[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl[7]
C21D 9/04
C21D 1/20
C21D 1/02 C22C 38/00

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96192013.0

[45]授权公告日 2000 年 12 月 6 日

[11]授权公告号 CN 1059239C

[22]申请日 1996.1.11 [24]颁证日 2000.10.28
[21]申请号 96192013.0
[30]优先权
[32]1995.1.20 [33]GB [31]9501097.1
[86]国际申请 PCT/GB96/00034 1996.1.11
[87]国际公布 WO96/22396 英 1996.7.25
[85]进入国家阶段日期 1997.8.19
[73]专利权人 英国钢铁有限公司
地址 英国伦敦
[72]发明人 H·K·D·H·布哈德希阿 V·杰拉斯
[56]参考文献

DE2302865B	1974. 7.25	C21D9/04
EP612852A	1994. 8.31	C21D9/04
JP6-316728A	1994.11.14	C21D9/04

审查员 葛松生

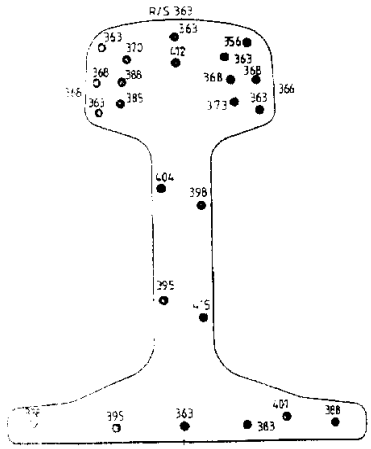
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 徐汝巽

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图页数 8 页

[54]发明名称 改进的无碳化物贝氏体钢及其生产方法

[57]摘要

一种生产耐磨和抗滚压接触疲劳的其显微组织基本上无碳化物的贝本氏体钢产 品的方法。该方法包括步骤:热轧钢,该钢成分(重量%)包括:C0.05 —0.50%,Si和/或 Al1.00—3.00%,Mn0.50—2. 50%,Cr0.25—2.50%,Fe余和伴随的杂质,并从其轧制温度在空气中自然连续冷却该钢或加速冷却。



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1.一种生产耐磨和抗滚压接触疲劳且无碳化物的贝氏体钢轨的方法，该方法包括步骤：热轧以成形钢，该钢成分（重量%）包括 C 0.05-0.50%,Si 和/或 Al 1.00-3.00%，Mn0.50-2.50%，Cr0.25-2.50%，Ni0-3.00%，S0-0.025%，W0-1.00%，Mo0-1.00%，Cu0-3%，Ti0-0.10%，V0-0.50%，和 B0-0.005%， Fe 余和伴随的杂质，并从其轧制温度在空气中连续自然冷却该钢轨至室温，或加速冷却该钢轨至室温。

2.权利要求 1 所要求的方法，其中钢轨的碳含量为 0.10-0.35%（重量）。

3.权利要求 1 或 2 所要求的方法，其中硅含量为 1.00-2.50%（重量）。

4.权利要求 1 所要求的方法，其中锰含量为 1.00-2.50%（重量），铬含量为 0.35-2.25%（重量），和钼含量为 0.15-0.60%（重量）。

5.一种由以下方法制备的耐磨和抗滚压接触疲劳且无碳化物的贝氏体钢轨，该方法包括步骤：热轧以成形钢，该钢成分（重量%）包括 C 0.05-0.50%,Si 和/或 Al 1.00-3.00%，Mn0.50-2.50%，Cr0.25-2.50%，Ni0-3.00%，S0-0.025%，W0-1.00%，Mo0-1.00%，Cu0-3%，Ti0-0.10%，V0-0.50%，和 B0-0.005%， Fe 余和伴随的杂质，并从其轧制温度在空气中连续自然冷却该钢轨至室温，或加速冷却该钢轨至室温。

说　　明　　书

改进的无碳化物贝氏体钢及其生产方法

本发明涉及无碳化物贝氏体钢并涉及该钢的生产方法。特别是，但不仅仅是，本发明涉及具有高耐磨性和滚压接触疲劳的无碳化物贝氏体钢，由该钢可特别生产轨道和吊车轨道，铁路道岔和道口，火车车轮和特别耐磨的型材和板材。

至今为止大多数轨道由珠光体钢生产。最近的综述指出，用于轨道珠光体钢正接近其材料性能改进的极限。所以，需要开发具有良好耐磨性和抗滚压接触疲劳性并伴随改进的延展韧性和可焊性的可供选择钢的类型。

EP0612852A1 公开了一种制造具有良好抗滚压接触疲劳性的高强度贝氏体钢的方法，其中使热轧钢轨的头部经受间断的冷却程序，该程序要求以 1 - 10 ℃/秒的速率从奥氏体区加速冷却到 500 - 300 ℃的冷却停止温度，然后进一步冷却钢轨头部到更低的温度区。发现由这种方法生产的钢轨比普通的珠光体钢轨更容易磨损并呈现改进的抗滚压接触疲劳性。这样，由该钢轨头部表面呈现的磨损速率的增加保证在故障出现以前积累的疲劳损坏通过磨损而除去。该钢轨呈现的物理性能通过上述加速冷却方法部分达到。

EP0612852A1 提出的办法显著不同于在轨道钢中达到显著高的耐磨性和极好抗滚压接触疲劳的本发明方法。该钢也呈现比珠光体钢轨改进的冲击韧性和延展性。本发明方法还避免对如 EP0612852A1 所述的复杂的间断冷却方法的需要。

其它说明复杂的间断冷却方法的类似文献包括 GB2132225 、GB207144、GB1450355、GB1417330、US5108518 和 EP0033600。

由含碳化铁的贝氏体钢生产的道轨以前已经提出。而细小的铁素体条尺寸（~ 0.2-0.8μm 宽）和连续冷却贝氏体的高位错密度的结合使钢强度很高，中间和内部条碳化物显微组织的存在导致脆性增加，这很大程

