

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

C22C 38/26

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95105126.1

[45]授权公告日 2000年2月23日

[11]授权公告号 CN 1049699C

[22]申请日 1995.4.21 [24]颁证日 1999.11.13

[21]申请号 95105126.1

[30]优先权

[32]1994.4.21 [33]JP [31]105917/1994

[73]专利权人 川崎制铁株式会社

地址 日本兵库县

[72]发明人 宫崎淳 横田毅 富樫房夫

[56]参考文献

US4286986 1981.9.1 C22C38/26

审查员 王怀东

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 杨松龄

权利要求书 1 页 说明书 26 页 附图页数 5 页

[54]发明名称 汽车排气材料用的热轧铁素体钢

[57]摘要

汽车排气材料用热轧铁素体钢,其中含有必要的合金元素(重量%)Si0.4~2%,Cr6~17%,P0.025~0.10%,Nb0.35~0.60%,杂质元素限制在下列范围内(重量%)C0.02%以下,Mn0.8%以下,N0.015%以下,AI0.02%以下,Ti0.02%以下,Zr0.02%以下,并且,钢的成分(重量%)满足下列(1)式和(2)式

$$\text{Nb}/(\text{C}+\text{N})\geq 13 \quad (1)$$

$$11\leq \text{Cr}+3\text{Si}+4\text{Nb}-50(\text{C}+\text{N}+\text{P})-\text{Mn}-\text{Ni}-\text{Co}+\text{Mo}+\text{Cu}\leq 16.5 \quad (2)$$

余量为 Fe 和不可避免的杂质。

ISSN 1008-4274

权利要求书

1.汽车排气材料用热轧铁素体钢,其特征在于含有必要的合金元素(重量%): Si 0.4-2%, Cr 6-17%, P 0.025-0.10%, Nb 0.35-0.60%, 杂质元素限制在下列范围内(重量%): C 0.02%以下, Mn 0.8%以下, N 0.015%以下, Al 0.02%以下, Ti 0.02%以下, Zr 0.02%以下, 并且, 钢的成分(重量%)满足下列(1)式和(2)式

$$\text{Nb}/(\text{C}+\text{N}) \geq 13 \quad (1)$$

$$11 \leq \text{Cr} + 3\text{Si} + 4\text{Nb} - 50(\text{C}+\text{N}+\text{P}) - \text{Mn} - \text{Ni} - \text{Co} + \text{Mo} + \text{Cu} \leq 16.5 \quad (2)$$

余量为 Fe 和不可避免的杂质。

2.根据权利要求 1 所述的汽车排气材料用热轧铁素体钢,其特征在于,还含有下列 1 种或 2 种适宜的合金元素(重量%): Mo 0.1-3.0%, Cu 0.1-1.0%。

3.根据权利要求 1 所述的汽车排气材料用热轧铁素体钢,其特征在于,还含有下列 1 种或 2 种适宜的合金元素(重量%): Ni 1%以下, Co 0.5%以下。

4.根据权利要求 1 所述的汽车排气材料用热轧铁素体钢,其特征在于,还含有下列 1 种或 2 种适宜的合金元素(重量%): Mo 0.1-3.0%, Cu 0.1-1.0%, 以及下列 1 种或 2 种适宜的合金元素(重量%): Ni 1%以下, Co 0.5%以下。

5.权利要求 1、2、3 或 4 中任一项所述的汽车排气材料用热轧铁素体钢在制造汽车排气歧管中的应用。

6.权利要求 1、2、3 或 4 中任一项所述的汽车排气材料用热轧铁素体钢在制造汽车废气管中的应用。

说明书

汽车排气材料用的热轧 铁素体钢

本发明涉及可以在热轧退火状态下用作汽车的排气系统材料，特别是用作被加热至高温的排气歧管、废气管等的材料的铁素体钢。

以往，汽车的排气歧管或废气管等排气系统材料，一直使用球墨铸铁或镀铝普通钢。近年来，为了降低汽车的燃料消耗、净化排出的废气、提高输出功率，人们力图使空气/燃料比达到最优化，结果使得从发动机中排出废气的温度上升至 800°C 以上，上述现有技术材料的抗氧化性、耐高温性等高温特性显得不足，因此，代替上述材料而主要使用SUH409L系不锈钢。

壁厚在5mm以上的球墨铸铁制的排气歧管改用1.5-2.5mm的不锈钢制造，其重量可以减小百分之几十，汽车的燃油消耗大为改善。另外，改用薄壁的不锈钢制造后，热容量减小，从而避免了排气温度下降，使得用以净化排出废气中的 NO_x 等的催化剂的活性效果可以及早地发挥，大大地提高了排气净化效果。

如上所述，不锈钢用作排气系统材料是非常好的，尽管如此，使用不锈钢制的排气歧管、废气管只限于一部分车种，这是因为：

(1) 成本高

上述的不锈钢，其材料本身的成本比铸铁和镀铝普通钢要高。

另外，铸铁的形状自由度大，相比之下，采用不锈钢，无论是管材还是板材，为了进行复杂的弯曲、冲压加工，必须进行冷轧—退火处理，导致生产成本提高。

众所周知，如果钢坯加热温度或热轧开始温度低于 1250°C ，可以得到高的加工性能。但是，这样一来，热轧辊的磨损加大，并且由于压下载荷增大而引起设备的负荷增大，损害了由于在热轧退火状态下使用而带来的好处，导致生产成本提高。

(2) 加工困难

汽车排气系统材料如果具有良好的高温耐力，就可以实现薄壁化，有助于减轻自身重量。众所周知，作为提高铁素体不锈钢的高温耐力的手段，一般是添加Nb。问题是，怎样才能既保持高温耐力，又减少室温加工性能的恶化，这样的现有技术有很多。但是，使用像本申请中所公开那样的热轧退火状态的材料加工成汽车排气系统，在以前是不可能的，也没有可以提供实用的材料。

在汽车排气系统材料领域中的现有技术文献有很多，例如特开平4-74852、特开昭60-145359(US4640722)、特公平1-41694(US4286986)、特开昭64-68448(US4834808)、US44179、US3997373等。这些文献都是采用冷轧退火板，没有打算使用热轧板。一般地说，冷轧退火板由于冷轧加工而破坏了热轧组织，因此，只要有充分的压下率，热轧退火板的加工性就不成问题。这些文献中所述的材料，在热轧退火状态下作为汽车排气系统材料不具有足够的加工性能。

有关使用热轧板的铁素体不锈钢的文献，例如特开昭57-85960(US4331474)、US3650731、特开平4-232231等。但是，如下

所述，这些材料作为汽车排气系统材料使用，其性能不能充分满足要求。

特开昭57-85960(US4331474)中公布的材料，如同该专利中的表II所示，热轧板的延伸率低，对于汽车排气系统材料用途来说，不具有足够的加工性能。

另外，US3650731、特开平4-232231中所公开的材料特征是，为了改善韧性，在热轧的精轧时， γ 相为50-100%。因此，将这些材料用于要求焊接部位具有弯曲加工性的汽车排气系统材料时，在焊接部位发生由 γ 相变成马氏体(α')的相变，结果如表4所示，弯曲加工性恶化。另外，汽车排气系统材料由于在高温与室温之间反复地加热、冷却，如果是 $\alpha + \alpha'$ 的两相组织， α' 将转变成 α 或 γ 相，其热胀、冷缩量与其它部位不同，诱发应力而造成破坏。

