5	0.0	770	425	0.55	28	116	51	243	114
53	E8	QT(650)	F+P+B	22	3.7	0.0	812	504	0.62	23	119	54	256	133
54	E9	-	F+P	63	5.9	0.0	810	476	0.59	28	109	55	256	134
55	E10	-	F+P	64	5.4	0.0	764	561	0.73	57	103	53	241	15
56	F1	-	F+P	28	4.4	5.4	652	458	0.70	68	62	24	204	43
57	F2	-	F+P	61	5.2	16.0	944	495	0.52	28	89	30	299	158
58	F3	-	F+P	20	3.8	16.1	711	424	0.60	35	60	24	233	129

热处理栏的“-”为非调质、“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、括号内的数值为回火温度(°C)。
组织栏的“F”为铁素体、“P”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为铁素体的面积比例。
拉伸特性栏的“TS”为拉伸强度、“YS”为屈服强度

表 14

试验序号	钢	热处理	组织		fn2	fn4	拉伸特性			韧性		Hv 硬度	钻头寿命 (开孔个数)	旋转切削 磨损量 (μm)
			相	α (%)			TS (MPa)	YS (MPa)	YS/TS	拉深 (%)	UE _{RT} (J)			
59	F4	NT(600)	F+B+M	15	3.6	3.5	828	529	0.64	27	77	33	478	78
60	F5	QT(650)	F+M	25	4.0	0.4	878	642	0.73	46	80	29	278	96
61	F6	-	F+P	27	4.5	17.8	901	494	0.55	30	41	23	1065	68
62	F7	-	F+P	30	4.4	10.4	654	469	0.72	58	48	24	548	26
63	F8	-	F+P	56	5.5	7.5	757	458	0.61	26	94	42	369	123
64	F9	-	F+P	29	4.1	19.7	701	427	0.61	37	61	30	427	95
65	F10	-	F+P	26	4.3	19.6	957	530	0.55	27	43	33	249	188
66	F11	-	F+P	18	3.6	9.6	1004	628	0.63	17	45	23	155	112
67	F12	-	F+P	19	3.7	9.8	776	508	0.65	43	47	24	208	80
68	F13	-	F+P	33	4.5	10.3	869	561	0.65	24	43	21	209	111
69	F14	-	F+P	12	3.6	6.5	916	598	0.65	30	48	18	512	7
70	F15	-	F+P	20	3.7	8.5	777	505	0.65	43	54	24	218	80

热处理栏的“-”为非调质、“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、括号内的数值为回火温度(°C)。

组织栏的“F”为铁素体、“P”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为铁素体的面积比例。

拉伸特性栏的“TS”为拉伸强度、“YS”为屈服强度

表 15

试验 序号	钢	热处理	组 织		fn4	拉 伸 特 性			韧 性		Hv 硬度	钻头 寿命 (开孔个数)	旋转切削 磨损量 (μm)
			相	α (%)		TS (MPa)	YS (MPa)	YS/TS	拉深 (%)	UE _{RT} (J)			
71	F16	-	F+P	15	7.9	744	493	0.66	62	43	21	175	46
72	G1	-	F+P	95	2.8	449	348	0.77	51	157	85	118	115
73	G2	-	F+P	5	2.8	1017	598	0.59	17	64	29	15	258
74	G3	-	F+P	40	5.3	795	500	0.63	24	99	35	55	279
75	G4	-	F+P	50	4.8	925	616	0.67	20	50	29	18	266
76	G5	NT(550)	M+B	0	2.8	906	648	0.72	26	10	3	12	134
77	G6	QT(600)	M	0	2.6	971	609	0.63	31	10	3	2	282
78	G7	-	F+P	10	3.2	953	624	0.66	27	24	2	0	46
79	G8	-	B+M	0	0.8	950	656	0.69	24	36	17	0	292
80	G9	-	B+M	0	1.9	1108	789	0.71	12	12	3	0	345
81	G12	QT(600)	F+B+M	5	1.8	782	474	0.61	16	26	12	25	244

