



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410058861.1

[45] 授权公告日 2007 年 3 月 21 日

[11] 授权公告号 CN 1306056C

[22] 申请日 2004.8.2

[21] 申请号 200410058861.1

[30] 优先权

[32] 2003.8.1 [33] JP [31] 2003-285463

[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 松井直树 西隆之 加藤彻

渡里宏二 长谷川达也

[56] 参考文献

CN1065690A 1992.10.28

JP2000-336454A 2000.12.5

EP1054074A2 2000.11.22

JP2003-119545A 2003.4.22

CN1064320A 1992.9.9

JP2000-160284 2000.6.13

审查员 裴少平

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公
司

代理人 李香兰

权利要求书 2 页 说明书 29 页 附图 4 页

[54] 发明名称

低碳易切削钢

[57] 摘要

一种低碳易切削钢，以质量%计含有 C：0.05% - 0.20% 不到、Mn：0.4 - 2.0%、S：0.21 - 1.0%、Ti：0.002 - 0.10%、P：0.001 - 0.30%、Al：0.2% 以下、O(氧)：0.001 - 0.03%、N：0.0005 - 0.02%，余量为 Fe 和不可避免的杂质，钢中的夹杂物满足下列(1)式和(2)式， $(A + B)/C \geq 0.8 \dots (1)$ ； $N_A \geq 5 \dots (2)$ ；式中，A、B、C 和 N_A 的含义如下：在平行于轧制方向的断面上 1mm^2 内、当量圆直径 $1\mu\text{m}$ 以上的夹杂物中，A：内部存在 Ti 碳化物或/和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS 所占的总面积；B：内部不存在 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS 所占的总面积；C：所有夹杂物所占的总面积； N_A ：内部存在 Ti 碳化物或/和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS 的个数。

1. 一种低碳易切削轧制钢材, 其特征在于, 以质量%计含有C: 0.05%至0.20%不到、Mn: 0.4—2.0%、S: 0.21—1.0%、Ti: 0.002—0.10%、P: 0.001—0.30%、Al: 0.2%以下、O (氧): 0.001—0.03%以及N: 0.0005—0.02%, 余量为Fe和不可避免的杂质, 钢中所含的夹杂物满足下列(1)式和(2)式,

$$(A+B) / C \geq 0.8 \dots (1)$$

$$N_A \geq 5 \dots (2)$$

式中, A、B、C和 N_A 的含义如下:

A: 在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径 $1 \mu\text{m}$ 以上的夹杂物中, 内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS所占的总面积;

B: 在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径 $1 \mu\text{m}$ 以上的夹杂物中, 内部不存在Ti碳化物和Ti碳氮化物的实质的MnS所占的总面积;

C: 在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、当量圆直径 $1 \mu\text{m}$ 以上的所有夹杂物所占的总面积;

N_A : 在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径 $1 \mu\text{m}$ 以上的夹杂物中, 内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS的个数。

2. 根据权利要求1所述的低碳易切削轧制钢材, 其特征在于, 一部分Fe被选自下组中的1种以上的元素所代替

Se: 0.0005—0.10%、Te: 0.0005—0.10%、Sn: 0.01—0.3%、Ca: 0.0001—0.01%、B: 0.0002—0.02%以及稀土元素: 0.0005—0.02%。

3. 根据权利要求1所述的低碳易切削轧制钢材, 其特征在于, 一部分Fe被选自下组中的1种以上的元素所代替

Cu: 0.01—1.0%、Ni: 0.01—2.0%、Mo: 0.01—0.5%、V: 0.005—0.5%和Nb: 0.005—0.5%。

4. 根据权利要求1所述的低碳易切削轧制钢材, 其特征在于, 一部分Fe被选自下组中的1种以上的元素所代替

Se: 0.0005—0.10%、Te: 0.0005—0.10%、Sn: 0.01—0.3%、Ca: 0.0001—0.01%、B: 0.0002—0.02%和稀土元素: 0.0005—0.02%, 并且, 含有选自下组中的1种以上的元素

Cu: 0.01—1.0%、Ni: 0.01—2.0%、Mo: 0.01—0.5%、V: 0.005—0.5%和Nb: 0.005—0.5%。

5. 根据权利要求1—4中任一项所述的低碳易切削轧制钢材, 其特征在于, 一部分Fe被Si: 0.1—2.0质量%和Cr: 0.03—1.0质量%中的1种或2种所代替。

低碳易切削钢

技术领域

本发明是关于不含有铅（Pb）的低碳易切削钢，特别是关于虽然不含有铅，但与以往的铅易切削钢以及同时含有铅和其它改善切削性能的元素复合易切削钢相比，在使用硬质合金刀具进行切削时，具有良好的切削性能、热加工性能和切削后加工表面性状良好并且生产成本低的低碳易切削钢。另外，本发明还涉及除了上述各种性能外还具有具有良好的渗碳性能的低碳易切削钢。

背景技术

以往，对于不特别要求强度的软质的小零部件，为了提高生产率，往往使用切削性能良好的钢材，即所谓的易切削钢。人们最熟悉的易切削钢有：含有大量S、利用MnS改善切削性能的硫易切削钢；添加Pb的铅易切削钢；以及含有S和Pb两者的复合易切削钢。尤其是含有Pb的易切削钢，具有延长刀具的寿命、切屑的易断裂性良好、而且加工后的钢材表面的加工表面粗糙度也良好的特性。此外，还有为了改善切削性能而含有Te（碲）和Bi（铋）等的易切削钢。这些钢大量地用于汽车的制动零件等小零部件以及个人电脑的外部设备部件等电子机器部件和模具等各种机械部件。

另一方面，近年来由于切削机械性能的提高，可以进行高速切削，伴随这一趋势，对于构成上述部件的原材料的钢材，迫切希望提高高速切削加工时的切削性能。

此外，上述部件经过切削加工成为规定的形状后，为了确保其表面的强度，有时需要进行渗碳处理。因此，对于这些部件所使用的钢材料，除了要求具有高的切削性能外，还希望具有良好的渗碳性能。

对于上述部件的原料来使用的钢材，要求良好的切削性能，所述的切

削性能，不仅要延长刀具的寿命，而且还特别强调切屑细碎断裂的性质即“切屑处理性”。这种切屑处理性，是实现加工生产线自动化所不可缺少的条件，也是提高生产率所必须的。另外，除了刀具寿命和切屑处理性外，从加工精度的角度考虑，还希望切削之后的钢材加工表面的状态良好，即加工表面的粗糙度比较小。在上述易切削钢中，铅易切削钢和含有Pb及其它改善切削性能的元素复合易切削钢，这些性能都很好，在现有的钢材中切削性能最佳。

近年来，随着人们对环境问题的关注程度不断提高，迫切希望研制出不含有Pb的易切削钢。这是因为，含有对人体和地球环境有害的Pb的钢材，不仅在其制造过程中需要规模很大的排气设备，而且从环境保护的角度考虑，限制使用Pb的呼声越来越高。

为了适应上述要求，作为铅易切削钢的替代产品，人们提出了许多种关于不含Pb的低碳硫易切削钢的技术方案。但是，迄今为止还没有研制出能够全部满足含Pb的易切削钢性能要求即有助于延长刀具寿命、切屑处理性良好、加工表面粗糙度较小的易切削钢。

专利文献1（特开2003-49240号公报）中公开了一种存在Ti或/和Zr的碳硫化物系夹杂物、切削性能得到改善的易切削钢。在该易切削钢中，由于与MnS一起分散存在有Ti碳硫化物或Zr碳硫化物，因而难以获得MnS的拟润滑效果，刀具与被切削材料之间的磨擦力升高。结果，切削抗力提高，在刀具的刀刃上容易形成刀瘤。一旦形成刀瘤，精切削后的加工表面粗糙度增大，部件的加工精度受到损害。

在专利文献1中，没有见到Ti含量为0.1%以下的实施例。这表明，专利文献1的发明目的在于通过含有大量的Ti而生成Ti碳硫化物，实际上该文献中记载了，与MnS一起在基体内分散有粒状的Ti碳硫化物系夹杂物。这种情况不能满足上述部件所使用的钢材要求的刀具寿命、切屑处理性、加工表面粗糙度等性能。

专利文献2（特开2003-49241）中公开了一种易切削钢，该钢含有Ti或/和Zr， $(Ti + 0.52Zr) / S < 2$ ，作为夹杂物含有Ti或Zr的碳硫化物，提高了车削加工和钻削加工时的刀具寿命。在该专利文献2的发明中，使钢中生成Ti碳硫化物，以改善车削加工时的刀

具寿命。采用这种技术，在一定程度上确实可以改善刀具的寿命，但由于 Ti 或 Zr 的碳硫化物存在，难以获得 MnS 的润滑效果，刀具与被切削材料之间的磨擦力增大。结果，切削抗力升高，在刀具的刀刃上容易形成刀瘤。一旦形成刀瘤，切削后的加工表面粗糙度增大，导致加工精度恶化。

在专利文献 2 中，未见到下述本发明中规定的含有 S 0.21% 以上、Ti 0.1% 以下的易切削钢的实施例。由此可知，专利文献 2 的发明不是以改善加工表面粗糙度、提高切屑处理性作为目标的发明。即，在专利文献 2 的发明中，在基体内与 MnS 一起分散有 Ti 或 Zr 的碳硫化物，因而不能得到所希望的加工表面粗糙度和切屑处理性。

专利文献 3（特平 2000-319753 号公报）中，公开了含有 S 超过 0.4%、增加 MnS 含量的不添加 Pb 的低碳硫易切削钢。但是，这种钢改善硬质合金刀具寿命的效果不大。另外，这种钢没有改善与刀具寿命同样受到重视的切屑处理性，没有明显地改善以往的硫易切削钢的性能。