如上所述，目前尚没有能同时满足可以在通常的热轧—退火状态下用于汽车排气部件的高温性能和加工性能而又成本较低的材料。因此，如果开发出这样的材料，将可以降低燃料消耗、改善排气净化特性、提高发动机的性能，是极其有益的。

本发明的目的是，研制具有汽车排气系统的材料所需要的高温性能，即高温耐力、抗氧化性、高温盐害特性，用通常的制造方法也能确保常温下的高加工性能的、成本较低的热轧铁素体钢。

为了实现上述任务，本发明人对材料成分和热轧板退火后的特性进行了详细的研究，结果发现，只要将以Nb、P为主的各种元素限制在适当的范围内，就能得到可以采用通常的热轧退火工艺制造的汽车排气系统材料用热轧铁素体钢，从而完成了本发明。

本发明的第一方案是汽车排气材料用热轧铁素体钢，其特征

是含有必要的合金元素(重量%):

Si: 0.4-2%

Cr: 6-17%

P: 0.025-0.10%

Nb: 0.35-0.60%

杂质元素限制在下列范围内

C: 0.02% 以下

Mn: 0.8% 以下

N: 0.015% 以下

Al: 0.02% 以下

Ti: 0.02% 以下

Zr: 0.02% 以下

并且, 钢的成分(重量%)满足下面的(1)式和(2)式

$$\text{Nb}/(\text{C}+\text{N}) \geq 13 \quad (1)$$

$$11 \leq \text{Cr} + 3\text{Si} + 4\text{Nb} - 50(\text{C} + \text{N} + \text{P}) - \text{Mn} - \text{Ni} - \text{Co} + \text{Mo} + \text{Cu} \leq 16.5 \quad (2)$$

余量是铁和不可避免的杂质。

本发明的第二方案是汽车排气材料用热轧铁素体钢, 其特征是含有必要的合金元素(重量%):

Si: 0.4-2%

Cr: 6-17%

P: 0.025-0.10%

Nb: 0.35-0.60%

杂质元素限制在下列范围内

C: 0.02% 以下

Mn: 0.8 以下

N: 0.015% 以下

Al: 0.02% 以下

Ti: 0.02% 以下

Zr: 0.02% 以下

此外, 还含有下列1种或2种适宜的合金元素

Mo: 0.1-3.0%

Cu: 0.1-1.0%

并且, 钢的成分(重量%)满足下列的(1)式和(2)式

$$\text{Nb}/(\text{C}+\text{N}) \geq 13 \quad (1)$$

$$11 \leq \text{Cr} + 3\text{Si} + 4\text{Nb} - 50(\text{C} + \text{N} + \text{P}) - \text{Mn} - \text{Ni} - \text{Co} + \text{Mo} + \text{Cu} \leq 16.5 \quad (2)$$

余量是铁和不可避免的杂质。

本发明的第三方案是汽车排气材料用热轧铁素体钢, 其特征是含有必要的合金元素(重量%):

Si: 0.4-2%

Cr: 6-17%

P: 0.025-0.10%

Nb: 0.35-0.60%

杂质元素限制在下列范围内

C: 0.02% 以下

Mn: 0.8% 以下

N: 0.015% 以下

Al: 0.02% 以下

Ti: 0.02% 以下

Zr: 0.02% 以下

此外, 还含有下列的1种或2种适宜的合金元素

Ni: 0.1% 以下

Co: 0.5% 以下

并且, 钢的成分(重量%)满足下列的(1)式和(2)式

$$\text{Nb}/(\text{C}+\text{N}) \geq 13 \quad (1)$$

$$11 \leq \text{Cr} + 3\text{Si} + 4\text{Nb} - 50(\text{C} + \text{N} + \text{P}) - \text{Mn} - \text{Ni} - \text{Co} + \text{Mo} + \text{Cu} \leq 16.5 \quad (2)$$

余量是铁和不可避免的杂质。

本发明的第四种方案是汽车排气材料用热轧铁素体钢, 其特征是含有必要的合金元素(重量%):

Si: 0.4-2%

Cr: 6-17%

P: 0.025-0.10%

Nb: 0.35-0.60%

杂质元素限制在下列范围内

C: 0.02% 以下

Mn: 0.8% 以下

N: 0.015% 以下

Al: 0.02% 以下

Ti: 0.02% 以下

Zr: 0.02% 以下

此外, 还含有下列1种或2种适宜的合金元素

Mo: 0.1-3.0%

Cu: 0.1-1.0%

以及下列的1种或2种

Ni: 1% 以下

Co: 0.5% 以下

并且, 钢的成分(重量%)满足下列的(1)式和(2)式

$$\text{Nb}/(\text{C}+\text{N}) \geq 13 \quad (1)$$

$$11 \leq \text{Cr} + 3\text{Si} + 4\text{Nb} - 50(\text{C} + \text{N} + \text{P}) - \text{Mn} - \text{Ni} - \text{Co} + \text{Mo} + \text{Cu} \leq 16.5 \quad (2)$$

余量是铁和不可避免的杂质。

汽车排气材料所要求的性能主要是(A)加工性, (B)高温耐力、高温盐害特性、抗氧化性, (C)制造性, 下面来说明对于(A)、(B)和(C)的评定标准以及为达到这些标准的本发明的技术构思。

判定汽车排气材料性能的评定标准

(A)对于汽车排气材料的加工来说, 深冲加工比较少, 主要是弯曲、扩管等受延伸率支配的加工。从这一点出发, 对各种汽车排气材料所要求的机械性能进行了分析和研究, 结果发现, 在2mm厚的钢板中, 断裂延伸率是34%以上, 由于加工设备的能力问题, 屈服应力(YS)必须在350MPa以下。在本申请中, 是评价热轧板在退火状态下的延伸率和YS, 不过, 使用未退火热轧板、制管、然后退火的情况也包括在本发明之中。另外, 在这种情况下, 由于消除了制管时产生的应力, 因此, 与用热轧退火板制管的情况相比, 可以得到更高的加工性。

(B)必要的高温性能按以下所述进行评定

目前发动机的排气温度, 最高也就是800°C, 但是, 今后为了改善燃料消耗、排气净化特性以及提高输出功率, 排气温度预计将会升高到850°C以上。因此, 高温耐力是在700°C、900°C下、

抗氧化性是在大气中及730°C、830°C、930°C下加热200小时进行评价。

另外，从路面上溅起的水附着在汽车排气材料上，随后被加热到高温，引起高温盐害腐蚀。热轧退火板和冷轧退火板的表面状态是不同的，因此，热轧板的高温盐害特性较差。在本说明书中，对700°C下的高温盐害特性的评价也包括了SUH409L冷轧退火板。

(C)在制造热轧退火板时，如果热轧完后的韧性不足，在将热轧板卷曲或开卷时，特别是在冬季，有时会发生脆性断裂。发生这种断裂时，不但操作人员有受伤的危险，而且还会影响生产。

为了避免这种脆性断裂，未退火的热轧板在0°C的夏氏冲击功必须在50J/cm²以下。

为达到汽车排气材料性能评定标准的本发明的技术构思。

如果采用通常的热轧方法—即不问是否是低温下的热轧，一律按通常工序SRT为1250°C进行—来制造具有高的加工性和高的高温特性的热轧退火板；从成本的角度考虑，使用热轧退火板带来的优点就会被减弱。因此，在本发明中，最重要的问题是：(1)找到具有足够的韧性、可以采用通常的热轧工艺、并具有高的加工性的成分系统，(2)就高温耐力而言，找到在热轧退火板状态下具有足够的高温耐力的成分系统，(3)找到作为汽车排气材料具有足够的抗氧化性和高温盐害特性的成分系统。