热处理栏的“-”为非调质、“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、括号内的数值为回火温度(°C)。
 组织栏的“F”为铁素体、“p”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为铁素体的面积比例。
 拉伸特性栏的“TS”为拉伸强度、“YS”为屈服强度

表 16

试验 序号	钢	热处理	组 织		fn4	拉 伸 特 性			韧 性		Hv 硬度	钻头 寿命 (开孔个数)	旋转切削 磨损失量 (μm)
			相	α (%)		TS (MPa)	YS (MPa)	YS/TS	拉深 (%)	UE _{RT} (J)			
82	G13	-	F+P	8	2.1	1037	624	0.60	18	26	329	0	273
83	G14	-	F+P	20	4.4	960	609	0.63	17	12	308	25	249
84	H1	-	F+P	12	2.6	1009	565	0.56	12	36	320	249	154
85	H2	-	B+M	0	2.2	838	520	0.62	41	27	265	35	134
86	H3	-	F+P	11	2.4	883	581	0.66	33	43	279	0	148
87	H4	NT(600)	B+M	0	2.0	958	528	0.55	27	49	304	122	202
88	H5	N	B+M	0	2.2	1029	649	0.63	24	9	327	0	299
89	H6	QT(550)	F+B	4	2.1	870	678	0.78	38	5	275	73	59
90	H7	-	F+P	9	1.8	941	482	0.65	41	44*	233	29	123
91	H8	-	F+P	32	4.8	960	609	0.63	28	73	264	23	249
92	J1	-	F+P	40	5.2	873	503	0.58	31	28	276	94	208

热处理栏的“-”为非调质、“N”为退火、“T”为回火、“Q”为淬火、括号内的数值为回火温度(°C)。
组织栏的“F”为铁素体、“P”为珠光体、“B”为贝氏体、“M”为马氏体、“ α ”为铁素体的面积比例。
拉伸特性栏的“TS”为拉伸强度、“YS”为屈服强度

如表 13—16 表示, 各元素的含量为在本发明所规定的范围, 并且在 fn1 的值、fn2 的值及在组织中所占的铁素体的比例也满足本发明的规定的试验序号 46—70 的场合, 任何一种 Hv 硬度为 188—325 的高硬度, 钻头寿命优良, “切屑处理性” 也良好。在上述的各试验序号的情况下, 旋转切削磨损量也不到 200 μm , 在旋转切削的切削性也优良。在上述的各试验序号的场合, 其供试钢的 fn3 的值为 54—99, 任何一种都满足 100 以下, 因此 uE_{RT} 具有 40J 以上的良好的韧性。此外, 试验序号 46—68 以及 70 的供试钢的 fn5 的值均为 100 以下, 因此, uE_{RT} 具有 40J 以上的良好的韧性。此外, 试验序号 46—68 以及 70 的供试钢的 fn5 的值均为 100 以下, 因此, 能得到 20J 以上的 uE_{50} , 显然即使在低温的韧性也优良。

另外, 在所述的试验序号 46—70 中, 满足涉及 fn4 的值为 5.0 以上的夹杂物的规定的试验序号 48、49、56—58 以及 61—70 的情况下, 不论热锻造后, 还是在渗碳或高频淬火的表面硬化处理后的磁粉探伤试验中, 均未观察到异常的磁性状态, 即由于在供试材料的表面或表面下部所存在的裂缝而产生的磁粉状态。然而, 在 fn4 值不到 5.0 的情况中, 在试验序号 54 及 60 的场合, 虽热锻造后无疵点, 但是通过表面硬化处理也有产生异常磁性状态的情况。

另一方面, 试验序号 71、84 的场合, 供试钢的钢 F16 和钢 H1 的各元素的含量值在本发明所规定的范围内, fn1 的值也满足在本发明所规定的条件 (参照表 10、表 12), 而 fn2 的值偏离在本发明所规定的条件, 因此 “切屑处理性” 差。

