



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02143111.6

[43] 公开日 2003 年 3 月 26 日

[11] 公开号 CN 1405335A

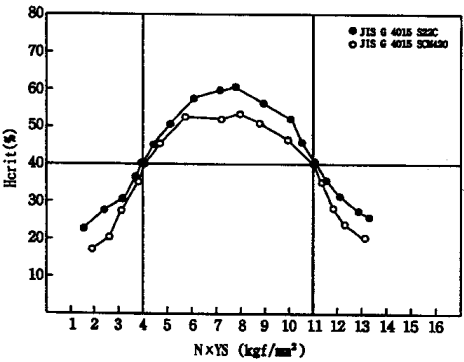
[22] 申请日 2002.9.13 [21] 申请号 02143111.6  
[30] 优先权  
[32] 2001.9.14 [33] KR [31] 56917/2001  
[71] 申请人 三和钢棒株式会社  
地址 韩国釜山广域市  
[72] 发明人 安顺泰 山冈幸男

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责  
任公司  
代理人 林 潮 顾红霞

权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 5 页

[54] 发明名称 具有优良冷锻性能的调质线材  
[57] 摘要

公开了具有优良冷锻性能、用于生产具有较高强度的各种机械零件的线材和钢筋。 通过将线材进行拉伸试验而获得的屈服强度(YS)和加工硬化系数(n)的乘积( $n \times YS$ )保持在  $4.0 - 11.0 \text{ kgf/mm}^2$  的范围之内,可以生产出这种线材,而不需要在冷锻之后进行另外的淬火和回火热处理。 不需要执行长时间的球化退火热处理,可以通过进行短时间的调质处理生产出具有优良冷锻性能的调质线材。



ISSN 1008-4274

## 具有优良冷锻性能的调质线材

## 5 技术领域

本发明涉及用于制造各种零件，例如螺栓和轴类这些具有相对较高强度的零件的线材和钢筋；特别是，涉及具有优良冷锻性能的调质线材，通过将有关材料质量的、影响线材的冷锻性能的新参数保持在特定的范围内，可以生产这种线材，同时不增加另外的热处理工艺，  
10 例如淬火或者回火。

## 背景技术

通常，在具有相对较高强度的机械结构中所用的零件，例如六角螺栓、U 形螺栓、球头螺栓，都是通过冷锻线材和钢筋（以下统称为  
15 “线材”）来生产。这类机械结构中所用的零件是这样来生产的：将线材加热到温度为 700℃，保持十个或者几个小时，这样线材的结构被球化以提高冷锻性能，如以下过程所示：

线材或钢筋→长时间的球化退火→冷锻→高温加热（850℃或者更高）→淬火（水或者油）→回火→成品

20 从以上可以知道，线材或者钢筋必须要经过诸如淬火和回火之类的热处理，以增加在冷锻后的强度和韧性。这样，由于其复杂的工艺导致必须提供许多加工工序。

25 因此，上述传统工艺具有如下的一些问题，需要在能源节省、生产率和工作条件方面进行改进。

（1）由于线材必须经过长时间的球化退火，因而增加了热能损失，降低了生产率。

（2）由于被加工线材需要在制造企业进行淬火和回火等附加工艺以提高其强度和韧性，因而增加了生产时间。另外，由于被加工  
30 线材需要在制造商自己的企业内进行热处理，使得工作条件恶化了。

1. 一种在冷锻工序之前具有调质结构的线材，其特征在于，通过对相关线材进行拉伸试验而获得的屈服强度（YS）和加工硬化系数（n）的乘积（ $n \times YS$ ），在  $4.0-11.0 \text{kgf/mm}^2$  的范围之内。

2. 一种通过延伸如权利要求 1 所述的线材而生产的线材，其特征在于，通过对相关线材进行拉伸试验而获得的屈服强度（YS）和加工硬化系数（n）的乘积（ $n \times YS$ ），在  $1.5-8.5 \text{kgf/mm}^2$  的范围之内。

如果把热处理转包给外部制造商，则热处理成本和管理交货日期的工时成本相应增加，因而导致整个工艺管理复杂化。

(3) 由于(1)和(2)中所提出的问题，依照热处理工序，将导致生产率下降。因此，迫切需要提高生产率。

5

如上所述，非常需要提高生产率、制造成本、工作条件以及与热处理相关的情况。

### 发明概述

10

因此，本发明考虑到上述出现在以前工艺中的问题，本发明的一个目的就是提供具有优良冷锻性能的调质线材，生产中通过在冷锻前进行热处理，避免了诸如淬火和回火之类的附加热处理工序。