专利文献 4（特开平 09-53147 号公报）中公开了一种关于易切削钢的发明，该钢含有 C: 0.01-0.2%、Si: 0.10-0.60%、Mn: 0.5-1.75%、P: 0.005-0.15%、S: 0.15-0.40%、O(氧): 0.001-0.010%、Ti: 0.0005-0.020%、N: 0.003-0.03%，对于硬质合金刀具具有良好的切削性能特别是刀具寿命。在该发明中，所述的钢必须含有 Ti 以及 0.1-0.6% Si，以改善硬质合金刀具的寿命。另外，该发明不像本发明那样不含硅，通过使钢材中含有“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”，不仅提高刀具的寿命，而且还改善切屑处理性和加工表面粗糙度。

专利文献 5（特许第 3390988 号公报）中公开了一种低碳硫易切削钢的发明，该钢含有 C: 0.02-0.15%、Mn: 0.3-1.8%、S: 0.225-0.5%、Ti: 0.1-0.6%、Zr: 0.1-0.6%，并且满足 Ti+Zr: 0.3-0.6%，(Ti+Zr) / S 比: 1.1-1.5，改善了机械性能的各向异性。该发明通过上述成分组成，生成热加工时的变形抗力高的 Ti 和 Zr 的硫化物，改善了钢材的机械性

能各向异性和切削性能。但是，由于存在这些变形抗力高的硫化物，切削时难以获得硫化物所产生的润滑效果，因而切削抗力增大，刀具的寿命劣化，并且加工表面的粗糙度也恶化。

【专利文献1】特开2003-49240号公报

【专利文献2】特开2003-49241号公报

【专利文献3】特开2000-319753号公报

【专利文献4】特开平09-53147号公报

【专利文献5】特许第3390988号公报

发明内容

本发明的任务是，提供一种低碳易切削钢，不含有对环境有害的Pb，与以往的Pb易切削钢以及同时含有Pb和其它赋予切削性的元素的复合易切削钢相比，尤其是在使用硬质合金刀具进行切削的场合，显示出优异的切削性能，热加工性能良好，切削后的表面性状也良好，能以低的生产成本制造。另外，本发明的任务还在于，提供除了上述各种性能外还具有良好的渗碳性能的低碳易切削钢。

众所周知，硫化物等夹杂物的状态对于钢的切削性能影响很大。在含有C、Ti、S、N、O的钢中观察到的夹杂物有各种各样，例如Ti硫化物、Ti碳硫化物、Ti碳化物、Ti碳氮化物、Ti氮化物、Ti氧化物。此外，如果还含有Mn的话，钢中还存在由化学式“MnS”表示的Mn硫化物。除了这些夹杂物之外，如果钢中含有Al和Si，那么还存在这些元素的氧化物。这些夹杂物存在的形态多种多样，夹杂物的组成和存在形态对于钢的切削性能和其它机械性能等影响很大。

在此之前，本发明人等曾经就不含有Pb的低碳的硫易切削钢申请了专利（专利申请号：2002-26368号）。该易切削钢的特征是，含有规定量的C、Mn、S、Ti、Si、P、Al、O和N，Ti和S的含量满足下列（A）式，Mn与S的原子比满足下列（B）式，并且，含有内部存在Ti硫化物或/和Ti碳硫化物的MnS。

$$\text{Ti (质量\%)} / \text{S (质量\%)} < 1 \cdots (A)$$

$$\text{Mn} / \text{S} \geq 1 \cdots (B)$$

与Pb易切削钢相比，这种钢的刀具寿命要好得多，而且还具有良好的切屑处理性。但是，这种钢在切削后的表面性状方面存在一些问题，即，在进行精切削之后，有时加工表面的粗糙度增大的问题明显。

当基体中存在实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物时，难以获得MnS的拟润滑效果，因而切削抗力升高，在刀具的刀刃处容易形成刀瘤，因而切削后钢材的表面粗糙度不佳，加工表面粗糙度劣化。上面所述的“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”，是指在一个夹杂物中Ti硫化物和Ti碳硫化物所占的面积比率合计为50%以上的夹杂物，在后面的图1(a)中示出了几个这样的夹杂物。

为了解决上述问题，本发明人进行了研究，结果得出了下面所述的新的认识。

(1) 在对基体中存在“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”的钢进行切削时，刀具的刀刃上形成刀瘤，使加工表面粗糙度劣化。

(2) 尽可能地抑制“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”的生成并使钢中存在许多MnS，可以抑制刀瘤的形成，获得良好的加工表面粗糙度。

(3) 但是，不含Ti、只存在MnS的钢，硬质合金刀具的寿命劣化。为了提高硬质合金刀具的寿命，必须添加Ti，并且使钢中含有“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”。

(4) “内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”提高了刀具的寿命，而且不损害MnS的拟润滑效果。

基于上述认识，本发明人进一步深入研究了化学成分与夹杂物形态的关系，结果发明了下面所述的低碳易切削钢。该低碳易切削钢具有与Pb易切削钢和复合易切削钢同等以上的切削性能。另外，下面涉及成分含量的%是质量%。

一种低碳易切削轧制钢材，其特征在于，C：0.05%至0.20%不到、Mn：0.4—2.0%、S：0.01—0.03%、Ti：0.002—0.01%、P：0.001—0.03%、Al：0.2%以下、O（氧）：0.001—0.03%、N：0.0005—0.02%，余量为Fe和不可避免的杂质，钢中所含的夹杂物满足下列(1)式和(2)

式,

$$(A+B) / C \geq 0.8 \dots (1)$$

$$N_A \geq 5 \dots (2)$$

式中, A、B、C和 N_A 的含义如下:

A: 在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径 $1\ \mu\text{ m}$ 以上的夹杂物中, 内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS所占的总面积;

B: 在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径 $1\ \mu\text{ m}$ 以上的夹杂物中, 内部不存在Ti碳化物和Ti碳氮化物的实质的MnS所占的总面积;

C: 在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径 $1\ \mu\text{ m}$ 以上的所有夹杂物所占的总面积;

N_A : 在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、当量圆直径 $1\ \mu\text{ m}$ 以上的夹杂物中, 内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS的个数。

上述低碳易切削钢可以含有选自下列第1组至第3组中的至少一组中的1种以上的成分。

第1组:

Se: 0.0005—0.10%、Te: 0.0005—0.10%、Bi: 0.01—0.3%、Sn: 0.01—0.3%、Ca: 0.0001—0.01%、Mg: 0.0001—0.005%、B: 0.0002—0.02%以及稀土元素: 0.0005—0.02%。

第2组:

Cu: 0.01—1.0%、Ni: 0.01—2.0%、Mo: 0.01—0.5%、V: 0.005—0.5%和Nb: 0.005—0.5%。

第3组:

Si: 0.1—2.0%和Cr: 0.03—1.0%。

这里所说的“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”, 如下面所述, 是指在一个夹杂物中MnS所占的面积率为50%以上、

内部还有Ti碳化物或/和Ti碳氮化物存在(共存)的夹杂物。另外,所说的“内部不存在Ti碳化物和Ti碳氮化物的实质的MnS”,是指在一个夹杂物中MnS所占的面积率为50%以上、内部没有Ti碳化物和Ti碳氮化物存在(共存)的夹杂物。此外,这些“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”和“内部不存在Ti碳化物和Ti碳氮化物的实质的MnS”,其内部都可以存在Ti碳化物和Ti碳氮化物以外的硫化物、碳硫化物、碳化物、氮化物等。

上述本发明的低碳易切削钢的主要特征如下。

(1) 含有C: 0.05%至0.20%不到, S: 0.21%—1.0%, 并且Ti的含量为0.002—0.1%。

(2) Ti与C、S、N和O结合,形成硫化物、碳硫化物、碳化物、碳氮化物和氧化物。与Mn相比, Ti形成硫化物的倾向更强,因而容易形成Ti硫化物和Ti碳硫化物。但是,只要慎重地考虑Mn和Ti、S以及N的含量平衡,就不会生成许多“实质的Ti碳硫化物或/和Ti硫化物”,可以存在许多“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”和“内部不存在Ti碳化物和Ti碳氮化物的实质的MnS”。

(3) 在采用上述(1)中所述的化学组成并且得到上面(2)中所述的夹杂物形态的场合,存在于基体中的夹杂物,在切削过程中软化、发挥润滑效果的“实质的MnS”占了所有夹杂物的一大半,这种“实质的MnS”以外的硫化物即“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”基本上不存在。这时,为了获得良好的加工表面粗糙度,在所有夹杂物的生成量中“实质的MnS”的生成量必须占大部分。具体地说,在轧制方向的断面的观察面上 1mm^2 内,当量圆直径为 $1\mu\text{m}$ 以上的“实质的MnS”的总面积必须占当量圆直径 $1\mu\text{m}$ 以上的所有夹杂物的总面积的8成以上。只有在这种情况下,才能抑制由于“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”的存在而引起刀具的刀刃处生成刀瘤,获得良好的加工表面粗糙度。

上面所述的“实质的MnS”,是在一个夹杂物中MnS所占的面积率为50%以上的夹杂物,它由“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”和“内部不存在Ti碳化物和Ti碳氮化物的实质的MnS”构成。

如同上面的(1)式所示,“占8成以上”的是(1)式中的“A+B”。A和B的定义是,在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径为 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以上的硫化物中,“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”所占的面积和“内部不存在Ti碳化物和Ti碳氮化物的实质的MnS”所占的面积。

另外,“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”、“内部不存在Ti碳化物和Ti碳氮化物的实质的MnS”、“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”以及其它的硫化物、碳硫化物、碳化物、氮化物、氧化物、 Al_2O_3 、 SiO_2 等的总面积合计量是(1)式中的C。