对于满足上述(1)—(3)的成分系统进行研究的结果，得出下面所述的见解，从而完成了本发明。

(1)在通常的热轧中，即在SRT为1250°C的情况下，热轧至

2mm厚时，要想在热轧退火后获得必要的加工性，如图1所示， $Nb/(C+N)$ 必须在13以上。其原因尚不十分清楚，据认为这是由于，在高温下析出的Nb的细小析出物使得回复再结晶行为推迟，在热轧过程中，材料中附加了充分的应变。需要注意的是，如图1中所示，固定C、N的其它元素—Ti、Zr和Al对于提高加工性完全没有贡献。一般地说，添加Ti、Zr、Al的目的是提高冷轧退火板的加工性，但是，如图1所示，在热轧退火板中显示出与以往的见解完全不同的行为。在图1中，括弧内所示为热轧板厚为5mm的情况下进行冷轧退火的2mm冷轧退火板的延伸率。与以往的见解同样，冷轧退火板的延伸率，随着 $Nb/(C+N)$ 、 $Ti/(C+N)$ 、 $Zr/(C+N)$ 、 $Al/(C+N)$ 的增高而提高。另外，表1中示出在添加Nb的钢中复合添加Ti、Zr、Al的热轧退火板的加工性。与单独添加Nb的钢相比，上述的钢无论哪一种其加工性都降低了。因此，提高热轧退火板的加工性，不能按以往的关于冷轧退火板的见解来进行，只有单独添加Nb的钢才能达到提高热轧退火板的加工性的目的。图3是 $Nb/(C+N)=20.9$ 的钢(钢A(a))和现有的钢SUH409L(b)的热轧退火板的轧制方向的显微组织的照片。由图3可以看出，钢A的晶粒明显地十分均匀。

表2中示出不同Nb含量的钢的未退火热轧板的0℃的夏氏冲击功的情况。可以看出，Nb的绝对量超过0.6%时，急剧脆化，而且加工性也恶化。

下面说明对于本发明来说十分重要的P含量的作用。以往，P被当作是不可避免的杂质，近年来也出现了P含量减低至0.02%以下的钢。但是，本发明人发现，含P量过低会使热轧退火板的加工

性恶化，也就是说，适量的P可以提高热轧退火板的加工性。这意味着，可以简化脱P工序，从而降低成本。表3中示出不同P含量的钢的延伸率和韧性的测定结果。可以看出，P含量超过JIS G4304标准而达到0.042%、0.058%时，加工性能非但没有恶化，而且所显示出的韧性比JIS中规定的P含量0.026%、0.036%（钢H、B）还要好，另外，YS基本上没有变化。

P的这种效果，其原理目前还不十分清楚，据推测是由于下述的缘故，即，从本质上说P是间隙式元素，对加工性、韧性有不良影响，但是，在热轧时材料的回复、再结晶行为对热轧退火板的性能影响很大。在本发明的钢中，P使得热轧时的回复、再结晶行为推迟而打破了P本来的间隙元素的不良影响，热轧时充分地引入应变，其退火组织呈现均匀的再结晶组织。但这仅仅是一种推测，还没有从金属学的理论上得到证实。

表4中示出各种成分系统的铁素体钢的热轧退火板的延伸率和焊接部位的加工性。

加工性参数 $Pa = Cr + 3Si + 4Nb - 50(C + N + P) - Mn - Ni - Co + Mo + Cu$ 超过16.5时，所有的钢断裂延伸率均不到34%，加工性恶劣，在热轧退火状态下不能经受汽车排气材料用途的加工。另一方面，该参数Pa低于11时，焊接部位的加工性恶化。焊接部位的加工性评价是按下面所述进行，即在焊接速度600mm/分、焊接电流200A、一侧表面用Ar以15L/分隔离的条件下，如图5(a)中所示，将图中所示形状的试样进行TIG对接焊，将表4中所示的试样按图5(b)所示弯曲180度，以是否产生裂纹作为标准进行评价。

图2中示出Cr含量对热轧退火板的加工性的影响。添加Ti、Zr、

Al的钢和添加Nb的钢，随着Cr含量的降低，延伸率都提高了，但添加Ti、Zr、Al的钢，Cr含量减低到10%左右时，延伸率是30%，远远达不到34%的指标，反之，添加Nb的钢，只要Cr含量在17%以下，就可以达到34%的延伸率指标。

另外，表5中示出N、Nb对于焊接部位的凝固裂纹的影响。由表5看出，N在0.015%以下且Nb在0.6%以下时，不会产生凝固裂纹。

(2) 热轧退火板的高温耐力测定结果示于表6中。与添加Ti、Zr、Al的钢和目前使用的钢SUH409L相比，本发明的钢—即添加Nb的钢的700°C高温耐力要高2倍以上，另外，900°C的高温耐力也优于前者将近2倍。

(3) 表7中示出热轧退火板的抗氧化性测定结果。将各成分的钢在大气中及730°C、830°C、930°C各温度下放置200小时后，观察它们的表面状态，生成以Fe的氧化物为主体的氧化皮凸起的状态被判定为异常氧化。

现用钢SUH409L在830°C、200小时条件下发生异常氧化，相比之下，本发明的钢有930°C和大气中加热200小时时，都未发生异常氧化，可见其抗氧化性非常好。

上述分析和研究结果表明，通常单独添加Nb、添加P、低Cr化及适当配以其它成分，可以得到在采用通常的制造方法的热轧退火状态下可以适用于汽车排气材料用途的、低成本、高加工性的热轧铁素铁钢。

即，本发明提供了耐热性显著高于现用钢SUH409L、并且可以采用通常的热轧工艺制造具有与汽车排气材料用途的加工相适应的高加工性、制造成本显著低于现用钢的热轧铁素体钢。下面说

明本发明钢中的各化学成分含量值的限定理由。

C: C使铁素体相的稳定性、加工性和抗氧化性恶化, 因此将其上限定为0.02%, 低于0.01%更好, 最好是在0.006%以下。

Si: Si是提高抗氧化性、高温盐害特性, 使铁素体相稳定化的有效元素, 在本发明中最低不能少于0.4%, 表8中示出Si特别提高高温盐害特性, 最好在0.6%以上。高温盐害特性的评价方法在实施例中叙述。另外, Si使室温的YS上升, Si含量小于1%时延伸率的恶化较小, 但如量超过1%, 延伸率的恶化明显, 特别是超过2%时, 延伸率的恶化和YS的上升非常大, 因此将其含量限定为0.4%以上、2%以下, 优选的范围同0.8%以上、1.3%以下。

Mn: Mn是对铁素体相的稳定性、抗氧化性、加工性有害的元素, 但只要含量不超过0.8%, 对于本发明的用途就不会产生问题。为了得到高的加工性, 希望是在0.1%以下, 最好是0.05%以下。

Cr: Cr是保证抗氧化性所必不可少的元素, Cr含量不列6%时, 无论怎样调整其它元素, 都不能确保汽车排气材料用途所需要的加工性和抗氧化性。另一方面, 其含量超过17%时, 如图2所示, 加工性大为恶化, 而且成本增加, 因此将其限定为6%以上、17%以下。特别优先考虑加工性时, 希望其含量在10%以上、15%以下, 最好是10%以上、12%以下。

