

一种 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板及其制造方法

技术领域

本发明涉及一种海洋工程用钢，具体地说是一种 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板及其制造方法。

5 背景技术

我国开发海洋石油起步较晚，到了 20 世纪 80 年代才拥有自己的海洋石油平台，近 10 年来，国产的海洋平台钢板在我国海洋石油工程中才被广泛采用。我国目前对于 EH36 以下级别的海洋平台用钢基本实现国产化，占平台用钢量的 90%，随着国家《中国制造 2025》和《海洋工程装备制造业中长期发展规划》实施、国家南海战略的逐步实施，海洋工程装备和高技术船舶领域将大力发展深海探测、资源开发利用、海上作业保障装备及其关键系统和专用设备；推动深海空间站、大型浮式结构物的开发和工程化，必然对海洋平台用钢的需求量及要求也不断扩大，逐渐向高强度、厚规格方向发展。

发明专利 CN 104674117 A 提供了一种 420MPa 级海洋工程用钢板及其制造方法，发明专利 CN 104357742 A 提供了一种 420MPa 级海洋工程用大厚度热轧钢板及其生产方法，这以上两专利公开的的制造方法为控轧控冷，海工装备制造企业对 420MPa 级海工钢的性能均匀性、性能波动值要求非常高，难以接受控轧控冷交货，均要求调质态交货；另外，发明专利 CN 104674117 A 成分设计含有贵重元素 Ni、Cu，发明专利 CN 104357742 A 成分设计含有贵重元素 Ni；再则，上述两个发明专利只满足 E 级钢的要求，

满足不了 F 级超高强海工钢的要求。而常规调质态交货的 FH420 海工钢含有大量贵重元素 Ni、Mo、Cu，价格昂贵，会大幅度提高海工装备企业的生产成本。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是，针对以上现有技术的缺点，如何在 GB712 和十大船级社 5 标准的化学成分范围之内，开发出低成本（钢种不含贵重元素：Ni、Mo、Cu）80mm 厚海洋工程用 FH420 钢板，一方面对轧机负荷要求不是太高，一般的宽厚板轧机均可生产，另一方面，热处理后，晶粒细小，组织均匀，内应力小，机械性能优良。

本发明解决以上技术问题的技术方案是：

一种 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板，其重量百分比成分为：C: 0.07~0.11%，Si: 0.15~0.40%，Mn: 1.30~1.60%，P≤0.013%，S≤0.003%，Nb: 0.010~0.030%，V: 0.030~0.050%，Ti: 0.005~0.020%，Cr: 0.10~0.20%，Al: 0.0250~0.050%，O≤18 ppm，N≤38 ppm，H≤2.5ppm，余量为 Fe 及不可避免的杂质。

前述的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板的制造方法，包括以下步骤：

炼钢及连铸工艺：铁水脱硫后目标硫≤0.004%；转炉冶炼采用高吹低拉法脱磷，转炉出 15 钢当渣；精炼采用白渣操作，白渣保持时间 15~20 分钟，精炼总时间确保 35~45 分钟；真空处理保持时间 20~23 分钟；真空处理后进行无缝钙线处理；连铸中包目标温度为液相线温度+（5-15）℃，拉速稳定；

轧制工艺：采用控轧控冷工艺，为两阶段轧制；轧前连铸坯加热温度 1150℃~1220℃；

粗轧温度 980~1080°C；精轧开轧温度 840~870°C；精轧后三道累计压下率大于 30%；轧后层流冷却，终冷温度 600~660°C，冷却速率 5~8°C/s；随后空冷；

热处理工艺：淬火处理，淬火温度为 890~910°C，升温速率为 1.4min/mm，保温时间为 0~25min；回火处理，回火温度 550~650°C，升温速率为 2.0min/mm，保温时间为 80~120min，

5 得到 80mm 厚低成本 FH420 海工钢。

本发明的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板及制造方法，钢板成分中，Ni 不含，Cu 不含，Mo 不含，钢种不含贵重元素，大大降低了成本；成分设计按照洁净钢的冶炼及控制，铁水预处理进行降硫；转炉采用高吹低拉法降磷和出钢挡渣防止回磷；保证白渣精炼时间，吸附夹杂物和减少钢中的 S、O 等元素含量；使用无缝钙线处理，改善夹杂物形态；真空处理，降低 H、N 等有害元素含量；最终得到内部质量较优良的连铸坯。

轧前连铸坯加热温度 1150°C~1220°C，既保证微合金元素完全固溶和又防止温度过高导致晶粒长大；粗轧采用高温低速大压下来破碎柱状晶、焊合坯料内部缺陷、细化奥氏体晶粒；精轧后三道累计压下率大于 30%，通过未在结晶区的低温大变形诱导铁素体机制以及适当控冷工艺（终冷温度 600~660°C，冷却速率 5~8°C/s），得到控制晶粒大小的目的；