(4)即使是含有上述(3)中所述的夹杂物的钢材,即,基本上不存在“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”,钢中所含有的夹杂物大部分是“实质的MnS”,但只要存在“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”,在切削温度升高的高速度区域切削时,由于刀具表面上形成硬质的TiN膜,保护了刀具,就可以获得良好的刀具寿命。

(5)在存在“内部存在Ti碳化物或/和碳氮化物的实质的MnS”的钢中,这种“实质的MnS”与以往的JIS SUM 22L-24L的复合易切削钢中所含的MnS相比,细小而且个数增多。在这种场合,这些细小的“实质的MnS”形成切削过程中的应力集中的起点,有助于裂纹扩展,因而可以获得与复合易切削钢同等以上的切屑处理性。

(6)含有“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”的钢,热加工性能完全不存在问题,因而可以增加有效改善切削性能的S含量,在这种场合,对于采用连续铸造设备制造来说不会产生任何障碍。另外,由于添加少量的Ti就可以充分发挥效果,因而制造成本减小,可适合于制造廉价的钢材。

如上所述,只要限定合金成分的范围,调整夹杂物的形态,就能获得良好的切削性能。但是,汽车部件所使用的钢材,除了切削性能之外,有时还希望具有良好的渗碳性能。因此,本发明人对于Si和Cr对钢的性能的影响进行了调查,结果发现,通过调整Si量和Cr量,不会损害上述夹杂物的形态,因而钢材的切削性能不会劣化,可以改善渗碳性能。

Si和Cr固溶于奥氏体中,提高钢的淬透性,增大渗碳处理时的渗

碳深度和渗碳层的硬度。除了 Si 和 Cr 外，提高淬透性的元素还有 Mn、Mo、P 等。但是，从切削性能或热加工性能的角度考虑，相对于 S 量来说必须含有足够量的 Mn，需要大量添加。在这样情况下，为了提高淬透性，进一步添加 Mn 会导致制造成本增大。另外，Mo 也能有效地提高钢的淬透性，但 Mo 的价格比 Si 和 Cr 高，因而，如果添加获得同等效果的相当量的 Mo，制造成本就将增大。P 也具有同样的效果，但添加 P 时，钢材本身的硬度急剧增大，致使切削性能劣化。另外，在不受材料成本限制的场合，这些元素也可以在不损害切削性能和机械性能的范围内添加。但是，在希望不损害切削性能并且以低的生产成本制造的场合，作为改善渗碳性能的成分优先选用 Si 和 Cr。

附图说明

图 1 是表示本发明的钢和比较钢的夹杂物形态的示意图。

图 2 是表示本发明的钢和比较钢的 $(A + B) / C$ 与平均加工表面粗糙度的关系的图。

图 3 是表示本发明的钢和比较钢的平均加工表面粗糙度与刀具寿命的关系的图。

图 4 是表示本发明的钢和比较钢的切屑处理性与刀具寿命的关系的图。

具体实施方式

1. 关于“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”

Ti 与 S、C、N、O 结合，形成由化学式 TiS 和 $Ti_4C_2S_2$ 表示的 Ti 硫化物和 Ti 碳硫化物，由化学式 TiC 和 $Ti(CN)$ 、 TiN 、 TiO 表示的 Ti 碳化物、Ti 碳氮化物、Ti 氮化物、Ti 氧化物等 Ti 系夹杂物。另外，有时候，Ti 固溶于 MnS 中，以 $(Mn, Ti)S$ 和形式存在，但这种固溶于 MnS 中的 Ti 是极其微量的，因而这种硫化物实质上是 MnS。

还有的时候，Ti 不固溶于 MnS 中，在一个夹杂物中与 MnS 明显地相分离存在。该 Ti 是以 TiC 或 / 和 $Ti(C, N)$ 的形式存在，即以与

MnS 的组成明显不同的形式存在，其存在的形态是多种多样的，例如存在于一个硫化物的周围附近，或者以被包围在 MnS 中的形式存在等等。

图 1 是在含 Ti 的易切削钢中存在的夹杂物的示意图，其中，(a) 是比较例的易切削钢，(b) 是本发明的易切削钢。在图 1 (a) 所示的钢中，存在许多单独存在的 Ti 的硫化物和碳硫化物，或者在一个夹杂物中与 MnS 共存的场合 Ti 的硫化物和碳硫化物所占的面积率为 50% 以上、实质上可以看作是 Ti 的硫化物和碳硫化物的夹杂物，即前面所述的“实质的 Ti 硫化物或 / 和 Ti 碳硫化物”。另一方面，在图 1 (b) 所示的本发明钢中，存在许多 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物被收入 MnS 的外周部或内部存在的夹杂物，即“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”和“内部不存在 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”。

上述图 1 (b) 所示的钢，Ti 硫化物和 Ti 碳硫化物或者 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物、Ti 氮化物、Ti 氧化物以及其它的夹杂物与 MnS 明显相分离存在的场合，MnS 所占的面积率为 50% 以上者，被认为实质上是一个 MnS，即“实质的 MnS”。反之，在一个夹杂物中，这些 Ti 系夹杂物或由其它成分构成的氧化物、氮化物、碳化物等所占的面积率为 50% 以上的夹杂物，不是“实质的 MnS”，实际上被认为是一个 Ti 系夹杂物及由其它成分构成的氧化物、氮化物、碳化物等。

在上述 MnS 中，特别是将 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物与 MnS 明显相分离地存在且 MnS 所占的面积率为 50% 以上的夹杂物定义为“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”。另一方面，所谓“内部不存在 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”，是指除了 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的上述 Ti 系夹杂物或者由其它成分构成的氧化物、氮化物、碳化物等夹杂物与 MnS 在一个夹杂物中明显地相分离存在、并且 MnS 所占的面积率为 50% 以上，实质上承担 MnS 的作用的 MnS，以及完全不存在上述 Ti 系夹杂物和由其它成分构成的氧化物、氮化物、碳化物等夹杂物的 MnS。即，“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”和“内部不存在 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”的合计，表示实质上被视为 MnS 的夹杂物（上述的“实质的 MnS”）的合计，除此之外的夹杂物是 Ti 硫化物、Ti 碳硫化物、Ti 碳化物、

Ti 碳氮化物、Ti 氮化物、Ti 氧化物等 Ti 系夹杂物以及由其它元素构成的氧化物、碳化物和氮化物等。

上面所述的在一个夹杂物中 MnS 或 Ti 系夹杂物所占的面积率,可以通过使用 E P M A (电子探针显微分析仪)和 E D X (能量分散型 X 射线分析装置)等对由供切削试验用的圆棒上切取的显微试验片进行面分析和定量分析来确定。另外,钢中的“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”和“内部不存在 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”以及其它的夹杂物也可以用同样的方法确认,其总面积和个数也可以采用图像分析等方法进行测定。此时,可以在许多个视野中进行测定,使观察视野的面积总和超过 1 mm^2 ,然后将各夹杂物的总面积和个数换算成每 1 mm^2 的平均总面积和平均个数。

2. 规定 $(A + B) / C \geq 0.8$ 的依据

在上述 (1) 式中, A 是在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径 $1 \mu\text{m}$ 以上的夹杂物中、“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”所占的总面积, B 是在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内的当量圆直径 $1 \mu\text{m}$ 以上的夹杂物中、“内部不存在 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”所占的总面积。这里所说的“当量圆直径”,是指采用上述图像分析方法求出一个夹杂物的面积、换算成具有相同面积的圆时的直径。限定“当量圆直径为 $1 \mu\text{m}$ 以上”,是因为小于 $1 \mu\text{m}$ 的夹杂物对于切削性能基本上没有影响。

上述的 (1) 式表示, A 与 B 的合计量必须在当量圆直径 $1 \mu\text{m}$ 以上的所有夹杂物所占的总面积的 80% 以上。只要在这个范围内就能获得良好的切削性能,更优选的范围是 90% 以上。另外,如上所述,由 A 和 B 表示的以外的夹杂物,是指单独存在的氮化物、碳化物、氧化物、“实质的 Ti 硫化物或 / 和 Ti 碳硫化物”等。即, (1) 式表示,“实质的 MnS”以外的那些夹杂物的总面积小于所有夹杂物所占的总面积 ((1) 式中的 C) 的 20%,更优选的是该总面积小于 10%。

如果为了提高切削性能,在含有大量 S 的钢中添加 Ti,由于 Ti 比 Mn 形成硫化物的倾向更强,因而容易形成 Ti 硫化物和 Ti 碳硫化物。但是,虽然本发明中规定的 (1) 式是以添加 Ti 为前提,但其意图是抑制

Ti 硫化物和 Ti 碳硫化物的生成。这是因为，在切削过程中 Ti 硫化物和 Ti 碳硫化物阻碍了 MnS 的拟润滑效果。一旦 MnS 的拟润滑效果受到损害，刀具与被切削材料之间的磨擦力就会升高，在刀具的刀刃部形成刀瘤，致使加工表面粗糙度劣化。因此，必须抑制 Ti 硫化物和 Ti 碳硫化物的生成。即，按（1）式中规定的那样，钢中基本上没有单独存在的“实质的 Ti 硫化物或 / 和 Ti 碳硫化物”，钢中所含有的夹杂物的 80% 以上为“实质的 MnS”，这样就可以获得切削时的拟润滑效果。

这样，限定于本发明所规定的钢的组成范围并且满足（1）式的场合，在精切削时可以获得与以往的 Pb 易切削钢和复合易切削钢同等以上的良好的加工表面粗糙度。另一方面，即使在本发明规定的化学成分范围内，如果不满足（1）式，也不能得到良好的切削性能。

3. 规定 $N_A \geq 5$ 的依据

上述（2）式中的 N_A ，是“在平行于轧制方向的断面上 1 mm^2 内、在当量圆直径 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以上的夹杂物中、内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS 的个数”。如上所述，“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”是指在一个夹杂物中 MnS 所占的面积率为 50% 以上。这种“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”基本上不损害拟润滑效果，因而不容易形成刀瘤，被切削材料的加工表面粗糙度不会劣化。