15

为了实现上述目的，本发明提供一种在冷锻工序前具有调质结构的线材，其中通过对线材进行拉伸测试，可以获得屈服强度(YS)和加工硬化系数(n)的乘积( $n \times YS$ )，其范围在4.0-11.0kgf/mm<sup>2</sup>之间。

20

本发明也提供一种通过拉伸上述线材而获得的线材，其中通过对线材进行拉伸测试，可以获得屈服强度(YS)和加工硬化系数(n)的乘积( $n \times YS$ )，其范围在1.5-8.5kgf/mm<sup>2</sup>之间。

### 附图简述

由以下结合附图的详细描述，可以对本发明上述以及其它目的、特征和优点有更为清楚的认识，附图中：

25

图1和2是两张图表，显示“ $n \times YS$ ”值和临界压缩率( $H_{crit}$ )的关系，其中图1显示只经过淬火和回火的线材，图2显示在淬火和回火后进一步经过拉伸使面积缩小5-25%的线材；

图3a和图3b显示压缩试验的样品，图3a是压缩试验样品的透视图，图3b是样品缺口部分的放大视图；以及

30

图4是普通六角法兰螺栓的主视图，其中易于发生开裂的面以箭

头标出。

### 具体实施方式

本发明将通过实施例进行详细描述。

5

由于调质线材具有很高的强度，不能仅仅通过将高强度线材进行冷锻而得到希望的产品。经过大量研究，发现通过冷锻工序，用高强度线材生产各种复杂机器零件的工业中，有一个与材料质量有关的新参数，它可以用下式表示：

10

$n \times YS$

其中， $n$ ：拉伸试验获得的调质线材的加工硬化系数；

$YS$ ：调质线材的抗拉屈服强度（ $\text{kgf/mm}^2$ ）。

15

当新参数的值在一定范围之内时，调质线材具有优良的冷锻性能。

20

图 1 和 2 是两张图表，显示“ $n \times YS$ ”值和临界压缩率（ $H_{\text{crit}}$ ）的关系，其中图 1 显示只经过淬火和回火的线材，图 2 显示在淬火和回火后进一步经过拉伸使面积缩小 5-25%的线材。当面积缩减小于 5%时，由于拉伸的作用线材将剧烈振动，在线材的表面上产生连续的环状痕迹。另一方面，当面积缩减大于 25%时，在线材和拉伸模之间的表面压力和温度开始升高，从而向线材表面提供的润滑被中断，使得表面粘接，导致在表面上出现模具印痕。

25

以下将对样品的准备以及与图 1 和 2 中值“ $n$ ”、“ $YS$ ”、“ $H_{\text{crit}}$ ”有关的测量方法进行简要描述。

30

“ $YS$ (抗拉屈服强度)”的值以如下的方法获得：进行惯常的拉伸试验，从应力-应变图（ $S-S$  曲线）中得到屈服强度（0.2%的偏差）。

“n（加工硬化系数）”的值通过如下方法获得：调质线材在拉伸试验中被延长到接近极限载荷状态，画出 S-S 曲线，然后 S-S 曲线被转换成真实应力-真实应变曲线（ $\sigma - \epsilon$  曲线），然后计算  $\sigma - \epsilon$  曲线的对数值，按照曲线的斜率可以得到“n”值。在“n”值的测量范围中，只经过淬火和回火的线材，延长后名义延伸率为 2.0-4.0%；而在淬火和回火之后又经过一定延长的线材，其延伸范围在屈服载荷和极限屈服载荷的范围内，这是因为“n”值的可测量延伸率随线材的面积减小而变化。

“ $H_{crit}$ ”值通过如下的方法获得：在样品上加工如图 3a 所示的 V 形缺口，然后样品被压缩成不同的长度，当利用放大镜观察到在 V 形部分产生 1mm 长的裂纹时，通过下面列出的公式可以计算出临界压缩率。

$$H_{crit} = \frac{H_0 - H_1}{H_0} S100(\%)$$

其中， $H_0$ ：样品的初始高度（mm）；

$H_1$ ：当在 V 形缺口处产生 1mm 长的裂纹时样品的高度。

通过控制回火温度改变延伸率（ $G/L=8d$ ），可以改变“n”的值。可以发现这样的事实：延伸率变得越高，则“n”值变得越高。当回火温度高于 750℃时，在加热过程中将产生一些奥氏体颗粒，然后在回火冷却后，奥氏体颗粒转变，使得金属变脆。因此，不可能在温度为 750℃或者更高时进行回火，也很难通过提高延伸率来提高“n”值。

