

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

C22C 38/00

[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 97191416.8

[45]授权公告日 2002 年 12 月 4 日

[11]授权公告号 CN 1095503C

[22]申请日 1997. 11. 25 [21]申请号 97191416.8

[30]优先权

[32]1996. 11. 25 [33]JP [31]313673/96

[32]1997. 1. 9 [33]JP [31]1974/97

[32]1997. 1. 30 [33]JP [31]16047/97

[32]1997. 2. 27 [33]JP [31]43062/97

[32]1997. 2. 27 [33]JP [31]43138/97

[32]1997. 3. 28 [33]JP [31]77346/97

[32]1997. 3. 28 [33]JP [31]77369/97

[86]国际申请 PCT/JP97/04297 1997. 11. 25

[87]国际公布 WO98/23784 日 1998. 6. 4

[85]进入国家阶段日期 1998. 6. 10

[73]专利权人 住友金属工业株式会社

地址 日本大阪府

[72]发明人 渡里宏二 冈田康孝

[56]参考文献

JP49 - 65918A 1974. 6. 26 C22C

审查员 沈 琰

[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 3 页 说明书 40 页

[54]发明名称 切削性优良的钢材

[57]摘要

一种切削性优良的钢材,其化学组成中按重量%含有 C:0.05 - 0.6%、S:0.002 - 0.2%、Ti:0.04 - 1.0%、N:0.008% 以下、Nd:0 - 0.1%、Se:0 - 0.5%、Te:0 - 0.05%、Ca:0 - 0.01%、Pb:0 - 0.5%、Bi:0 - 0.4%,钢中的 Ti 的碳硫化物的最大直径为 10 μ m 以下,且其纯度为 0.05% 以上。该钢材具有优良的切削性、适于作为以汽车为代表的运输机械、产业机械、建设机械等各种机械、结构部件的原料,以及用这种钢材为原料通过曲轴、连杆、齿轮等切削加工成的各种机械结构部件。

1、一种切削性优良的钢材，其特征在于化学组成中按重量%含有 C: 0.05-0.6%、S:0.002-0.2%、Ti: 0.04-1.0%、N: 0.008%以下、Nd: 0-0.1%、Se: 0-0.5%、Te: 0-0.05%、Ca:0-0.01%、Pb: 0-0.5%、Bi: 0-0.4%，钢中的 Ti 的碳硫化物的最大直径为 $10\mu\text{m}$ 以下，且其纯净度为 0.05%以上。

2、根据权利要求 1 所述的钢材、其特征在于 Ti 的碳硫化物的最直径为 $0.5-7\mu\text{m}$ ，且其量按纯净度为 0.08-2.0%。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的钢材，其特征在于组织的 90%以上为铁素体和珠光体。

4、根据权利要求 1 或 2 所述的钢材，其特征在于组织的 90%以上为贝氏体或者铁素体和贝氏体。

5、根据权利要求 1 或 2 所述的钢材，其特征在于组织的 50%以上为马氏体。

6、根据权利要求 1 所述的非调质钢材，其特征在于含有 C: 0.2-0.6%、Si:0.05-1.5%、Mn: 0.1-2.0%、P: 0.07%以下、S: 0.01-0.2%、Al: 0.002-0.05%、Cu: 0-1.0%、Ni: 0-2.0%、Cr: 0-2.0%、Mo: 0-0.5%、V: 0-0.3%、Nb: 0-0.1%，其余由 Fe 及不可避免的杂质构成的化学组成，而且其组织的 90%以上为铁素体及珠光体。

7、根据权利要求 6 所述的非调质钢材，其特征在于 Ti 的碳硫化物的最大直径为 $0.5-7\mu\text{m}$ 、且其量按纯净度为 0.08-2.0%。

8、根据权利要求 6 所述的切削性优良的非调质钢材，其特征在于至少满足，按面积比铁素体的比例为 20-70%、铁素体的粒度按 J I S 粒度标号为 5 以上、珠光体的薄层间距的平均值为 $0.2\mu\text{m}$ 以下中的一个条件。

9、根据权利要求 7 所述的非调质钢材，其特征在于至少满足，按面积比铁素体的比例为 20-70%、铁素体的粒度按 J I S 粒度标号为 5

以上、珠光体的薄层间距的平均值为 $0.2\mu\text{m}$ 以下中的一个条件。

10、根据权利要求6—9任一所述的非调质钢材，其特征在于至少满足用以下述式(1)所表示的 $fn1$ 的值比0%大，用下述式(2)所表示的 $fn2$ 的值为2以上中的一个：

$$fn1 = Ti(\%) - 1.2S(\%) \quad (1) ;$$

$$fn2 = Ti(\%) / S(\%) \quad (2) 。$$

11、根据权利要求1所述的非调质钢材，其特征在于含有 C: 0.05-0.3%、Si: 0.05-1.5%、Al: 0.002-0.05%、Cu: 0-1.0%、Mo: 0-0.5%、V: 0-0.30%、Nb: 0-0.1%、B: 0-0.02%，用下述(3)式所表示的 $fn3$ 的值满足 2.5-4.5%，其余由铁及不可避免的杂质构成的化学组成，而且，其组织的90%以上为贝氏体，或者为铁素体及贝氏体：

$$fn3 = 0.5Si(\%) + Mn(\%) + 1.13Cr(\%) + 1.98Ni(\%) \quad (3)$$

12、根据权利要求11所述的非调质钢材，其特征在于 Ti 的碳硫化物的最大直径为 $0.5-7\mu\text{m}$ ，且其量按纯净度为 0.08-2.0%。

13、根据权利要求11或12所述的非调质钢材，其特征在于至少满足用以下述式(1)所表示的 $fn1$ 的值比0%大，用下述式(2)所表示的 $fn2$ 的值为2以上中的一个：

$$fn1 = Ti(\%) - 1.2S(\%) \quad (1) ;$$

$$fn2 = Ti(\%) / S(\%) \quad (2) 。$$

14、根据权利要求1所述的调质钢材，其特征在于含有 C: 0.1-0.6%、Si: 0.05-1.5%、Mn: 0.4-2.0%、Al: 0.002-0.05%、Cu: 0-1.0%、Ni: 0-2.0%、Cr: 0-2.0%、Mo: 0-0.5%、V: 0-0.3%、Nb: 0-0.1%、B: 0-0.02%，其余由 Fe 及不可避免的杂质构成的化学组成，而且，其组织的50%以上为马氏体。

15、根据权利要求14所述的调质钢材，其特征在于 Ti 的碳硫化物的最大直径为 $0.5-7\mu\text{m}$ ，且其量按纯净度为 0.08-2.0%。

16、根据权利要求14或15所述的调质钢材，其特征在于至少满足用以下述式(1)所表示的 $fn1$ 的值比0%大，用下述式(2)所

表示的 fn2 的值为 2 以上中的一个:

$$\text{fn1}=\text{Ti}(\%) - 1.2\text{S}(\%) \quad (1);$$

$$\text{fn2}=\text{Ti}(\%) / \text{S}(\%) \quad (2)。$$

切削性优良的钢材

本发明涉及一种切削性优良的钢材及用该材料经切削加工成的部件。详细地说，是涉及一种具有良好的切削性能，且适于作以汽车为代表的运输机械、产业机械、建设机械等结构部件的原料的钢材，及用该钢材作为原料，通过曲轴、连杆、齿轮等切削加工成的各种机械结构部件。

众所周知，以前运输机械、产业机械、建设机械等各种机械结构部件是通过下列方式制成的，即：(a) 用热加工粗加工成所给定的形状，接着，通过切削加工精加工成希望的形状后，进行淬火和回火等调质处理；或者 (b) 进行热加工及淬火和回火处理后，经过切削加工，加工成所希望的形状。

但是，随着机械结构部件高强度化，切削加工的成本也增加，对切削性优良的易切削钢的要求日益强烈。

人们知道，若在钢中单独或者复合添加 Pb、Te、Bi、Ca 或 S 等易切元素（改善切削性元素）能提高切削性。为此，过去已有人公知采用向以机械结构用钢为代表的钢中添加上述的易切元素，改善切削性的方法。但是，在向机械结构用钢等中仅单独添加易切元素时，往往是不能确保所希望的机械特性（例如，韧性及疲劳强度）。

在这样的情况下，在上述 (a) 的热加工后，经切削加工，再进行淬火和回火处理的技术，例如，于特开平 2-111842 号公报和特开平 6-279849 号公报中曾给予报导。也就是说，这种方法是使钢中的 C 以石墨形成存在，通过利用该石墨的缺口及润滑效果使切削性提高的“切削性、淬硬性优良的热轧制钢材”及“切削性优良的机械结构用钢的制造方法”。

但是，在特开平 2-111842 号公报中所报导的钢材，为了添加 B 而使氮化 B (NB) 作为石墨的析出晶核，以促进石墨化，必须添加 B，存在着在凝固时易生成裂痕的问题。另一方面，在特开平 6-279849 号公报中

所报导的方法,用添加 Al 的同时,限制钢中 O (氧) 量低,在直接热轧制的状态促进石墨化。为此,在热轧后必需进行 5 小时以上的石墨化退火处理,也不能说一定是经济的。

另外,在进行上述 (b) 的热加工及淬火回火处理后,切削加工的技术,例如特开平 6-212347 号公报所报导的。该技术是将具有特定化学组成的钢热锻造后直接淬火,其后进行回火处理,析出 TiC 的“具的高疲劳强度的热锻制品及其制造方法”。但是在该公报中所述的热锻制品,按作为钢的化学组成的 N 量与 Ti 量的比率 N / Ti 只规定为 0.1 以下,因此,有时也不能确保具有良好的切削性。也就是说,按重量%,将含有 0.01-0.20% Ti 的钢的 N 含有量以 N / Ti 表示只规定 0.1 以下时,则大量地形成硬质的 TiN,存在产生切削性变坏的情况,而且,也存在产生韧性变坏的情况。

在《铁与钢》(Vol.57 S484(1971 年))中曾报导在脱氧调整易切钢中若添加 Ti,能提高切削性。但是,在大量添加 Ti,从而大量生成 TiN 的同时,使工具磨损增大,从切削性角度看出不能被认为是理想的。例如,用含有 C:0.45%、Si:0.29%、Mn:0.78%、P:0.017%、S:0.041%、Al:0.006%、N:0.0087%、Ti:0.228%、O:0.004%及 Ca:0.001%的钢,反到降低钻头寿命,切削性不好。这样,在钢中仅单独添加 Ti 不能提高切削性。

本发明的目的是提供一种具有良好切削性,适于作为以汽车为代表的运输机械、产业机械、建设机械等各种机械的结构部件的钢材、及以其钢材为原料进行曲轴、连杆、齿轮等切削加工而成的各种机械结构部件。

本发明的技术主要如下述:

(I) 是按重量%含有 C: 0.05-0.6%、S:0.002-0.2%、Ti: 0.04-1.0%、N: 0.008%以下、Nd: 0-0.1%、Se: 0-0.5%、Te: 0-0.05%、Ca: 0.01%、Pb: 0-0.5%、Bi: 0-0.04%的化学组成,钢中 Ti 的碳硫化物的最大直径为 $10\ \mu\text{m}$ 以下,且其量按纯净度为 0.05%以上的切削性优良的钢材。

(II) 是含有 C: 0.2-0.6%、Si:0.05-1.5%、Mn: 0.1-2.0%、P: 0.07%以下、S: 0.01-0.2%、Al: 0.002-0.05%、Cu: 0-1.0%、

