

一种节能型冷锻钢及其制造方法

技术领域

本发明涉及钢材及其制造方法，尤其涉及冷锻钢及其制造方法。

背景技术

随着汽车产业的飞速发展，面对广阔的汽车市场，变速器的需求量长久居高不下。由于齿轮的形状较为特殊，对尺寸精度要求较高，很多企业采用热锻加工后精加工的工艺方式进行齿轮生产。然而，在采用这种传统的齿轮制造工艺进行生产时，一方面不仅材料的利用率较低，另一方面热锻需要的能源消耗较高，会增加加工成本，且会产生环境污染。

因此，部分零部件加工企业采用冷锻技术来生产齿轮。零件冷锻加工具备多方面的优势，包括锻件尺寸的精密度高；锻件材料不易产生氧化皮，表面光洁度较好；材料利用率高，减少了切削废料和加热烧损；可使锻件的金属纤维流向获得特定的方向；不需要加热处理，使污染问题降至最低程度；不需要加热费用，降低生产成本等。由此可见，冷锻技术更符合未来清洁制造和绿色环保的趋势，可以为可持续发展创造有利条件。

然而，冷锻技术对材料的塑性要求很高。由于齿轮的形状较为复杂，且冷锻加工要求材料具备极佳的塑性，经常发生因钢材塑性不足导致挤压过程中钢材开裂或者微裂纹萌生的情况，导致加工后零件报废率高，检测成本上升。常规的冷锻用钢材通常需经过如下处理：材料经过热轧后，冷却至室温，最后进行球化退火。由于球化退火需要十几个小时甚至几十个小时，导致耗费大量的时间和能源。

因此，本领域期望获得一种具有优良塑性和冷加工特性且节约耗能的冷锻钢。

发明内容

鉴于现有技术的上述缺陷与不足，本发明人通过合理的化学成分设计获得了一种冷锻钢，其具有优异的塑性和冷加工特性。相比于常规的冷锻钢材，采用本发明的冷锻钢生产制造锻件（特别是高精度锻件，例如齿轮）时，可以有效地节省能源，并降低环境污染。

在第一方面，本公开提供一种冷锻钢，所述冷锻钢除包含 90% 以上的 Fe 和不可避免的杂质之外，还包含以质量百分比计的如下化学元素：

C: 0.170-0.220%、Si: 0.10-0.30%、Mn: 1.00-1.20%、S: 0.010-0.020%、Cr: 1.10-1.30%、

Al: 0.015-0.045%、N: 0.0100-0.0180%、Ti: 0.040-0.100%。

在第二方面，本公开提供一种冷锻钢，其包含以质量百分比计的如下化学元素：

C: 0.170-0.220%、Si: 0.10-0.30%、Mn: 1.00-1.20%、S: 0.010-0.020%、Cr: 1.10-1.30%、

Al: 0.015-0.045%、N: 0.0100-0.0180%、Ti: 0.040-0.100%，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

在一个优选实施方案中，本公开的冷锻钢还包含 Ca，所述 Ca 的含量满足： $0 < \text{Ca} \leq 0.005\%$ ，优选 $0.001\% < \text{Ca} \leq 0.003\%$ 。

在一个优选的实施方案中，本公开的冷锻钢中，Mn 的含量为 1.10-1.20%。

在一个优选的实施方案中，本公开的冷锻钢中，Cr 的含量为 1.16-1.30%。

在一个优选的实施方案中，本公开的冷锻钢中，Ti 的含量为 0.050-0.080%。

在一个实施方案中，本公开的冷锻钢中，不可避免的杂质包括 P 和 O。在一个优选的实施方案中， $P \leq 0.015\%$ ，和/或 $O \leq 0.0030\%$ 。

在一个优选的实施方案中，本公开的冷锻钢的微观组织为铁素体+球状碳化物。

在一个优选的实施方案中，本公开的冷锻钢的组织球化率为 90%以上。

本公开的冷锻钢的力学性能满足下述各项中的至少一项：屈服强度为 220-270MPa，抗拉强度为 430-480MPa，延伸率 $\geq 35\%$ ，断面收缩率 $\geq 66\%$ 。优选地，本公开的冷锻钢的力学性能满足如下：屈服强度为 220-270MPa，抗拉强度为 430-480MPa，延伸率 $\geq 35\%$ ，断面收缩率 $\geq 66\%$ 。