为了获得高的“n”值，加热温度改变为 1100-1300℃，使得奥氏体颗粒的尺寸增加到最大尺寸 90  $\mu m$ ，并且在高温下进行回火。由于通过高频感应加热连续执行加热-淬火-回火工序，加热+保持所需的时间周期为 40 秒钟。

$H_{crit}$  和  $n \times YS$  的值也是按照线材计算出来的，这些线材在上述的处理过程外，进行进一步的最终淬火和回火工序，涂上润滑油以提高冷锻性能，并进行 5-25% 的冷拉伸。

5

由图 1 和 2 中可以理解， $H_{crit}$  的值受到一个新值  $n \times YS$  的严重影响。在 V 形缺口压缩试验中，几次现场试验的结果都发现在临界压缩率 ( $H_{crit}$ ) 为 40% 或者更高时，冷锻性能非常好。因此，这个值可以作为冷锻的一个参考指标。根据本发明，很明显，如果满足以下所提出的条件，就能够生产出具有优良冷锻性能的调质线材。因此可以理解，参考指标是生产具有优良冷锻性能的调质线材的一个重要的参数。

10

当只进行淬火和回火工序时， $n \times YS = 4.0 - 11.0 \text{ kgf/mm}^2$ 。

15

当在淬火和回火后进行延伸时， $n \times YS = 1.5 - 8.5 \text{ kgf/mm}^2$ 。

20

进一步，从图 1 和 2 的 SCM420 和 S22C 的比较中最新发现，不管调质线材、碳素钢丝及类似产品的组分如何，该参数都可使用。同样，很明显加热方式也不限于高频加热，该新参数适用于许多类调质线材。

在下面的例子中，可以更清楚地理解本发明。

25

作为线材的原材料，使用 JIS G 4105 SCM420 (C 0.21%、Si 0.22%、Mn 0.75%、P 0.012%、S 0.009%、Cr 1.10%、Mo 0.23%) 和 JIS G 4015 S22C (C 0.23%、Si 0.22%、Mn 0.58%、P 0.010%、S 0.008)。

30

直径为 16mm 的线材被延长到其直径减小为 14.7mm，使用高频感应加热设备将加热温度改变成 880-1300℃ (一个时间周期，秒)。

通过这样的加热，奥氏体颗粒的尺寸（ $\gamma$  颗粒尺寸）被改变为在 5-90  $\mu\text{m}$  的范围之内。随后，线材被迅速冷却。冷却后的线材按如下方式经过回火工序：线材被高频感应加热炉加热，并在 200-750℃ 的温度下保持 40 秒的时限，然后用水冷却。回火线材经过磷酸锌处理，这是一种经常用于冷锻的润滑涂层剂。然后，线材被延长，直至面积减小 5-25%，从而获得样品。

在调质线材出现裂痕后，对加工硬化系数（ $n$ ）、屈服强度（ $YS$ ）、临界压缩率（ $H_{\text{crit}}$ ）、抗拉强度（ $TS$ ）和延伸率的值进行计算。通过冷锻，准备好由调质线材制成的机械零件（六角法兰螺栓），如图 4 所示，检查机械零件是否产生裂纹，以检验本发明的性能。

由于零件易于在图 4 中箭头所示的部分产生裂纹，在这部分出现的裂纹被当作冷锻性能的一个参考指标。

表 1 显示用 SCM420 制成、只经过淬火和回火处理的线材的各种性能；表 2 显示由 S22C 制成只经过淬火和回火处理的线材的各种性能。从表 1 和表 2 可以了解到，根据本发明的所有线材，具有范围在 4.0-11.0kgf/mm<sup>2</sup> 之内的“ $n \times YS$ ”值，可以表现出 40% 以及更高的压缩率，而不管是何种样品。进一步，由没有一个冷锻加工的实际零件出现裂纹的事实，可以证明根据本发明加工的调质线材具有优良的冷锻性能。应特别强调的一个事实是，“ $n \times YS$ ”的值随“ $n$ ”的值变化，即使线材具有相同的抗拉强度，而不管其抗拉强度等级如何。因此，可以理解，诸如临界压缩率（ $H_{\text{crit}}$ ）之类的冷锻性能随“ $n \times YS$ ”值变化。这是本发明的要点。