另外，使用硬质合金刀具在超过 100 米 / 分的高速区域切削含有“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”的钢，然后仔细观察该刀具表面时，发现刀具的表面上形成了 TiN。据认为，切削过程中在与被切削材料接触的刀具表面上，由于磨擦引起温度升高，随着温度上升，Ti 系夹杂物发生反应而变质，形成厚度为几 $\mu\text{ m}$ 至几十 $\mu\text{ m}$ 的层状的硬质 TiN。TiN 的存在可以通过下述方法确认，即，切削结束后，采用 Ar 溅射除去刀具表面的碳素类污染（油分等），用 AES（俄歇电子分光）或 EPMA（电子探针显微分析仪）对刀具表面进行面分析和点分析。根据这些分析结果，附着在刀具上的 TiN 的表面积是被切削材料与刀具的接触表面的 10—80%，其余部分是切削加工时附着的 MnS 以及 Fe 或没有附着物的刀具基体。由于刀具表面上形成了这种硬质的 T

i N，抑制了刀具的热扩散磨损和由于硬质夹杂物引起的机械磨损，与以往的硫易切削钢以及硫和铅的复合易切削钢相比，可以获得极好的刀具寿命。

为了获得上述效果，只要在轧制方向的断面观察面上 1 mm^2 内存在 5 个以上、最好是 10 个以上“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”即可。

另一方面，即使在本发明规定的化学组成范围内，如果不满足 (2) 式的条件，也不可能获得良好的切削性能。

在添加了 Ti 且形成满足 (1) 式和 (2) 式的夹杂物形态的钢中，MnS 非常细小地存在。即，MnS 的个数显著增多。这种微小的 MnS，成为切削时产生的切屑的应力集中点，有助于切屑内的裂纹扩展，因而提高了切屑处理性。

综上所述，只要使钢中稳定地含有“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”，在轧制方向断面的观察面上 1 mm^2 内有 5 个以上，在轧制方向断面的观察面上 1 mm^2 内的“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”和“内部不存在 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”的合计总面积是所有夹杂物总面积的 8 成以上，如上面所述，就可以获得与铅易切削钢和复合易切削钢同等以上的刀具寿命、加工表面粗糙度和切屑处理性。为了更稳定地实现这样的夹杂物形态，采用连续铸造法以低的生产成本制造具有良好切削性能的钢材，必须考虑 Mn、Ti、S 和 N 和含量的平衡。具体地说，只要按以下所述即可。

$$(a) \text{ Ti} (\%) / \text{ S} (\%) \leq 0.25$$

相对于 S 量添加较多的 Ti 即以质量%比计算 Ti / S 超过 0.25 时，钢中存在很多 Ti 硫化物和 Ti 碳硫化物。结果，不能满足 (1) 式，由 MnS 产生的拟润滑效果受到损害。此时，切削抗力升高，在刀具的刀刃部往往容易形成刀瘤，结果，精切削时表面粗糙度劣化，加工精度变差。

反之，相对于 S 量添加微量的 Ti 即二者的质量比 Ti / S 为 0.25 以下时，Ti 形成 Ti 碳化物或 Ti 碳氮化物，基本上没有单独地存在“实质的 Ti 硫化物或 / 和 Ti 碳硫化物”。

Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物以各种各样的形态析出，有的时候它们存

在于一个MnS的内部。使用硬质合金刀具高速切削含有“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”的钢时,可以获得良好的刀具寿命,即,要想抑制单独存在的“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”的生成,只要将Ti(%) / S(%)调整到0.25以下就可以。

(b) Mn和S的量以原子比计 $[Mn] / [S] \geq 1$

S是热加工时引发裂纹的元素。不过,只要维持适当的组成,以原子比即以原子数(摩尔数)之比计使 $[Mn] / [S] \geq 1$, Mn就会形成MnS结晶析出,即使Ti(%) / S(%) ≤ 0.25 ,热加工性能也不会出现问题。另外,只要在这个范围内,例如在采用连续铸造制造的前提下,热加工性能不存在任何问题,因而可以添加较多的S,增加可有效改善切削性能的MnS,并且,即使是较高的S含量,也不会损害由(1)式和(2)式表示的夹杂物形态。

在 $[Mn] / [S] < 1$ 的场合,如果添加的Ti量超过S量,FeS大量固溶于MnS和TiS中的硫化物就会成为主体,不能改善热加工性能。另外,即使 $[Mn] / [S] < 1$,如果添加的Ti量超过S量,也可以改善热加工性能。但是,在这种场合,由于Ti形成硫化物的倾向比Mn大,因而生成的主要硫化物不是MnS,比MnS硬质的Ti硫化物或Ti碳硫化物成为主体。在这种情况下,如上所述,切削时在刀具与被切削材料之间不能得到由软质的硫化物产生的拟润滑效果,切削抗力升高,加工表面粗糙度劣化。即,以原子比计将Mn和S的量限定为 $[Mn] / [S] \geq 1$,具有由MnS产生的提高切削性能的效果同时还可以得到良好的热延展性能,因而是所希望的条件。

(c) Ti(%) / N(%) ≥ 1.35

本发明的易切削钢的主要特征在于,含有“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”。假如Ti(%) / N(%) < 1.35 ,有时候不能充分获得“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”。在这种情况下,添加的Ti大部分在凝固的初期阶段形成TiN结晶析出,因而不能确保形成“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”所需要的足够的Ti。因此,Ti(%) / N(%)在1.35以上为宜,为了更稳定地获得“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化

物的实质的MnS”， $Ti(\%) / N(\%)$ 在1.5以上即可。

4. 化学组成的限定依据

下面说明在本发明中限定化学组成的依据以及各种成分的作用和效果。

C: 0.05%至0.20%不到

C是对于切削性能影响很大的重要元素。C含量在0.20%以上时，钢材的强度提高，切削性能劣化，因而不适合于特别要求切削性能的用途。但是，C含量低于0.05%时，钢材变得过于软质，在切削过程中产生啃削，加速了刀具的磨损，而且加工表面粗糙度增大。因此，适宜的C含量是0.05%至0.20%不到。为了获得更好的切削性能，C含量的优选范围是0.07—0.18%。

Mn: 0.4—2.0%

Mn与S形成硫化物类夹杂物，是对于切削性能产生较大影响的重要元素。其含量低于0.4%时，形成的硫化物绝对量不足，不能获得满意的切削性能。另外，Mn是提高钢的淬透性的元素，因而在希望获得良好的渗碳性能の場合，可以增加其含量。但是，为了使Mn与S形成MnS，在含有大量S的本发明钢中必须含有大量的Mn。如果为了提高渗碳性能而添加Mn，Mn的含量增加，从制造成本的角度考虑是不利的。因此，将Mn含量的上限规定为2.0%。超过2.0%时，钢材的强度升高，切削抗力增大，而且刀具的寿命降低。为了减小切削抗力、提高刀具寿命、改善切屑处理性、提高加工表面粗糙度、改善热加工性能，Mn的含量与S含量的关系是重要的。为了确实可靠地获得这些性能，Mn的含量优选的是0.6—1.8%。

S: 0.21—1.0%

S与Mn形成硫化物，是有效改善切削性能的元素。MnS所产生的提高切削性能的效果随着其生成量而提高，因而S含量的选择是重要的。其含量低于0.21%时，不能获得足够量的硫化物类夹杂物，无法得到满意的切削性能；反之，通常S含量超过0.35%时，热加工性能劣化，促进了钢锭中央部位的S偏析，锻造时引发裂纹，但只要保持适当的组成，就可以将其上限提高到1.0%。为了利用MnS改善切削性能，优选的

是添加更多的S，添加0.35%以上更好，最好是超过0.40%。但是，添加过多时，回收率恶化，导致生产成本升高，因而S含量的优选的上限值是0.70%。

Ti: 0.002—0.10%

Ti与N和C形成Ti碳化物或/和Ti碳氮化物，是使钢中存在内部含有这些化合物的MnS所必不可少的重要元素。如上所述，如果钢材中含有“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”时，使用硬质合金刀具高速切削时，刀具的寿命大幅度提高。为了存在这样的MnS，其含量必须在0.002%以上，不过，为了使其稳定地分散于钢中，不使加工表面粗糙度劣化，获得良好的刀具寿命，必须考虑Ti的含量与S和N的含量之间的平衡。另外，Ti含量超过0.10%时，由于钢中存在“实质的Ti硫化物或/和Ti碳硫化物”，使得精切削时加工表面粗糙度劣化。因此，将Ti含量的上限定为0.10%。为了更稳定地获得良好的加工表面粗糙度，Ti含量优选在0.08%以下，更优选的是小于0.03%。

另一方面，Ti的含量低于0.002%时，不能生成提高刀具寿命所需要的足够量的“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”。为了确实可靠地生成这种MnS，提高硬质合金刀具寿命，希望Ti的含量超过0.01%。

P: 0.001—0.30%

P提高钢的淬透性，同时还提高钢的强度。为了获得这种效果，其含量在0.001%以上即可。另外，只要其含量在0.30%以下，切削性能就不会劣化，可以确保淬透性和强度，不过，其含量超过0.30%时，钢的强度过高，不仅切削性能劣化，而且促进了钢锭中的偏析，致使热加工性能恶化。因此，将P的含量规定为0.001—0.30%。对于稳定地保持良好的切削性能和强度，更优选的含量范围是0.005—0.13%。