在第三方面，本公开提供上述冷锻钢的制造方法，包括如下步骤：（1）对钢水进行冶炼和浇铸，获得铸坯；（2）对铸坯进行加热和轧制，获得中间坯；（3）对中间坯进行加热和轧制，获得轧制后圆钢；（4）对轧制后圆钢进行冷却；（5）退火。

在一个实施方案中，在步骤（1）中，冶炼可以采用电炉或转炉冶炼；和/或，浇铸可以采用模铸或连铸。

在一个实施方案中，在步骤（2）中，将铸坯加热至 1000-1120°C，优选 1000-1100°C。

在一个实施方案中，在步骤（3）中，将中间坯加热至 1050-1200°C，优选 1050-1120°C，并保温 5-6 小时。

在一个实施方案中，在步骤（3）中，轧制单道次变形量 ξ 为 20-40%，终轧温度 T 为 870-930°C，轧制单道次变形量 ξ 与终轧温度 T 之间满足： $4.00 \leq \ln(T-850) - \ln \xi \leq 6.00$ 。优选地， $4.05 \leq \ln(T-850) - \ln \xi \leq 5.95$ 。

在一个实施方案中，在步骤（4）中，以 20°C/s 以上（例如 20-30°C/s）的冷却速度将轧制后的圆钢冷却至 370-410°C。通过采用 20°C/s 以上的冷却速度，可以使基体中形成马氏体

组织, 保证基体中存在大量的畸变能, 从而为后续的组织转变提供相变能, 有利于碳化物的析出和球化。此外, 通过采用 20°C/s 以上的冷却速度使轧制后的圆钢冷却至 370-410°C, 可以既保证基体完成马氏体转变, 又可节省后续退火过程中的能源消耗。

在一个实施方案中, 在步骤 (5) 中, 退火温度为 $740\pm 10^{\circ}\text{C}$, 保温时间为 8 小时以上。

在一个实施方案中, 在退火步骤后, 出炉空冷。

本公开的制造方法中, 对冷锻钢的制造工艺参数进行了优化设计, 进一步改善了冷锻钢的塑性。本公开的制造方法不包括球化退火步骤, 能够有效减少能源的消耗。由此获得的冷锻钢在加工零件时, 可以省去零件热锻造前的加热和正火步骤, 具有耗时短、节能的特点。

本公开通过合理的化学成分设计并配合优化的制造方法, 获得的冷锻钢不仅具有优良的塑性和冷加工特性, 而且使得可以在其生产过程中省去球化退火步骤, 有效减少能源的消耗。此外, 采用本公开的冷锻钢生产制造零件时, 可以省去零件热锻造前的加热和正火步骤, 适用性十分广泛, 具有良好的推广前景和应用价值。

附图说明

图 1 示意性地显示了实施例 4 的冷锻钢在光学显微镜下的微观组织形貌。

图 2 示意性地显示了对比例 1 的冷锻钢在光学显微镜下的微观组织形貌。

具体实施方式

除非另有定义, 否则本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属领域的普通技术人员的通常理解相同的含义。

如本文所用, 术语“和/或”涉及并涵盖一个以上所列项目的任何和所有可能组合。

在本文中, 屈服强度是金属材料发生屈服现象时的屈服极限, 也就是抵抗微量塑性变形的应力。

在本文中, 抗拉强度是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值, 也是金属在静拉伸条件下的最大承载能力。抗拉强度即表征材料最大均匀塑性变形的抗力。

在本文中, 延伸率即材料拉伸断裂后标距段的总变形 ΔL 与原标距长度 L 之比的百分数: $\delta = \Delta L / L \times 100\%$, 是描述材料塑性性能的指标。