度上趋于妨碍该钢的工业利用。

已知因为有害碳化物的存在产生的脆性问题可通过利用比较大的硅和/或铝添加（～1－2％）到低合金钢而大大减轻。钢中存在的硅和/或铝连续转换到贝氏体将促使优先于形成脆性中间条渗碳体薄片而保留延性高碳奥氏体区，前提是分散的残余奥氏体应是热和力学上稳定的。已表明接着在贝氏体温度区连续冷却转换的残余奥氏体产生精细分开的中间条薄片，或“块”形式中间包区。而薄片组织具有非常高的热和力学稳定性，块状可转换成高碳马氏体，无助于好的断裂韧性。需要薄片与块状组织之比>0.9，以保证好的韧性，这可以通过仔细选择钢的成分和热处理来达到。这导致基本上无碳化物，基于贝氏体的铁素体、残余奥氏体和高碳马氏体的“上贝氏体”型显微组织。

本发明目的是提供具有显著高的硬度范围并呈现明显优于已知轨道钢的贝氏体钢。

按照本发明一个目标是提供一种生产耐磨和抗滚压接触疲劳的其显微组织基本无碳化物的贝氏体钢产品的方法，该方法包括步骤：热轧成分（重量％）包括 C0.05-0.50%,Si 和/或 Al1.00-3.00%,Mn0.50-2.50%,Cr0.25-2.50%,Fe 余和伴随杂质的钢，将钢自然在空气中从其热轧温度连续冷却或连续加速冷却。

该钢可另外包括一种或几种如下元素（重量％）：Ni≤3.00%,S≤0.025%,W≤1.00%,Mo≤1.00%,Cu≤3%,Ti≤0.10%,V≤0.50%,和 B≤0.005%。

优选钢成分的碳含量可为 0.10-0.35%（重量）。硅含量可为 1.00-2.50%（重量）。而锰含量可为 1.00-2.50%（重量），铬含量可为 0.35-2.55%（重量），钼含量可为 0.15-0.60%（重量）。

另一方面，本发明提供由上述三段说明的方法生产的耐磨和抗滚压接触疲劳钢。

按另一个目标，提供热轧或强冷的具有无碳化铁显微组织的抗滚压接触疲劳和耐磨的贝氏体钢轨，热轧后，该钢轨自然在空气中被连续冷却或加速冷却。

本发明钢呈现改进的滚压接触疲劳强度、延展性、弯曲疲劳寿命和

断裂韧性，并伴随着类似于或好于目前的热处理珠光体钢轨的抗滚压接触磨损性。

在某些情况下为了使钢轨头部表面上积累的滚压接触疲劳损坏被连续地磨掉考虑具有足够高的磨损速率对钢轨是有利的。一种明显提高钢轨磨损率的方法是降低其硬度。但是，钢轨硬度的显著降低引起在钢轨头部表面发生的严重塑性变形，这本身是不希望的。

所以，这个问题新的解决办法在于能生产足够高硬度/强度的钢轨，以抵抗在运行时过度的塑性变形，由此保持需要的钢轨形状，为不断去除滚动接触疲劳损坏还具有合理的高磨损率。通过对该钢成分的适当调节，这在本发明由慎重引入小比例软的先共析铁素体的基本上无碳化物的贝氏体显微组织已经达到。

本发明自然空气冷却的贝氏体钢的一个优于目前高强度珠光体钢轨的处理优点在于在钢轨生产和后续的通过焊接连接期间可取消热处理操作。

现在借助于实施例仅参考附图说明本发明。

图 1 说明本发明无碳化铁贝氏体钢轨的硬度分布；

图 2 是本发明无碳化物贝氏体钢的示意 CCT 图；

图 3 是本发明无碳化物贝氏体钢的扫描电子显微照片；

图 4 示出本发明轧制的无碳化铁的贝氏体钢的摆锤式 V－缺口冲击转变曲线，与目前用于铁路轨道的碳素的热处理珠光体钢的类似曲线比较；

图 5 是由本发明无碳化物贝氏体钢生产的钢试样的实验室滚压接触磨损率与硬度的关系图；

图 6 说明本发明无碳化物贝氏体钢和可商购的耐磨材料对圆形石英磨料的抗磨料磨损寿命；

图 7 是显示本发明电弧对接焊的无碳化物贝氏体钢板的硬度分布图；和

图 8 是本发明刚轧制的无碳化物贝氏体钢的顶端淬火硬化曲线。

本发明的第一目的是提供高强耐磨的抗滚压接触疲劳的包括主要无碳化物“贝氏体”与一些高碳马氏体和在钢轨头部的残余奥氏体的显微

组织。实际上，已经发现高强显微组织也存在于钢轨轨腰和轧制钢轨的底部区。113磅/码钢轨截面的典型布氏硬度（HB）分布示于图1。

该钢轨的高强头部、腰部和底部区在轨道运行时提供好的滚压接触和弯曲疲劳性能。

这个和其它要求的目的可通过仔细选择钢的成分和通过在空气中连续冷却钢或热轧后加速冷却来实现。

本发明钢的成分范围列于下面表A：

表A

元素	成分范围(重量%)
C	0.05-0.50
Al/Si	0.50-3.0
Mn	0.05-2.5
Ni/Cu	≤3.0
Cr	0.25-2.5
W	≤1.0
Mo	≤1.00
Ti	≤0.10
V	≤0.50
B	≤0.0050
余	Fe和伴随的杂质

在该范围中，根据需要的特别是硬度、延展性等可作出变化。但是，所有的钢本质上基本上是贝氏体的和无碳化物的。这样，优选的碳含量可落在范围0.10-0.35%（重量）内。而硅含量可为1-2.5%（重量），锰含量为1－2.5%（重量），铬含量为0.35-2.25%（重量）和钼含量为0.15-0.60%（重量）。