15 淬火温度为 890~910°C，升温速率为 1.4min/mm，保温时间为 0~25min，既保证钢板淬火前完全奥氏体化，又保证钢板淬火前组织细小均匀；回火温度 550~650°C，升温速率为 2.0min/mm，保温时间为 80~120min，保证了钢板通过回火进行消应力处理，防止钢板使用

过程中出现切割变形。

本发明的有益效果是：本发明可在 GB712 和十大船级社标准的化学成分范围之内，开发出低成本（钢种不含贵重元素：Ni、Mo、Cu）80mm 厚海洋工程用 FH420 钢板，对轧机负荷要求不是太高（精轧开轧温度较高，且后三道累计压下率仅大于 30%），一般的宽厚板轧机均可生产，因此，适用性广，适合国内大多数宽厚板厂生产；本发明通过洁净钢的冶炼，降低坯料偏析和疏松等内部缺陷；通过粗轧高温低速大压下，破碎柱状晶和细化奥氏体晶粒；通过精轧累积变形以及配合控冷，得到控制热轧后晶粒大小的目的；且热处理后，晶粒细小，组织均匀，内应力小；本发明的制造方法，生产工艺稳定，钢板机械性能优良，得到的 FH420 钢具有高强度、高韧性、抗层状撕裂等特点。

10 附图说明

图 1 是实施例 1 经调质得到 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板在金相显微镜下板典型的组织形貌图。

图 2 是实施例 2 经调质得到 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板在金相显微镜下板典型的组织形貌图。

15 图 3 是实施例 3 经调质得到 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板在金相显微镜下板典型的组织形貌图。

图 4 是实施例 4 经调质得到 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板在金相显微镜下板典型的组

织形貌图。

具体实施方式

实施例 1~4

实施例 1~4 的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板化学成分如表 1 所示：

5

表 1

实施例	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Cr	Al _l
实施例 1	0.07	0.40	1.60	0.013	0.0025	0.030	0.040	0.020	0.20	0.050
实施例 2	0.09	0.25	1.50	0.012	0.0015	0.025	0.050	0.015	0.18	0.040
实施例 3	0.10	0.30	1.40	0.011	0.0030	0.020	0.035	0.010	0.15	0.025
实施例 4	0.11	0.15	1.30	0.008	0.0010	0.010	0.030	0.005	0.10	0.030
实施例	O	N	H				Fe 及不可避免的杂质			
实施例 1	0.0018	0.0037	0.00025				余量			
实施例 2	0.0011	0.0038	0.00017				余量			
实施例 3	0.0010	0.0030	0.00022				余量			
实施例 4	0.0016	0.0033	0.00013				余量			

实施例 1~4 的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板生产方法如下：

实施例 1 的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板实施例的生产方法，具体如下：

炼钢及连铸工艺：铁水脱硫后目标硫 0.004%；转炉冶炼采用高吹低拉法脱磷，转炉出钢当渣；精炼采用白渣操作，白渣保持时间 15 分钟，精炼总时间 35 分钟；真空处理保持时间 20 分钟；真空处理后进行无缝钙线处理；连铸中包目标温度为液相线温度+15℃，拉速稳定。

- 5 轧制工艺：采用控轧控冷工艺，为两阶段轧制；轧前连铸坯加热温度 1150℃；粗轧温度 980℃，高温低速大压下轧制，第一道道次压下量 40mm；精轧开轧温度 840℃，后三道累积压下率 34%；轧后层流冷却，终冷温度 600℃，冷却速率 5℃/s；随后空冷。

热处理工艺：进行淬火处理，淬火温度为 890℃，升温速率为 1.4min/mm，保温时间为 0min；进行回火处理，回火温度 550℃，升温速率为 2.0min/mm，保温时间为 80min，得到板

- 10 形优良（不平度 2mm/m）的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板。

实施例 2 的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板实施例的生产方法，具体如下：

炼钢及连铸工艺：铁水脱硫后目标硫 0.0035%；转炉冶炼采用高吹低拉法脱磷，转炉出钢当渣；精炼采用白渣操作，白渣保持时间 18 分钟，精炼总时间 40 分钟；真空处理保持时间 21 分钟；真空处理后进行无缝钙线处理；连铸中包目标温度为液相线温度+10℃，拉速稳

- 15 定。

轧制工艺：采用控轧控冷工艺，为两阶段轧制；轧前连铸坯加热温度 1180℃；粗轧温度 1000℃，高温低速大压下轧制，第一道道次压下量 38mm；精轧开轧温度 850℃，后三道累积

压下率 31%；轧后层流冷却，终冷温度 620°C，冷却速率 8°C/s；随后空冷。

热处理工艺：进行淬火处理，淬火温度为 900°C，升温速率为 1.4min/mm，保温时间为 10min；进行回火处理，回火温度 580°C，升温速率为 2.0min/mm，保温时间为 90min，得到板形优良（不平度 2mm/m）80mm 厚低成本 FH420 海工钢板。