Ni: 0-2.0%、Cr: 0-2.0%、Mo: 0-0.5%、V: 0-0.3%、Nb: 0-0.1%, 其余由 Fe 及不可避免的杂质构成的化学组成, 而且其组织的 90% 以上为铁素体及珠光体的上述 (I) 所述的非调质钢材。

(III) 是含有 C: 0.05-0.3%、Si: 0.05-1.5%、Al: 0.002-0.05%、Cu: 0-1.0%、Mo: 0-0.5%、V: 0-0.30%、Nb: 0-0.1%、B: 0-0.02%, 满足用下述式所表示的 fn3 的值为 2.5-4.5%, 其余由 Fe 及不可避免的杂质构成的化学组成, 而且, 其组织的 90% 以上为贝氏体, 或者为铁素体及贝氏体的上述 (I) 中所述的非调质钢材:

$$fn3=0.5Si(\%)+Mn(\%)+1.13Cr(\%)+1.98Ni(\%)$$

(IV) 是含有 C: 0.1-0.6%、Si: 0.05-1.5%、Mn: 0.4-2.0%、Al: 0.002-0.05%、Cu: 0-1.0%、Ni: 0-2.0%、Cr: 0-2.0%、Mo: 0-0.5%、V: 0-0.3%、Nb: 0-0.1%、B: 0-0.02%, 其余由 Fe 及不可避免的杂质构成的化学组成, 而且, 其组织的 50% 以上为马氏体的上述 (I) 中所述的非调质钢材。

(V) 是把上述 (I) 中所述的钢材作材料, 经切削加工而成的部件。

(VI) 是把上述 (II) 中所述的非调质钢材作材料, 经切削加工而成的部件。

(VII) 是把上述 (III) 中所述的非调质钢材作材料, 经切削加工而成的部件。

(VIII) 是把上述 (IV) 中所述的调质钢材作材料, 经切削加工而成的部件。

另外, 在本发明中所说的“Ti 的碳硫化物”中也含有单纯构成的 Ti 的硫化物。

在本说明书中所说的“(Ti 的碳硫化物的) 最大直径”是指在“各各 Ti 的碳硫化物中的最长直径”。

Ti 的碳硫化物的纯净度(以下也称纯度), 是使光学显微镜的放大倍数成为 400 倍, 通过 JIS0555 所规定的“钢的非金属夹杂物的显微镜观测方法”60 视场测定的值。

还有, 在本说明书中所谓的“非调质钢材”, 是指省略作为所谓“调质处理”的“淬火及回火”的钢材, 也含有“在直接的热加工后冷却的状

态能使用的钢材”以及“在热加工的冷却后，进行相当回火的时效处理的钢材”。“调质钢材”也称进行淬火和回火的钢材。

组织的比例为显微镜观察时的组织比例，即称为面积比。

关于上述（II），称“铁素体及珠光体为90%以上”，是指在铁素体与珠光体混合的组织中铁素体与珠光体所占的比例之和为90%以上。

关于上述（III），称“贝氏体为90%以上”，是指在组织中不含铁素体时，贝氏体占组织的90%以上的情况；称“铁素体及贝氏体为90%”，是指在贝氏体及铁素体混合时的组织中铁素体和贝氏体所占的比例之和为90%以上。

关于上述（IV），称“马氏体为50%以上”，是指马氏体占组织的50%以上的情况。还有，所述（IV）是关于进行淬火及回火的“调质钢材”，因此上述的马氏体，是指经回火的马氏体，即“回火马氏体”，以下简称“马氏体”。

本发明者们为了研究钢材的化学组成和组织对切削性和机械性能的影响，反复地进行了实验。

其结果，首先发现，（a）在钢中添加适量的Ti、（b）作为控制钢中的夹杂物使硫化物变成Ti的碳硫化物，（c）若使上述Ti的碳硫化物微细地分散，钢材的切削性飞速提高。

而且，进一步地继续研究其结果还发现了下述（d）—（p）的现象。

（d）在含有适量S的钢中，主动地添加Ti，钢中就能形成Ti的碳硫化物。

（e）在钢中生成上述的Ti的碳硫化物，MnS的生成量就减少。

（f）在钢中的S含有量相同时，Ti的碳硫化物具有比MnS更大的改善切削性的效果。这可能是由于Ti的碳硫化物的熔点比MnS的熔点更低，并基于切削加工时工具表面的润滑作用变大。

（g）为了能充分发挥Ti的碳硫化物改善切削性的效果，限制N含量为0.008%以下，对抑制TiN的析出是重要的。

（h）限制N含量与钢中的TiN的减少有关，因此，能提高机械性能中的韧性。

（i）为了利用Ti的碳硫化物提高切削性，适当选择Ti的碳硫化物

的大小及用其纯度所表示的量（以下简称纯度）是重要的。

（j）在制钢时所生成的 Ti 的碳硫化物，在用于通常热加工的加热温度及在调质处理中的用于通常淬火的加热温度下，在母体上不固熔。因此，Ti 的碳硫化物在奥氏体范围中发挥所谓的“阻塞”效果，能有效地防止奥氏体晶粒的粗大化。当然，Ti 的碳硫化物，在调质处理中为了通常的回火的加热温度及为了相当于回火的时效处理的加热温度下，在母体上也不固熔。

（k）对于组织的 90 % 以上为铁素体及珠光体的钢材，由相变形的弯曲及产生残余应力是十分小的。

（l）组织为 90 % 以上为贝氏体或者铁素体及贝氏体的钢材的强度和韧性的均衡是良好的。

（m）组织的 50 % 以上为马氏体的钢材的强度和韧性的均衡是非常良好的。

（n）在具有特定的化学成分，组织的 90 % 以上为铁素体和珠光体的非调质钢材中，铁素体的比例按面积比为 20 — 70 %，铁素体的粒度按 J I S 粒度标号为 5 以上，珠光体的薄层间距的平均值为 $0.2 \mu\text{m}$ 以下，若至少能满足这些条件中的一个条件，就能得到良好的强度和韧性的均衡。

（o）在用下述式（1）所表示的 $fn1$ 的值比 0 % 大和 / 或在用下述式（2）所表示的 $fn2$ 的值比 2 大时，Ti 的碳硫化物提高切削性的效果变大。而且，在用式（2）所表示的 $fn2$ 的值比 2 大时，Ti 的碳硫化物的阻塞效果也变大，能得到大的强度和优良的韧性：

$$fn1 = Ti(\%) - 1.2S(\%) \quad (1) ;$$

$$fn2 = Ti(\%) / S(\%) \quad (2) .$$

（p）用下述式（3）所表示的 $fn3$ 的值与具有特定的化学组成的非调质钢材的组织及韧性有关，若该值在特定的范围内，组织的 90 % 以上为贝氏体，或者为铁素体及贝氏体：

$$fn3 = 0.5Si(\%) + Mn(\%) + 1.13Cr(\%) + 1.98Ni(\%) \quad (3) .$$

本发明是基于上述发现而完成的。以下，详细地说明本发明的各主要构成。其中，各元素的含有量“%”是用“重量%”表示。

(A) 钢材的化学组成

C:

C与S同时与Ti结合，形成Ti的碳硫化物，具有提高切削性的作用。而且，碳对于确保强度方面也是有效的元素。但，碳含量为0.05%以下，不能得到其效果。另一方面，碳含量超过0.6%，韧性就会降低。因此，C的含有量定为0.05—0.6%。

另外，组织的90%以上是铁素体及珠光体的非调质钢材（以下简称“条件X的钢材”）的C含量为0.2-0.6%是理想的，更加理想的为0.25-0.5%。

组织的90%以上为贝氏体，或铁素体及贝氏铁的非调质钢材（以下简称“条件Y的钢材”）的C含量为0.05-0.3%是理想的，更加理想的为0.1-0.24%。

组织的50%以上为马氏体的调质钢材（以下简称“条件Z的钢材”）的C含量为0.1-0.6%是理想的

S:

S与C同时与Ti结合，形成Ti的碳硫化物，有提高切削性的作用。但，其含量为0.002%以下不能得到其效果。

以往，在易切钢中添加硫的目的是使形成MnS，能改善切削性。但是，根据本发明者们的检验，判明上述的MnS提高切削性作用是基于提高切削时的切削与工具表面的润滑性功能。然而，MnS变大，钢材主体的发纹变大，存在造成缺欠的情况。

本发明中S改善切削性的作用，起初是通过复合添加适量的C和Ti，形成Ti的碳硫化物而得到的。为此，要像上述那样，必需有0.002%以上的S含量。另一方面，S含量超过0.2%，对提高切削性的效果没有变化，但是钢中再次生成粗大的MnS，从而产生发纹等问题。而且，在热条件的可加工性显著地变坏，在热条件的塑性加工变难、韧性也降低。因此，S的含量定为0.002—0.2%。

此外，“条件X的钢材”的S含量为0.01-0.2%是理想的，更加理

想的为 0.02-0.17 %。

“条件Y的钢材”的S含量为 0.005-0.17 %是理想的。

Ti :

Ti 在本发明中, 是作为控制夹杂物的重要的合金元素。其含量为 0.04 %以下时, 由于不能使S充分地转化为Ti的碳硫化物, 不能提高切削性。另一方面, Ti含量即使超过 1.0 %, 改善切削性的效果达到饱和, 只上成本增大而已, 且韧性及热加工性显著变坏。因此, Ti含量定为 0.04-1.0 %。

还有, “条件X的钢材”的Ti含量为 0.08-0.8 %是理想的。

“条件Y的钢材”的Ti含量为 0.06-0.8 %是理想的。

“条件Z的钢材”的Ti含量为 0.06-0.8 %是理想的。

N含量为 0.008 %以下。

在本发明中, 控制N含量低是非常重要的。也就是说, 由于N与Ti的亲合力大而容易与Ti结合, 形成TiN, 使Ti被固定了, 因此, 在大量含N时, 不能充分地发挥前述的Ti的碳硫化物提高切削性的效果。而且, 粗大的TiN使韧性和切削性降低。因此, N含量定为 0.008 %以下。而且, 为了提高Ti的碳硫化物的效果, N含量的上限为 0.006 %是理想的。

Nd :

也可以不添加Nd。添加Nd, 作为Nd₂S₃具有断屑作用, 有提高切削性的效果。而且, Nd₂S₃在溶钢的比较高的温度范围, 微细地分散生成, 在后工序的为了热加工及淬火的加热时, 能抑制奥氏体晶粒的生长, 使组织微细化, 也有使钢高强度化及高韧性化的效果。为确实地得到所述的效果, Nd的含量为 0.005 %以上是理想的。但是, 其含量超过 0.1 %, Nd₂S₃本身变粗大, 反倒引起韧性降低。因此, Nd含量为 0-0.1 %。而且, Nd含量理想的上限值为 0.08 %。

Se :

也可以不添加Se。添加Se, 有更加提高钢的切削性的效果。为确实地得到该效果, Se有 0.1 %以上的含量理想的。但其含量超过 0.5 %, 只是使前述的效果达到饱和, 反倒生成粗大的夹杂物, 引起疲劳强度和/或韧性的降低。因此, Se含量定为 0-0.5 %。

Te :