本发明钢一般硬度值在390－500Hv30之间，虽然也可能生产低硬度值的钢。典型的硬度值、磨损速率、延伸率和其它物理性能可参见所附的确定本发明11个试样钢的表B。

图2示出一个示意CCT图。硼的添加作用是阻止转变成铁素体，

以使在连续冷却期间，贝氏体在一个宽的冷却速度范围形成。另外，该贝氏体曲线有一个平顶，以使转变温度在一个宽的冷却速度范围实际上是恒定的，这导致横过相对大的空冷或加速冷却截面的强度仅很小变化。

将表B所列的钢从～125mm^{2}的钢锭轧成30mm厚的板（30mm厚板的冷却速度接近钢轨头部的中心的冷却速度），常规的空冷从终轧温度～1000℃到室温。

由此产生的轧制显微组织基本上包括如图3所示的无碳化物贝氏体，与高碳马氏体成不定比例的残留奥氏体的混合物。

轧制的30mm厚实验贝氏体钢板的力学性能的范围与目前生产的轧制热处理钢轨（MHT）的一般获得的力学性能的比较如下：

钢轨类型	0.2%PS (N/mm^2)	TS (N/mm^2)	El (%)	RofA (%)	Hv30	CVN(J) 在20℃	K1c 在-20℃ $MPcm^{\frac{1}{2}}$	滑动磨损速率(接触应力750N/mm^2)
MHT	800-900	1150-1300	9-13	20-25	360-400	3-5	30-40	20-30
贝氏体	730-1230	1250-1600	14-17	40-55	400-500	20-39	45-60	3-36

轧制的30mm厚的贝氏体钢板的性能表示强度和硬度水平比热处理珠光体钢轨的显著提高，并伴随着20℃摆锤冲击能水平从4到典型的35J的改善。二种轧制的贝氏体轨道钢成分（0.22%C、2%Cr、0.5%Mo、无B和0.24%C、0.5%Cr、0.5%Mo和0.0025%B）与碳素的轧制的热处理珠光体钢轨一起的摆锤V－缺口冲击转变曲线示于图4。还可看到二种贝氏体轨道钢降到－60℃低的温度保持高的冲击韧性。

在750N/mm^2的接触应力下轧制的30mm厚贝氏体钢板的实验室滚压接触磨损性比目前的珠光体的热处理钢轨的性能明显要好，如图5所图示。

本发明钢进行的试验还表明该贝氏体钢成分在磨料情况下提供高抗磨性，与低碳钢标准相比，抗圆形石英料相对磨损寿命约5.0。图6表明这些磨损寿命值优于许多工业可获得的耐磨材料，包括Abrazo450和13% Cr马氏体钢。

已发现轧制的 30mm 厚贝氏体钢板的断裂韧性（抗先有裂纹扩展慢）与热处理珠光体钢轨的一般值 30 - 40MPam$^{\frac{1}{2}}$ 范围的断裂韧性相比显著的高，在 45 - 60MPam$^{\frac{1}{2}}$ 之间。

发现轧制的 30mm 厚钢板很容易被电弧对接焊，在普通空冷的电弧对接焊钢板的临界焊接 HAZ 区的硬度值与原有钢板材料相当，或比其稍高，如图 7 所示。

轧制的 30mm 厚实验贝氏体钢板具有如图 8 所示的高淬硬性，对应于在 700 ℃，225 - 2 ℃/秒之间的冷却速度，在离淬火端 1.5-50mm 之间的距离产生几乎恒定的硬度值。