表 3 显示由 SCM420 制成的、经过淬火和回火处理后进行延伸的线材的各种性能；表 4 显示由 S22C 制成的、经过淬火和回火处理后进行延伸的线材的各种性能。通过表 3 和表 4，可以理解，经过延伸使面积缩减 5-25% 的线材，其“ $n \times YS$ ”值在 1.5-8.5kgf/mm<sup>2</sup> 的范围之

内，具有优良的冷锻性能。

表 1 SCM420 线材（淬火和回火）的各种性能

| 屈服强度<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | n 值  | n×YS<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 抗拉强度<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 延伸率<br>(%) | γ 颗粒<br>尺寸<br>(μm) | H <sub>crit</sub><br>(%) | 裂纹 | 备注    |
|--------------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------|--------------------------|----|-------|
| 143.0                          | 0.02 | 2.86                           | 158.5                          | 7.1        | 8.0                | 21.5                     | 有  | 对比线材  |
| 126.0                          | 0.03 | 3.78                           | 149.4                          | 8.8        | 8.0                | 33.3                     | 有  | 本发明线材 |
| 106.3                          | 0.04 | 4.25                           | 137.3                          | 12.0       | 8.2                | 42.4                     | 没有 | 本发明线材 |
| 101.6                          | 0.05 | 5.08                           | 139.1                          | 15.1       | 30.6               | 47.6                     | 没有 | 本发明线材 |
| 118.0                          | 0.09 | 10.62                          | 136.0                          | 13.0       | 42.5               | 43.8                     | 没有 | 本发明线材 |
| 110.0                          | 0.06 | 6.60                           | 125.0                          | 14.5       | 10.0               | 52.1                     | 没有 | 本发明线材 |
| 100.0                          | 0.07 | 7.00                           | 115.0                          | 17.0       | 8.0                | 52.0                     | 没有 | 本发明线材 |
| 91.0                           | 0.15 | 13.65                          | 110.5                          | 17.5       | 77.1               | 18.8                     | 有  | 对比线材  |
| 103.5                          | 0.06 | 6.21                           | 118.6                          | 16.0       | 25.0               | 52.2                     | 没有 | 本发明线材 |
| 92.0                           | 0.09 | 8.28                           | 107.4                          | 18.5       | 12.4               | 53.1                     | 没有 | 本发明线材 |
| 84.0                           | 0.10 | 8.40                           | 92.0                           | 19.0       | 12.3               | 54.5                     | 没有 | 本发明线材 |
| 75.0                           | 0.10 | 7.50                           | 85.0                           | 20.0       | 11.2               | 53.9                     | 没有 | 本发明线材 |
| 73.1                           | 0.14 | 10.23                          | 86.0                           | 22.0       | 41.3               | 46.6                     | 没有 | 本发明线材 |
| 68.1                           | 0.16 | 10.90                          | 80.5                           | 25.9       | 68.2               | 42.1                     | 没有 | 本发明线材 |
| 65.2                           | 0.12 | 7.82                           | 75.0                           | 24.0       | 33.5               | 52.4                     | 没有 | 本发明线材 |
| 62.3                           | 0.18 | 11.21                          | 72.2                           | 28.1       | 80.0               | 38.8                     | 有  | 对比线材  |
| 64.2                           | 0.14 | 8.99                           | 70.0                           | 25.0       | 38.5               | 52.0                     | 没有 | 本发明线材 |
| 61.7                           | 0.20 | 12.34                          | 72.0                           | 29.8       | 78.0               | 27.5                     | 有  | 对比线材  |
| 63.1                           | 0.16 | 10.10                          | 72.1                           | 25.5       | 48.0               | 46.3                     | 没有 | 本发明线材 |
| 68.0                           | 0.04 | 2.72                           | 77.0                           | 14.5       | 5.0                | 20.0                     | 有  | 对比线材  |