试验序号 72—83、85—91 的场合, 由于至少一种供试钢的各元素中任何一种的含量、fn1 的值、fn2 的值, 在组织中所占的铁素体的比例偏离本发明的条件, 所以或按 Hv 硬度为 138, 硬度低, 或钻头开孔数不到 150, 钻头寿命短, 并且 “切屑处理性” 或旋转切削磨损性差。

试验序号 92 的场合, 由于把与以往的 S 易削钢相当的钢 J1 为供试钢, Si 的含量偏离在本发明规定的范围, 并且 fn1 的值在本发明所规定的条件, 因此钻头开孔数为 94, 钻头寿命短。而且, 其旋转切削磨损量超过 200 μm 。

另外, 由于钢 G10 及钢 G11 在热锻造中产生裂缝, 只进行组织观察的铁素体的比例测定和组织的判定, 并如前所述不进行其它的试验。

实施例 4

以 $0.15\%C-1.0\%Si-0.02\%S-0.5\%Cr-0.01\%Al-0.05\%N-0.02\%P$ 作为基本的化学组成, 用 150kg 的真空熔解炉熔炼变化 Mn 含量的各种的钢。

5 然后, 把这些钢的钢锭加热到 $1250^{\circ}C$ 后在 $1000^{\circ}C$ 以上进行精加工的热锻造、制作直径 60mm 的圆棒。在热锻后进行空气冷却, 并模拟非调质钢材的制造过程。

将这样所得的直径 60mm 的圆棒用与所述实施例 1 相同的开孔条件在其直径方向进行开孔深度 50mm 孔的钻头开孔试验。

10 图 3 中整理并示出 Mn 的含量对于作为钻头寿命的开孔个数的影响。

由图 3 可知, Mn 含量越低, 钻头开孔个数越多、切削性越好。

实施例 5

15 用 150kg 的真空熔解炉熔炼以 $0.43\%C-1.0\%Si-0.05\%S-0.5\%Cr-0.01\%Al-0.05\%N-0.02\%P$ 作为基本的化学组成变化 Mn 含量的各种钢。

接着, 把这些钢的钢锭加热到 $1250^{\circ}C$ 后, 在 $1000^{\circ}C$ 以上进行精加工的热锻造, 制作直径 60mm 的圆棒。热锻造后进行空气冷却, 并模拟非调质钢材的制造流程。

20 对于这样所得到的直径 60mm 的圆棒, 与所述实施例 3 同样以 R/2 部位置为中心, 沿热锻造方向平行地镜面研磨所采取的试验片的 L 截面, 用放大倍数 400 倍的光学显微镜 60 视场观察, 研究夹杂物。

图 4 中整理并示出 Mn 含量对 fn4, 即夹杂物的微细化的影响。

由图 4 可知; Mn 含量越低, fn4 的值越变大。

实施例 6

25 用 50kg 的真空熔解炉熔炼以 $0.43\%C-0.6\%Mn-0.04\%S-0.5\%Cr-0.01\%Al-0.05\%N-0.02\%P$ 作为基本的化学组成变化 Si 含量的各种钢。

30 然后, 将这些钢的钢锭加热到 $1250^{\circ}C$ 后, 在 $1000^{\circ}C$ 以上进行精加工的热锻造, 制作直径 60mm 的圆棒。在热锻造后进行空气冷却, 模拟非调质钢材的制造流程。

将这样所得到的直径 60mm 的圆棒用与所述实施例 1 同样的开孔条件沿其直径方向进行开孔深度 50mm 开孔的钻头开孔试验。并且，同与所述实施例 1 同样的条件也进行旋转切削试验。

5 在图 5 及图 6 中分别整理并示出 Si 含量对作为钻头寿命的开孔个数及旋转切削磨损量的影响。

由图 5 及图 6 可知，在以 0.43% C—0.6% Mn—0.04% S—0.5% Cr—0.01% Al—0.05% N—0.02% P 作为基本的化学组成的情况下，当 Si 含量为 0.50% 以上时钻头开孔个数超过 150，旋转切削磨损量也为 200 μ m 以下，但 Si 的含量超过 2.5%，则这些特性迅速地恶化。