而叙述的本发明特别涉及钢轨，这些钢的其它预计的用途包括吊车轨道、铁路道岔和道口（铸造的和制造的）、火车车轮、特殊抗磨损型材和板材和特殊结构用途。

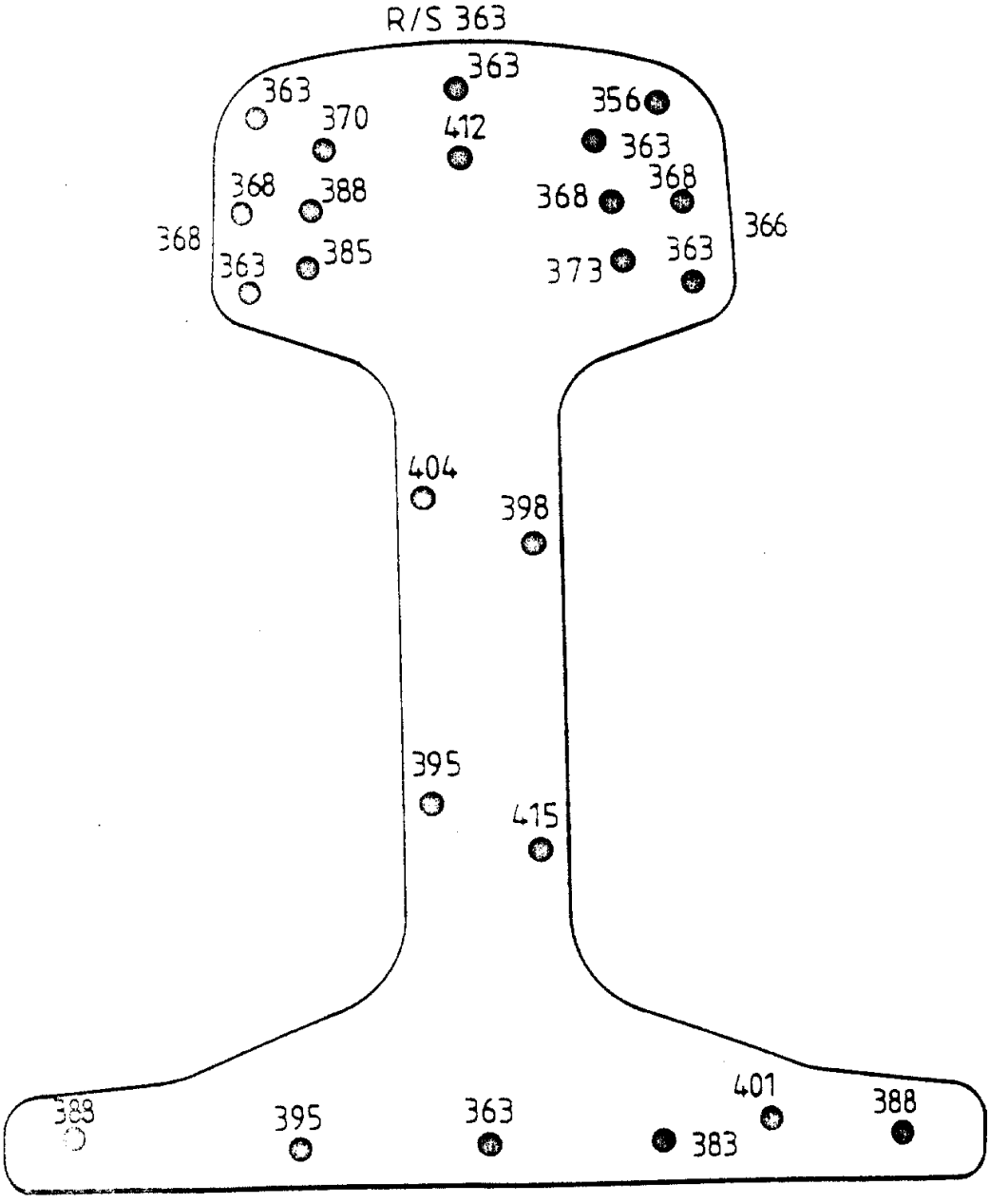

R/S 363
363
363
370
412
356
363
368
388
368