P: P是本发明中的重要元素之一, 以往被当作是不可避免的杂质。本发明人发现, 对于热轧退火状态下的加工性来说, 还是含有一定量的P为好。P含量在0.025%以下时, 由于脱P工序使成本大为上升, 同时加工性降低; 反之, 如果超过0.10%, 虽然制造成本降低了, 但加工性大为恶化。因此将其含量限定为0.025%以上、

0.10%以下。如表3中所示，从加工性的角度考虑，希望在0.03%以上、0.07%以下，最好是0.04%以上、0.06%以下。

N: 与C一样，N的含量低好，特别是含Nb的钢，N容易引起焊接部位的凝固裂纹，因此其含量必须在0.015%以下，最好是0.010%以下。

Al: Al对于热轧退火板的加工性有害的元素，因此其含量应尽可能低一些，但是，如果降低到必要程序以下，会导致成本上升，因此以0.02%为上限，优选的是在0.005%以下。

Ti: 基于与Al相同的理由，Ti含量在0.02%以下，优选的是在0.005%以下，最好是在0.001%以下。

Zr: 基于与Al、Ti相同的原因，Zr含量在0.02%以下，优选的是在0.005%以下。

Nb: Nb也是本发明中的重要元素之一。如图1所示，在热轧退火板中，为了得到足够的加工性，必须单独添加Nb作为稳定化元素，Ti、Zr、Al等其它稳定化元素，虽然能提高冷轧退火板的加工性，但对于热轧退火板的加工性毫无作用。另外，如表1所示，在添加Nb的钢中如果复合添加Ti、Zr、Al，则单独添加Nb所产生的效果将会被减弱。因此，为了提高热轧退火板的加工性，应尽可能降低Ti、Zr、Al含量，Nb的添加量必须是(C+N)的13倍以上。同时，为了提高高温耐力，应添加0.35%以上。另一方面，如表2所示，Nb的添加量如果超过0.6%，加工性降低，同时韧性显著恶化。另外，如表5所示，焊接部位还产生了凝固裂纹。因此将其上限定为0.6%，优选的是0.40-0.55%，最好是0.45-0.50%。图4中示出比较例钢20的凝固裂纹的一个例子。

下面的(2)式所示的加工性参数(Pa)不到11时,如表4所示,焊接部位是 α 和 α' 两相,该部位的加工性恶化。另一方面,如果加工性参数超过16.5,则加工性大为恶化,即使Nb和P含量达到最优化,对于汽车排气材料用途来说,热轧退火板的加工性也是不够的。因此,加工性参数(Pa)限定在11以上、16.5以下,优选的是13以上、15.5以下。

$$Pa = Cr + 3Si + 4Nb - 50(C + N + P) - Mn - Ni - Co + Mo + Cu \quad (2)$$

式中,各元素表示重量%的数值,对于Ni、Co、Mo、Cu,可以只考虑添加这些元素的钢的情况。

下面说明选择性元素的限定理由。

Mo和Cu:提高高温耐力和高温盐害特性,因此也可以添加。Mo和Cu合计0.1%以上时可以显示出效果,但这二种元素价格较高,因此将它们的上限定为Mo: 3%、Cu: 1%,优选的范围是Mo: 0.5-2.5%, Cu: 0.3-0.6%,最佳范围是Mo: 1.0-1.5%, Cu: 0.4-0.6%。

Ni和Co: Ni和Co都能提高焊接部位的韧性。表9中示出它们的作用。焊接条件与表4的情况相同。由于Ni和Co是价格很高的元素,因而将Ni的上限定为1%, Co的上限定为0.5%。由于这2种元素的作用是相同的,因此二者可分别单独加入,也可以复合添加。优选的含量是: Ni 0.5%以下, Co 0.2%以下。

实施例

下面通过实施例再具体地说明本发明,但本发明不受这些实施例的限制。

用真空熔炼炉熔炼表1-9中所示的各种成分的钢(本发明钢,

比较钢、现用钢SUH 409L), 浇铸成30kg的铸锭。采用热锻加工成27mm厚, 然后以1250°C的钢坯加热温度(SRT)热轧成2mm厚, 调查下列的各种特性。

夏氏冲击性能, 采用带有与轧制方向垂直的切口的试样, 在0°C下测试。

使用经过退火、晶粒直径大致一定的材料, 测试室温下轧制方向的延伸率、YS以及700°C、900°C的高温耐力, 其中, 含Nb的钢是在980°C退火, 不含Nb的钢是在930°C退火。高温耐力是在应变速度为0.3%/分的条件下测定。

抗氧化性, 是在大气中及730°C、830°C、930°C的温度下进行200小时氧化试验后, 测定重量的变化。

高温盐害特性, 是使用2mm×2mm×30mm的试样, 在饱和食盐水中浸渍5分钟, 然后在700°C加热2小时, 空冷5分钟, 以此为一个试验周期, 用10个周期后的最大侵蚀深度进行评价。

焊接性试验, 是使用该热轧退火板进行TIG焊接, 调查有没有凝固裂纹、TIG焊接部位的弯曲特性和夏氏冲击性能。

如表1-9所示, 本发明的钢全都获得了下列汽车排气材料用途所必需的性能:

- | | |
|---------------------|------------------------|
| (1) 未退火热轧板的0°C夏氏冲击功 | 50J/cm ² 以上 |
| (2) 热轧退火板的延伸率、YS | 34%以上、350MPa以下 |
| (3) 热轧退火板的TIG焊接性能 | 无凝固裂纹
可弯曲180度 |
| (4) 热轧退火板的700°C高温耐力 | 是SUH409L的2倍以上 |
| 热轧退火板的900°C高温耐力 | 是SUH409L的2倍左右 |

(5) 热轧退火板的930°C、200小时

后的抗氧化性

无异常氧化

(现用钢SUH409L的冷轧退火板的抗氧化性是, 在830°C、200小时后发生异常氧化。)

(6) 700°C的高温盐害特性

显著优于SUH409L

表1-9中所示的比较钢的成分全在本发明的范围之外, 不能满足上述(1)—(6)中1种以上的性能要求, 因此难以在热轧退火状态下用于汽车排气材料用途。

如上所述, 按照本发明, 即使采用通常的热轧工艺, 也能得到兼有高加工性、高耐热性、良好的制造性的汽车排气材料用的低成本的热轧材料。将该热轧材料用于汽车排气材料, 可以提高发动机性能、节约石油资源、保护大气环境, 在工业上带来极其有益的效果。

本发明是将热轧板再结晶退火后供汽车排气材料使用, 由热轧板加工成管的情况下, 再结晶退火工序可以在管加工之前, 也可以在管加工之后。

另外, 本发明中对高温性能的评价是在700—930°C进行的, 但本发明不限于暴露于该温度下的部件。例如, 象消音器这样最高只被加热到500°C的汽车排气材料部件, 本发明的钢也可以适用。