表 2 S22C 线材（淬火和回火）的各种性能

| 屈服强度<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | n 值  | n×YS<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 抗拉强度<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 延伸率<br>(%) | γ 颗粒<br>尺寸<br>(μm) | H <sub>crit</sub><br>(%) | 裂纹 | 备注    |
|--------------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------|--------------------------|----|-------|
| 145.0                          | 0.02 | 2.90                           | 158.0                          | 7.0        | 8.0                | 29.5                     | 有  | 对比线材  |
| 129.0                          | 0.03 | 3.78                           | 151.1                          | 8.9        | 8.0                | 37.7                     | 有  | 本发明线材 |
| 124.7                          | 0.03 | 3.74                           | 141.5                          | 11.8       | 10.0               | 36.9                     | 没有 | 本发明线材 |
| 106.8                          | 0.04 | 4.27                           | 135.1                          | 12.8       | 18.8               | 42.3                     | 没有 | 本发明线材 |
| 118.1                          | 0.11 | 12.99                          | 136.6                          | 17.2       | 43.0               | 26.5                     | 没有 | 本发明线材 |
| 108.0                          | 0.06 | 6.48                           | 124.8                          | 14.5       | 11.0               | 58.5                     | 没有 | 本发明线材 |
| 109.0                          | 0.07 | 7.63                           | 124.4                          | 17.0       | 8.5                | 61.0                     | 没有 | 本发明线材 |
| 102.2                          | 0.11 | 11.24                          | 116.0                          | 17.5       | 34.5               | 38.9                     | 有  | 对比线材  |
| 87.4                           | 0.12 | 10.49                          | 101.6                          | 18.8       | 25.0               | 44.5                     | 没有 | 本发明线材 |
| 104.4                          | 0.08 | 8.35                           | 118.1                          | 17.8       | 12.5               | 57.1                     | 没有 | 本发明线材 |
| 96.6                           | 0.13 | 12.56                          | 107.1                          | 19.0       | 88.4               | 28.4                     | 没有 | 本发明线材 |
| 86.5                           | 0.11 | 9.52                           | 98.6                           | 19.5       | 28.5               | 52.9                     | 没有 | 本发明线材 |
| 75.9                           | 0.14 | 10.63                          | 87.1                           | 21.5       | 38.1               | 44.3                     | 没有 | 本发明线材 |
| 74.5                           | 0.12 | 8.94                           | 86.4                           | 22.0       | 33.0               | 55.1                     | 没有 | 本发明线材 |
| 63.8                           | 0.17 | 10.85                          | 81.2                           | 25.0       | 72.3               | 42.6                     | 没有 | 本发明线材 |
| 66.2                           | 0.15 | 9.93                           | 75.2                           | 24.0       | 40.0               | 52.1                     | 有  | 对比线材  |
| 62.4                           | 0.18 | 11.23                          | 72.2                           | 28.8       | 80.0               | 38.7                     | 没有 | 本发明线材 |
| 63.5                           | 0.16 | 10.16                          | 73.1                           | 25.0       | 38.0               | 48.1                     | 有  | 对比线材  |
| 63.0                           | 0.15 | 9.45                           | 72.4                           | 26.5       | 45.0               | 52.0                     | 没有 | 本发明线材 |
| 57.0                           | 0.23 | 13.11                          | 68.6                           | 30.1       | 90.0               | 26.5                     | 有  | 对比线材  |
| 68.9                           | 0.04 | 2.76                           | 78.0                           | 15.1       | 5.7                | 29.0                     | 有  | 对比线材  |