在本文中, 断面收缩率是试样拉断后其缩径处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。

在本文中, 屈服强度、抗拉强度、延伸率、断面收缩率根据 GB/T228-2010 进行测定。

在本文中，“组织球化率”依据 ASTM F2282 进行测定。

本公开的冷锻钢中，各化学元素的设计原理具体如下所述：

C（碳）：在本公开的冷锻钢中，C 元素是影响钢材淬透性的关键元素之一。添加适量的 C 元素可以保证钢材具有良好的淬透性和适当的强度，有利于提高钢材加工成最终零件的耐磨性。当钢中 C 元素含量太低时，无法保证钢获得较高的抗拉强度，导致齿轮心部的组织强度偏低，齿轮的抗变形能力降低，使齿轮的疲劳寿命降低。然而，钢不宜添加过量的 C。钢中 C 元素含量提高会增加材料的硬度，并在后续加工过程中导致材料强度过高，增加冷锻过程中模具的损耗，引起下游加工成本升高。因此，为了实现钢材的窄淬透性，在本公开的冷锻钢中，将 C 元素的质量百分比控制在 0.170-0.220%之间。

Si（硅）：在本公开的冷锻钢中，Si 元素是铁素体形成元素，其具有较强的固溶强化效果，可以有效提高钢材的强度。此外，Si 作为一种脱氧剂，其还能够有效降低钢水中氧含量。但是，需要注意的是，钢中 Si 元素含量不宜过高。当钢中 Si 元素含量过高时，会降低钢材的塑性。因此，在本公开的冷锻钢中，将 Si 元素的质量百分比控制在 0.10-0.30%之间。

Mn（锰）：在本公开的冷锻钢中，当钢中存在一定量的 S 元素时，Mn 元素易与 S 形成塑性的 MnS。在后续的齿轮精加工过程中，MnS 能够有效提高断屑效果，改善切削性能。但需要注意的是，钢中 Mn 元素含量不宜过高。当钢中 Mn 元素含量过高时，会导致钢材的偏析加剧，不利于材料的组织均匀性。Mn 是影响齿轮钢淬透性的核心元素。因此，为了改善材料的易切削性能，同时避免钢的偏析严重，降低淬透性波动，在本公开的冷锻钢中，将 Mn 元素的质量百分比控制在 1.00-1.20%之间。

S（硫）：在本公开的冷锻钢中，S 元素可以与 Mn 元素形成 MnS 提升切削性能。钢中添加适量的 S 元素，可以避免后续精加工过程中产生沾刀现象。但是，S 元素含量过高会导致钢材基体中产生热脆现象，引起钢材表面裂纹。因此，在本公开的冷锻钢中，将 S 元素的质量百分比控制在 0.010-0.020%之间。

Cr（铬）：在本公开的冷锻钢中，可以添加适量的 Cr 元素。Cr 元素在奥氏体中的扩散速度较小，并且能够阻碍 C 的扩散，可以抑制钢的扩散型相变，有利于奥氏体稳定性，使钢材的 C 曲线右移，降低临界冷速。但需要注意的是，钢中 Cr 元素含量不宜过高。当钢中 Cr 元素含量过高时，则会形成粗大的碳化物，恶化冷变形性能。此外，Cr 元素还能够较大程度的影响齿轮钢淬透性。因此，为了确保钢材的性能，在本公开的冷锻钢中，将 Cr 元素的质量百分比控制在 1.10-1.30%之间。

Al（铝）：在本公开的冷锻钢中，Al 元素可在炼钢过程中有效降低钢中的氧含量。Al

元素可以结合 N 形成细小的 AlN 析出，弥散分布在晶界，在随后的冷却过程中抑制奥氏体晶粒长大，从而细化奥氏体晶粒，改善材料塑性。同时，弥散的 AlN 可作为碳化物析出的形核质点，缩短碳化物形核并析出的孕育期，减少退火时间，节省能源消耗。但需要注意的是，钢中 Al 元素含量不宜过高，钢中 Al 元素含量过高时会导致较大的 Al 的氧化物形成，会形成尺寸较大的 B 类夹杂物，粗大的氧化铝硬质夹杂会恶化钢的疲劳性能，也会引起机加工过程中的崩刀现象。因此，为了使 Al 元素有效发挥其有益效果，在本公开的冷锻钢中，将 Al 元素的质量百分比控制在 0.015-0.045% 之间。

N（氮）：在本公开的冷锻钢中，N 元素可以在钢中形成 AlN 或 TiN，起到细化奥氏体晶粒的作用。但是，钢中 N 元素含量过高会导致其在缺陷处富集量增加，同时会形成粗大的氮化物析出颗粒，影响钢的疲劳寿命。因此，在本公开的冷锻钢中，将 N 元素的质量百分比控制在 0.0100-0.0180% 之间，优选 0.0100-0.0175%。