也可以不添加 Te 。添加 Te , 有进一步提高钢的切削性的效果。为确实地得到该效果, Te 含量在 0.005 % 以上是理想的。但是, 其含量超过 0.05 % , 前述的效果已达到饱和, 反倒生成粗大的夹杂物, 引起疲劳强度和 / 或韧性的降低。而且, 大量添加 Te , 招致热加工性变坏, 特别是, Te 含量超过 0.05 % , 热加工的钢材表面就产生裂痕。因此, Te 含量定为 0-0.05 % 。

Ca :

也可以不添加 Ca 。添加 Ca , 有很大地提高钢的切削性的作用。为确实地得到该效果, Ca 含量为 0.001 % 是理想的。但是, 其含量超过 0.01 % , 前述的效果达到饱和, 反倒生成粗大夹杂物, 引起疲劳强度和 / 或韧性的降低。因此, Ca 的含量为 0-0.01 % 。

Pb :

也可以不添加 Pb 。添加 Pb , 有更加提高钢的切削性的作用。为确实地得到该效果, Pb 有 0.05 % 以上的含有量是理想的。但是, 其含量超过 0.5 % , 前述的效果达到饱和, 反倒生成粗大夹杂物, 引起疲劳强度和 / 或韧性的降低。因此, Pb 的过量添加, 招致热加工性变坏, 特别是, Pb 含量超过 0.5 % , 在热加工的钢材表面就产生裂痕。因此, Pb 含量定为 0-0.5 % 。

Bi :

也可以不添加 Bi 。添加 Bi , 有很大地提高钢的切削性的效果。为确实地得到该效果, Bi 含量为 0.05 % 以上的含量是理想的。但, 其含量超过 0.4 % , 前述的效果达到饱和, 反倒生成粗大夹杂物, 引起疲劳强度和 / 或韧性的降低。而且, 由于热加工性恶化, 在热加工的钢表面产生裂痕。因此, Bi 含量定为 0-0.4 % 。

在有关切削性的范围内, 本发明的“切削性优良的钢材”对于已经叙述过的 C、S、Ti、N、Nd、Se、Te、Ca、Pb 及 Bi 以外的元素, 没有特别给予限定的必要。但是, 对钢材来说, 除切削性外, 还有很多其它特性的要求, 例如, 由相变形的弯曲及发生残留应力要求, 强度与韧性的均衡要好等。在这种情况下, 只要与钢材组织有关系, 也可以决定除已

经叙述过的 C、S、Ti、N、Nd、Se、Te、Ca、Pb 及 Bi 以外的元素的化学组成。

以下关于 C、S、Ti、N、Nd、Se、Te、Ca、Pb 及 Bi 以外的元素的化学组成，分前述的“条件 X 的钢材”、“条件 Y 的钢材”及“条件 Z 的钢材”的情况进行说明。

(A-1) 组织的 90% 以上为铁素体及珠光体的非调质钢材 (“条件 X 的钢材”) 的情况。

Si :

Si 具有强化钢脱氧及铁素体化的作用。而且，随着 Si 含量的增加，提高切削的切削屑表面润滑的作用，延长工具寿命，因此也具有改善切削性的作用。但是，其含量为 0.05 % 以下，缺乏添加效果。另一方面，超过 1.5 %，前述的效果已达到饱和，但韧性变坏。因此，Si 含量为 0.05-1.5 % 是好的。而且，Si 含量为 0.3-1.3 % 是理想的，更加理想的为 0.5-1.3 %。

Mn :

Mn 通过强化固溶具有提高疲劳强度的效果。但是，其含量为 0.1 % 以下时，难于得到其效果。另一方面，Mn 含量超过 2.0 %，在“条件 X 的钢材”的情况，能使耐久比 (疲劳强度 / 抗拉强度) 及屈服比 (屈服强度 / 抗拉强度) 降低。因此，Mn 的含量为 0.1-2.0 % 是好的。而理想的 Mn 含量为 0.4-2.0 %，更理想的为 0.5-1.7 %。

P :

也可以打算添加 P。在“条件 X 的钢材”中，添加 P 具有提高抗拉强度及疲劳强度的作用。为确实地得到该效果，P 含量为 0.01 % 以上是理想的。然而，P 含量超过 0.07 %，使韧性显著地变坏。而且降低热加工性。因此，P 的含量应为 0.07 % 以下。在主动添加 P 时的含量为 0.015-0.05 % 是理想的。

Al :

Al 是对钢的脱氧有效的元素。然而，其含量为 0.002 % 以下时，难得到所期望的效果，而超过 0.05 %，其效果达到饱和。同时反倒使切削性降低。为此，Al 的含量应为 0.002-0.05 %。且 Al 的含量为 0.005-

0.03 %是理想的。

Cu :

也可以不添加 Cu 。添加 Cu , 通过强化析出, 具有提高钢的强度, 特别是疲劳强度的效果。为确实地得到该效果, Cu 的含量为 0.2 %以下是理想的。然而, 其含量超过 1.0 %时, 将引致热加工性变坏、析出物粗大化, 前述的效果也达到饱和, 反到降低。而且, 成本也增大。因此, Cu 的含量应为 0-1.0 %。

Ni :

也可以不添加 Ni 。添加 Ni , 具有提高强度的效果。为确实得到该效果, Ni 的含量为 0.02 %是理想的。然而, 其含量超过 2.0 %时该效果达到饱和, 成本增大。因此, Ni 的含量可定为 0-2.0 %。

Cr :

也可以不添加 Cr 。添加 Cr , 由于强化固溶, 有提高疲劳强度的效果。为确实得到该效果, Cr 的含量为 0.02 %以上的理想的。然而, 其含量超过 2.0 %, 在“条件X的钢材”的情况下, 耐久比及屈服比降低。因此, Cr 的含量为 0-2.0 %是好的。而且, 在添加 Cr 时, 其含量为 0.05-1.5 %是理想的。

Mo :

也可以不添加 Mo 。添加 Mo , 使铁素铁和珠光体构成的组织微细化、具有提高钢强度, 特别是疲劳强度的效果。为确实得到该效果, 以 Mo 的含量为 0.05 %以上的理想。但是, 其含量超过 0.5 %, 反倒使热加工后的组织异常地粗大化, 降低疲劳强度。因此, Mo 的含量以 0-0.5 %为好。

V :

也可以不添加 V 。添加 V , 作为微细的氮化物及碳氧化物析出, 特别是具有提高疲劳强度的效果。为确实得到该效果, V 含量在 0.05 %以上的理想。然而, 其含量超过 0.3 %, 由于析出物变粗大, 反倒使所述的效果饱和或降低。而且, 只能增大原料的成本。因此, V 的含量应为 0-0.3 %。

Nb :

也可以不添加 Nb 。添加 Nb , 作为微细的氮化物及碳氧化物析出, 防

止奥氏体的劣粒的粗大化,同时具有提高钢强度的效果,特别是疲劳强度的效果。为确实得到该效果, Nb 含量为 0.005 %以上理想的。然而,其含量超过 0.1 %,只是使所述的效果饱和生成粗大的硬质碳氮化物,损伤工具,导致切削降低。因此, Nb 含量为 0-0.1 %是好的。而且, Nb 含量的上限为 0.05 %是理想的。

fn1、fn2:

如前所述,用所述式(1)表示的 fn1 的值比 0 %大时,和 / 或用所述式(2)表示的 fn2 的值比 2 大时, Ti 的碳硫化物提高切削性的效果大。而且。在用式(2)所表示的 fn2 的值比 2 大时, Ti 的碳硫化物的阻塞效果也变大,抗拉强度及疲劳强度变大。因此, fn1 的值比 0 %大, fn2 的值比 2 大是理想的。而且,上述 fn1 和 fn2 的值的上限不作特别地规定,也可为其组成方面的上限值。

可是,作为杂质元素的氧形成硬质的氧化物夹杂物,有在切削时损伤切削工具,使切削性降低的情况。特别是,氧含量超过 0.015 %,导致显著地降低切削性的情况。因此,为了维持良好的切削性,作为杂质元素的氧含量应定在 0.015 %以下。而且,氧含量为 0.01 %以下是理想的。

(A-2)组织的 90 %以上的贝氏或铁素体和贝氏体的非调质钢材(“条件Y的钢材”)的情况。

Si:

Si 具有提高钢脱氧及淬火的作用。而且,既使在“条件Y的钢材”时,由于随着 Si 含量的增加,提高切削的切削屑表面润滑的作用,延长工具寿命,能改善切削性。但是,其含量为 0.05 %以下,缺乏添加效果。另一方面,其含量超过 1.5 %,只能使所述效果达到饱和,使韧性变坏。因此, Si 含量应为 0.05-1.5 %。而且, Si 含量为 0.5-1.3 %是理想的。

Al:

Al 是具有强脱氧作用的元素。为了确保其效果, Al 含量应为 0.002 %以下时。然而, Al 含量超过 0.05 %,其效果达到饱和,只增大成本。因此, Al 的含量应为 0.002-0.05 %。而且, Al 的含量为 0.005-0.04 %是理想的。

Cu:

也可以不添加 Cu。添加 Cu，不降低韧性，提高钢的强度，而且具有提高切削性的效果。为确实地得到该效果，Cu 的含量为 0.2 % 以下是理想的。然而，其含量超过 1.0 % 时，带来使热加工性变坏、析出物粗大化，所述的效果饱和、韧性降低。而且，也只是增大成本。因此，Cu 的含量应为 0-1.0 %。

Mo：

也可以不添加 Mo。添加 Mo，能提高淬硬性，同时组织微细化、具有提高钢强度的效果。为确实得到该效果，以 Mo 的含量为 0.05 % 以上的理想。但是，其含量超过 0.5 %，反倒使热加工后的组织异常地粗大化，降低疲劳强度。因此，Mo 的含量以 0-0.5 % 为好。

V：

也可以不添加 V。添加 V，作为微细的氮化物及碳氧化物析出，能提高钢的强度，同时，提高切削时切屑的润滑性，具有提高切削的作用。为确实得到该效果，V 含量在 0.05 % 以上的理想。然而，其含量超过 0.30 %，由于析出物变粗大化，所述的效果达到饱和，降低韧性。而且，也只能增大原料的成本。因此，V 的含量应为 0-0.30 %。

Nb：

也可以不添加 Nb。添加 Nb，作为微细的氮化物及碳氧化物析出，防止奥氏体的微粒的粗大化，同时具有提高钢强度、韧性的效果，特别是疲劳强度的效果。为确实得到该效果，Nb 含量为 0.005 % 以上理想的。然而，其含量超过 0.1 %，只是使所述的效果饱和，产生粗大的硬质碳氮化物，损伤工具，招致切削降低。因此，Nb 含量应为 0-0.1 %。

B：

也可以不添加 B。添加 B，提高淬硬性、具有提高钢强度、韧性的效果。为确实得到该效果，B 含量为 0.0003 % 以上理想的。然而，其含量超过 0.02 %，所述的效果达到饱和，反倒降低韧性。因此，B 含量应为 0-0.02 %。

fn3：

如上所述，用所述式（3）表示的 fn3 的值与具有特定的化学组成的非调质钢材的组织及韧性有关，在该值为 2.5-4.5 % 时，非调质钢主要的

组织为贝氏体或铁素体及贝氏体，能得到良好的强度和韧性的均衡。

fn3 所涉及的 Si、Mn、Cr 及 Ni 具有提高钢的淬火性的效果，但是，该值为 2.5 % 以下，不能得到所期望的提高淬火性的效果，韧性降低。另一方面，fn3 的值超过 4.5 %，淬火性变得过高，反倒降低韧性。因此，用式（3）所表示的 fn3 为 2.5-4.5 % 是好的。另外，如上所述的 Si 以外各元素的含有量，若能满足所述 fn3 为 2.5-4.5 % 就可以，也没有特别地限制。然而，Mn、Cr 及 Ni 的含量分别为 0.4-3.5 %、3.0 % 以下，2.0 % 以下是理想的。

fn1、fn2：

在有“条件 Y 的钢材”时，如前所述，用所述式（1）表示的 fn1 的值比 0 % 大时和 / 或用所述式（2）表示的 fn2 的值比 2 大时，Ti 的碳硫化物提高切削性的效果大。而且，用式（2）所表示的 fn2 的值比 2 大时，Ti 的碳硫化物的阻塞效果也变大，抗拉强度及疲劳强度变大。因此，fn1 的值比 0 % 大，fn2 的值比 2 大是理想的。另外，所述 fn1 及 fn2 的值的上限没有特别地规定，也可为其组成方面的上限值。