368
366
368
363
385
373
363
404
398
395
415
388
395
363
401
388
383

图 1

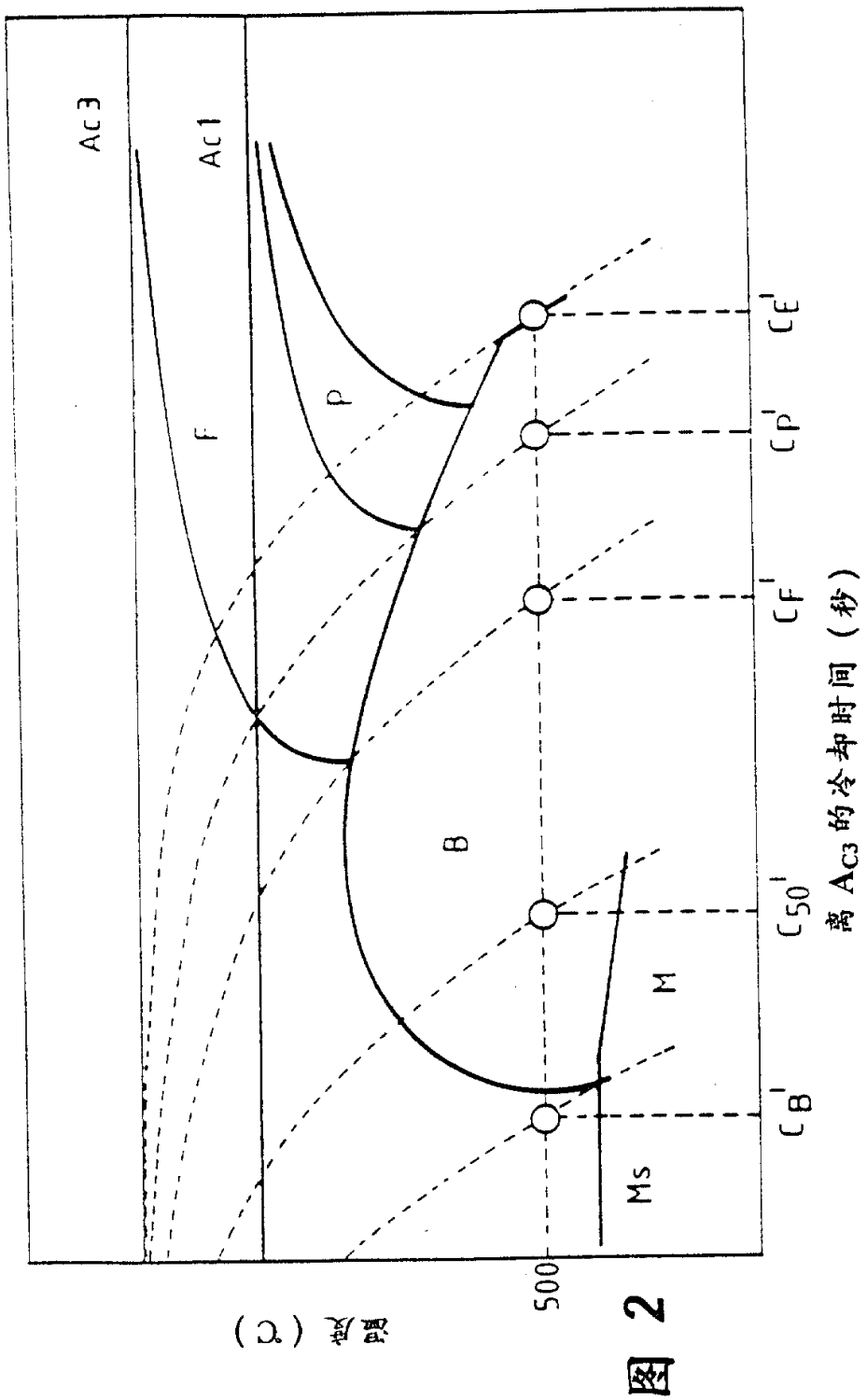
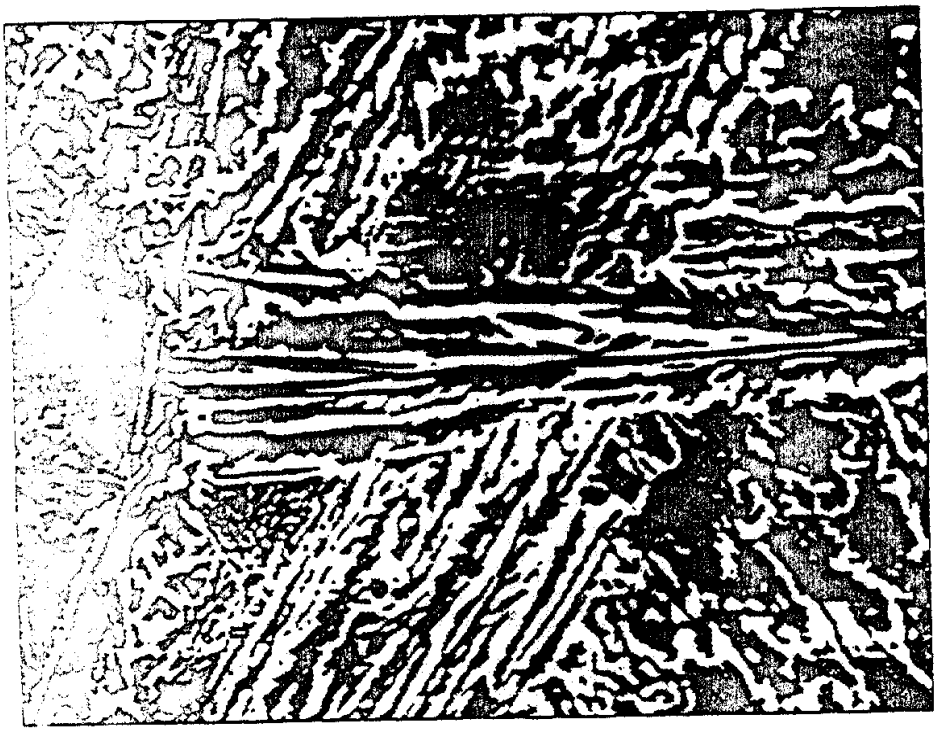