Al: 0.2%以下（也可以不添加）

Al被用来作为强脱氧剂，其含量在0.2%以下就可以。但是，脱氧生成的氧化物是硬质的，如果含量超过0.2%，就会生成大量的硬质

氧化物，致使切削性能劣化。因而，优选的是0.1%以下。另外，在添加C和Mn就可以充分脱氧的场合，也可以不添加Al，其含量也可以是0.002%以下的杂质含量水平。

O (氧): 0.001—0.03%

氧在本发明钢中的效果并不因为脱氧状态而受到损害，含有适量的氧，固溶于MnS中，可以防止由于轧制而引起的MnS的延伸，改善机械性能的各向异性。另外，氧对于切削性能、热加工性能和S偏析的改善也是有效的。但其含量超过0.03%时，引起熔炼时耐火材料的劣损。因此，将氧含量的范围规定为0.001—0.03%。为了适当地获得上述效果，更优选的含量范围是0.0015—0.01%。

N: 0.0005—0.02%

N容易与Al和Ti形成硬质的氮化物，这些氮化物具有细化晶粒的作用。但是，如果大量存在这些氮化物，容易加速刀具的损耗，致使切削性能劣化。在本发明的钢中，由于Ti是必须添加的成分，因而N的含量越少越好，不过，为了获得上述效果，规定含有0.0005%以上。另一方面，N含量过多时，形成粗大的TiN，有可能损害切削性能，因而将N的含量上限规定为0.02%。为了确保更好的切削性能，N含量的上限优选的是0.015%。另外，在本发明中是利用“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”的存在来提高切削性能，为了使钢中稳定地存在这样的MnS，Ti和N应满足 $Ti(\%) / N(\%) \geq 1.35$ 。这是因为，如上所述， $Ti(\%) / N(\%) < 1.35$ 时，添加的Ti大部分在凝固的初期阶段生成TiN，不能稳定地获得“内部存在Ti碳化物或/和Ti碳氮化物的实质的MnS”。

通过按以上所述分别调整含量的各元素构成的化学组成以及(1)式和(2)式所规定的夹杂物形态，可以得到具有良好的切削性能、热加工性能和加工表面性状的低碳易切削钢。

本发明的低碳易切削钢，可以进一步含有选自下列第1组至第3组的至少1组中的1种以上的成分。

(1) 第1组元素

第1组元素是在上述主要成分之外、不损害本发明的效果、进一步提

高钢的切削性能的元素。因此，为了获得更好的切削性能，可以含有1种以上的这些元素。

Se: 0.0005—0.10%、Te: 0.0005—0.10%

Se和Te，与Mn生成Mn(S, Se)和Mn(S, Te)。这些夹杂物与MnS同样，在切削过程中起到拟润滑作用，是有效改善切削性能的元素，为了进一步提高切削性能可以在上述范围内含有这些元素。但是，它们各自的含量低于0.0005%时，效果不足，反之，Se和Te的含量超过0.10%时，效果达到饱和，不仅不经济，而且热加工性能劣化。为了更稳定地兼具良好的热加工性能和切削性能，它们各自的含量最好是0.0010—0.05%。

Bi: 0.01—0.3%、Sn: 0.01—0.3%

Bi和Sn具有改善钢的切削性能的作用。据认为，这是由于它们与Pb同样，形成低熔点金属夹杂物，在切削时发挥润滑的作用所致。为了确实可靠地获得这种效果，它们各自的含量在0.01%以上为宜。但是，其含量分别超过0.3%时，上述效果达到饱和，而且使热加工性能劣化。为了更稳定地兼具良好的热加工性能和切削性能，它们的含量最好是分别为0.03—0.1%。

Ca: 0.0001—0.01%

Ca对于S和O（氧）具有很高的亲和力，在钢中形成硫化物和氧化物。另外，Ca固溶于MnS中，形成(Mn, Ca)S，但其中固溶的Ca是微量的，因而不会损害MnS的效果。另外，由Ca形成的氧化物是低熔点氧化物，在本发明的钢中是进一步提高切削性能的有效添加元素。要想确实可靠地获得添加Ca产生的改善切削性能的效果，Ca的含量下限应为0.0001%。但是，由于Ca的添加有效利用率很差，为了提高Ca的含量，必须添加大量的Ca，从生产成本角度考虑是不利的。因此，将Ca含量的上限规定为0.01%，优选的上限值是0.005%。

Mg: 0.0001—0.005%

Mg在钢中对于S和O（氧）也具有高的亲和力，形成硫化物或氧化物。含有Mg的硫化物和氧化物起到MnS的晶核的作用，具有抑制MnS伸长的作用。在需要获得这种效果的场合也可以添加。为了充分获得这种

效果，Mg 含量的下限优选在 0.0001% 以上，但是，Mg 所形成的氧化物是硬质的，如果 Mg 的含量过多，将导致切削性能劣化。因此将 Mg 的含量上限规定为 0.005%。为了兼具抑制 MnS 伸长的效果和良好的切削性能，优选的上限值是 0.002%。

B: 0.0002—0.02%

B 与 O（氧）或 N 结合形成氧化物或氮化物，具有提高切削性能的效果，可以根据需要添加。为了获得这种效果，其含量在 0.0002% 以上即可。为了更可靠地获得这种效果，希望其含量在 0.0010% 以上。但是，B 的含量超过 0.02% 时，不仅上述效果达到饱和，而且导致热加工性能劣化。

稀土元素: 0.0005—0.02%

稀土元素是被分类为镧系元素的一组元素。添加稀土元素时，通常使用以这些元素为主要成分的混合稀土合金等。本发明中的稀土元素含量用稀土元素中的 1 种或 2 种以上元素的合计量表示。稀土元素与氧形成氧化物，还与 S 结合形成硫化物，提高切削性能。为了确实可靠地获得这一效果，其含量在 0.0005% 以上即可。但是，其含量超过 0.02% 时，上述效果达到饱和。另外，稀土元素的添加有效利用率低，因此若要含有大量稀土元素不经济。

（2）第 2 组元素

第 2 组元素都是具有提高钢的强度的作用的元素。根据需要，可以含有其中的 1 种以上元素。

Cu: 0.01—1.0%

Cu 具有通过析出强化提高钢的强度的效果。为了获得这种效果，其含量必须在 0.01% 以上。为了更确实可靠地获得这种效果，希望添加 0.1% 以上。但是，其含量超过 1.0% 时，不仅热加工性能劣化，或者由于 Cu 的析出物粗大化使上述效果达到饱和，而且导致切削性能降低。

Ni: 0.01—2.0%

Ni 具有通过固溶强化提高钢的强度的效果。为了确实获得这种效果，其含量优选在 0.01% 以上。但是，其含量超过 2.0% 时，切削性能劣化，同时热加工性能也变差。

Mo: 0.01—0.5%

Mo 是可以提高淬透性的元素, 不过, 如果为了提高渗碳性能而添加获得与 Si 和 Cr 的添加同等效果的相当量的 Mo, 由于其价格高于 Si 和 Cr, 十分昂贵, 因而有制造成本增大的缺点。但是, Mo 还具有细化组织、改善韧性的效果, 在希望获得这些效果的场合也可以添加。为了确实获得这种效果, 其含量希望在 0.01% 以上。但超过 0.5% 时, 不仅上述效果达到饱和, 而且钢的生产成本增大。

V: 0.005—0.5%

V 形成细小的氮化物和碳氮化物析出, 提高钢的强度。其含量在 0.005% 以上时可以获得这种效果, 在希望更可靠地获得这种效果的场合, 优选的是含有 0.01% 以上。但其含量超过 0.5% 时, 不仅上述效果达到饱和, 而且生成过多的氮化物和碳化物, 导致切削性能降低。

Nb: 0.005—0.5%

Nb 形成细小的氮化物和碳氮化物析出, 提高钢的强度。其含量在 0.005% 以上时可以获得这种效果, 在希望更可靠地获得这种效果的场合, 优选的是含有 0.01% 以上。但其含量超过 0.5% 时, 不仅上述效果达到饱和, 生成过多的氮化物和碳化物, 导致切削性能降低, 而且也不经济。

(3) 第 3 组元素

第 3 组元素是在希望提高钢的渗碳性能的场合、可以在下述范围内含有其中的一种或二种的元素。

Si: 0.1—2.0%

在权利要求 1—4 所述的本发明的易切削钢中, 没有有意地添加 Si。因此, Si 是一种杂质, 其含量小于 0.1%。另外, 在权利要求 1—4 所述的本发明的易切削钢中, 有时为了使钢中的氧适量存在, 也添加 Si 作为脱氧元素, 但在这种情况下也不需要有意地残留, 钢中残留的 Si 是杂质, 其含量小于 0.1%。

另外, Si 固溶于铁素体中, 提高钢的强度, 同时还具有提高钢的淬透性的效果。通过提高钢的淬透性, 可以达到作为汽车部件所需要的提高渗碳性能的目的。仅限于这种场合, 可以含有 0.1% 以上的 Si。在希

望更确实可靠地提高渗碳性能の場合，希望其含量超过 0.6%，但含量超过 2.0% 时，热加工性能劣化，或者由于固溶强化铁素体相，使切削抗力提高，对切削性能产生不利的影响。另外，即使是小于 0.1% 的杂质含量水平，通过适当添加 C、Mn 和 Al，也可以使钢中的氧含量达到适当的范围。

Cr: 0.03—1.0%

Cr 提高钢的淬透性，少量添加就可以提高渗碳性能。含有 Cr 的钢，渗碳性能得到改善，渗碳处理后的渗碳层硬度较高，还可以提高有效硬化深度。为了获得这一效果，Cr 的含量在 0.03% 以上即可。另外，为了更确实可靠地提高渗碳性能，希望其含量高于 0.05%。但是，Cr 含量超过 1.0% 时，不仅切削性能劣化，而且制造成本增大。