10 本发明的机械结构用钢材切削性和硬度优良，因此，可利用作为机械结构部件的原材料，以这种机械结构用钢材作为原材料。经切削加工，可比较容易地制造各种机械结构部件。






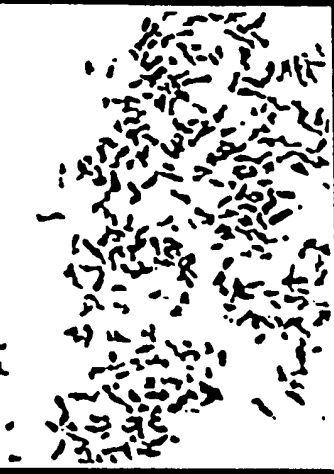
不到 1.0		1.0 以上不到 2.0		2.0 以上不到 3.0	
3.0 以上不到 4.0		4.0 以上不到 5.0		5.0 以上	

图 1

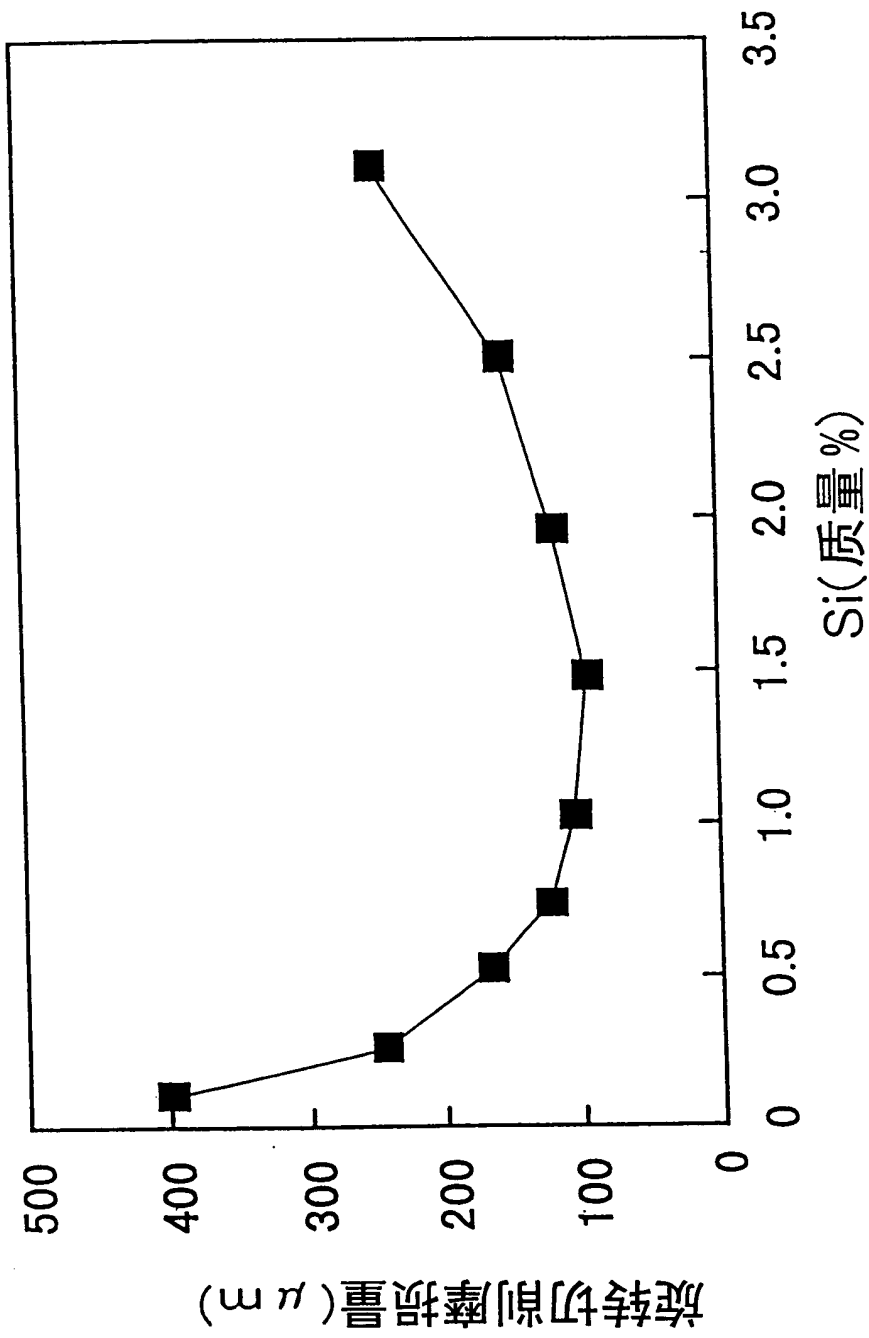


图 2

