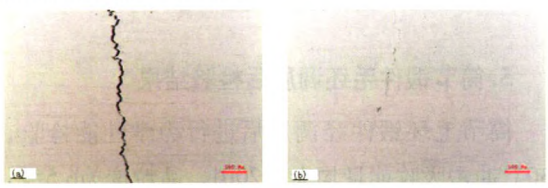
30Ni4CrMoA镦制螺栓内部开裂原因分析

河南航天精工制造有限公司 （信阳 464000） 许永春 冯德荣

30Ni4CrMoA钢是一种调质钢，相当于法国材料牌号30NCD16。该钢具有良好的淬透性，经调质处理后，可以获得均匀的高强度、高塑性和高韧性配合，并且冷脆转变温度低，缺口敏感性小，高的抗疲劳性能，适用于制造截面较大的重要受力构件，如各种轴类、螺栓、齿轮等。螺栓作为一种重要的结构件，其失效故障造成的危害极大。本文研究了热镦螺栓内部裂纹，由于其存在于螺栓内部，在后续的加工及检测中很难被发现，服役后将对产品造成极大的危害。

该批次螺栓的加工工艺为：下料→磨光→热镦→车削→热处理→喷砂→滚螺纹→表面处理等，发现内部存在缺陷的工序为热镦之后的金相检查。通过剖开，发现螺栓内部在热影响区存在两条较为明显的裂纹，如图1所示。



（a） 粗裂纹 （b） 细裂纹

图 1

从图1中可以看出：图1a裂纹粗大，较为明显；图1b裂纹细小。图1中在裂纹周围并未发现对裂纹产生有明显影响的非金属夹杂物，非金属夹杂物种类及尺寸均符合辽新5－0008－2003《30Ni4CrMoA(30NCD16)结构钢棒技术条件》中的要求。

1. 理化检验

（1）化学成分分析 针对该批次螺栓，截取一段进行电感耦合等离子发射光谱仪（ICP）化学成分分析，结果见表1。从表1中可以看出：各种主要元素含量均符合辽新5-0008-2003《30Ni4CrMoA(30NCD16)结构钢棒技术条件》对30Ni4CrMoA钢成分的技术要求。

表1 材料化学成分（质量分数）（%）

条件	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
标准值	0.26～0.33	0.10～0.40	0.20～0.60	≤0.010	≤0.015	1.20～1.50	3.30～4.30	0.30～0.60
实测值	0.30	0.18	0.36	0.006	0.010	1.35	3.90	0.48

（2）金相分析 对该螺栓的裂纹处进行了显微组织分析，如图2所示。

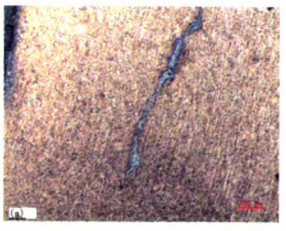
表4 冲击性能结果

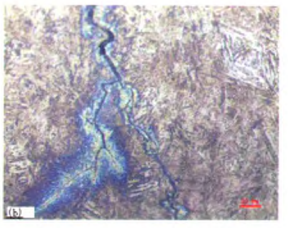
试样	温度/℃	取向及位置	A_{KV}/J
A	－30	*T*/2 Max.PWHT	180、48、92
		T/2 Min.PWHT	55、80、198
B	－30	*T*/2 Max.PWHT	143、188、146
		T/2 Max.PWHT	192、60、86

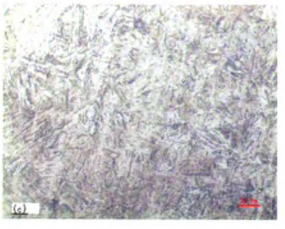
6. 结语

2 1/4Cr-1Mo-1/4V钢500mm壁厚筒节锻件采用毛坯调质的工艺方式是可行的，热处理后其结果完全达到技术条件的要求；大壁厚筒节锻件采用毛坯调质的工艺方式可以降低生产成本；大壁厚筒节锻件采用毛坯调质的工艺方式可以加快生产进度，缩短生产周期。对于同等壁厚锻件采用毛坯调质的工艺方式生产积累了经验，同时也为以后生产更大壁厚锻件奠定了基础。**MW**