然而，作为杂质元素的 O（氧）形成硬质的氧化物夹杂物，有在切削时，使切削工具损坏，使切削性降低的情况。特别是，有氧含量超过 0.015 %，就招致切削性显著地降低的情况。因此，在遇有“条件 Y 的钢材”时，为了维持良好的切削性，作为杂质元素的氧含量应定在 0.015 % 以下。而且，氧含量为 0.01 % 以下是理想的。

进一步，作为杂质元素 P，从确保钢的韧性观点来看，其含量为 0.05 % 以下是好的。

（A-3）组织的 50 % 以上的马氏体的调质钢材（“条件 Z 的钢材”）的情况

Si：

Si 具有提高钢脱氧及淬火的作用。而且，在有“条件 Z 的钢材”时，随 Si 含量的增加，提高切削的切削屑表面润滑的作用，延长工具寿命，能改善切削性。然而，其含量为 0.05 % 以下，缺乏添加效果。另一方面，其含量超过 1.5 %，只能使所述效果达到饱和，使韧性变坏。因此，Si 含量应为 0.05-1.5 %。

Mn:

Mn 能提高钢的淬火性, 同时由于强化固溶, 具有提高疲劳强度的效果。然而, 其含量为 0.4 % 以下, 不能得到其效果, 而超过 2.0 %, 不仅该效果达到饱和, 反倒变得过硬, 降低韧性。因此, Mn 的含量以 0.4-2.0 %。

Al:

Al 是具有强脱氧作用的元素。为了确保其效果, 其含量应在 0.002 % 以上。然而, Al 含量超过 0.05 %, 其效果饱和, 只是增加成本。因此, Al 的含量应为 0.002-0.05 %。而且, Al 的含量为 0.005-0.04 % 是理想的。

Cu:

也可以不添加 Cu。添加 Cu, 不降低韧性, 提高钢的强度, 而且具有提高切削性的效果。为确实地得到该效果, Cu 的含量为 0.2 % 以下是理想的。然而, 其含量超过 1.0 % 时, 将增加热加工性变坏、析出物粗大化, 所述的效果饱和, 反倒降低其效果。而且, 也只是使成本增加。因此, Cu 的含量应为 0-1.0 %。

Ni:

也可以不添加 Ni。添加 Ni, 具有提高钢的淬火效果。为确实得到该效果, Ni 的含量为 0.02 % 是理想的。然而, 其含量超过 2.0 % 时该效果达到饱和, 成本增大。因此, Ni 的含量可定为 0-2.0 %。

Cr:

也可以不添加 Cr。添加 Cr, 提高钢的淬火性, 同时, 由于强化固溶, 有提高疲劳强度的效果。为确实得到该效果, Cr 的含量为 0.03 % 是理想的。然而, 其含量超过 2.0 %, 不但所述的效果达到饱和, 反倒变得过硬、降低韧性。因此, Cr 的含量为 0-2.0 %。

Mo:

也可以不添加 Mo。添加 Mo, 具有提高钢的淬火效果。为确实得到该效果, 以 Mo 的含量为 0.05 % 以上的理想。然而, 其含量超过 0.5 %, 不但该效果达到饱和, 反倒变得达硬, 降低韧性, 成本也增加了。因此, Mo 的含量应为 0-0.5 %。

V:

也可以不添加 V。添加 V，作为微细的氮化物及碳氧化物析出，具有提高钢的强度，特别是疲劳强度的效果。为确实得到该效果，V 含量在 0.05 % 以上的理想。然而，其含量超过 0.3 %，由于析出物变粗大化，所述的效果达到饱和，反倒降低其效果。而且，也只能增大原料的成本。因此，V 的含量应为 0-0.3 %。

Nb:

也可以不添加 Nb。添加 Nb，作为微细的氮化物及碳氧化物析出，防止奥化体的劣粒的粗大化，同时具有提高钢强度，特别是疲劳强度的效果。为确实得到该效果，Nb 含量为 0.005 % 以上理想的。然而，其含量超过 0.1 %，只是使所述的效果饱和、生成粗大的硬质碳氮化物，损伤工具，导致降低切削性。因此，Nb 含量应为 0-0.1 %。而且，Nb 含量的上限为 0.05 % 是理想的。

B:

也可以不添加 B。添加 B，提高淬火性、具有提高钢强度、韧性的效果。为确实得到该效果，B 含量为 0.0003 % 以上理想的。然而，其含量超过 0.02 %，所述的效果达到饱和，反倒降低韧性。因此，B 含量应为 0-0.02 %。

fn1、fn2:

既使在“条件 Z 的钢材”时，如已述那样，用所述式 (1) 表示的 fn1 的值比 0 % 大时和 / 或用所述式 (2) 表示的 fn2 的值比 2 大时，Ti 的碳硫化物提高切削性的效果大。而且。用式 (2) 所表示的 fn2 的值比 2 大时，Ti 的碳硫化物的阻塞效果也变大，抗拉强度及疲劳强度变大。因此，fn1 的值比 0 % 大，fn2 的值比 2 大是理想的。另外，所述 fn1 及 fn2 的值的上限没有特别地规定，也可为其组成方面的上限值。

可是，作为杂质元素的 O (氧) 形成硬质的氧化物夹杂物，有在切削时损伤工具，使切削性降低的情况。特别是，氧含量超过 0.015 %，将导致切削性显著地降低。因此，在有“条件 Z 的钢材”时，为了维持良好的切削性，作为杂质元素的氧含量应定在 0.015 % 以下。而且，氧含量为 0.01 % 以下是理想的。

进一步，作为杂质元素 P，从确保钢的韧性观点来看，其含量为 0.05 % 以下是好的。

(B) Ti 的碳硫化物的大小和纯度

为了通过 Ti 的碳硫化物提高具有在上述 (A) 中所述的化学组成的钢材的切削性，重要的是使 Ti 的碳硫化物的大小和纯度适当。另外，在本发明所谓“Ti 的碳硫化物”中也包含单独构成的硫化 Ti。

在最大直径为 $10\ \mu\text{m}$ 以下的 Ti 的碳硫化物的量按纯度为 0.05 % 以下时，不能发挥利用 Ti 的碳硫化物提高切削性的效果。所述纯度为 0.08 % 以上是理想的。由于所述 Ti 的碳硫化物的纯度值达大，存在降低疲劳强度的情况。因此，所述 Ti 的碳硫化物的纯度的上限值为 2.0 % 左右是理想的。

在此，将 Ti 的碳硫化物的大小按最大直径限制在 $10\ \mu\text{m}$ 以下，是因为超过 $10\ \mu\text{m}$ ，疲劳强度和 / 或韧性就降低。而且，Ti 的碳硫化物的最大直径为 $7\ \mu\text{m}$ 以下是理想的。该 Ti 的碳硫化物的最大直径过小，由于提高切削性效果变小，因此，Ti 的碳硫化物的最大直径的下限值为 $0.5\ \mu\text{m}$ 左右是理想的。

Ti 的碳硫化物的形态基本上是以钢中的 Ti、S 及 N 的含量所决定。然而，由于将 Ti 的碳硫化物的大小和纯度为规定的值，对防止 Ti 氧化物过度生成是重要的。因此，存在钢只个有用上述 (A) 项所述的化学组成是不充分的情况，例如，用 Si 及 Al 充分脱氧，最后采用添加 Ti 的制钢法是理想的。

另外，Ti 的碳硫化物，由钢材中采用的试样片进行镜面研磨，其研磨面作被检测面，若用放大倍数 400 倍以上的光学显微镜进行观察，以颜色和形状容易与其他的夹杂物区别。也就是说，在所述的条件下，若用光学显微镜进行观察，Ti 的碳硫化物的“颜色”为极浅的灰色，其“形状”被认为是相当于 JIS 的 B 族夹杂物的粒状（球状）。Ti 的碳硫化物的详细判定，用设置 EOX（能量分散型 X 射线分析装置）等的分析功能的电子显微镜可以进行观察。

在此，Ti 的碳硫化物的纯度，如所述那样，以光学显微镜的放大倍数为 400 倍，通过按 JISG0555 规定的“钢的非金属夹杂物的显微镜试

验法”测定60视场的值。

(C) 钢材的组织

涉及本发明的“切削性优良的钢材”，有关切削性限于，只规定所述(A)的C、S、Ti、N、Nb、Se、Te、Ca、Pb及Bi的含量，以及所述(B)的Ti的碳硫化物的大小和纯度，即充分了。然而，在对钢材要求切削性同时，还要求其他特性时，也可以与钢材的组织一起规定。

首先，在钢材的组织为90%以上为铁素体和珠光体的情况，发生相变弯曲残留应力的问题不大。因此，若钢材组织的90%以上为铁素体及珠光体，例如，不需要作为加工工序的桥正（桥正工序），与成本降低有关。而且，在所述的钢材为非调质钢材时，能削减为调质处理的大量的能量和成本。

为使非调质钢材的组织90%以上由铁素体及珠光体的构成，将如已述的在(II)中记载的化学组成的钢片，例如加热到1050-1300℃后，进行热锻造等热加工，在900℃以上的温度下加工后以60℃/分以下的冷却速度，可进行空气冷却或放置冷却，至少到500℃为止。另外，在本说明书中所谓的“冷却速度”是指钢材表面的冷却速度。

在上述组织的非调质钢材的情况，铁素体的比例按面积比为20—70%，铁素体的粒度按JIS粒度标号为5以上，珠光体的薄层间距的平均值为0.2μm以下，若能满足以上至少一个条件，即能得到良好的强度和韧性的均衡。

其次，在钢材的组织90%以为贝氏体或者铁素体和贝氏体时，强度和韧性的均衡良好。因此，在要求良好的强度和韧性的均衡时，若组织的90%以上为贝氏体或铁素体和贝氏体即可。而且，在上述的钢材为非调质钢材时，能削减为进行调质处理的大量能量和成本。

为了使非调质钢材的90%以上由贝氏体或铁素体和贝氏体构成，将如上所述的(III)中记载的化学组成的钢片，例如加热到1050-1300℃后，进行热锻造等热加工，在900℃以上的温度下加工后以60℃/分以下的冷却速度，可进行空气冷却或放置冷却，至少到300℃为止。