附图的简要说明

图1是表示Nb/(C+N)、Zr/(C+N)、Al/(C+N)对热轧退火板或冷轧退火板的延伸率的影响的曲线图。

图2是表示Cr对热轧退火板的延伸率的影响的曲线图。

图3是表示热轧退火后的轧制方向的金属组织的照片。

图4是表示TIG 焊接部位凝固裂纹的一个例子的金属组织的照片。

图5是说明用于评价表4的焊接加工性的TIG焊接条件及180 度弯曲的试验条件的斜视图。

表1 Ti、Zr和Al复合添加对加Nb钢热轧退火板的延伸率的影响

记号	C	N	Cr	Nb	Ti	Zr	Al	Si	Mn	P	(1)	(2)	EI(%)
本发明钢	A	0.013	0.010	14.8	0.48	0.010	0.006	0.77	0.33	0.031	20.9	16.00	3.6
	B	0.010	0.013	14.5	0.41	0.004	<0.004	0.85	0.35	0.033	17.8	15.54	3.6
	C	0.009	0.011	15.2	0.43	0.009	0.009	0.81	0.33	0.035	21.5	16.27	3.5
	Y	0.009	0.014	14.8	0.49	0.004	0.007	<0.004	0.30	0.036	24.5	15.91	3.8
比较钢	1	0.012	0.014	14.9	0.44	0.091*	0.011	0.79	0.33	0.037	16.9	15.55	3.2
	2	0.012	0.012	15.2	0.47	0.16*	0.009	0.83	0.35	0.031	19.6	16.47	3.1
	3	0.010	0.011	15.1	0.48	0.019*	0.031*	0.85	0.33	0.035	22.9	16.44	3.2
	4	0.013	0.012	14.9	0.51	0.007	0.011	0.85	0.35	0.033	20.4	16.24	3.2
	5	0.008	0.009	14.7	0.40	0.011	0.33*	0.009	0.83	0.36	0.033	23.5	15.93
SUN409L	0.006	0.007	11.3	-*	0.25*	-	-	0.35	0.51	0.023	-*	10.04*	3.2

(*表示权利要求的范围外)

(1) Nb / (C+N)

(2) Cr+3Si+4Nb-50(C+N+P)-Mn-Ni-Co+Mo+Cu

表2 Nb对未退火热轧板的韧性的退火热轧板的延伸率和YS的影响

记号	C	N	Cr	Nb	Ti	Zr	Al	Si	Mn	P	(1)	(2)	E (J/cm ²)			
													在 0℃	E1(x) (MPa)	YS (MPa)	
本 发 明 钢	D	0.011	0.013	14.0	0.42	<0.02	<0.02	0.85	0.05	0.033	17.5	15.33	203	37	273	
	B	0.010	0.013	14.5	0.41	<0.02	<0.02	0.85	0.35	0.031	17.8	15.54	185	36	294	
	E	0.005	0.007	14.3	0.48	<0.02	<0.02	0.83	0.32	0.029	40.0	16.34	183	35	305	
	F	0.006	0.005	14.8	0.57	<0.02	<0.02	0.81	0.61	0.041	51.8	16.30	141	37	318	
	G	0.015	0.013	15.2	0.55	<0.02	<0.02	0.79	0.65	0.031	19.6	16.17	123	37	313	
	比 较 钢	6	0.005	0.005	14.2	0.69*	<0.02	<0.02	0.75	0.60	0.031	60.0	16.56*	33	34	336
		7	0.019	0.010	14.3	0.72*	<0.02	<0.02	0.83	0.55	0.029	24.8	16.22	39	35	339
8		0.002	0.003	14.2	0.91*	<0.02	<0.02	0.83	0.51	0.033	182.0	17.92*	14	32	345	
9		0.015	0.013	14.5	0.93*	<0.02	<0.02	0.79	0.78	0.031	33.1	16.86*	14	33	350	
SUN409L	0.006	0.007	11.3	--	0.25*	--	0.35	0.51	0.023	--	--	10.04*	280	29	235	

(*表示权利要求范围以外)

(1) Nb / (C+N)

(2) Cr + 3Si + 4Nb - 50 (C+N+P) - Mn - Ni - Co + Mo + Cu

表3 P对未退火热轧板的韧性和热轧退火板的延伸率和YS的影响

记号	C	N	Cr	Nb	Ti	Zr	Al	Si	Mn	P	(1)	(2)	在 0°C		
													E (J/cm ²)	EI (%)	YS (NIPa)
H	0.007	0.011	14.1	0.45	<0.02	<0.02	<0.02	0.80	0.55	0.026	25.0	15.55	1.85	3.5	2.94
B	0.010	0.013	14.5	0.41	<0.02	<0.02	<0.02	0.85	0.35	0.033	17.8	15.54	1.89	3.6	2.86
I	0.013	0.009	14.5	0.48	<0.02	<0.02	<0.02	0.84	0.49	0.042	21.8	15.25	1.90	3.7	3.06
J	0.009	0.011	14.6	0.49	<0.02	<0.02	<0.02	0.85	0.52	0.058	24.5	14.69	1.73	3.7	3.02
K	0.011	0.008	14.9	0.41	<0.02	<0.02	<0.02	0.88	0.50	0.065	21.5	14.48	1.79	3.6	2.98
L	0.013	0.014	14.2	0.44	<0.02	<0.02	<0.02	0.83	0.50	0.078	15.3	12.70	1.25	3.4	3.01
M	0.007	0.010	14.4	0.49	<0.02	<0.02	<0.02	0.84	0.51	0.089	28.8	13.07	9.8	3.4	2.93
10	0.008	0.007	14.3	0.45	<0.02	<0.02	<0.02	0.85	0.45	0.121*	30.0	11.40	5.5	3.1	3.06

(*表示在权利要求范围以外)

(1) Nb / (C+N)

(2) Cr + 3Si + 4Nb - 50 (C+N+P) - Mn - Ni - Co + Mo + Cu

表4 加工性参数(Pa) 与热轧退火板的延伸率和焊接部位加工性的关系

记号	E-1(x) 焊接部位组织													Pa	焊接部位的加工性		
	C	N	Cr	Nb	Ti	Zr	Al	Si	Mn	Mo	Cu	P	(1)				
本 发 明 钢	N	0.005	0.004	5.2	0.45	<0.02	<0.02	<0.02	1.55	0.35	2.03	-	0.043	50.0	11.73	○	
	O	0.003	0.004	5.3	0.51	<0.02	<0.02	<0.02	1.94	0.31	-	-	0.044	72.9	11.30	○	
	P	0.007	0.011	9.5	0.54	<0.02	<0.02	<0.02	1.03	0.35	-	-	0.040	30.0	11.50	○	
	Q	0.006	0.007	11.4	0.51	<0.02	<0.02	<0.02	0.82	0.35	1.12	-	0.045	39.2	13.77	○	
	R	0.005	0.005	11.9	0.55	<0.02	<0.02	<0.02	1.02	0.31	0.52	-	0.050	55.0	14.37	○	
	I	0.013	0.009	14.5	0.48	<0.02	<0.02	<0.02	0.84	0.49	-	-	0.042	21.8	15.25	○	
	S	0.010	0.011	15.7	0.48	<0.02	<0.02	<0.02	0.61	0.40	0.51	-	0.041	22.9	16.46	○	
	T	0.006	0.008	11.5	0.51	<0.02	<0.02	<0.02	0.85	0.04	-	-	0.051	36.4	12.80	○	
	V	0.011	0.013	15.7	0.48	<0.02	<0.02	<0.02	0.67	0.40	-	0.31	0.061	20.0	15.29	○	
	Z	0.013	0.010	11.4	0.42	<0.02	<0.02	<0.02	0.81	0.05	0.51	0.31	0.051	18.3	12.68	○	
	比 较 钢	11	0.013	0.009	6.2	0.45	<0.02	<0.02	<0.02	1.05	0.36	-	-	0.042	20.5	7.59*	α+α' ×
		12	0.004	0.005	9.4	0.48	<0.02	<0.02	<0.02	0.63	0.35	-	-	0.041	21.8	10.36*	α+α' ×
		13	0.012	0.011	9.3	0.50	<0.02	<0.02	<0.02	0.85	0.33	0.82	-	0.046	22.7	10.89*	α+α' ×
		14	0.002	0.003	14.3	0.55	<0.02	<0.02	<0.02	0.83	0.36	0.51	-	0.031	110.0	17.35*	α ○
		15	0.006	0.007	15.9	0.45	<0.02	<0.02	<0.02	1.50	0.33	-	-	0.050	34.6	18.72*	α ○
		16	0.035*	0.013	14.3	0.45	<0.02	<0.02	<0.02	0.81	0.35	-	-	0.042	9.4*	13.68	α ○
	17	0.012	0.009	15.3	0.42	<0.02	<0.02	<0.02	0.91	0.93*	-	-	0.041	20.0	15.68	α ○	
	18	0.007	0.005	6.5	0.51	<0.02	<0.02	<0.02	2.31*	0.73	-	-	0.041	42.5	12.09	α ×	