（20131028）


(a) 裂纹处组织 100×


(b) 裂纹处组织 500×


(c) 显微组织 500×

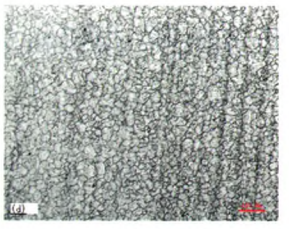

(d) 晶粒度

图 2

从图2中可以看出：图2a为100×下的裂纹处显微组织形貌，表面呈现暗红色；图2b为500×下的裂纹形貌特征，裂纹沿晶界延伸至头下圆角处，有微小的开裂；图2c为500×下的显微组织，其组织构成为绝大部分的低碳板条马氏体、少量的针状马氏体和极少量的残留奥氏体；图2d为该螺栓热影响区处的晶粒组织，根据GB/T6394－2002《金属平均晶粒度测定方法》，其晶粒度等级为6.5级，而根据辽新5－0008－2003《30Ni4CrMoA(30NCD16)结构钢棒技术条件》的要求，其原材料晶粒度应大于7级，允许个别5级晶粒存在，热影响区的晶粒度比标准值大半级。

（3）力学性能试验 对该螺栓热影响区进行了维氏硬度试验，其结果见表2。

表 2

序号	1	2	3	4	5
硬度值 HV5	592	580	600	632	615

从表2中的数据可以看出：数据偏差较大，最大值与最小值差别52个维氏硬度单位；该螺栓热影响区裂纹周围的显微组织均为马氏体组织。

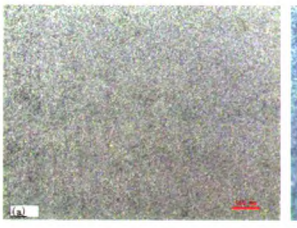
2. 综合分析

该批次螺栓原材料显微组织如图3所示。从图3中可以看出：图3a为100×的显微组织特征，图3b为500×下的显微组织形貌，其组织构成为铁素体基体上均匀分布着极为细小的珠光体。原材料显微组织状态为正火态，符合其交货的状态。

30Ni4CrMoA具有良好的淬透性，淬火后水冷至室温，其残留奥氏体含量与Ms点温度和淬火后温度T_q有关，由下公式计算：

$$V_\gamma=\exp[-1.1\times10^{-2}\ (Ms-T_q)\ ]$$

式中：V_γ为残留奥氏体含量；Ms为马氏体相变温度；T_q为淬火后温度。热膨胀法测定30Ni4CrMoA的Ms点为320℃。由上式计算得，淬火冷却至15℃时，残留奥氏体含量为3.5%（体积分数）。


(a) 原材料组织 100×

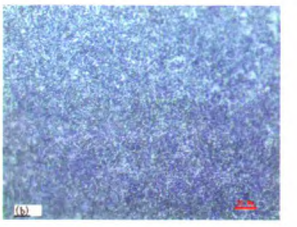

(b) 原材料组织 500×

图 3

综上所述，亚共析钢一般选择Ac_3以上40~70℃作为淬火温度，30Ni4CrMoA一般选择850℃油淬。该批次螺栓由于热镦时高频加热温度过高，保温时间较长，组织完全奥氏体化。由于头部变形量较大，进行了较为充分的动态再结晶，而没有产生较大的晶粒；热影响区属于加热范围，并且没有变形，导致晶粒长大；由于操作工人违反操作规程，把刚镦制的产品还没有冷却，就直接投入到水槽中，致使螺栓发生了水淬，产生了板条束状马氏体和个别针状马氏体及极少量的残留奥氏体组织，水冷速度大于油冷速度，来不及释放马氏体形变所产生的应力，从而导致螺栓内部热影响区应力集中产生裂纹，并沿晶界扩展至螺栓头下圆角处。

3. 结语

（1）该批次螺栓由于热镦加热温度过高，保温时间较长，以及工人违反操作规程等多种因素共同导致了螺栓内部开裂。

（2）应选择合理的热镦工艺参数，根据零件的尺寸和状态，适当降低加热温度和保温时间，减少晶粒长大的倾向，找出最合适的加工工艺参数，避免过热现象的产生。

（3）建议生产车间针对不同的材料制订严格的规章制度，杜绝由于违规操作所导致的产品缺陷。**MW**

(20131102)