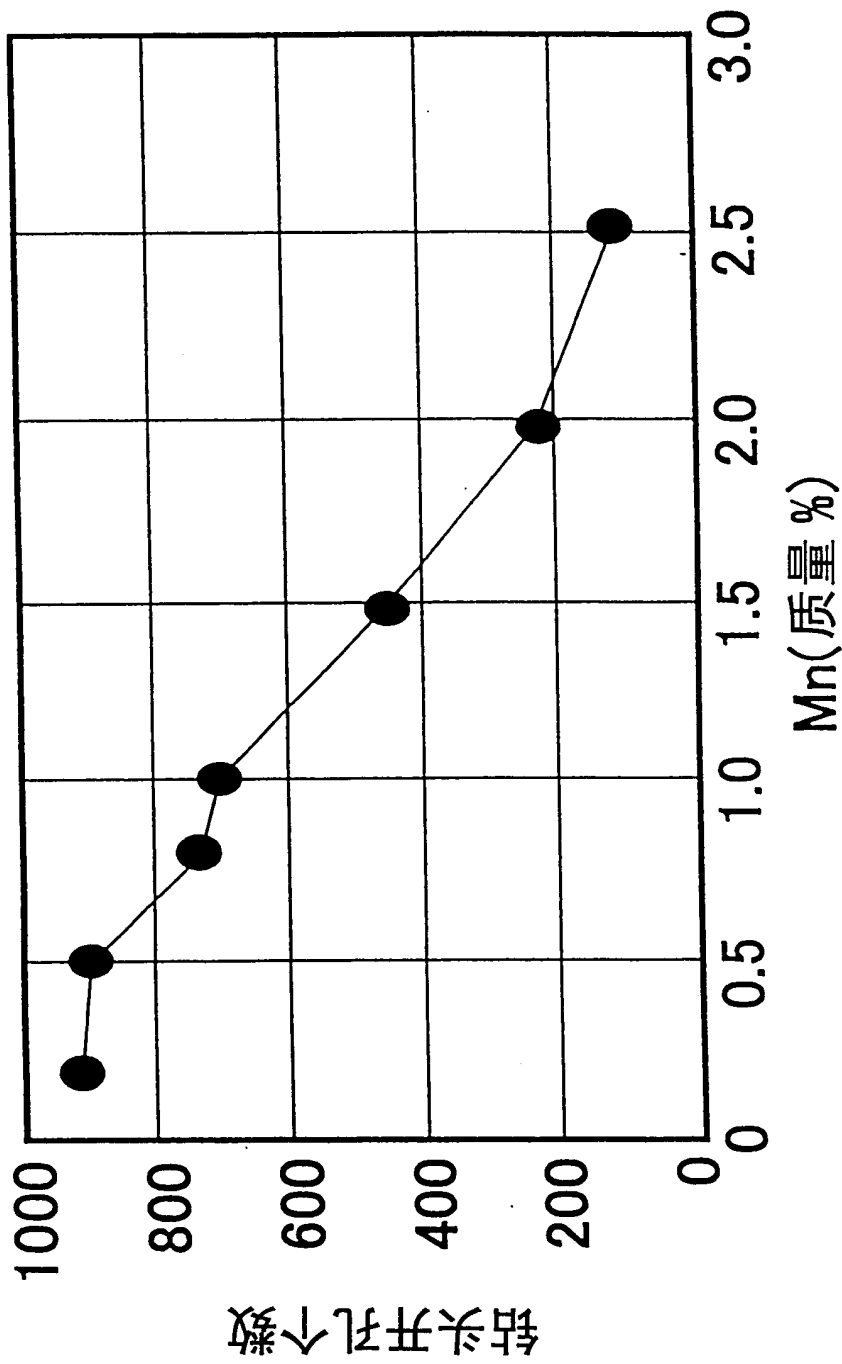


图 3

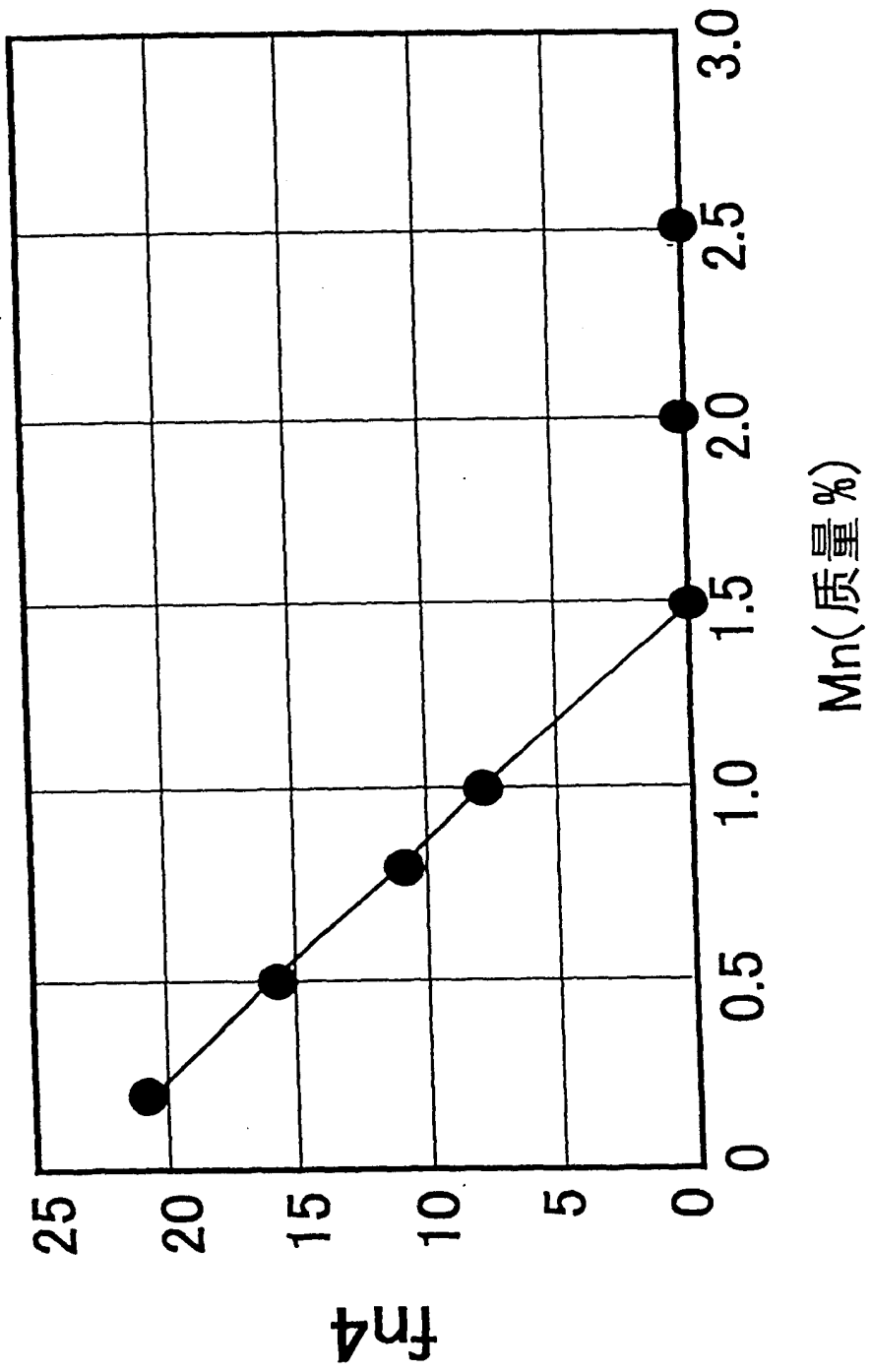


图4