(*)表示权利要求的范围以外) (+)焊接条件... V = 600mm/min
 (TIG) I = 200A
 (1) Nb / (C+N)
 (2) Pa : Cr + 3Si + 4Nb - 50 (C+N+P) - Mn - Ni - Co + Mo + Cu
 (12) ○ ... 无裂纹
 × ... 有裂纹
 (13) α : 铁素体组织
 α' : 马氏体组织

一面用Al隔绝:51/100

表5 N和Nb对TIG焊接部位的凝固裂纹的影响

代号	C	N	Cr	Nb	Ti	Zr	Al	Si	Mn	Mo	Cu	P	(1)	(2)	有无凝固裂纹
Q	0.006	0.007	11.4	0.51	<0.02	<0.02	<0.02	0.82	0.35	1.12	-	0.045	39.2	12.55	有
I	0.013	0.009	14.5	0.48	<0.02	<0.02	<0.02	0.84	0.49	-	-	0.042	21.8	15.25	有
L	0.013	0.014	14.2	0.44	<0.02	<0.02	<0.02	0.83	0.50	-	-	0.078	16.3	12.70	有
F	0.006	0.005	14.8	0.57	<0.02	<0.02	<0.02	0.81	0.61	-	-	0.041	51.8	16.30	有
V	0.011	0.013	15.7	0.48	<0.02	<0.02	<0.02	0.67	0.40	-	0.31	0.061	20.0	15.29	有
Z	0.013	0.010	11.4	0.42	<0.02	<0.02	<0.02	0.81	0.05	0.51	0.41	0.051	18.3	12.68	有
6	0.005	0.005	14.2	0.69*	<0.02	<0.02	<0.02	0.75	0.60	-	-	0.031	69.0	16.56*	有
7	0.019	0.010	14.3	0.72*	<0.02	<0.02	<0.02	0.83	0.55	-	-	0.029	24.8	16.22	有
19	0.010	0.021*	14.1	0.51	<0.02	<0.02	<0.02	0.80	0.50	-	-	0.049	16.5	14.04	有
20	0.017	0.025*	16.0	0.66*	<0.02	<0.02	<0.02	0.33	0.32	-	-	0.034	15.7	15.51	有

(*表示权利要求的范围以外)

(1) Nb / (C + N)

(2) Cr + 3Si + 4Nb - 50 (C + N + P) - Mn - Ni - Co + Mo + Cu

表6 本发明钢和比较钢的热轧退火板的高温耐力

记号	C	N	Cr	Ti	Zr	Al	Si	Mn	Nb	P	Mo	Cu	(1)	(2)	700℃	900℃	
															100	19	
本发明钢	O	0.003	0.004	6.3	0.015	0.011	0.006	1.94	0.31	0.51	0.044	-	-	72.9	11.30	100	19
	N	0.005	0.004	6.2	0.005	0.011	0.005	1.55	0.35	0.45	0.043	2.03	-	50.0	11.73	118	23
	P	0.007	0.011	9.5	0.005	0.005	0.004	1.03	0.35	0.54	0.040	-	-	30.0	11.50	103	19
	D	0.011	0.013	14.0	0.003	0.005	0.003	0.85	0.05	0.42	0.033	-	-	17.5	15.33	93	18
	F	0.006	0.005	14.8	0.004	0.004	0.008	0.81	0.61	0.57	0.041	-	-	51.8	16.30	119	20
	V	0.011	0.013	15.7	0.003	0.004	0.005	0.67	0.40	0.48	0.061	-	0.31	20.0	15.29	105	20
比较钢	SUS409L	0.006	0.007	11.3	0.25*	0.005	0.019	0.35	0.51	-	-	-	-	-	10.04*	35	11
	21	0.009	0.012	15.3	0.53*	0.011	0.021	0.81	0.51	-	-	-	-	-	14.12	35	12
	22	0.007	0.013	14.7	0.005	0.47*	0.006	0.81	0.49	-	-	-	-	-	13.59	41	12
	23	0.008	0.009	14.8	0.031	0.021	0.43*	0.83	0.51	-	-	-	-	-	13.93	27	9
	24	0.011	0.010	14.1	0.015	0.021	0.019	0.89	0.51	0.15*	0.045	-	-	7.1*	13.56	42	11
25	0.013	0.013	14.2	0.003	0.011	0.007	0.85	0.40	0.29*	0.046	-	-	11.2*	13.82	63	13	

(*表示在权利要求范围以外)

(1) Nb / (C+N)

(2) Cr+3Si+4Nb-50(C+N+P)-Mn-Ni-Co+Mo+Cu

表7 本发明钢热轧退火板及现用钢冷轧退火板(SUH409L)的抗氧化

记号	C	N	Cr	Ti	Zr	Al	Si	Mn	Nb	P	Mo	(1)	(2)	730℃	830℃	930℃
SUH409L	0.006	0.007	11.3	0.25	0.005	0.019	0.35	0.51	-	0.023	-	-	10.04*	○	x	x
本 发 明 钢	0.005	0.004	6.2	0.005	0.011	0.005	1.55	0.35	0.45	0.043	2.03	50.0	11.73	○	○	○
	0.013	0.014	14.2	<0.02	<0.02	<0.02	0.83	0.50	0.44	0.078	-	16.3	12.70	○	○	○

(* 表示在权利要求的范围以外)

○··· 无异常氧化
x··· 异常氧化

200小时后的外观

(1) Nb / (C+N)

(2) Cr+3Si+4Nb-50(C+N+P)-Mn-Ni-Co+Mo+Cu

表8 Si对高温盐害特性的影响

记号	C	N	Cr	Ti	Zr	Al	Si	Mn	Nb	P	Mo	Cu	(1)	(2)	最大侵蚀深度 (μm)	供试材料
SUH09L	0.006	0.007	11.3	0.25*	0.005	0.019	0.35	0.51	—	0.023	—	—	—	10.04*	193	C
本 发 明 钢	X	0.005	0.005	11.4	<0.004	0.005	<0.004	0.45	0.08	0.042	—	—	49.0	12.57	149	II
	U	0.013	0.013	11.7	<0.004	0.005	<0.004	0.63	0.08	0.047	—	—	18.8	11.82	149	
	T	0.006	0.008	11.5	<0.004	<0.004	0.85	0.04	0.51	0.051	—	—	36.4	12.80	121	
	O	0.003	0.004	6.3	0.015	0.011	1.94	0.31	0.51	0.044	—	—	72.9	11.30	84	
	N	0.005	0.004	6.2	0.005	0.011	1.55	0.35	0.45	0.043	2.03	—	50.0	11.73	68	
	V	0.011	0.013	15.7	0.003	0.004	0.67	0.40	0.48	0.081	—	—	0.31	20.0	101	
	Z	0.013	0.010	11.4	<0.004	<0.004	0.81	0.05	0.42	0.051	0.51	—	0.41	18.3	85	