Ti（钛）：在本公开的冷锻钢中，Ti 元素可以与钢中的 C 和 N 形成对应的化合物，其中 TiN 的形成温度为 1400℃ 以上，通常在液相或 δ 铁素体中析出，从而起到细化奥氏体晶粒的作用。但需要注意的是，钢中 Ti 元素含量不宜过高。当钢中 Ti 元素含量过高时，会形成粗大的 TiN 析出，从而导致钢的疲劳性能降低。因此，在本公开的冷锻钢中，将 Ti 元素的质量百分比控制在 0.040-0.100% 之间，优选 0.050-0.100%。

在本公开的冷锻钢中，P 和 O 属于不可避免的杂质元素。在技术条件允许的前提下，应控制钢中杂质元素含量尽可能的低。

P（磷）：钢中的 P 元素会在晶界偏聚，降低晶界的结合能，恶化钢的塑性。P 和 Fe 会结合形成硬脆的 Fe_3P 相，使钢在冷加工过程中产生冷脆性，导致钢的塑性变差，受到冲击载荷的作用时发生沿晶断裂，形成较大的解理面。因此，为了避免钢的脆性变高，在本公开的冷锻钢中，将 P 元素的质量百分比控制为 $\text{P} \leq 0.015\%$ 。

O（氧）：杂质元素 O 可以与钢中的 Al 和 Ti 元素形成 Al_2O_3 、TiO 等。因此，为保证钢的组织均匀性，在本公开的冷锻钢中，控制 O 的质量百分含量为 $\text{O} \leq 0.0030\%$ 。

在一个优选的实施方案中，本公开的冷锻钢还包含 Ca。Ca 元素可以进一步提高冷锻钢的性能，其化学元素的设计原理如下所述：

Ca（钙）：在本公开的冷锻钢中加入适量的 Ca 元素，可以改善钢水的可浇性。但是，钢中 Ca 元素含量也不宜过高。当钢中 Ca 元素过高时会产生大尺寸的 DS 夹杂物。因此，在本公开的冷锻钢中，将 Ca 元素的质量百分比控制为 $0 < \text{Ca} \leq 0.005\%$ ，优选 $0.001\% < \text{Ca} \leq 0.003\%$ 。

在本公开的制造方法中，对冷锻钢的制造工艺参数进行了优化设计。通过对工艺参数尤其是热处理工艺参数的控制，来控制锻造或轧制好的圆钢棒材，然后采用退火工艺，使得采用本公开的制造方法所制得的冷锻钢基体包含大量的铁素体，有效保证了冷锻钢的良好塑性，消除了钢材的内应力，保证了良好的组织均匀性。

在一个实施方案中，本公开的制造方法的步骤（4）中，对轧制后的圆钢进行快速冷却（20°C/s 以上的冷却速度），该冷速超过马氏体临界冷速，可以使基体基本完成马氏体转变，并为后续退火过程的组织转变提供相变能，以利于碳化物的析出和球化。

在一个实施方案中，本发明的钢种的 M_f 点（完全“马氏体”化的温度值）约为 425°C，通过将步骤（4）的冷却速度控制为 20°C/s 以上，并使圆钢冷却至 370-410°C，可既保证基体完成马氏体转变，又可节省后续退火过程中的加热能源消耗。

本公开的冷锻钢及其制造方法具有如下优点以及有益效果：

（1）本公开的冷锻钢合适地控制 P、N 和 O 的含量，保证了冷锻钢具有适合的强度以及优良的塑性和延伸率，同时有效地节省了能源消耗。

（2）本公开冷锻钢在低温下具有良好的塑性和断面收缩率，冷锻性能优良。该冷锻钢的屈服强度 220-270MPa，抗拉强度为 430-480MPa，延伸率≥35%，断面收缩率≥66%，具有优良的塑性和冷加工特性。

（3）本公开的冷锻钢通过合理的化学成分设计，充分利用各种合金元素对相变和微观组织的影响，同时配合特定的控轧控冷工艺，从而形成均匀的铁素体+球状碳化物基体组织，组织球化率达到 90%以上。