表 3 SCM420 线材（淬火和回火后延伸）的各种性能

| 屈服强度<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | n 值  | n×YS<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 抗拉强度<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 延伸率<br>(%) | γ 颗粒<br>尺寸<br>(μm) | H <sub>crit</sub><br>(%) | 裂纹 | 备注    |
|--------------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------|--------------------------|----|-------|
| 132.9                          | 0.01 | 1.33                           | 151.1                          | 9.8        | 36.8               | 5.0                      | 有  | 对比线材  |
| 92.0                           | 0.02 | 1.84                           | 103.4                          | 15.7       | 42.0               | 10.0                     | 没有 | 本发明线材 |
| 102.8                          | 0.01 | 1.03                           | 120.9                          | 8.7        | 29.8               | 25.0                     | 有  | 对比线材  |
| 118.3                          | 0.03 | 3.55                           | 134.4                          | 14.9       | 48.0               | 17.8                     | 没有 | 本发明线材 |
| 91.7                           | 0.07 | 6.42                           | 110.5                          | 17.8       | 46.8               | 8.8                      | 没有 | 本发明线材 |
| 109.0                          | 0.05 | 5.45                           | 121.1                          | 16.3       | 47.6               | 21.8                     | 没有 | 本发明线材 |
| 81.2                           | 0.09 | 7.31                           | 89.2                           | 11.3       | 43.7               | 25.0                     | 没有 | 本发明线材 |
| 62.6                           | 0.10 | 6.26                           | 72.8                           | 15.3       | 46.7               | 19.8                     | 没有 | 本发明线材 |
| 117.2                          | 0.07 | 8.20                           | 127.2                          | 16.7       | 42.1               | 15.0                     | 没有 | 本发明线材 |
| 125.2                          | 0.07 | 8.76                           | 131.8                          | 9.3        | 35.4               | 25.0                     | 有  | 对比线材  |

表 4 S22C 线材（淬火和回火后延伸）的各种性能

| 屈服强度<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | n 值  | n×YS<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 抗拉强度<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 延伸率<br>(%) | γ 颗粒<br>尺寸<br>(μm) | H <sub>crit</sub><br>(%) | 裂纹 | 备注    |
|--------------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------|--------------------------|----|-------|
| 135.0                          | 0.01 | 1.35                           | 150.0                          | 10.3       | 38.0               | 12.0                     | 有  | 对比线材  |
| 101.6                          | 0.04 | 4.06                           | 118.2                          | 16.7       | 55.1               | 5.1                      | 没有 | 本发明线材 |
| 115.0                          | 0.02 | 2.30                           | 130.7                          | 13.4       | 48.1               | 16.0                     | 没有 | 本发明线材 |
| 71.8                           | 0.09 | 6.46                           | 88.7                           | 17.5       | 52.1               | 8.9                      | 没有 | 本发明线材 |
| 111.1                          | 0.01 | 1.11                           | 122.1                          | 9.7        | 35.0               | 25.0                     | 有  | 对比线材  |
| 83.6                           | 0.06 | 5.02                           | 101.9                          | 16.7       | 55.3               | 10.1                     | 没有 | 本发明线材 |
| 90.3                           | 0.10 | 9.03                           | 98.2                           | 11.6       | 33.6               | 24.1                     | 有  | 对比线材  |
| 68.9                           | 0.11 | 7.58                           | 81.4                           | 18.2       | 47.6               | 6.9                      | 没有 | 本发明线材 |
| 83.2                           | 0.10 | 8.32                           | 98.3                           | 16.8       | 42.7               | 13.5                     | 没有 | 本发明线材 |
| 96.1                           | 0.09 | 8.65                           | 109.3                          | 15.3       | 38.9               | 15.0                     | 有  | 对比线材  |

如上所述，根据本发明的线材具有如下优点：

5           （1）生产上无需进行长时间的球化退火热处理，并且可能通过短时间的调质热处理，生产出冷锻性能与通过球化退火而获得的线材性能相同或者超出的线材。

10           （2）机械零件在冷锻工序后，无需经过另外的淬火和回火热处理来增加强度。因此，有可能实现能源节省并改善工作条件，生产出具有与只经过冷锻工序的传统线材相同或者更好的强度和韧性的机械零件，质量和工艺管理得以简化，从而使得生产率大为提高。

15           尽管为了直观的目的采用了本发明的优选实施例进行了描述，但本领域技术人员可以理解，对本发明可以进行各种修改、增加和替代，而不会脱离在所附权利要求书中所公开的本发明范围和实质。