图 2



×5000

图 3

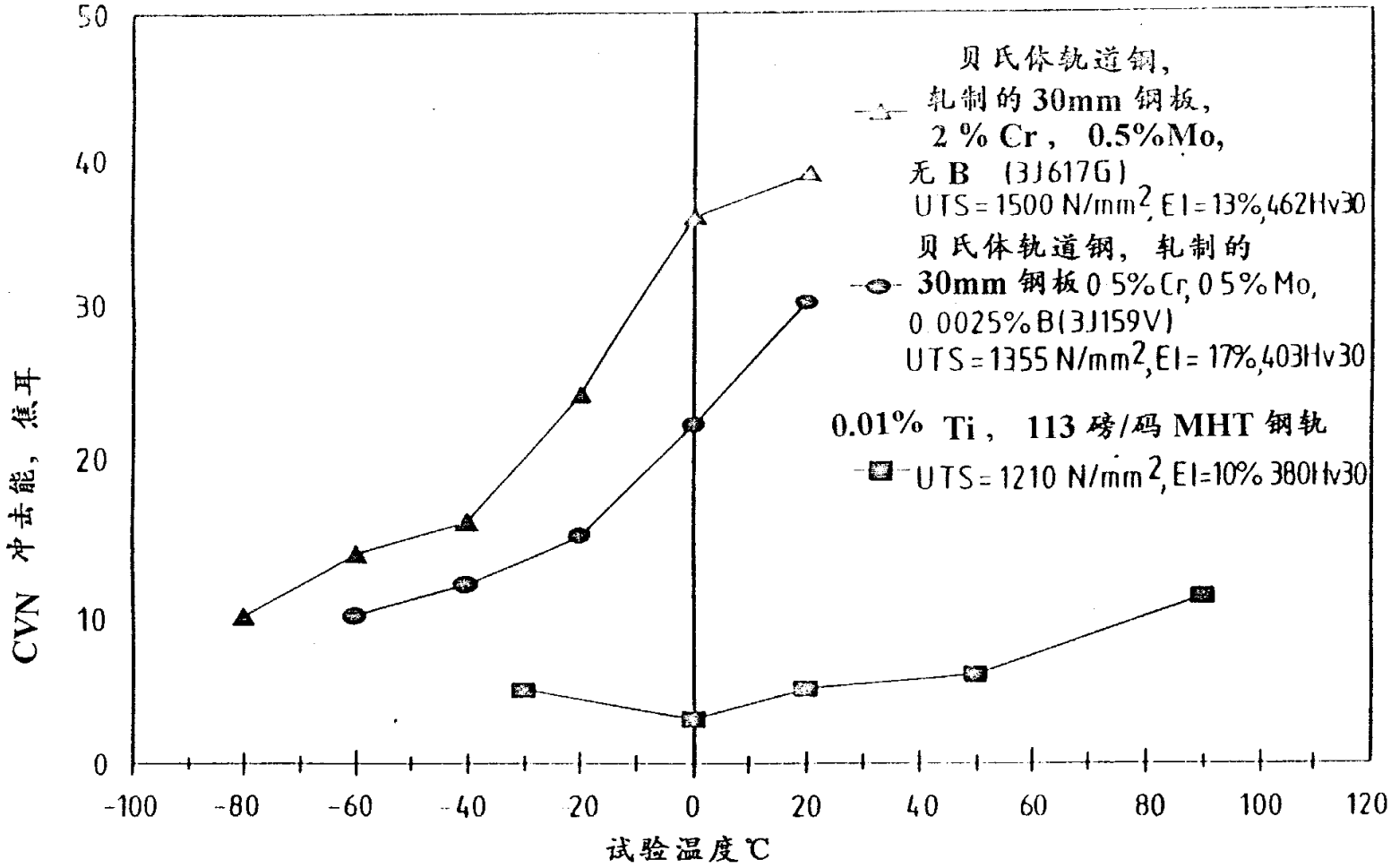

50
40
30
20
10
0
CVN 冲击能，焦耳
-100
-80
-60
-40
20
0
20
40
60
80
100
120
试验温度℃
贝氏体轨道钢，
轧制的30mm钢板，
2 % Cr， 0.5%Mo，
无 B (3J617G)
UTS = 1500 N/mm2, El = 13%,462Hv30
贝氏体轨道钢，轧制的
30mm 钢板 0 5% Cr, 0 5% Mo,
0 0025% B(3J159V)
UTS = 1355 N/mm2, El = 17%,403Hv30
0.01% Ti， 113 磅/码 MHT 钢轨
UTS = 1210 N/mm2, El=10% 380Hv30

图 4

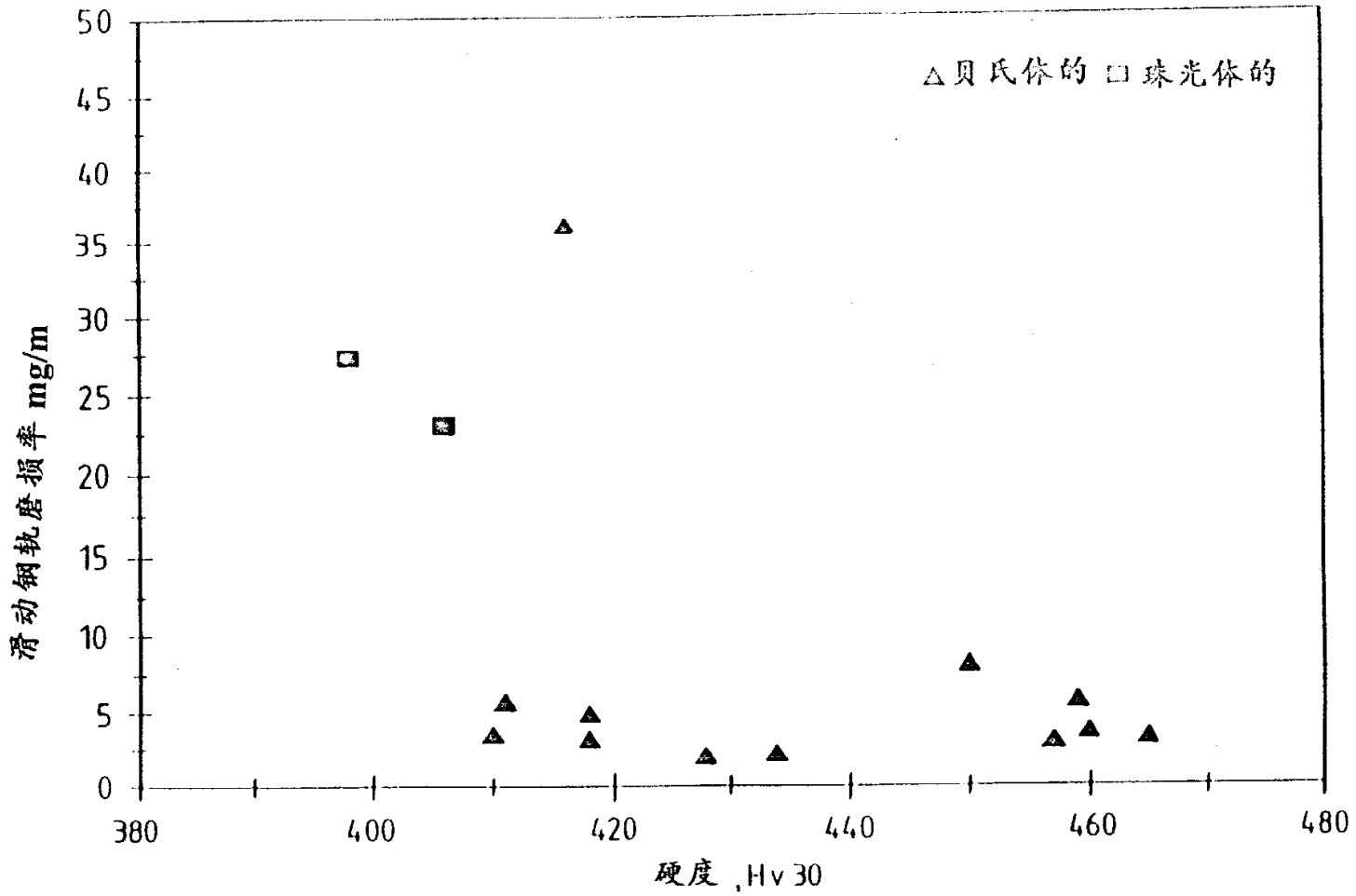

△贝氏体的 □珠光体的
滑动钢轨磨损率 mg/m
硬度，Hv 30
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
380
400
420
440
460
480