（4）本公开的冷锻钢的化学成分和工艺设计合理，其工艺窗口宽松，可以在棒材或板材产线上实现批量商业化生产，具有良好的推广前景和应用价值。

下面结合附图和实施例对本公开作进一步详细的说明。以下实施例仅用于说明本公开而不用于限制本公开的范围。

实施例

按照表 1 所示的化学成分，采用以下步骤，制得实施例 1-6 和对比例 1-3 的冷锻钢：

（1）对钢水进行冶炼和浇铸，获得铸坯：采用电炉或转炉进行冶炼和浇铸，浇铸成 320mm*425mm 的铸坯。

（2）对铸坯进行加热和轧制，获得中间坯：将铸坯热装热送进加热炉，控制铸坯加热温度为 1000-1100°C，并保温 4 小时；将铸坯轧制成 215mm*215mm 中间坯。

（3）对中间坯进行加热和轧制，获得圆钢：将中间坯加热至 1050-1120°C 并保温 5 小

时，然后采用大变形量轧制，轧制单道次变形量为 20-40%，终轧温度为 870-930℃，圆钢最终尺寸为 20-40mm（直径）。

（4）对圆钢进行冷却：将轧制后的圆钢穿水冷却，根据终轧温度控制水量，以 20℃/s 以上的冷却速度将圆钢冷却至 370-410℃。

（5）退火：将圆钢放入退火炉中进行退火，退火温度为 740±10℃，保温时间为 8 小时，然后出炉空冷。

对比例 4-5 的冷锻钢采用与上述基本相同的方式制备，不同之处在于：步骤 3）中的轧制参数以及步骤 4）中的冷却速度。

采用以下步骤，制得对比例 6 的冷锻钢：

在对钢水进行冶炼和浇铸后，采用如下所述常规的连续炉球化退火工艺：将炉子升温至 600℃，材料进炉，1 小时左右升温至 760℃，在 760℃保温 1 小时，快速升温至 780℃保温 5 小时，1 小时内降温至 740℃，在 740℃保温 2 小时，然后 1 小时内降温至 720℃，保温 6 小时，2 小时左右降温至 630℃，并保温 2 小时，出炉。

对比例 6 是采用常规球化退火（耗时 21 小时以上）的 20CrMnTiH 冷锻钢。

实施例 1-6 和对比例 1-6 的冷锻钢的具体组成和工艺如表 1 和表 2 所示。

表 1：实施例 1-6 和对比例 1-6 的冷锻钢的各化学元素的质量百分比（wt%）

（余量为 Fe 和除了 P 和 O 以外的其他不可避免杂质）

编号	C	Si	Mn	S	Cr	Al	N	Ti	Ca	P	O
实施例 1	0.172	0.25	1.12	0.016	1.16	0.015	0.0118	0.050	0.005	0.015	0.0030
实施例 2	0.183	0.24	1.04	0.018	1.29	0.019	0.0154	0.080	0.003	0.011	0.0013
实施例 3	0.194	0.11	1.20	0.016	1.21	0.033	0.0105	0.100	0.002	0.009	0.0022
实施例 4	0.219	0.30	1.09	0.013	1.10	0.036	0.0170	0.072	0.003	0.007	0.0025
实施例 5	0.198	0.25	1.17	0.020	1.23	0.045	0.0175	0.060	0.002	0.006	0.0012
实施例 6	0.206	0.17	1.01	0.010	1.18	0.024	0.0160	0.092	0.001	0.005	0.0016
对比例 1	0.212	0.23	<u>1.45</u>	0.017	1.24	0.026	0.0124	0.054	0.003	0.008	0.0014
对比例 2	0.203	0.24	1.15	0.014	<u>1.38</u>	0.024	0.0116	0.080	0.002	0.009	0.0013
对比例 3	0.204	0.22	1.14	0.016	1.19	0.021	0.0132	<u>0.300</u>	0.003	0.007	0.0015
对比例 4	0.193	0.19	1.12	0.017	1.18	0.029	0.0128	0.050	0.003	0.008	0.0016
对比例 5	0.197	0.20	1.07	0.013	1.23	0.034	0.0143	0.070	0.002	0.013	0.0018
对比例 6	0.187	0.27	1.08	0.014	1.17	0.026	0.0111	0.040	0.004	0.013	0.0009