含有上述 Si 或 / 和 Cr 时，可以获得具有良好的切削性能和热加工性能以及良好的渗碳性能的钢。

【实施例】

1. 试料的制备

使用高频加热感应炉制备具有表 1 和表 2 中所示的各种组成的 150 kg 钢锭（直径：约 220 mm）。表 1 中所示的是本发明的钢，表 2 中所示的是以往的钢或比较钢。为了稳定地生成“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”，将这些铸锭加热至 1250℃ 的高温，然后在该温度保持 2 小时以上，之后为了模拟所述轧制过程，在 1000℃ 以上进行精锻造，空冷后得到直径 65 mm 的圆棒。然后，将该延伸锻造材料加热至 950℃，保持 1 小时后空冷，进行正火处理。另外，比较例的钢 No 51—53 的热加工性能很差，锻造时产生裂纹，不能制成延伸锻造材料，因而未进行以下的调查。

表 1

钢No	化学成分 (质量%, 余量: Fe和杂质)													其它	[Mn]/[S] (原子比)	Ti/S (质量%比)	Li/N (质量%比)	(A+B)/C	N _A ≥5
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Cr	N	O	其它	其它							
1	0.05	<0.01	0.99	0.015	0.42	<0.001	0.092	—	0.0012	0.0096	—	—	—	1.11	0.22	17.00	0.95	○	
2	0.06	<0.01	1.13	0.019	0.41	<0.001	0.060	—	0.0085	0.0089	—	—	—	1.61	0.15	7.02	0.96	○	
3	0.09	0.06	0.97	0.032	0.44	0.002	0.009	—	0.0028	0.0018	—	—	—	1.28	0.02	3.21	0.99	○	
4	0.10	0.04	1.49	0.029	0.55	0.001	0.061	—	0.0047	0.0027	—	—	—	1.58	0.11	12.98	0.98	○	
5	0.10	0.05	1.58	0.032	0.49	<0.001	0.018	—	0.0047	0.0027	—	—	—	1.88	0.04	3.83	0.97	○	
6	0.10	<0.01	0.96	0.016	0.36	<0.001	0.087	—	0.0063	0.0046	—	—	—	1.56	0.24	13.79	0.88	○	
7	0.10	<0.01	0.85	0.018	0.35	<0.001	0.080	—	0.0085	0.0079	—	—	—	1.42	0.23	9.41	0.94	○	
8	0.12	0.04	1.10	0.030	0.38	<0.001	0.026	—	0.0125	0.0018	—	—	—	1.69	0.07	2.08	0.96	○	
9	0.13	<0.01	1.59	0.032	0.48	<0.001	0.024	—	0.0050	0.0043	—	—	—	1.95	0.05	4.80	0.98	○	
10	0.15	0.07	1.49	0.030	0.49	0.025	0.014	—	0.0047	0.0020	—	—	—	1.77	0.03	2.98	0.99	○	
11	0.18	0.03	1.52	0.058	0.47	0.002	0.021	—	0.0130	0.0036	—	—	—	1.89	0.04	1.62	0.96	○	
12	0.09	0.02	1.17	0.022	0.40	0.005	0.053	0.20	0.0054	0.0035	—	—	—	1.71	0.13	9.81	0.95	○	
13	0.11	0.46	1.60	0.020	0.60	<0.001	0.014	—	0.0101	0.0026	—	—	—	1.56	0.02	1.39	0.98	○	
14	0.12	1.28	1.46	0.015	0.44	0.002	0.024	—	0.0058	0.0027	—	—	—	1.93	0.05	4.14	0.98	○	
15	0.15	0.04	1.12	0.026	0.40	<0.001	0.027	0.50	0.0125	0.0038	—	—	—	1.63	0.07	2.16	0.96	○	
16	0.18	0.85	1.36	0.040	0.39	<0.001	0.021	—	0.0134	0.0031	—	—	—	2.04	0.05	1.57	0.97	○	
17	0.18	0.01	1.46	0.028	0.46	0.002	0.025	0.15	0.0048	0.0064	—	—	—	1.85	0.05	5.21	0.98	○	
18	0.14	0.06	1.65	0.028	0.45	0.002	0.018	—	0.0049	0.0024	Se:0.010	—	—	2.14	0.04	3.67	0.99	○	
19	0.08	0.13	1.60	0.030	0.42	<0.001	0.014	—	0.0095	0.0028	Te:0.015	—	—	2.22	0.03	1.47	0.98	○	
20	0.12	0.03	1.50	0.031	0.45	0.002	0.022	—	0.0120	0.0032	Bi:0.05	—	—	1.95	0.05	1.83	0.98	○	
21	0.16	0.01	1.35	0.025	0.42	0.002	0.028	—	0.0059	0.0055	Sn:0.04	—	—	1.88	0.07	4.75	0.98	○	
22	0.06	0.01	0.88	0.017	0.49	0.001	0.082	—	0.0082	0.0073	Ca:0.0029	—	—	1.05	0.17	13.27	0.99	○	
23	0.10	0.05	1.02	0.020	0.46	0.004	0.025	—	0.0037	0.0026	Mg:0.0015	—	—	1.29	0.05	6.76	0.97	○	
24	0.10	0.01	1.48	0.027	0.47	0.002	0.021	—	0.0095	0.0048	B:0.0025	—	—	1.84	0.04	2.21	0.97	○	
25	0.11	0.01	1.22	0.029	0.37	0.002	0.022	—	0.0124	0.0025	Os:0.10	—	—	1.92	0.06	1.77	0.98	○	
26	0.15	0.02	1.38	0.035	0.43	0.002	0.025	—	0.0045	0.0056	V:0.05	—	—	1.87	0.06	5.56	0.98	○	
27	0.12	<0.01	1.55	0.030	0.46	<0.001	0.026	—	0.0047	0.0050	Nb:0.12	—	—	1.97	0.06	5.53	0.98	○	
28	0.16	0.07	1.00	0.025	0.25	0.002	0.060	—	0.0101	0.0092	Ni:0.10	—	—	2.33	0.24	5.93	0.89	○	
29	0.10	0.03	1.40	0.038	0.41	0.002	0.029	—	0.0052	0.0064	Mo:0.10	—	—	1.99	0.07	5.58	0.97	○	
30	0.11	0.01	1.25	0.035	0.46	<0.001	0.025	—	0.0130	0.0048	Ca:0.0015, Mg:0.0018	—	—	1.59	0.05	1.92	0.97	○	
31	0.09	0.05	1.44	0.027	0.43	0.003	0.022	—	0.0112	0.0030	Bi:0.07, Nb:0.10	—	—	1.95	0.05	1.96	0.98	○	
32	0.10	0.02	1.46	0.026	0.42	0.003	0.022	—	0.0132	0.0024	Sn:0.07, V:0.10	—	—	2.03	0.05	1.67	0.98	○	
33	0.12	0.05	0.99	0.031	0.40	0.001	0.029	—	0.0085	0.0030	Ca:0.001, Mo:0.12	—	—	1.44	0.07	3.41	0.97	○	
34	0.10	0.03	1.52	0.032	0.45	<0.001	0.019	—	0.0080	0.0035	Fe:0.012, Ni:0.11	—	—	1.97	0.04	2.11	0.98	○	

表 2

钢 No	化学组成 (质量%, 余量: Fe 和杂质)													Ti/N (质量%比)	(A+B)/C	N _A ≥5
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Cr	N	0	其它	[Mn]/[S] (原子比)	Ti/S (质量%比)			
35	0.07	<0.01	1.02	0.070	0.32	0.002	—	—	0.0052	0.0150	*Pb: 0.31	1.86	—	—	—	—
36	0.08	0.01	1.12	0.060	0.31	0.002	—	—	0.0084	0.0145	*Pb: 0.18	2.11	—	—	—	—
37	0.08	0.01	1.02	0.067	0.33	0.002	—	—	0.0066	0.0150	—	1.80	—	—	—	—
38	0.06	0.06	0.86	0.020	0.42	0.001	*0.280	—	0.0050	0.0068	—	1.20	*0.67	56.0	*0.75	○
39	0.08	0.02	1.15	0.033	0.35	0.001	*0.250	—	0.0079	0.0052	—	1.92	*0.71	31.6	*0.70	○
40	0.10	0.01	1.12	0.028	0.36	<0.001	*0.330	—	0.0085	0.0053	—	1.82	*0.92	38.8	*0.65	○
41	0.18	0.03	0.47	0.016	0.29	0.003	*0.420	—	0.0059	0.0019	—	*0.95	*1.45	71.2	*0.20	○
42	0.10	0.01	1.05	0.013	0.39	0.001	0.006	—	0.0099	0.0035	—	1.57	0.02	*0.6	0.99	x*
43	0.09	0.35	1.21	0.025	0.30	0.001	0.009	—	0.0138	0.0084	—	2.35	0.03	*0.7	0.98	x*
44	*0.52	0.17	0.52	0.016	0.21	<0.001	0.050	—	0.0079	0.0180	—	1.45	0.24	6.4	0.96	○
45	*0.45	<0.01	0.85	0.019	0.32	0.002	0.078	—	0.0046	0.0058	—	1.55	0.24	17.0	0.95	○
46	*0.01	<0.01	0.98	0.016	0.33	0.002	0.067	—	0.0048	0.0048	—	1.73	0.20	14.0	0.96	○
47	0.10	0.02	1.45	0.016	0.49	*0.35	0.028	—	0.0057	0.0017	—	1.73	0.06	4.9	0.97	○
48	0.07	0.01	0.92	0.015	0.47	<0.001	0.056	*2.50	0.0075	0.0036	—	1.14	0.12	7.5	0.99	○
49	0.09	*2.55	1.56	0.020	0.45	0.001	0.065	—	0.0058	0.0024	—	2.02	0.14	11.2	0.98	○
50	0.05	<0.01	0.48	0.015	*0.15	<0.001	0.022	—	0.0095	0.0193	—	1.87	0.15	2.3	0.92	○
51	0.09	0.01	1.85	0.018	*1.14	0.001	0.102	—	0.0078	0.0128	—	*0.95	0.09	13.1	—	—
52	0.06	<0.01	*0.21	0.016	0.33	0.001	0.074	—	0.0073	0.0078	—	*0.37	0.22	10.1	—	—
53	0.08	<0.01	1.25	0.025	0.44	0.002	0.072	—	0.0050	0.0049	*Te: 0.12	1.66	0.16	14.4	—	—
54	0.06	<0.01	1.03	0.016	0.46	<0.001	0.045	—	0.0059	0.0085	*V: 2.0	1.31	0.10	7.6	0.99	○
55	0.15	<0.01	1.11	0.015	0.46	0.002	0.080	—	0.0078	0.0063	*Mo: 1.50	1.41	0.17	10.3	0.98	○