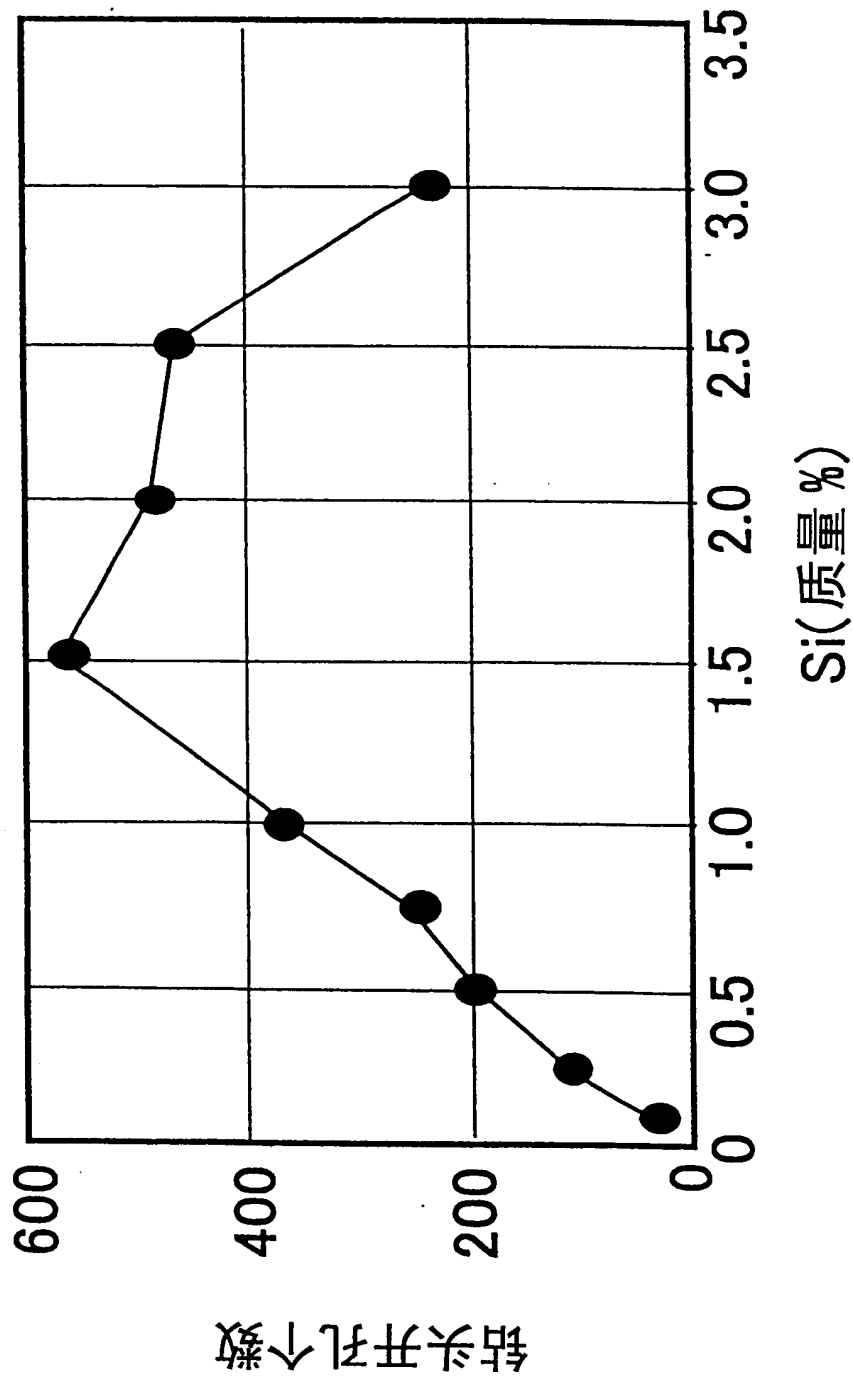


图5

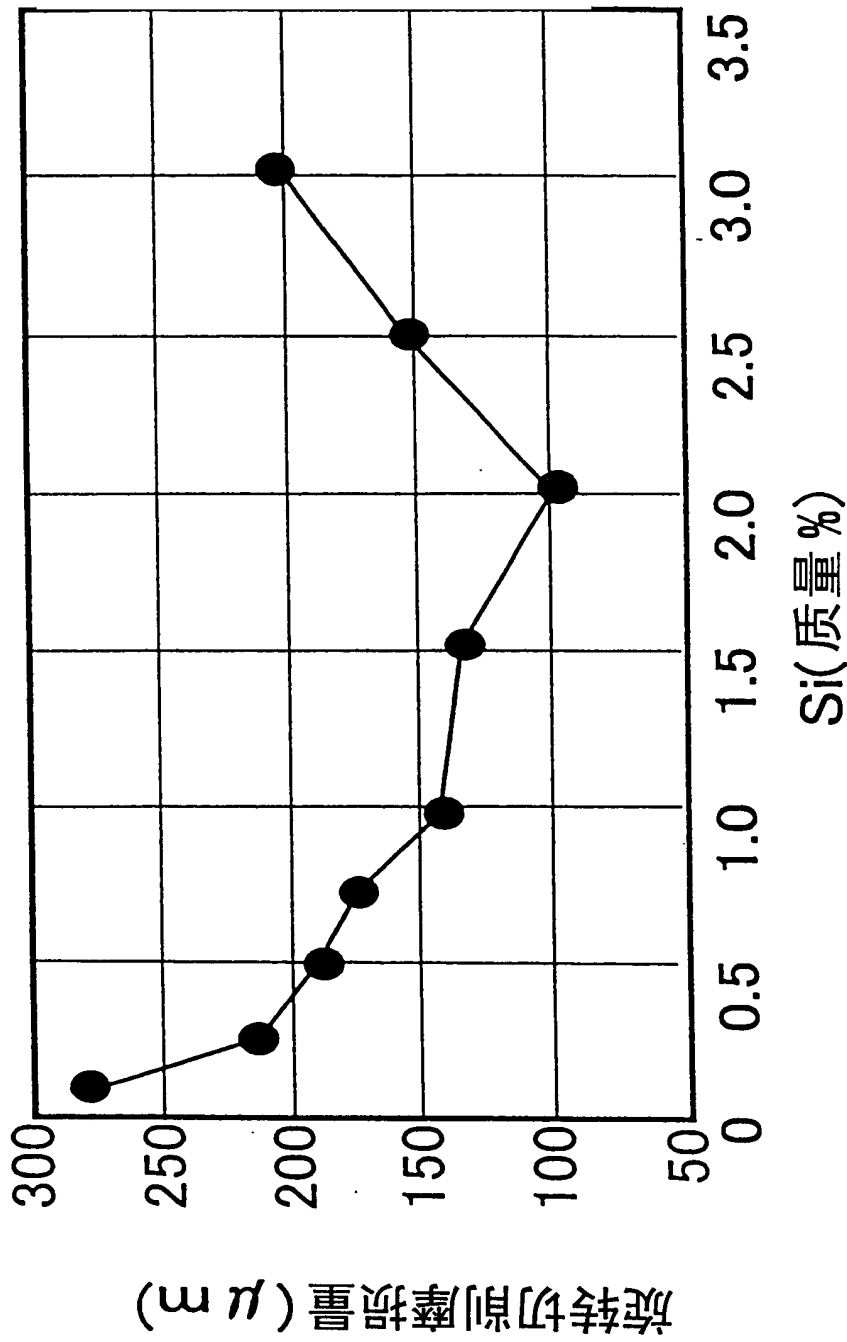


图 6