在非调质钢材时，热加工时的成形比越大，组织微细化，强度及韧性的均衡越好。为此，在实际所述热加工中成形比为1.5以上是理想的。这

里“成形比”是指以 A_0 为加工前的截面积。A 为加工后的截面积时的 (A_0/A)。

在组织中原奥氏体微粒的晶体粒度按 J I S 粒度标号为 4 以上时,在组织的 90 % 以上由贝氏体或铁素体和贝氏体构成的非调质钢材(即,“条件 Y 的钢材”)中能确保稳定良好的强度和韧性的均衡。在此,在非调质钢材中的“原奥氏体微粒”是指进行加热和热加工相变生成贝氏体及铁素体等前的奥氏体微晶。在组织的 90 % 以上为贝氏体或铁素体和贝氏体的非调质钢材时,通过用硝酸乙醇腐蚀液进行腐蚀,用光学显微镜进行观察能容易地判定原奥氏微粒。

进行热加工和冷却后,在 200—700 °C 温度下若进行 20—150 分钟加热处理,能得到强度和韧性均衡特别优良的钢材。

最后,钢材的组织 50 % 以上为马氏体时,强度和韧性的均衡为更加良好。因此,要求有更加良好的强度和韧性的均衡时,组织的 50 % 以上应为马氏体。而且,在所述的钢材为调质钢材时,能得到非常良好的强度与韧性的均衡。

为了使调质钢材的组织 50 % 以上由马氏体构成,将在已述的(IV)中记载的化学组成的钢片,例如加热到 1050—1300 °C 后,按 1.5 以上的成形比进行热锻造等热加工,在 900 °C 以上的温度下加工后,以 60 °C / 分以下的冷却速度,可进行空气冷却或放置冷却,至少到 300 °C 为止。接着,加热到 800—950 °C 保持 20—150 分钟后,用水或油等冷却介质进行淬火,进一步加热 400—700 °C 保持 20—150 分钟后,以 2 °C / 分以上的冷却速度进行空气冷却、放置冷却,根据情况也可以进行水冷、油冷。作为淬火处理,在热加工后,由奥氏体领域或者奥氏体和铁素体的二相领域直接淬火,也可用所谓“直接淬火”。

为了使非常优异的强度与韧性的均衡,比较稳定确保调质钢材,其组织的 80 % 以上为马氏体是理想的。还有,在组织中的马氏体以外的残余部分为在淬火处理由奥氏体相变的铁素体、珠光体及贝氏体经回火的组织和由奥氏体及铁素体的二相领域淬火时的铁素体经回火的组织,以及经淬火处理也没相变残存的奥氏体(所谓“残存奥氏体”)经回火的组织。实际上,组织的 100 % 也可为马氏体。

原奥氏体微粒的晶体粒度按 J I S 粒度标号为 5 以上时, 组织的 50 % 以上由马氏体构成的调质钢材 (即, “条件 Z 的钢材”) 能确保非常稳定的良好的强度和韧性的均衡。这里, 在调质钢材中的“原奥氏体微粒”为淬火前的原奥氏体微粒。在组织的 50 % 以上为马氏体的调质钢材时, 例如, 淬火钢材后, 或者淬火回火钢材后, 切出试材、用添加表面活性剂的苦味酸类的水溶液进行腐蚀, 通过用光学显微镜观察, 能容易判定该原奥氏体微粒。

下面通过实施例, 对本发明给予更具体地说明, 但本发明不限于这些实施例。

实施例 1

将表 1 — 4 所示化学组成的钢, 用 150 kg 真空熔化炉或 3 吨真空熔化炉进行熔化。用 3 吨真空熔化炉熔化的为钢 1、钢 6 及钢 36 — 40, 其他都用 150 kg 真空熔化炉熔化的钢。另外, 除钢 36 和 38 以外, 为防止 Ti 氧化物生成, 用 Si 及 Al 充分脱氧, 在添加了各种元素, 最后添加 Ti, 如此调整 Ti 的碳硫化物的大小和纯度。对于钢 36 和钢 38, 用 Si 及 Al 脱氧的同时, 添加 Ti。

在表 1 — 3 中的钢 1 — 36 化学组成为本发明规定范围内的本发明实施例的钢。另一方面, 在表 4 中的钢 37 — 46 各元素的任何一个为在本发明的规定含量范围以外的比较例的钢。

其次, 将这些钢加热到 1250 °C 后, 在 1000 °C 进行加工的热锻造, 制成直径 60 mm 的圆棒。另外, 以冷却速度为 5 — 35 °C / 分的热锻造后的冷却条件进行空气冷却或放置冷却到 300 °C, 调整圆棒的组织使抗拉强度大约为 845 — 870 MPa。而对于钢 6、钢 7、钢 9、钢 11、钢 29 — 36、钢 40、钢 45 及钢 46, 进行热锻造后的冷却后, 加热到 770 — 900 °C 1 小时后, 进行水淬火, 在 550 — 560 °C 进行回火处理 (回火后的冷却为空气冷却), 进行调整组织和强度水平。

从这样所得的圆棒表面的 15 mm 的位置 (R / 2 部分位置, R 为圆棒的半径), 采集 J I S 14 A 号抗拉试验片, 小野式旋转弯曲试验片 (平行部分的直径为 8 mm, 其长度为 18.4mm) 及 J I S 3 号冲击试验片 (2 mm U 切口摆锤式试验片), 研究了在室温的抗拉强度、疲劳强度 (疲

劳限度)及韧性(冲击值)。

以圆棒表面的R/2部分位置为中心,依JISG0555的图3采集试验片,用放大倍数为400倍的光学显微镜60视场观察经镜面研磨的宽度为1.5mm,高度为2.0mm的检测面,边将Ti的碳硫化物与其他夹杂物区分开,边测定其纯度。Ti的碳硫化物的最大直径也用放大倍数为400倍的光学显微镜60视场观察进行测定。此后,进一步用硝酸乙醇腐蚀液腐蚀经镜面研磨的检测面,用放大倍数为100倍的光学显微镜进行观察,进行R/2部分位置的组织观察,考察各组织的比例(面积比)。

通过钻头钻孔试验进行了切削性的评价。也就是说,用直径6.0mm的圆棒切成5.5mm长的圆切片,在长度方向开深度5.0mm的孔,由于刃端磨损,不能钻孔时的孔数作为切削性评价指数,考察切削性。钻孔条件使用JIS高速工具钢SKH59 ϕ 6mm的直杆钻头,用水溶性润滑剂以送给0.20mm/rev,转数980rpm条件进行。

在表5-8中示出所述的各种试验结果。另外,在5-8中也一并记载关于钢6、钢7、钢9、钢11、钢29-36、钢40、钢45及钢46的淬火及回火的条件。

由表5-8可看出,含有在本发明所规定的范围内的C、S、Ti及N,而且,钢中的Ti的碳硫化物的最大值为10 μ m以下,其纯度为0.05%以上的试验序号1-35时,切削性评价指数超过200。与此相对,在试验序号36时,作供试验钢的钢36的C、S、Ti及N的含量在本发明规定的范围内,由于Ti的碳硫化物的纯度下降到0.05%以下,切削性评价指数低为51。在试验序号37、39及40时,由于作供试验钢的37、钢39及钢40的C、S、Ti及N的含量中任何一个都在本发明规定的范围以外,所以切削性评价指数低,分别为58、40、45。在试验序号为38时,作供试验钢的钢38的S含量在本发明规定的范围之外,而且,由于Ti的碳硫化物的纯度也低于0.05%,切削性评价指数低为31。

由此,在抗拉强度水平几乎相等评价切削性时,本发明所涉及的钢材的切削性优良是十分明显的。

另一方面,在Nd、Se、Te、Ca、Pb、Bi的含量分别偏离本发明

的规定的范围的钢 4 1 — 4 6 作为供试验的序号 4 1 — 4 6 时,其切削性良好,但与上述元素的各含有量在本发明规定的范围的钢 2 — 7 作为供试验钢的试验序号 2 — 7 时比较,其疲劳强度和 / 或韧性变坏也是明显的。

另外,以表 5 — 8,也可明显地看出,在本发明的情况, Ti 的碳硫化物的最大直径为 $0.5 - 7 \mu m$,纯度为 $0.08 - 0.2 \%$,切削性和疲劳强度的均衡优良;而且,组织的 90% 以上为贝氏体,或铁素体和贝氏体时,强度和韧性的均衡变为良好,在组织的 50% 以上为马氏体时,强度和韧性的均衡非常好。

实施例 2

将表 9 示出的化学组成的钢 4 7 — 5 4,是用 $150 kg$ 真空熔化炉或 3 吨真空熔化炉熔化的。用 3 吨真空熔化炉熔化的是钢 4 7 — 4 9,其他都用 $150 kg$ 真空熔化炉进行熔化的。另外,为了防止 Ti 氧化物生成,用 Si 及 Al 充分脱氧,在添加了各种元素,最后,添加 Ti,调整 Ti 的碳硫化物的大小和纯度。在表 9 中的钢 4 7 — 5 4 任何一化学组成都是在本发明规定的范围内的本发明实施例的钢。

其次,将这些钢加热到 $1250^\circ C$ 后,在 $1000^\circ C$ 进行加工的热锻造,制成直径 $60 mm$ 的圆棒。另外,以冷却速度为 $5 - 35^\circ C / 分$ 的热锻造后的冷却条件进行空气冷却或放置冷却到 $400^\circ C$,组织主要由铁素体、珠光体构成,调整抗拉强度。

由这样所得到的圆棒与实施例 1 的情况相同,采集各种试验片进行考查。也就是说,从圆棒的表面 $R / 2$ 部分位置,采集 J I S 1 4 A 号抗拉试验片,小野式旋转弯曲试验片(平行部分的直径为 $8 mm$,其长度为 $18.4mm$)及 J I S 3 号冲击试验片($2 mm$ U 切口摆锤式试验片),考察了在室温的抗拉强度、疲劳强度(疲劳限度)及韧性(冲击值)。

将从圆棒表面的 $R / 2$ 部分位置为中心,依 JISG0555 的图 3 采集试验片,用放大倍数为 400 倍的光学显微镜 60 视场观察经镜面研磨的宽度为 $15 mm$,高度为 $20 mm$ 的检测面,一边将 Ti 的碳硫化物与其他夹杂物区分开,一边测定其纯度。用放大倍为 400 倍的光学显微镜 60 视场观察也测定 Ti 的碳硫化物的最大直径。此后,进一步用硝酸乙醇腐蚀

液腐蚀经镜面研磨的检测面,用放大倍数为100倍的光学显微镜进行R/2部分位置的组织观察,考察各组织的比例(面积比)。将试验序号51—53的钢51—53作为供试验钢,进行JIS的铁素体粒度标号的测定,同时摄制电子扫描显微镜照片,示出珠光体的薄层间距的平均值。

还进行了通过钻头钻孔试验的切削性的评价。其试验条件及评价方法已在实施例1中说明。

在表10,示出了上述的各种试验的结果。

由表10可明显地看出,在组织的90%以上由铁素体和珠光体构成的非调质钢材时,铁素体的比例按面积比为20—70%,铁素体的粒度按JIS粒度标号为5以上。珠光体的薄层间距的平均值为0.2 μm 以下,若至少满足上述的一个条件,即能得到良好的强度和韧性的均衡。而且,在用所述式(1)所表示的fn1的值比0%大时和/或用所述式(2)所表示的fn2的值比2大时,切削指数也变大,在用式(2)所表示的fn2的值比2大时,疲劳强度也大。

实施例3

表11所示出的化学组成的钢55—59,是用150kg真空熔化炉或3吨真空熔化炉熔制的。用3吨真空熔化炉熔制钢55及钢56,其他都用150kg真空熔化炉熔制。另外,在实施例中,为了防止Ti氧化物生成,用Si及Al充分脱氧,添加各种元素之后,添加Ti,如此调整Ti的碳硫化物的大小和纯度。表11中的钢55—59任何一化学组成都是在本发明规定的范围内的本发明实施例的钢。