(*) C: 冷轧退火板
II: 热轧退火板

(*表示在权利要求的范围以外)

- (1) Nb / (C+N)
- (2) Cr+3Si+4Nb-50(C+N+P)-Mn-Ni-Co+Mo+Cu

表9 Ni、Co、Mo、Cu对TIG焊接部位的韧性的影响(本发明钢)

记号	化学成分													焊接部位的 吸收能量 E(J/cm ²) 在0℃	热轧退火板的 延伸率 E1(%)		
	C	N	Cr	Ti	Zr	Al	Si	Mn	Nb	P	Ni	Co	Mo			Cu	(1)
F	0.006	0.005	14.8	<0.02	<0.02	<0.02	0.81	0.61	0.57	0.041	-	-	-	-	51.8	15.73	37
FA	0.011	0.007	14.5	<0.02	<0.02	<0.02	0.85	0.59	0.55	0.043	0.45	-	-	-	30.6	14.61	37
FB	0.005	0.012	14.1	<0.02	<0.02	<0.02	0.79	0.60	0.55	0.040	-	0.07	-	-	32.4	14.60	37
R	0.005	0.005	11.9	<0.02	<0.02	<0.02	1.02	0.31	0.55	0.050	-	-	0.52	-	55.0	13.82	38
RA	0.007	0.012	12.1	<0.02	<0.02	<0.02	1.11	0.33	0.50	0.045	0.31	0.13	0.55	-	26.3	13.51	37
W	0.005	0.009	12.5	<0.02	<0.02	<0.02	0.85	0.05	0.48	0.051	0.22	0.05	0.50	-	34.3	13.72	39
V	0.011	0.013	15.7	<0.02	<0.02	<0.02	0.67	0.40	0.48	0.081	-	-	-	0.31	20.0	15.29	37
YA	0.007	0.009	15.5	<0.02	<0.02	<0.02	0.71	0.41	0.49	0.053	0.83	-	-	0.33	30.5	15.23	38
Z	0.013	0.010	11.4	<0.02	<0.02	<0.02	0.81	0.05	0.42	0.051	-	-	0.51	0.41	18.3	12.68	37
ZA	0.012	0.009	11.7	<0.02	<0.02	<0.02	0.83	0.09	0.45	0.051	0.29	0.00	0.41	0.44	21.4	12.80	37

(1) Nb / (C+N)