表 2：实施例 1-6 和对比例 1-6 的冷锻钢的具体工艺参数

编号	步骤 (2)	步骤 (3)				步骤 (4)		步骤 (5)	
	加热温度 (°C)	加热温度 (°C)	轧制变形量 ξ (%)	终轧温度 T (°C)	圆钢最终尺寸 (mm)	$\ln(T-850)-\ln\xi$	冷却速度 (°C/s)	冷却温度 (°C)	退火温度 (°C)
实施例 1	1003	1063	40	879	28	4.28	27	393	735
实施例 2	1031	1087	35	905	32	5.06	25	410	740
实施例 3	1045	1093	25	916	40	5.58	21	372	750
实施例 4	1064	1118	20	927	20	5.95	30	389	730
实施例 5	1010	1052	40	873	25	4.05	28	382	745
实施例 6	1098	1078	30	912	35	5.33	23	400	730
对比例 1	1033	1086	28	908	30	5.33	22	383	740
对比例 2	1056	1097	30	921	35	5.47	23	387	745
对比例 3	1047	1069	36	899	36	4.91	25	397	735
对比例 4	1049	1160	<u>10</u>	<u>980</u>	38	<u>7.17</u>	28	405	750
对比例 5	1089	1112	30	928	25	5.56	<u>10</u>	391	740
对比例 6	炉子升温至 600°C，材料进炉，1 小时左右升温至 760°C，在 760°C保温 1 小时，快速升温至 780°C保温 5 小时，1 小时内降温至 740°C，在 740°C保温 2 小时，1 小时内降温至 720°C，然后保温 6 小时，2 小时左右降温至 630°C，并保温 2 小时，出炉。								

对实施例 1-6 和对比例 1-6 的冷锻钢进行取样，进行各项性能测试。性能测试结果列于表 3 中。组织球化率根据标准 ASTM F2282 进行测定。相关力学性能测试方法如下：在常温条件下，将冷锻钢样品加工成 M16*128 螺纹试样，按照 GB/T228-2002 标准进行拉伸测试，得到屈服强度、抗拉强度、延伸率、断面收缩率等数据。

表 3：实施例 1-6 和对比例 1-6 的冷锻钢的力学性能

编号	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	断面收缩率 (%)	组织球化率 (%)
实施例 1	225	433	40	70	95
实施例 2	242	461	39	68	90
实施例 3	234	452	41	71	95
实施例 4	266	479	35	66	95
实施例 5	251	453	37	67	90
实施例 6	247	458	38.5	68	95
对比例 1	<u>328</u>	<u>546</u>	36	66	90
对比例 2	<u>319</u>	<u>536</u>	36	67	90
对比例 3	243	443	<u>32</u>	<u>63</u>	<u>85</u>
对比例 4	268	478	<u>33</u>	<u>64</u>	<u>80</u>
对比例 5	<u>296</u>	<u>503</u>	<u>31</u>	<u>62</u>	<u>75</u>
对比例 6*	234	441	39	71	95

*采用常规球化退火工艺的 20CrMnTiH 钢材。

由表 3 可以看出，实施例 1-6 的冷锻钢具有优异的综合力学性能。各实施例的屈服强度在 225-266MPa 之间，抗拉强度在 433-479MPa 之间，延伸率≥35%，断面收缩率≥66%，组织球化率达到 90%以上。实施例 1-6 的冷锻钢的各项力学性能十分优异，在低温下具有良好的塑性和断面收缩率，以及优良的冷加工特性。

发明人出乎预料地发现，当采用本公开的制造方法时，可以在钢材轧制后充分利用钢材余热，仅需要 8 小时左右的退火软化时间即可使材料性能达到常规球化退火（20 小时以上）才能实现的钢材性能。本公开的制造方法不仅可有效降低材料生产的能源消耗，而且可有效提升生产效率。