其次,将这些钢加热到1250℃后,在1000℃进行加工的热锻造,制成直径60mm的圆棒。另外,按冷却速度为5—35℃/分的热锻造后的冷却条件进行空气冷却或放置冷却到300℃,组织主要由贝氏体或珠光体和贝氏体构成,调整抗拉强度。另外,钢57及钢58进行热锻造后的冷却后,在560℃进行加热后空气冷却1小时的时效处理。

与由这样所得到的圆棒与实施例1的情况相同,采集各种试验片进行考查。也就是说,由圆棒的表面R/2部分位置,采集JIS14A号抗拉试验片,小野式旋转弯曲试验片(平行部分的直径为8mm,其长度为18.4mm)及JIS3号冲击试验片(2mmU切口摆锤式试验片),考察

了在室温的抗拉强度、疲劳强度（疲劳限度）及韧性（冲击值）。

以从圆棒表面的 $R/2$ 部分位置为中心，按 JISG0555 的图 3 采集试验片，用放大倍数为 400 倍的光学显微镜 60 视场观察经镜面研磨的宽度为 1.5 mm，高度为 2.0 mm 的检测面，一边把 Ti 的碳硫化物与其他夹杂物区分开，一边测定其纯度。还用放大倍为 400 倍的光学显微镜 60 视场观察，并研究了 Ti 的碳硫化物的最大直径。此后，进一步用硝酸乙醇腐蚀液腐蚀经镜面研磨的检测面，用放大倍数为 100 倍的光学显微镜进行 $R/2$ 部分位置的组织观察，并考察了各组织的比例（面积比）。

也进行了通过钻头钻孔试验进行了切削性的评价。试验条件及评价方法如实施例 1 所述。

在表 1 2 中出所述的各种试验的结果。另外，在表 1 2 中在试验序号 60、61 关于钢 57、钢 58，也一并记载进行时效处理的条件。

由表 1 2 可明显地看出，在组织的 90% 以上由贝氏体或铁素体和贝氏体构成的非调质钢材时，进行热加工和冷却后，进行时效处理，得到良好强度和韧性的均衡。而且，在用所述式（1）所表示的 $fn1$ 的值比 0% 大时和 / 或用所述式（2）所表示的 $fn2$ 的值比 2 大时，切削指数也变大。在用式（2）所表示的 $fn2$ 的值比 2 大时，疲劳强度也大。

实施例 4

表 1 3 所示出的化学组成的钢 60—64，是用 150 kg 真空熔化炉或 3 吨真空熔化炉熔制的。用 3 吨真空熔化炉熔制钢 60 及钢 61，其他用 150 kg 真空熔化炉熔制。另外，在实施例中也为了防止 Ti 氧化物生成，用 Si 及 Al 充分脱氧，添加各种元素后，添加 Ti，调整了 Ti 的碳硫化物的大小和纯度。表 1 3 中的钢 60—64 任何一化学组成都是在本发明规定的范围内的本发明实施例的钢。

其次，将这些钢加热到 1250℃ 后，在 1000℃ 进行加工的热锻造，制成直径 60 mm 的圆棒。另外，以冷却速度为 5—35℃/分的热锻造后的冷却条件进行空气冷却或放置冷却到 300℃。此后，加热到 850—900℃ 1 小时后，用水淬火，在 550℃ 进行回火处理（回火后的冷却为空冷）、进行组织和强度水平的调整。

从这样得到的圆棒与实施例 1 的情况相同，采集各种试验片进行考

察。即，从圆棒的表面的 $R/2$ 部分位置，采集 J I S 1 4 A 号抗拉试验片、和小野式旋转弯曲试验片（平行部分的直径为 8 mm，其长度为 18.4mm），以及 J I S 3 号冲击试验片（2 mm U 切口摆锤式试验片），考察了在室温的抗拉强度、疲劳强度（疲劳限度）及韧性（冲击值）。

以从圆棒表面的 $R/2$ 部分位置为中心，按 JISG0555 的图 3 采集试验片，用放大倍数为 400 倍的光学显微镜 60 视场观察经镜面研磨的宽度为 1.5 mm，高度为 2.0 mm 的检测面，一边把 Ti 的碳硫化物与其他夹杂物区分开，一边测定其纯度。还用放大倍为 400 倍的光学显微镜 60 视场观察，并研究了 Ti 的碳硫化物的最大直径。此后，进一步用硝酸乙醇腐蚀液腐蚀经镜面研磨的检测面，用放大倍数为 100 倍的光学显微镜观察，观察了 $R/2$ 部分位置的组织，并考察了各组织的比例（面积比）。

通过钻头钻孔试验进行了切削性的评价。试验条件及评价方法如实施例 1 所述。

在表 1 4 示出上述的各种试验的结果。另外，在表 1 4 中也一并记载关于钢 6 0—6 4 的淬火和回火的条件。

由表 1 4 可明显地看出，在组织的 50 % 以上由马氏体构成的调质钢材时，能得到非常良好强度和韧性的均衡。而且，在用所述式（1）所表示的 $fn1$ 的值比 0 % 大时和 / 或用所述式（2）所表示的 $fn2$ 的值比 2 大时，切削指数也变大。在用式（2）所表示的 $fn2$ 的值比 2 大时，疲劳强度也大。

实施例 5

在已述的实施例 1—4 中，将用 3 吨真空熔化炉熔制的钢 1、钢 6、钢 3 6—4 0、钢 4 7—4 9、钢 5 5、钢 5 6、钢 6 0 及钢 6 1 的一部分加热到 1250 °C 后，在 1000 °C 进行加工的热锻造加工，放置冷却到室温，制作 125mm 长的方棒。

其次，将这些方棒加热到 1250 °C 后，加工温度 1000 °C 以上进行热锻造，以 5—35 °C / 分的热锻造后的冷却条件空气冷却或放置冷却到 300 °C，制作曲轴的部件形材，切削加工完成最终的曲轴。另外，关于试验序号 6 8、6 9、7 3、7 9 及 8 0，进行热锻造的冷却后，加热到 850—900 °C 1 小时后，用水淬火，在 550 °C 进行回火处理（回火

后的冷却为空冷冷却)制作曲轴的部件形材,切削加工制作成最终的曲轴。

为了加工成最终的制品形状的表面切削使用以J I S的符号 CNMG 12041N-0X 形状涂层处理的超硬切削,在干式,切削速度100 m / 分,切入1.5mm,进给0.25mm / rev的条件下进行。此后,使用J I S高速工具钢SKH 59 ϕ 6 mm的直杆钻头,用水溶性润滑剂,以进给0.20 / rev、旋转数980 rpm条件进行曲轴的油孔加工。通过钻头加工油孔时,以由于钻头前刃磨损不能钻孔所制作的曲轴的根数评价实体的切削性。

将从上述的曲轴的部件的销部(直径70 mm)的表面的15 mm的位置作中心,按JISG0555的图3采集试验片,用放大倍数为400倍的光学显微镜60视场观察经镜面研磨的宽度为15 mm,高度为20 mm的检测面,一边把Ti的碳硫化物与其他夹杂物区分开,一边测定其纯度。用放大倍数为400倍的光学显微镜60视场观察,并考察了Ti的碳硫化物的最大直径。此后,进一步用硝酸乙醇腐蚀液腐蚀经镜面研磨的检测面,用放大率100倍的光学显微镜进行组织观察,并考察为组织的比例(面积比)。而且,试验片的取向为以曲轴向平行的方向,采集J I S 14 A号抗拉试验片、和小野式旋转弯曲试验片(平行部分的直径为8 mm,其长度为18.4mm),以及J I S 3号冲击试验片(2 mm U切口摆锤式试验片),并考察了在室温的抗拉强度、疲劳强度(疲劳限度)及韧性(冲击值)。

在表15示出上述的各种试验的结果。另外,在表15也一并记载了关于试验序号68、69、73、79、80的淬火和回火的条件。

由表15可明显地看出,由涉及本发明的钢材所制作的曲轴的部件形材切削优良。而且,以涉及本发明的钢材作部件原料的曲轴与以比较例的钢件作部件原料的曲轴相比,前者的强度和韧性的均衡优良。

本发明的钢材,切削性优良,并具有良好的的强度和韧性的均衡,所以可用作以汽车为代表的运输机械、产业机械、建设机械等各种机械的结构部件的原料。通过将该钢材作原料,进行切削加工、能比较容易地制造各种机械结构的部件。

表 1

钢	化 学 组 成 (重量%)											其余: Fe 及杂质												
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B	Nd	Se	Te	Ca	Pb	Bi	fn1	fn2	fn3
1	0.48	0.47	0.85	0.020	0.055	0.09	0.020	0.0028	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	1.64	1.14
2	0.23	0.21	1.60	0.020	0.012	0.06	0.021	0.0015	-	-	0.50	-	-	-	-	0.045	-	-	-	-	-	0.05	5.00	2.27
3	0.37	0.21	1.01	0.021	0.157	0.81	0.019	0.0021	-	-	0.22	-	0.08	-	-	-	0.17	-	-	-	-	0.62	5.16	1.36
4	0.47	0.43	0.83	0.020	0.012	0.16	0.018	0.0019	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	0.02	-	-	-	0.15	13.2	1.05
5	0.39	0.11	0.98	0.020	0.114	0.40	0.021	0.0034	0.02	-	-	-	0.09	-	-	-	-	-	0.003	-	-	0.26	3.51	1.04
6	0.27	0.23	0.78	0.019	0.161	0.86	0.021	0.0023	-	-	0.44	0.02	-	-	0.0003	-	-	-	-	0.15	-	0.67	5.34	2.52
7	0.41	0.70	0.87	0.019	0.063	0.20	0.021	0.0020	-	0.15	-	0.13	0.04	-	-	-	-	-	-	-	0.12	0.12	3.19	1.52
8	0.30	1.52	0.76	0.018	0.050	0.66	0.020	0.0013	-	-	-	-	0.06	-	-	0.037	-	-	-	-	-	0.60	13.3	1.52
9	0.23	0.48	1.86	0.019	0.069	0.24	0.021	0.0012	-	-	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	3.45	2.90
10	0.45	0.04	1.14	0.020	0.010	0.61	0.021	0.0034	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	0.60	59.4	1.16
11	0.23	0.80	1.02	0.020	0.146	0.22	0.021	0.0038	-	-	1.15	0.05	-	-	-	-	-	-	0.003	0.12	-	0.04	1.51	2.72
12	0.25	0.01	2.16	0.019	0.015	0.56	0.020	0.0038	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	0.54	38.4	2.17
fn1=Ti (%) - 1.2S (%), fn2=Ti (%) / S (%)																								
fn3=0.5Si (%) +Mn (%) +1.13Cr (%) +1.98Ni (%)																								