图 5

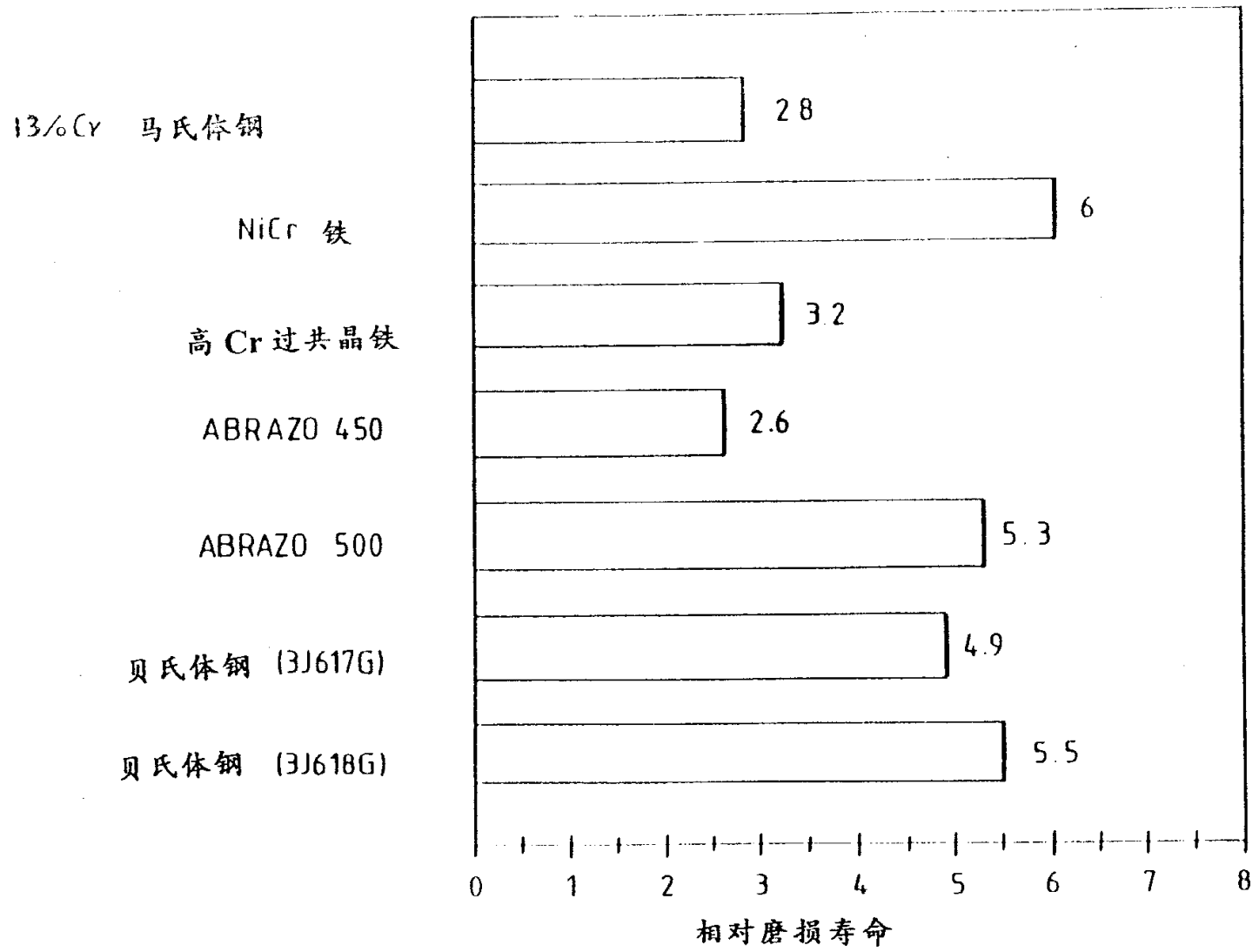

13%Cr 马氏体钢
NiCr 铁
高 Cr 过共晶铁
ABRAZO 450
ABRAZO 500
贝氏体钢 (3J617G)
贝氏体钢 (3J618G)
2.8
6
3.2
2.6
5.3
4.9
5.5
0
1
2
3
4
5
6
7
8
相对磨损寿命