图 1 为实施例 4 的冷锻钢在光学显微镜下的微观组织形貌。

图 2 为对比例 1 的冷锻钢在光学显微镜下的微观组织形貌。

结合图 1 和图 2 可以看出，实施例 4 的冷锻钢的微观组织为铁素体+球状碳化物，达到

了常规球化退火的组织要求。

本公开中提及的所有出版物、专利申请、专利以及其他参考文献均通过引用全文的方式并入本文。

虽然通过参照本公开的某些优选实施方式，已经对本公开进行了图示和描述，但本领域的普通技术人员应该明白，以上内容是结合具体的实施方式对本公开所作的进一步详细说明，不能认定本公开的具体实施只局限于这些说明。本领域技术人员可以在形式上和细节上对其作各种改变，包括做出若干简单推演或替换，而不偏离本公开的精神和范围。

权 利 要 求 书

1. 一种冷锻钢，其特征在于，所述冷锻钢除包含 90%以上的 Fe 和不可避免的杂质之外，还包含以质量百分比计的如下化学元素：

C: 0.170-0.220%、Si: 0.10-0.30%、Mn: 1.00-1.20%、S: 0.010-0.020%、Cr: 1.10-1.30%、Al: 0.015-0.045%、N: 0.0100-0.0180%、Ti: 0.040-0.100%。

2. 一种冷锻钢，其特征在于，所述冷锻钢包含以质量百分比计的如下化学元素：

C: 0.170-0.220%、Si: 0.10-0.30%、Mn: 1.00-1.20%、S: 0.010-0.020%、Cr: 1.10-1.30%、Al: 0.015-0.045%、N: 0.0100-0.0180%、Ti: 0.040-0.100%，余量为 Fe 和不可避免的杂质。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的冷锻钢，其特征在于，所述冷锻钢还包含 Ca，所述 Ca 以质量百分比计的含量满足： $0 < \text{Ca} \leq 0.005\%$ ，优选 $0.001\% < \text{Ca} \leq 0.003\%$ 。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的冷锻钢，其特征在于，Mn 的含量为 1.10-1.20%，Cr 的含量为 1.16-1.30%，和/或 Ti 的含量为 0.050-0.080%。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的冷锻钢，其特征在于，所述不可避免的杂质包括： $\text{P} \leq 0.015\%$ 和/或 $\text{O} \leq 0.0030\%$ 。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的冷锻钢，其特征在于，所述冷锻钢的微观组织为铁素体+球状碳化物；优选地，所述冷锻钢的组织球化率为 90%以上。

7. 根据权利要求 1 或 2 所述的冷锻钢，其特征在于，所述冷锻钢的力学性能满足下述各项中的至少一项：屈服强度为 220-270MPa，抗拉强度为 430-480MPa，延伸率 $\geq 35\%$ ，断面收缩率 $\geq 66\%$ ；优选地，所述冷锻钢的力学性能满足如下：屈服强度为 220-270MPa，抗拉强度为 430-480MPa，延伸率 $\geq 35\%$ ，断面收缩率 $\geq 66\%$ 。

8. 权利要求 1 至 7 中任一项所述的冷锻钢的制造方法，其特征在于，所述制造方法包括如下步骤：（1）对钢水进行冶炼和浇铸，获得铸坯；（2）对铸坯进行加热和轧制，

获得中间坯；（3）对中间坯进行加热和轧制，获得轧制后圆钢；（4）对轧制后圆钢进行冷却；（5）退火；以及可选的（6）出炉空冷。

9. 根据权利要求 8 所述的制造方法，其特征在于，在步骤（2）中，将铸坯加热至 1000-1120°C，优选 1000-1100°C 的温度。

10. 根据权利要求 8 所述的制造方法，其特征在于，在步骤（3）中，将中间坯加热至 1050-1200°C，优选 1050-1120 °C，并保温 5-6 小时。

11. 根据权利要求 8 所述的制造方法，其特征在于，在步骤（3）中，轧制单道次变形量 ξ 为 20-40%，终轧温度 T 为 870-930°C，轧制单道次变形量 ξ 与终轧温度 T 之间满足： $4.00 \leq \ln(T-850) - \ln \xi \leq 6.00$ 。

12. 根据权利要求 8 所述的制造方法，其特征在于，在步骤（4）中，以 20°C/s 以上的冷却速度将轧制后的圆钢冷却至 370-410°C。

13. 根据权利要求 8 至 12 中任一项所述的制造方法，其特征在于，在步骤（5）中，退火温度为 $740 \pm 10^\circ\text{C}$ ，保温时间为 8 小时以上。