*表示不满足本发明规定的条件

2. 夹杂物形态的调查

在平行于轧制方向的断面上观察到的夹杂物，沿加工方向伸长的和不确定形状的居多。在调查夹杂物的个数和面积时，从延伸锻造材料的 $D_f / 4$ (D_f : 延伸锻造材料的直径) 部位的纵断面方向上切取用于观察显微组织的试验片，将其埋入树脂中，然后进行镜面抛光，用 400 倍的光学显微镜观察并进行照相，采用图像分析等方法求出夹杂物的个数和面积。此时，所针对的对象是换算成具有同样面积的圆时的直径(当量圆直径)为 $1 \mu\text{m}$ 以上的夹杂物。如上所述，将当量圆直径限定为 $1 \mu\text{m}$ 以上是因为小于 $1 \mu\text{m}$ 的夹杂物对于切削性能几乎没有什么影响。

另外，按下面所述确认这些夹杂物的组成。即，如上所述，从延伸锻造材料的 $D_f / 4$ (D_f : 延伸锻造材料的直径) 部位的纵断面方向上切取显微试验片，将该试验片埋入树脂中，然后进行镜面抛光，用 E P M A (电子探针显微分析仪) 和 E D X (能量分散型 X 射线分析装置) 等进行面分析和定时分析。此时的观察放大倍数可以在不超过 10000 倍的范围内选择，在该观察放大倍数下观察到在一个夹杂物中 MnS 与 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物明显相分离并且 MnS 的面积率为 50% 以上的夹杂物，就是“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”。根据这样观察的结果，求出当量圆直径 $1 \mu\text{m}$ 以上的各个“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”和“内部不存在 Ti 碳化物和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”的面积，计算出在轧制方向断面上 1mm^2 内的这些夹杂物的总面积，进而计算出轧制方向断面上 1mm^2 内的所有夹杂物所占的面积合计量，求出 $(A + B) / C$ 。

根据上述结果测定“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”的个数，对于在轧制方向断面上每 1mm^2 内的平均个数为 5 个以上的钢，标记为“O”。反之，对于“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”不到 5 个的钢，标记为“X”。另外，表 2 中所示的比较例的钢 № 35 - 37 是不含 Ti 的 Pb 易切削钢和 S 易切削钢，实质上不含“内部存在 Ti 碳化物或 / 和 Ti 碳氮化物的实质的 MnS”，因而未进行这些计算。

3. 切削性能试验

在切削性能试验中,使用将上述延伸锻造材料外表面切削至直径60 mm的圆棒,进行调查刀具寿命和加工表面粗糙度的试验。刀具寿命试验使用未进行涂覆处理的、J I S中规定的P 2 0硬质合金刀具,在切削速度:150米/分、进给量:0.10 mm/转、切削深度:2.0 mm以及干式切削的条件下进行车削,切削开始30分钟后测定平均后隙面磨损量。另外,对于30分钟内平均后隙面磨损量达到200 μ m以上的试验材料,测定其到达时间和当时的平均后隙面磨损量(V B)。

以平均厚隙面磨损量(V B)达到100 μ m的时间作为刀具寿命的指标进行评价。对于在试验过程中由于耐磨性良好、磨损速度极小而导致试验材料不够用的情况,根据车削时间—刀具磨损曲线采用回归分析计算出平均厚隙面磨损量达到100 μ m的时间。另外,在排出的切屑中选取200个有代表性的切屑,测定其重量,算出每单位重量的个数,评价切屑处理性。

加工表面粗糙度通过精切削后的表面粗糙度进行评价,使用触针式表面粗糙度测定仪评价按下列条件切削后的被切削材料的表面。所述的切削条件是,使用经过TiALN多层涂覆的J I S K硬质合金刀具,切削速度:100米/分,进给量:0.05 mm/转,切削深度:0.5 mm,在使用水溶性乳液型润滑油的湿式条件下车削。对于在上述条件下切削供试验用的钢1分钟后的试验片,使用触针式表面粗糙度测定仪,使触针沿着试验片的轴向移动,测定平均加工表面粗糙度(R a),评价加工表面粗糙度。

4. 热加工性能试验

为了模拟使用连续铸造设备的制造条件,以按照与上述同样方法制备的150 kg钢锭的靠近表面部的D i / 8 (D i:钢锭的直径)的位置为中心,从钢锭的高度方向切取直径10 mm、长度130 mm的高温拉伸试验片,固定间隔为110 mm,直接通电加热至1250 $^{\circ}$ C,保持5分钟后,以10 $^{\circ}$ C/秒的冷却速度冷却至1100 $^{\circ}$ C,保持10秒后以10⁻³/秒的应变速度进行拉伸试验。此时,测定断裂部位的断面收缩率,评价热加工性能。

5. 渗碳试验

按以下所述进行渗碳试验。即，使用直径 2.4 mm、长度 5.0 mm 的圆柱形的钢材作为试验片。该试验片是由上述直径 6.5 mm 的正火材料的 R/2 的位置上切取的。将该试验片加热至 900 °C 进行渗碳处理，然后在 850 °C 扩散处理。此时，渗碳时的碳势 (C. P.) 值是 0.8%，处理时间是 7.5 分钟，扩散时的 C. P. 值是 0.7%，处理时间是 2.0 分钟。将渗碳处理结束后的试验片放入 80 °C 的油中冷却，进行淬火处理。最后，将试验片加热至 190 °C，在该温度下保持 6.0 分钟进行回火处理。渗碳性能的评价方法如下面所述。

在经过渗碳淬火、回火处理的试验片的距离端部 2.5 mm 的位置（即长度方向的中央）的横断面上，测定从表面到内部的维氏硬度分布，求出 Hv 400 的有效硬化深度，判断该值比以往的铅复合易切削钢大还是小。以往的铅复合易切削钢是表 2 中的钢 № 3.5，其有效硬化深度是 0.25 mm。作为渗碳性能的评价，在有效硬化深度相对于钢 № 3.5 在 ±0.05 mm 即有效硬化深度为 0.20—0.30 mm 的场合，评价为同等；在不到 0.20 mm 的场合，评价为不如；在超过 0.30 mm 时，评价为优于。在表 3 和表 4 中用 ○、× 和 ⊙ 表示上述结果。在同等的场合为“○”，不如的场合为“×”，优于的场合为“⊙”。

以上试验结果汇总示于表 3 和表 4 中。另外，图 2 中示出 (1) 式的 $(A+B)/C$ 与加工表面粗糙度的关系，图 3 中示出加工表面粗糙度与刀具寿命的关系，图 4 中示出切屑处理性与刀具寿命的关系。

表 3

钢 No	断面收缩率 (%)	30 分钟后 刀具磨损量 (μm)	VB=100 μm 的时间 (分)	切屑处理性 (个数/g)	加工表面平均 粗糙度 (μm)	渗碳性能 评价
1	61.8	45	90	18	0.7	○
2	64.3	39	98	14	0.6	○
3	64.5	48	85	12	0.2	○
4	80.2	32	125	18	0.5	○
5	76.8	43	96	21	0.3	○
6	63.6	44	91	14	0.7	○
7	67.2	38	96	16	0.7	○
8	65.2	42	98	17	0.3	○
9	81.4	36	121	20	0.4	○
10	76.8	45	93	19	0.4	○
11	73.4	40	103	16	0.4	○
12	71.8	42	100	14	0.5	◎
13	64.7	45	93	18	0.2	◎
14	82.9	46	90	18	0.2	◎
15	65.2	42	98	17	0.4	◎
16	72.8	44	95	18	0.4	◎
17	80.1	42	95	12	0.4	◎
18	71.0	38	110	18	0.3	○
19	69.5	40	98	19	0.3	○
20	62.9	45	92	24	0.3	○
21	64.8	46	93	13	0.2	○
22	60.8	29	120	19	0.5	○
23	62.8	43	95	22	0.6	○
24	81.2	38	105	16	0.5	○
25	75.9	41	101	20	0.4	○
26	78.7	43	97	16	0.3	○
27	75.4	40	105	22	0.3	○
28	80.5	42	93	14	0.8	○
29	78.8	36	115	18	0.3	○
30	64.2	37	105	24	0.4	○
31	60.9	46	91	20	0.3	○
32	61.3	44	90	18	0.3	○
33	64.3	24	126	19	0.5	○
34	67.2	41	99	17	0.3	○

表 4

钢 No	断面收缩率 (%)	30 分钟后 刀具磨损量 (μm)	VB=100 μm 的时间 (分)	切屑处理性 (个数/g)	加工表面平均 粗糙度 (μm)	渗碳性能 评价
35	49.8	98	36	9	0.4	○
36	49.6	99	30	8	0.7	○
37	55.4	165	17	6	0.7	○
38	74.3	35	113	15	1.3	×
39	73.0	40	98	17	1.4	×
40	68.2	45	92	18	1.5	×
41	64.2	71	68	16	1.7	×
42	67.5	89	38	15	0.5	○
43	79.0	85	42	13	0.6	◎
44	52.8	93	36	12	1.3	◎
45	66.9	88	39	15	1.0	◎
46	57.5	103	29	8	1.6	×
47	78.7	101	30	16	0.3	○
48	56.0	232	12	12	1.8	◎
49	59.8	206	16	14	1.9	◎
50	65.3	129	20	9	1.3	○
51	6.4	—	—	—	—	—
52	4.3	—	—	—	—	—
53	3.4	—	—	—	—	—
54	59.5	198	17	15	1.8	○
55	58.5	264	10	10	1.9	◎