(2) Cr + 3Si + 4Nb - 50(C+N+P) - Mn - Ni - Co + Mo + Cu

CPME 954290

图 1

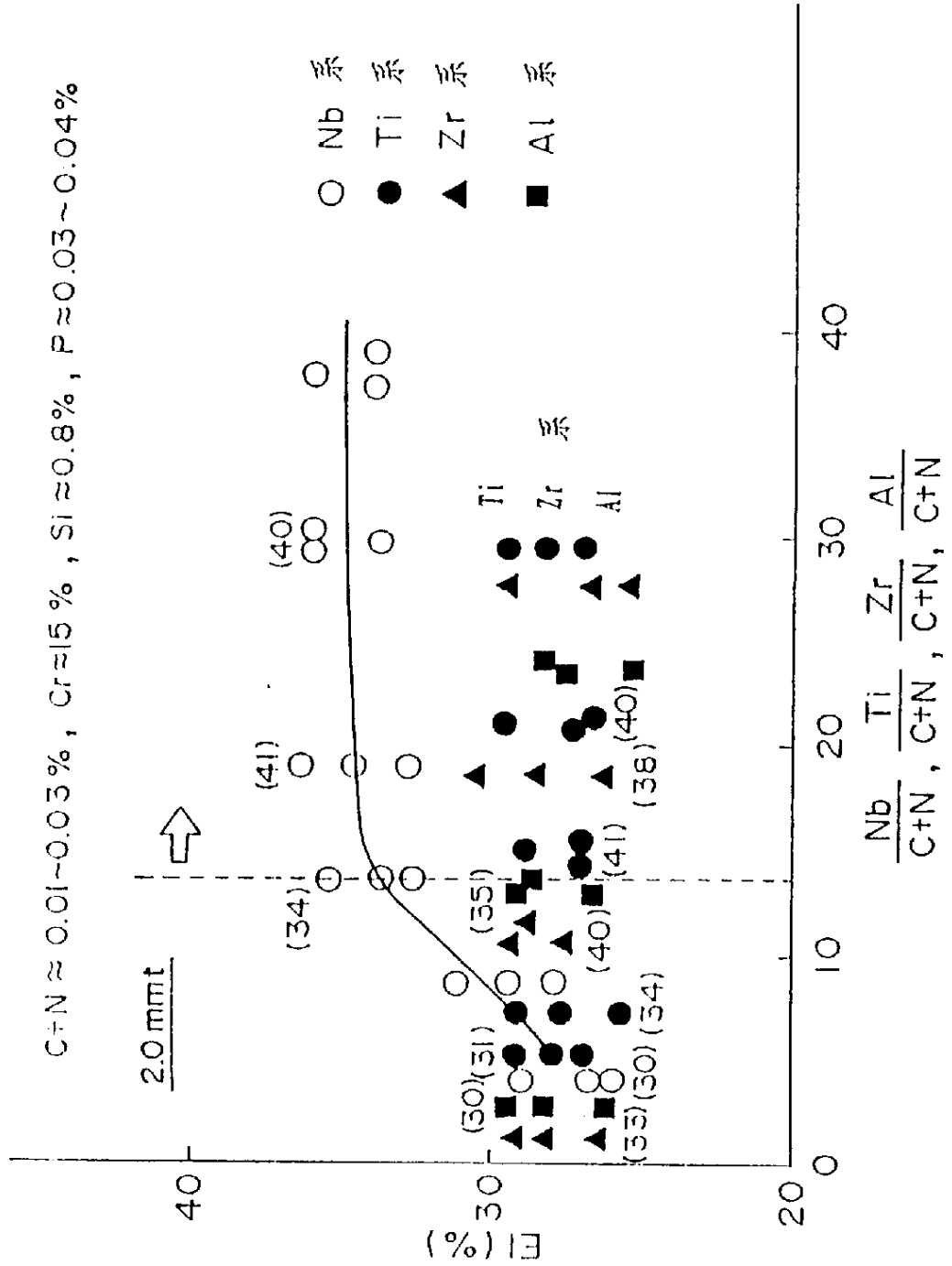


图 2

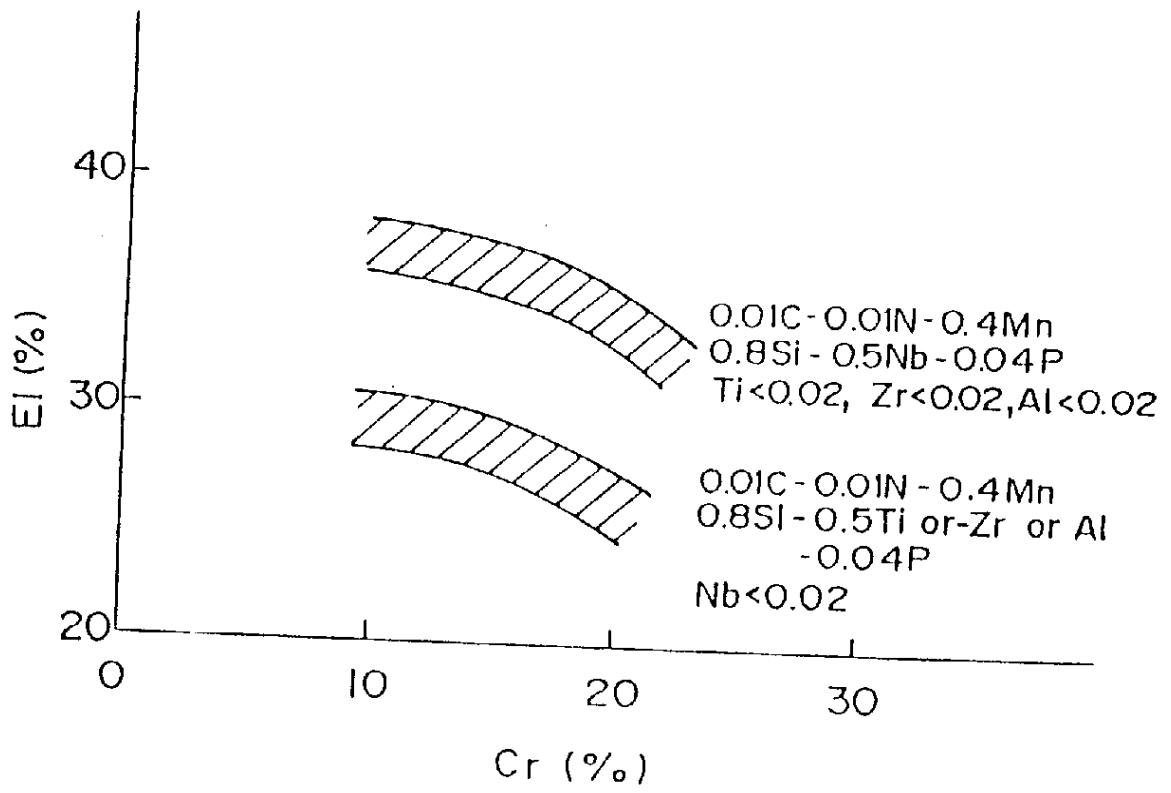


图 3A

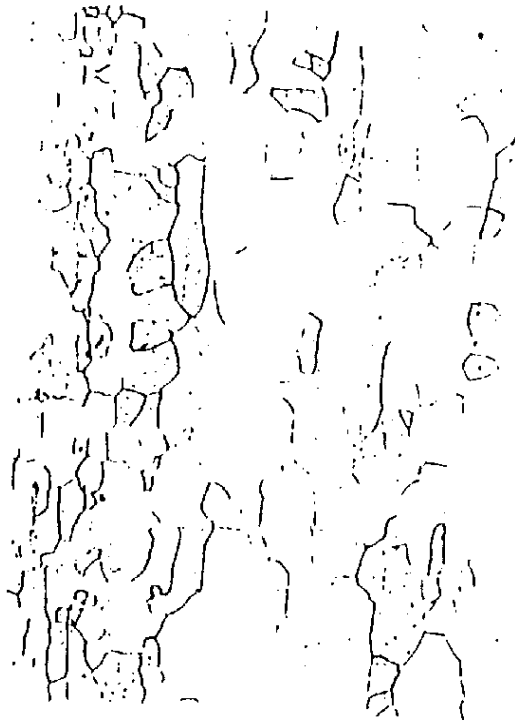


图 3B

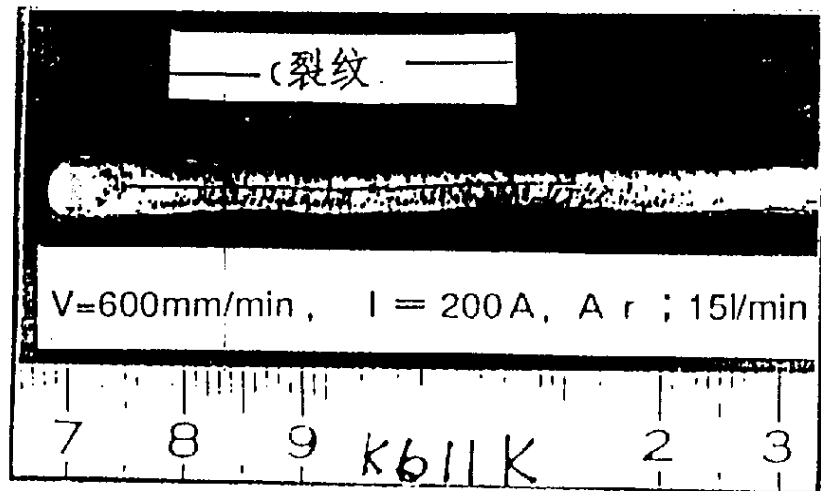


热轧退火后的轧制方向组织(×100)

(a) 发明钢A (14.8Cr-0.48Nb)

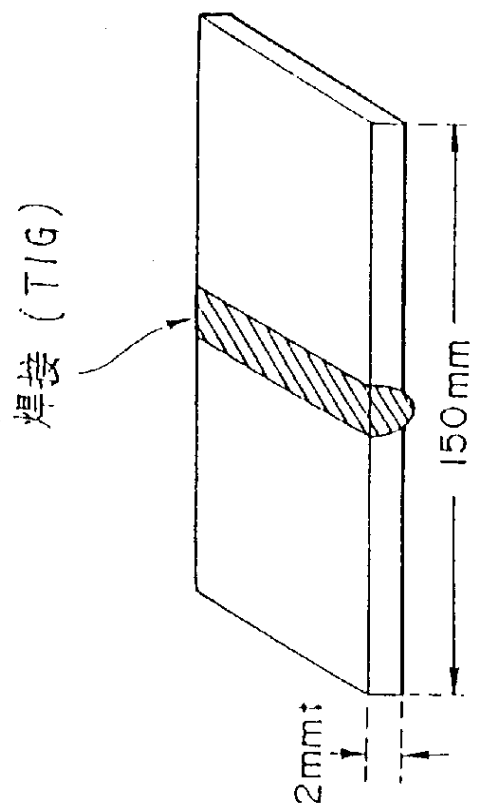
(b) SUH409L(11.3Cr-0.25Ti)

图 4



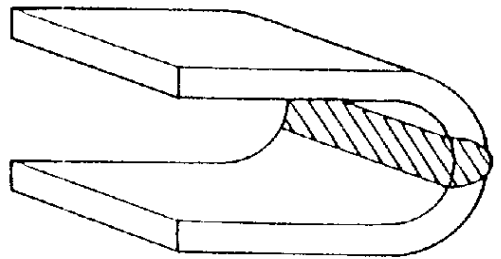
TIG 焊接部位凝固裂纹的一个例子
比较钢20(0.66Nb-0.025N)

图 5A



5

图 5B



180° 弯曲