5 实施例 3 的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板实施例的生产方法，具体如下：

炼钢及连铸工艺：铁水脱硫后目标硫 0.003%；转炉冶炼采用高吹低拉法脱磷，转炉出钢当渣；精炼采用白渣操作，白渣保持时间 19 分钟，精炼总时间 42 分钟；真空处理保持时间 22 分钟；真空处理后进行无缝钙线处理；连铸中包目标温度为液相线温度+8°C，拉速稳定。

轧制工艺：采用控轧控冷工艺，为两阶段轧制；轧前连铸坯加热温度 1200°C；粗轧温度 1050°C，高温低速大压下轧制，第一道次压下量 35mm；精轧开轧温度 860°C，后三道累积压下率 32%；轧后层流冷却，终冷温度 640°C，冷却速率 7°C/s；随后空冷。

热处理工艺：进行淬火处理，淬火温度为 905°C，升温速率为 1.4min/mm，保温时间为 15min；进行回火处理，回火温度 620°C，升温速率为 2.0min/mm，保温时间为 100min，得到板形优良（不平度 2mm/m）80mm 厚低成本 FH420 海工钢板。

15 实施例 4 的 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板实施例的生产方法，具体如下：

炼钢及连铸工艺：铁水脱硫后目标硫 0.0033%；转炉冶炼采用高吹低拉法脱磷，转炉出钢当渣；精炼采用白渣操作，白渣保持时间 20 分钟，精炼总时间 45 分钟；真空处理保持时

间 23 分钟；真空处理后进行无缝钙线处理；连铸中包目标温度为液相线温度+5℃，拉速稳定。

轧制工艺：采用控轧控冷工艺，为两阶段轧制；轧前连铸坯加热温度 1220℃；粗轧温度 1080℃，高温低速大压下轧制，第一道道次压下量 33mm；精轧开轧温度 870℃，后三道累积压下率 33%；轧后层流冷却，终冷温度 660℃，冷却速率 8℃/s；随后空冷。

5 热处理工艺：进行淬火处理，淬火温度为 910℃，升温速率为 1.4min/mm，保温时间为 25min；进行回火处理，回火温度 650℃，升温速率为 2.0min/mm，保温时间为 120min，得到板形优良（不平度 2mm/m）80mm 厚低成本 FH420 海工钢板。

图 1 是实施例 1 调质处理后得到 FH420 钢板在金相显微镜下典型的组织形貌图；图 2 是实施例 2 调质处理后得到 FH420 钢板在金相显微镜下典型的组织形貌图；图 3 是实施例 3 调
10 质处理后得到 FH420 钢板在金相显微镜下典型的组织形貌图；图 4 是实施例 4 调质处理后得到 FH420 钢板在金相显微镜下典型的组织形貌图。由图 1-4 可以看出 80mm 厚低成本 FH420 海工钢板组织为细小均匀的低碳贝氏体组织+少量的铁素体组织，从而保证了钢板性能优良。

调质后，实施例 1~4 的板厚 1/4 处和板厚 1/2 处的横向拉伸性能和横向冷弯性能如表 2，
横向冲击性能和 Z 向性能如表 3。

15

表 2

实施例	位置	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	延伸率 %	宽冷弯 (b=5a)
-----	----	-------------	-------------	----------	---------------

实施例 1	板厚 1/4 处	440	560	25	d=3a
	板厚 1/2 处	422	533	23	合格
实施例 2	板厚 1/4 处	449	565	24	d=3a
	板厚 1/2 处	433	541	24	合格
实施例 3	板厚 1/4 处	452	566	23	d=3a
	板厚 1/2 处	426	551	22	合格
实施例 4	板厚 1/4 处	466	571	24	d=3a
	板厚 1/2 处	429	558	22.5	合格

表 3

编号	状态	-60°C AKV.J				Z 向截面收缩率 (%)			
		1	1	2	平均	1	2	3	平均
实施例 1	板厚 1/4 处	222	282	213	239	73	67	66	69
	板厚 1/2 处	152	145	106	134				
实施例 2	板厚 1/4 处	202	216	222	213	72	75	68	72
	板厚 1/2 处	140	138	111	130				
实施例 3	板厚 1/4 处	201	187	234	207	69	65	66	67
	板厚 1/2 处	99	108	137	115				
实施例 4	板厚 1/4 处	159	202	177	179	68	66	66	67

	板厚 1/2 处	88	129	150	122				
--	----------	----	-----	-----	-----	--	--	--	--

由表 2 和表 3 可以看出, 实施例 1~4 力学性能满足各大船级社标准中对 420 级别 F 级超高强海工钢的性能要求, 屈服强度 $\geq 422\text{MPa}$, 抗拉强度 $\geq 533\text{MPa}$, 延伸率 $\geq 22\%$, Z 向截面收缩率 $\geq 53\%$, 满足 80mm 厚 FH420 海工钢板的要求。具有合金元素成本低廉, 生产工艺稳定, 对宽厚板轧机及相应的热处理设备要求较小的特点。

除上述实施例外, 本发明还可以有其他实施方式。凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案, 均落在本发明要求的保护范围。