表 2

钢	化 学 组 成 (重量%)													其余: Fe 及杂质										
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B	Nd	Se	Te	Ca	Pb	Bi	fn1	fn2	fn3
13	0.39	0.45	1.40	0.021	0.058	0.13	0.021	0.0022	-	-	-	0.07	-	0.04	-	-	0.20	-	-	-	-	0.06	2.19	1.63
14	0.23	0.50	1.20	0.019	0.098	0.63	0.021	0.0015	-	-	-	-	0.13	-	-	-	-	0.03	-	-	-	0.51	6.41	1.45
15	0.20	1.61	0.74	0.018	0.012	0.30	0.020	0.0032	-	-	0.13	-	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	0.29	26.3	1.69
16	0.46	0.03	1.10	0.039	0.047	0.18	0.021	0.0030	-	-	0.12	0.54	-	-	-	-	-	0.02	-	0.07	-	0.12	3.83	1.25
17	0.31	0.20	2.05	0.019	0.161	0.37	0.019	0.0036	-	-	-	-	0.03	-	-	-	0.13	-	-	-	-	0.18	2.30	2.15
18	0.47	0.47	0.87	0.020	0.053	0.32	0.019	0.0039	-	-	0.06	-	-	-	0.0003	0.048	-	-	-	-	-	0.26	6.01	1.17
19	0.23	0.08	0.03	0.020	0.070	0.48	0.018	0.0014	-	0.02	2.11	-	-	0.06	-	-	-	-	0.002	-	-	0.39	6.81	2.49
20	0.41	0.47	1.20	0.019	0.169	0.43	0.019	0.0039	1.10	-	0.41	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	0.23	2.55	1.90
21	0.21	0.50	1.20	0.019	0.140	0.23	0.021	0.0035	-	-	-	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	1.64	1.45
22	0.24	0.40	1.50	0.021	0.101	0.22	0.020	0.0026	-	-	0.50	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	2.18	2.27
23	0.32	0.03	1.80	0.019	0.071	0.73	0.021	0.0039	0.20	-	-	-	-	-	-	0.036	-	-	-	-	-	0.64	10.2	1.82
24	0.15	0.21	2.10	0.018	0.098	0.88	0.018	0.0023	-	0.02	0.28	-	-	-	0.0030	-	-	-	0.002	-	0.11	0.76	8.95	2.56
fn1=Ti (%) - 1.2 S (%)、fn2=Ti (%) / S (%)																								
fn3=0.5 Si (%) + Mn (%) + 1.3 Cr (%) + 1.98 Ni (%)																								

表 3

钢	化 学 组 成 (重量%)											其余: Fe 及杂质												
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B	Nd	Se	Te	Ca	Pb	Bi	fn1	fn2	fn3
25	0.23	1.57	0.40	0.020	0.133	0.67	0.020	0.0032	-	0.12	0.05	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	0.51	5.02	1.48
26	0.10	0.15	0.50	0.019	0.141	0.78	0.019	0.0030	-	-	0.55	0.51	0.24	-	-	-	-	-	0.003	-	-	0.61	5.53	1.20
27	0.28	0.40	1.50	0.019	0.011	0.19	0.020	0.0025	-	-	0.11	-	-	0.06	0.0011	-	-	-	-	0.12	-	0.17	17.0	1.82
28	0.21	0.05	0.70	0.018	0.044	0.27	0.019	0.0018	-	-	1.34	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	0.22	6.23	2.24
29	0.20	0.10	1.54	0.020	0.015	0.63	0.020	0.0022	-	-	-	0.05	0.07	-	0.0005	-	-	-	-	-	-	0.62	41.5	1.59
30	0.25	0.20	0.80	0.018	0.110	0.73	0.021	0.0027	0.04	-	1.20	-	-	0.07	-	-	-	-	-	0.14	-	0.60	6.64	2.26
31	0.21	1.05	1.00	0.019	0.143	0.44	0.020	0.0015	-	0.05	0.45	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-	-	0.27	3.09	2.13
32	0.23	0.45	0.80	0.020	0.025	0.28	0.020	0.0013	-	-	0.05	0.20	0.12	0.02	0.0010	-	0.21	0.02	-	-	-	0.25	11.1	1.08
33	0.14	0.21	1.51	0.019	0.032	0.87	0.020	0.0031	-	-	-	0.04	0.15	-	0.0009	-	-	-	-	-	-	0.83	27.1	1.32
34	0.26	0.33	1.34	0.019	0.114	0.39	0.020	0.0027	-	-	0.64	-	-	-	-	0.038	-	-	-	0.06	-	0.25	3.43	2.23
35	0.29	1.60	0.44	0.018	0.065	0.24	0.018	0.0018	-	0.10	0.15	-	0.06	-	0.0016	-	-	-	-	-	0.10	0.16	3.65	1.32
36	0.51	0.22	0.95	0.020	0.073	0.25	0.021	0.0070	0.11	-	-	-	-	-	-	0.050	-	-	-	-	0.09	0.16	3.45	1.06
fn1=Ti (%) -1.2S (%)、fn2=Ti (%) / S (%)																								
fn3=0.5Si (%) +Mn (%) +1.13Cr (%) +1.98Ni (%)																								

表 4

钢	化 学 组 成 (重量%)											其余: Fe 及杂质												
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B	Nd	Se	Te	Ca	Pb	Bi	fn1	fn2	fn3
37	0.04	0.50	1.40	0.020	0.058	0.09	0.020	0.0029	-	-	0.50	-	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	1.64	2.22
38	0.27	0.45	1.27	0.020	0.001	0.06	0.021	0.0016	-	-	0.14	-	0.03	-	0.0003	-	-	0.02	-	-	-	0.06	60.0	1.65
39	0.49	0.31	0.75	0.020	0.013	0.03	0.021	0.0020	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	0.005	0.16	-	-0.02	2.31	0.91
40	0.28	0.48	1.23	0.019	0.169	0.90	0.021	0.0180	-	-	0.33	-	0.12	0.06	-	-	0.18	-	-	-	-	0.70	3.45	1.47
41	0.23	0.21	1.61	0.021	0.012	0.06	0.020	0.0014	-	-	0.48	-	-	-	-	0.120	-	-	-	-	-	0.27	3.09	2.13
42	0.36	0.21	1.05	0.020	0.157	0.78	0.018	0.0021	-	-	0.22	-	0.07	-	-	-	0.53	-	-	-	-	0.25	11.1	1.08
43	0.49	0.41	0.81	0.020	0.012	0.16	0.017	0.0019	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	0.06	-	-	-	0.83	27.1	1.32
44	0.38	0.11	1.01	0.019	0.117	0.41	0.020	0.0036	0.02	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	0.013	-	-	0.25	3.43	2.23
45	0.26	0.22	0.78	0.019	0.169	0.89	0.020	0.0022	-	-	0.47	0.04	-	-	0.0003	-	-	-	-	0.52	-	0.16	3.65	1.32
46	0.41	0.67	0.87	0.018	0.064	0.21	0.020	0.0021	-	0.15	-	0.14	0.03	-	-	-	-	-	-	-	0.42	0.16	3.45	1.06
fn1=Ti (%) - 1.2S (%)、fn2=Ti (%) / S (%)																								
fn3=0.5Si (%) +Mn (%) +1.13Cr (%) +1.98Ni (%)																								
下线表示偏离本发明规定的条件																								

表 5

试 验 序 号	Ti 的碳硫化物		组 织				机 械 的 性 质				淬火回火条件		
	最大直径 (μm)	纯度 (%)	F (%)	P (%)	B (%)	M (%)	抗拉强度 TS (MPa)	疲劳强度 σ_w (MPa)	耐久比 $\sigma_w/T S$	摆锤式 冲击值 (J/cm^2)	切削性 评价指数	淬火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	回火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)
1	0.4	0.07	21	18	61	0	854	361	0.42	65	202	—	—
2	0.1	0.06	60	26	14	0	857	362	0.42	66	222	—	—
3	7.6	0.43	38	33	29	0	851	352	0.41	64	227	—	—
4	1.1	0.06	22	23	54	0	853	316	0.37	66	214	—	—
5	7.2	0.23	35	23	42	0	852	323	0.38	65	205	—	—
6	8.1	2.10	0	0	68	32	850	360	0.42	76	201	890	550
7	1.5	0.07	0	0	74	26	855	308	0.36	73	219	850	550
8	6.1	0.35	50	24	26	0	852	366	0.43	67	316	—	—
9	1.9	0.14	0	0	57	43	850	353	0.41	75	327	770	560
10	5.6	0.33	25	28	47	0	857	363	0.42	69	300	—	—
11	1.7	0.13	0	0	87	13	857	365	0.43	74	317	890	550
12	5.1	0.31	58	30	12	0	854	363	0.43	64	318	—	—

在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。

在组织栏中, F 为铁素体、P 为珠光体、B 为贝氏体、M 为马氏体。

表 6

试 验 序 号	钢	Ti 的碳硫化物		组 织				机 械 的 性 质					淬火回火条件	
		最大直径 (μm)	纯度 (%)	F (%)	P (%)	B (%)	M (%)	抗拉强度 TS (MPa)	疲劳强度 σ_w (MPa)	耐久比 σ_w/TS	摆锤式 冲击值 (J/cm^2)	切削性 评价指数	淬火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	回火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)
13	13	0. 8	0.09	35	14	51	0	855	347	0. 41	66	300	—	—
14	14	5. 8	0.34	60	23	16	0	851	362	0. 43	65	317	—	—
15	15	2. 5	0.18	64	36	0	0	853	356	0. 42	65	308	—	—
16	16	5. 9	0.35	24	76	0	0	857	366	0. 43	65	312	—	—
17	17	3. 2	0.21	47	53	0	0	856	361	0. 42	64	310	—	—
18	18	2. 7	0.19	23	75	2	0	851	357	0. 42	69	304	—	—
19	19	4. 3	0.26	60	34	5	0	856	361	0. 42	69	330	—	—
20	20	3. 8	0.24	32	65	3	0	852	342	0. 40	65	302	—	—
21	21	1. 3	0.12	63	30	7	0	859	350	0. 41	63	319	—	—
22	22	0. 7	0.09	0	0	100	0	855	393	0. 46	87	310	—	—
23	23	6. 8	0.39	0	0	100	0	862	413	0. 48	85	311	—	—
24	24	8. 3	0.46	0	0	100	0	857	402	0. 47	90	301	—	—

在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。

表 7

试 验 序 号	Ti 的碳硫化物		组 织				机 械 的 性 质				淬火回火条件		
	最大直径 (μm)	纯度 (%)	F (%)	P (%)	B (%)	M (%)	抗拉强度 TS (MPa)	疲劳强度 σ_w (MPa)	耐久比 $\sigma_w/T S$	摆锤式 冲击值 (J/cm ²)	切削性 评价指数	淬火的 加热温度 (°C)	回火的 加热温度 (°C)
25	6. 2	0.36	0	0	100	0	854	397	0. 46	89	319	—	—
26	7. 3	0.42	0	0	93	7	865	405	0. 47	83	302	—	—
27	1. 4	0.12	0	0	95	5	863	394	0. 46	83	303	—	—
28	2. 2	0.16	6	0	94	0	860	390	0. 45	82	311	—	—
29	5. 8	0.34	0	0	24	76	868	440	0. 51	104	321	890	550
30	6. 8	0.39	0	0	24	76	866	456	0. 53	103	326	900	550
31	3. 9	0.25	0	0	40	60	861	434	0. 50	103	313	880	550
32	2. 3	0.16	0	0	21	79	867	439	0. 51	104	307	830	550
33	8. 2	0.46	0	0	34	66	869	438	0. 50	101	313	850	550
34	3. 4	0.22	0	0	0	100	869	449	0. 52	102	301	900	550
35	1. 9	0.14	0	0	28	72	868	451	0. 52	100	307	890	550