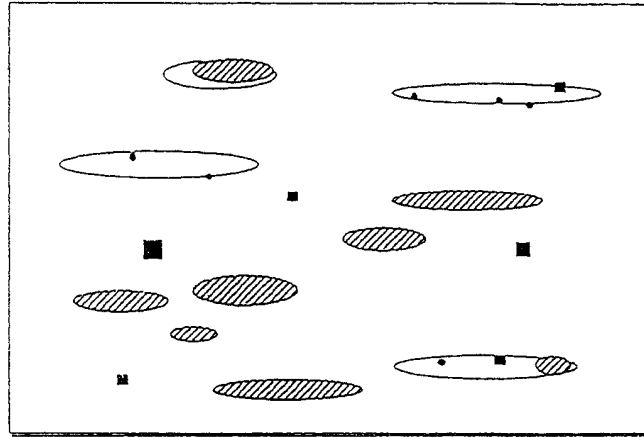
图2中的钢№35和36是复合易切削钢，钢№37是硫易切削钢，它们是迄今为止切削性能最好的钢。由表3、表4、图2和图3可以看出，本发明钢的刀具寿命和加工表面粗糙度都良好。另外，本发明钢№1—34具有良好的热加工性能，模拟使用连续铸造设备的实用制造条件的高温拉伸试验的断面收缩率，如表3中所示与复合易切削钢和硫易切削钢同等或更高，没有任何问题。

表1中的钢№12—17是为提高渗碳性能而在规定范围内含有Si和Cr中的至少1种的钢。在本发明的钢中，这些钢显示出特别优异的渗碳性能。另一方面，钢№35—55是夹杂物的形态和化学组成中有一方落在本发明规定的范围之外的钢，其刀具寿命、加工表面粗糙度、切屑处理性和热加工性能中至少有一种性能比本发明的钢差。

本发明的易切削钢，不含有Pb，具有与以往的Pb易切削钢和复合易切削钢同等以上的切削性能，而且切削后的加工表面性状也良好。另外，含有Si或/和Cr的钢还具有良好的渗碳性能。这种钢的热加工性能也良好，可以采用连续铸造法以低的生产成本制造。由于不含有Pb，不用担心环境污染。因此，本发明的易切削钢是非常适合用来作为各种机械部件的原材料的钢材。

以上尽管已详细说明了本发明的一些典型的具体实施例，但本领域的技术人员应该明白，在本质上不脱离本发明的宗旨的范围内对具体实施例可以进行一些修改。因此，所有这样的修改均应包括在本发明的范围之内。

(a) 比较钢



(b) 发明钢

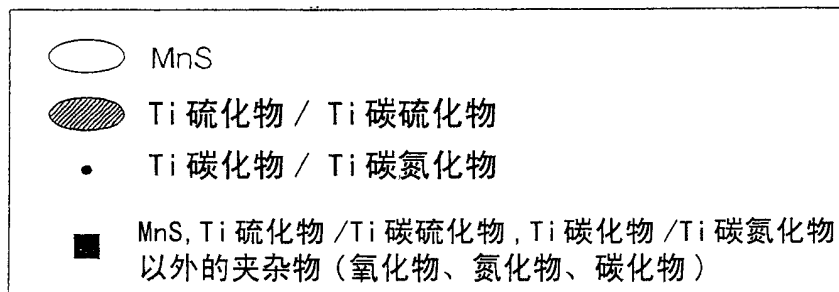
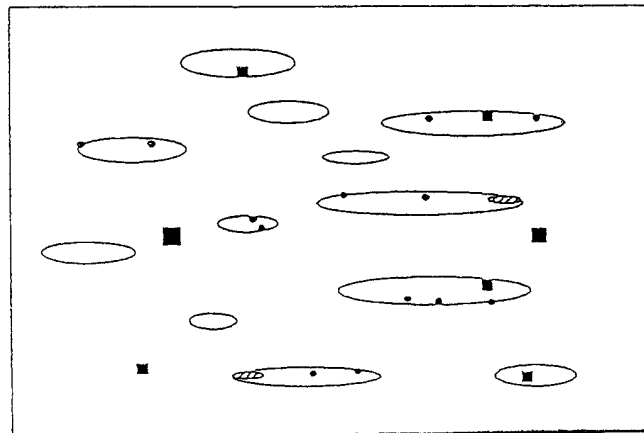


图 1

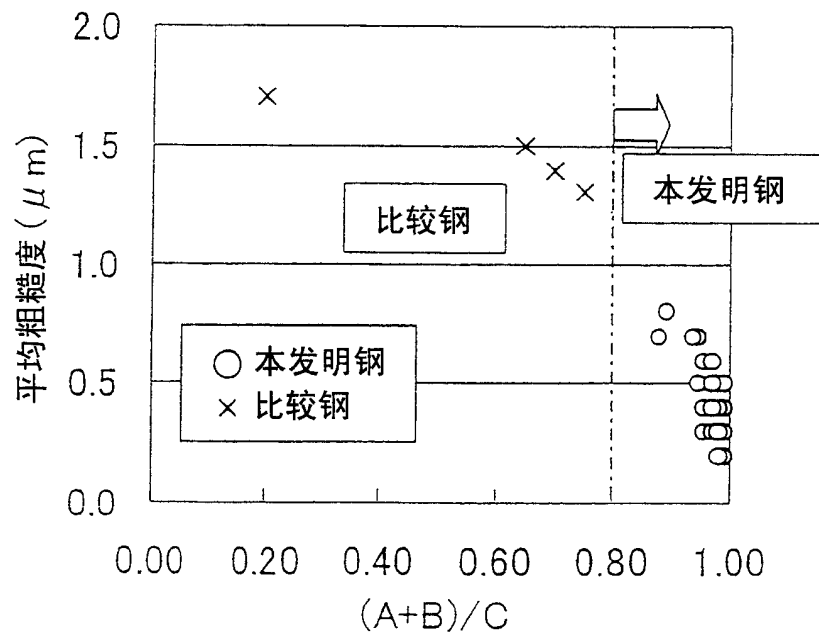


图 2

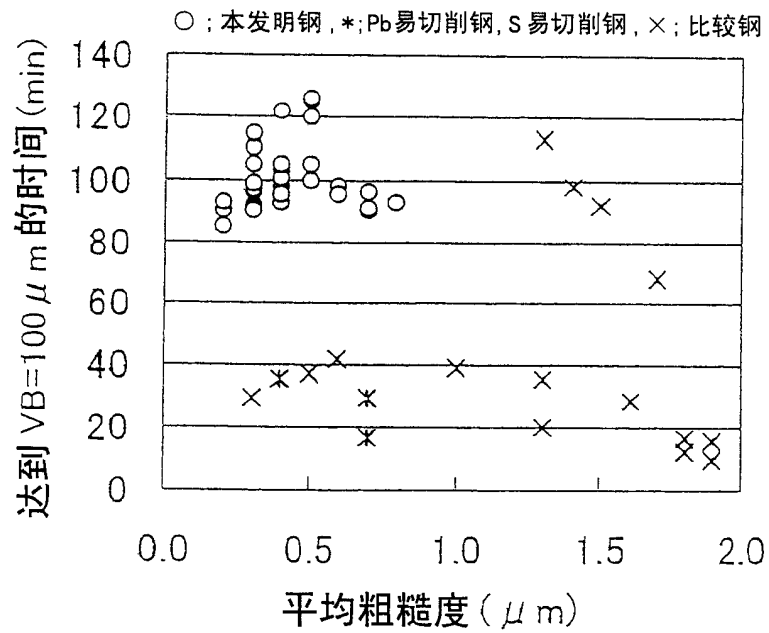


图 3

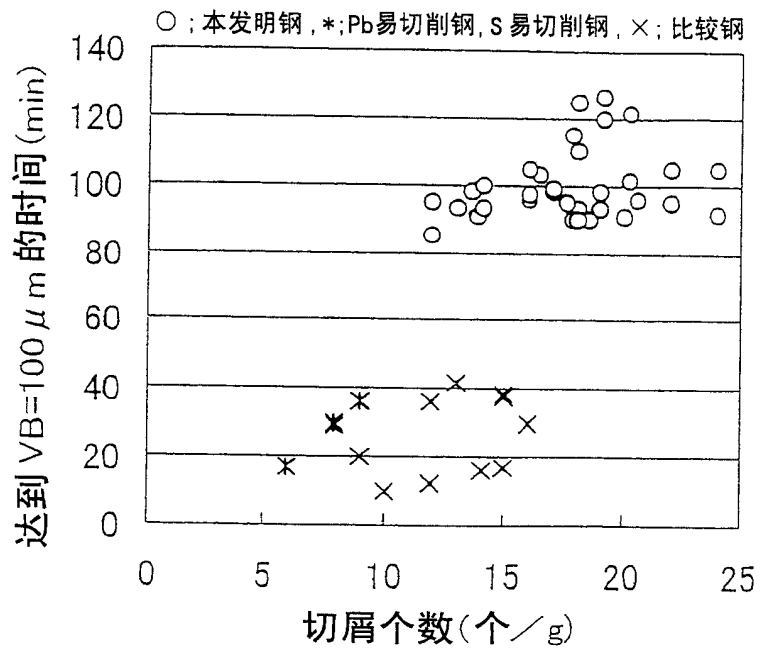


图 4