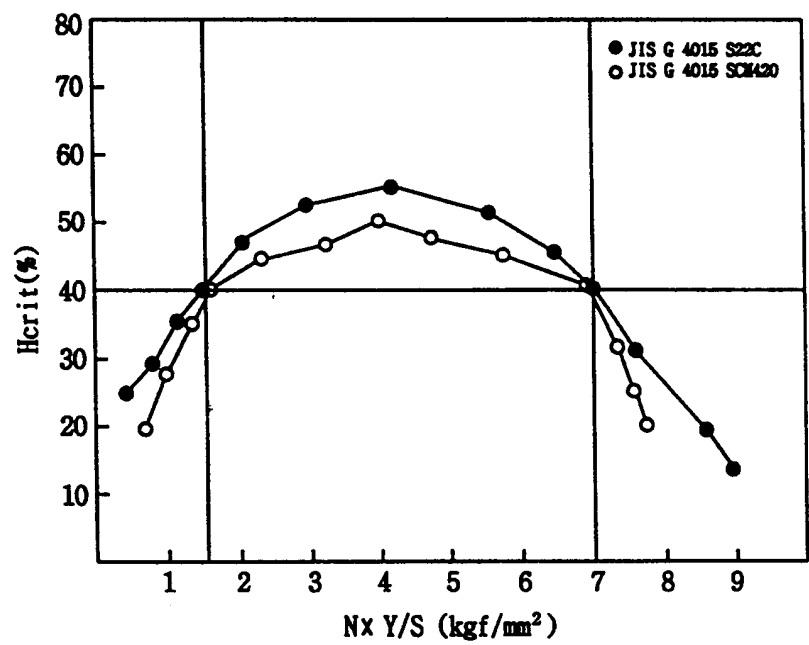


图 2

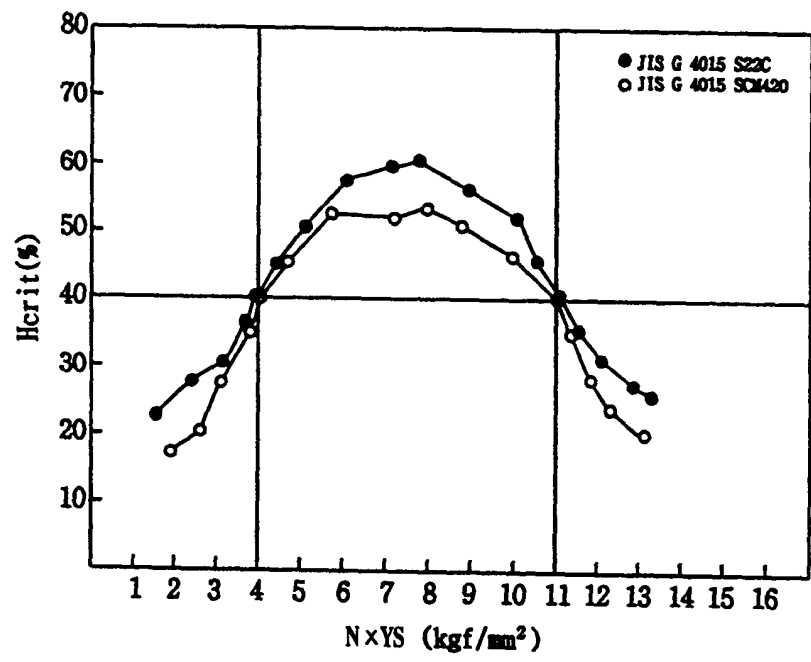


图 1

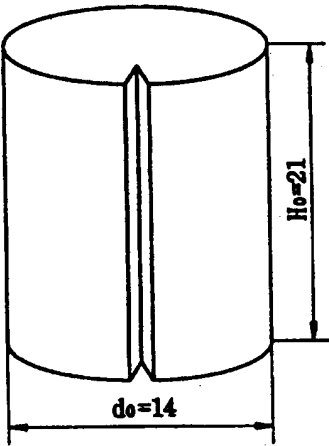


图 3a

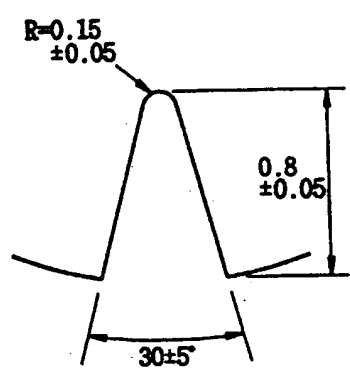


图 3b

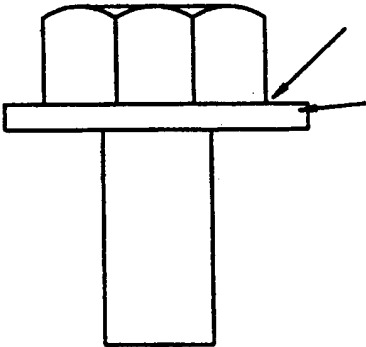


图 4