图 6

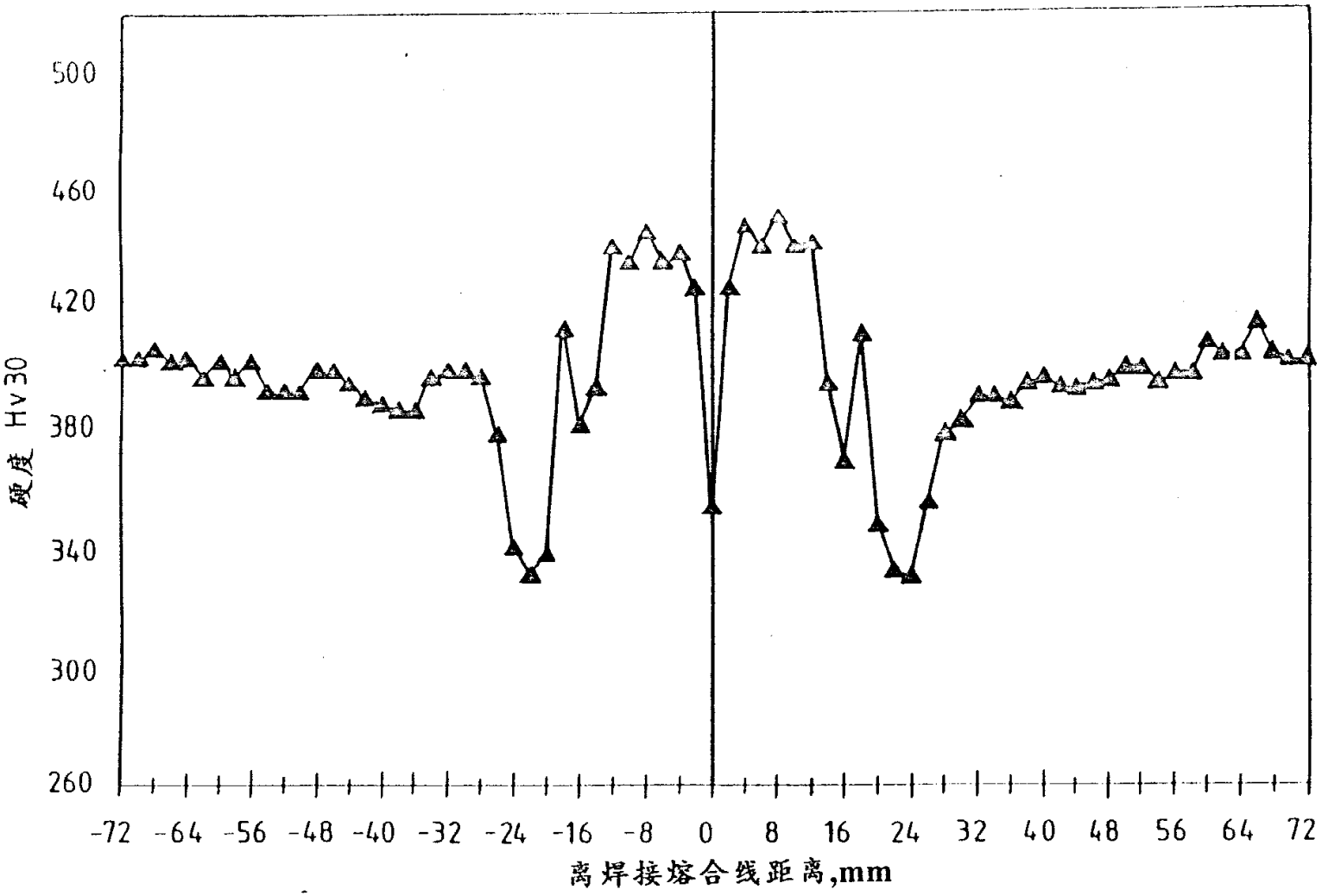

500
460
420
380
340
300
260
硬度 Hv30
-72 -64 -56 -48 -40 -32 -24 -16 -8 0 8 16 24 32 40 48 56 64 72
离焊接熔合线距离,mm

图 7

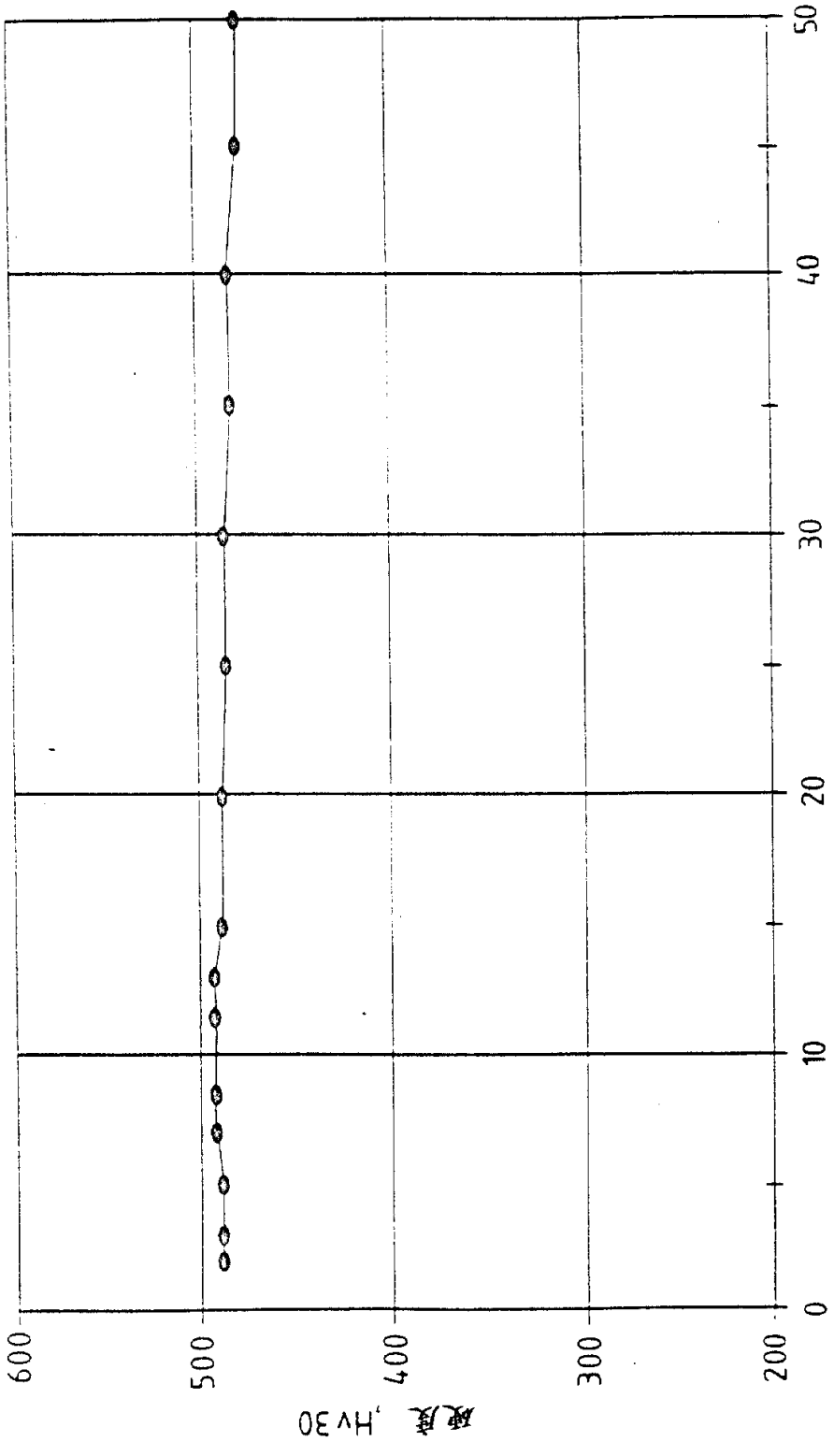


图 8