在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。

在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。

表 8

试验序号	钢	Ti 的碳硫化物		组 织				机 械 的 性 质					淬火回火条件	
		最大直径 (μm)	纯度 (%)	F (%)	P (%)	B (%)	M (%)	抗拉强度 TS (MPa)	疲劳强度 σ_w (MPa)	耐久比 σ_w/TS	摆锤式 冲击值 (J/cm^2)	切削性 评价指数	淬火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	回火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)
36	36	2.3	* 0.04	0	0	62	38	854	340	0.40	106	51	900	550
37	*37	0.5	0.08	97	3	0	0	845	314	0.37	67	58	—	—
38	*38	0.1	* 0.02	53	34	13	0	847	324	0.38	88	31	—	—
39	*39	1.3	0.13	19	30	52	0	851	336	0.39	85	40	—	—
40	*40	9.7	0.55	0	0	56	44	847	320	0.38	103	45	890	550
41	*41	0.1	0.06	57	27	16	0	857	317	0.37	34	216	—	—
42	*42	7.5	0.42	38	33	29	0	840	303	0.36	35	237	—	—
43	*43	1.1	0.10	23	24	53	0	859	309	0.36	56	208	—	—
44	*44	3.6	0.21	35	24	41	0	858	318	0.37	55	200	—	—
45	*45	8.0	2.05	0	0	56	44	846	296	0.35	69	201	890	550
46	*46	1.4	0.12	0	0	78	22	846	304	0.36	66	211	850	550
在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。 * 记号表示偏离本发明规定的条件,另外,在钢中的* 标号表示偏离本发明的化学组成的条件。														

表 9

钢	化 学 组 成 (重量%)										其余:Fe 及杂质													
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B	Nd	Se	Te	Ca	Pb	Bi	fn1	fn2	fn3
47	0.47	0.46	1.50	0.036	0.143	0.11	0.029	0.0039	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.08	-	-0.06	0.77	2.30
48	0.26	0.80	1.05	0.033	0.102	0.69	0.021	0.0034	0.10	-	0.21	0.54	0.12	-	-	-	0.15	-	-	0.08	-	0.57	6.76	1.69
49	0.46	0.83	0.99	0.035	0.010	0.70	0.019	0.0036	-	-	0.50	-	-	0.04	-	-	0.13	0.01	-	-	0.04	0.69	70.0	1.97
50	0.34	0.39	0.63	0.031	0.132	0.60	0.030	0.0039	0.16	-	-	-	0.22	-	-	0.048	-	-	-	-	-	0.44	4.55	0.83
51	0.34	0.33	1.07	0.021	0.093	0.58	0.020	0.0014	-	-	-	-	0.17	0.04	-	-	-	-	0.002	-	-	0.47	6.24	1.24
52	0.27	0.80	1.05	0.037	0.164	0.68	0.020	0.0039	-	-	0.41	-	0.12	-	-	0.037	-	-	-	0.13	-	0.48	4.15	1.91
53	0.28	0.26	1.00	0.019	0.140	0.70	0.019	0.0035	-	-	0.50	-	-	0.04	-	-	-	-	0.001	-	0.09	0.53	5.00	1.70
54	0.48	0.50	1.48	0.029	0.141	0.20	0.019	0.0021	-	-	0.48	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.07	-	0.03	1.42	2.27
fn1=Ti (%) - 1.2S (%)、fn2=Ti (%) / S (%)																								
fn3=0.5Si (%) +Mn (%) +1.13Cr (%) +1.98Ni (%)																								

表 10

试 验 序 号	Ti 的碳硫化物 钢	组 织				机 械 的 性 质				淬火回火条件						
		最大直径 (μm)	纯度 (%)	F		P		B (%)	M (%)	抗拉强度 TS (MPa)	疲劳强度 σ_w (MPa)	耐久比 σ_w/TS	摆锤式 冲击值 (J/cm ²)	切削性 评价指数	淬火的 加热温度 (°C)	回火的 加热温度 (°C)
				JIS 粒 度标号 (%)	薄层间距的 平均值(μm)	薄层间距的 平均值(μm)										
47	47	6.4	0.21	22	-	78	0	0	835	376	0.45	66	302	-	-	
48	48	7.1	1.19	55	-	45	0	0	878	400	0.46	64	320	-	-	
49	49	7.2	1.21	24	-	76	0	0	865	433	0.50	64	319	-	-	
50	50	6.5	1.03	43	-	55	2	0	827	379	0.46	68	333	-	-	
51	51	4.3	0.26	43	9	52	5	0	843	405	0.48	71	336	-	-	
52	52	3.8	0.24	54	9	44	3	0	884	424	0.48	70	338	-	-	
53	53	1.3	0.12	52	6	41	7	0	859	399	0.46	73	334	-	-	
54	54	5.8	0.25	20	-	80	0	0	833	383	0.46	68	308	-	-	
在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。 在铁素体的 JIS 粒度标号项和珠光体的薄层间距的平均值项中,「-」符号表示没测定																

表 11

钢	化 学 组 成													其余: Fe 及杂质										
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B	Nd	Se	Te	Ca	Pb	Bi	fn1	fn2	fn3
55	0.07	1.28	2.41	0.032	0.080	0.89	0.020	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.79	11.1	3.05
56	0.12	0.81	1.75	0.020	0.157	0.32	0.021	0.0039	-	-	0.51	-	-	-	-	0.036	-	-	-	-	-	0.13	2.04	2.73
57	0.10	1.16	1.34	0.020	0.161	0.15	0.019	0.0023	-	1.06	0.28	-	-	-	0.0014	-	-	-	0.002	-	0.11	-0.04	0.93	4.34
58	0.22	0.34	2.45	0.019	0.007	0.29	0.020	0.0032	-	-	0.40	0.24	0.05	0.06	-	0.030	-	0.03	-	0.07	-	0.28	41.4	3.07
59	0.11	1.18	1.30	0.015	0.158	0.21	0.015	0.0020	-	1.03	0.25	-	-	-	0.0011	-	-	-	0.002	-	0.08	0.02	1.33	4.21
fn1=Ti (%) - 1.2 S (%) 、 fn2=Ti (%) / S (%)																								
fn3=0.5 Si (%) + Mn (%) + 1.13 Cr (%) + 1.98 Ni (%)																								

表 12

试 验 序 号	Ti 的碳硫化物		组 织				机 械 的 性 质				淬火回火条件		
	最大直径 (μm)	纯度 (%)	F (%)	P (%)	B (%)	M (%)	抗拉强度 TS (MPa)	疲劳强度 σ_w (MPa)	耐久比 σ_w/TS	摆锤式 冲击值 (J/cm ²)	切削性 评价指数	淬火的 加热温度 (°C)	回火的 加热温度 (°C)
55	7.2	0.61	48	0	52	0	862	414	0.48	88	320	—	—
56	5.8	0.23	23	0	77	0	844	397	0.47	89	321	—	—
57	5.1	0.11	0	0	100	0	884	410	0.46	82	301	—	—
58	3.4	0.20	0	0	100	0	867	442	0.51	89	329	—	—
59	5.3	0.13	2	0	98	0	880	414	0.47	81	305	—	—
60	5.1	0.11	0	0	100	0	882	415	0.47	88	305	—	560
61	3.4	0.20	0	0	100	0	863	449	0.52	94	333	—	560

在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。
在试验序号 60、61 中,“淬火的加热温度”栏中记载的为“时效处理温度”

表 13

钢	化 学 组 成 (重量%)											其余:Fe 及杂质												
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B	Nd	Se	Te	Ca	Pb	Bi	fn1	fn2	fn3
60	0.36	1.28	1.06	0.020	0.087	0.05	0.020	0.0023	-	-	0.20	-	-	-	0.0003	-	-	-	-	0.08	-	-0.05	0.57	1.93
61	0.31	1.22	1.14	0.020	0.165	0.61	0.021	0.0027	-	-	1.04	-	-	-	-	0.038	-	-	-	0.14	-	0.41	3.70	2.93
62	0.20	0.93	1.13	0.021	0.192	0.54	0.021	0.0015	0.70	-	0.80	-	-	-	-	-	-	-	0.002	-	0.05	0.31	2.81	2.50
63	0.20	1.17	1.34	0.018	0.025	0.35	0.021	0.0013	-	-	0.80	0.04	0.17	-	-	-	0.21	0.02	-	-	-	0.32	14.1	2.83
64	0.33	1.32	1.11	0.015	0.091	0.12	0.025	0.0015	-	-	0.18	-	-	-	0.0003	-	-	-	-	0.09	-	0.01	1.32	1.97
fn1=Ti (%) - 1.2S (%)、fn2=Ti (%) / S (%)																								
fn3=0.5Si (%) +Mn (%) +1.13Cr (%) +1.98Ni (%)																								

表 14

试 验 序 号	Ti 的碳硫化物		组 织				机 械 的 性 质				淬火回火条件		
	最大直径 (μm)	纯度 (%)	F (%)	P (%)	B (%)	M (%)	抗拉强度 TS (MPa)	疲劳强度 σ_w (MPa)	耐久比 σ_w/TS	摆锤式 冲击值 (J/cm^2)	切削性 评价指数	淬火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	回火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)
62	60	3. 5	0.05	0	0	100	835	438	0. 52	105	321	890	550
63	61	7. 2	0.41	0	0	100	858	450	0. 53	106	326	900	550
64	62	7. 3	0.37	0	0	91	847	449	0. 53	104	313	850	550
65	63	3. 9	2.40	0	0	86	871	488	0. 56	100	307	870	550
66	64	3. 3	0.06	0	0	100	831	424	0. 51	100	307	890	550
在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。													

表 15

试 验 序 号	钢	Ti的碳硫化物		组 织				机 械 的 性 质				淬 火 回 火 条 件		
		最大直径 (μm)	纯度 (%)	F (%)	P (%)	B (%)	M (%)	抗拉强度 TS (MPa)	疲劳强度 σ_w (MPa)	耐久比 $\sigma_w/T S$	摆锤式 冲击值 (J/cm^2)	加工 曲轴 (个)	淬火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	回火的 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)
67	1	0.4	0.07	21	18	61	0	854	336	0.39	67	51	—	—
68	6	8.1	2.10	0	0	57	43	850	334	0.39	66	52	890	550
69	36	3.4	* 0.04	0	0	55	45	852	334	0.39	105	13	900	550
70	*37	0.6	0.11	95	5	0	0	848	325	0.38	66	15	—	—
71	*38	0.1	* 0.02	51	36	13	0	851	336	0.40	86	16	—	—
72	*39	1.2	0.15	15	33	52	0	845	318	0.38	89	18	—	—
73	*40	9.2	0.51	0	0	94	6	850	326	0.38	105	11	890	550
74	47	6.3	0.23	25	75	0	0	832	382	0.46	66	78	—	—
75	48	7.0	1.18	58	42	0	0	880	401	0.46	64	80	—	—
76	49	7.3	1.23	22	78	0	0	862	431	0.50	64	80	—	—
77	55	7.2	0.59	45	0	55	0	860	421	0.49	90	78	—	—
78	56	5.5	0.22	24	0	76	0	846	406	0.48	90	78	—	—
79	60	3.3	0.06	0	0	2	98	827	430	0.52	107	80	890	550
80	61	6.9	0.40	0	0	2	98	857	446	0.52	105	81	900	550

在组织栏中,F为铁素体、P为珠光体、B为贝氏体、M为马氏体。
* 记号表示偏离本发明规定的条件,另外,在钢中的* 标号表示偏离本发明化学组成的条件。