ML35CrMo 合金冷镦钢线材的开发*[1]

赵晓敏[1],胡 波[2],白月琴[1],吕 刚[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司长材厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 由于紧固件行业对高等级紧固件的需求量逐年提高,为此开发 ML35CrMo 合金冷镦钢线材。文章通过对 ML35CrMo 冷镦钢转炉冶炼、精炼、连铸、轧制等工序的控制以及盘条热处理制度的选择,最终使调质后的成品盘条的非金属夹杂物、力学性能、冷顶锻和洛氏硬度都满足标准要求。

关键词: ML35CrMo; 线材; 冷镦钢
中图分类号: TG335.6+3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)03-0050-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.03.015

Development of ML35CrMo Alloying Cold Heading Steel Wire Rod

Zhao Xiao-min[1], *Hu Bo*[2], *Bai Yue-qin*[1], *Lv Gang*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Long Products Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: Since the demand of high-grade fasteners in the fastener industry is increased year by year, the ML35CrMo alloying cold heading steel wire rod is developed. In this paper, it is introduced the non-metallic inclusions, mechanical properties, cold heading and rockwell hardness of quenched and tempered finished wire rod could all meet the standard requirements through controlling such processes as converter smelting, refining, continuous casting and rolling for ML35CrMo cold heading steel as well as selecting heat treatment system for wire rod.

Key words: ML35CrMo; wire rod; cold heading steel

冷镦钢[1]盘条一般为低、中碳优质碳素结构钢和合金结构钢。冷镦钢产品主要用于汽车、造船、设备制造、电子、家电、自行车、工具、轻钢结构、建筑等行业[2]。冷镦钢中 Cr、Mo 系列冷镦钢线材是紧固件行业生产高级紧固件的主要原料,主要用于生产 10 级以上的螺栓、螺母、螺钉、铆钉等紧固件和冷镦成型的零部件[3]。近年来国内汽车等行业的迅速发展,Cr、Mo 系列冷镦钢的需求量不断增加,品牌也在增加,质量也在不断改进中。由于用户对产品质量要求越来越苛刻,包钢为此研发高品质 Cr、Mo 合金冷镦钢。

1 Cr、Mo 系列冷镦钢的技术要求

1.1 化学成分和尺寸要求

Cr、Mo 合金冷镦钢用于紧固件行业,主要生产

* 收稿日期: 2019-03-27
作者简介: 赵晓敏(1986-),女,内蒙古赤峰市人,硕士,工程师,现从事线棒材新产品研发工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

10.9 级以上的高级紧固件，要求冷镦钢盘条具有良好的塑性和韧性，虽然 GB/T 6478—2001[4] 标准给出了 ML35CrMo 合金冷镦钢的化学成分范围，但是范围较宽泛，产品性能难以保证，所以必须严格按照内控化学成分进行冶炼，如表 1 所示，外形尺寸和偏差如表 2 所示。

表 1　ML35CrMo 合金冷镦钢化学成分(质量分数)　%

标准	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S
GB/T 6478—2001[4]	0.32～0.40	≤0.30	0.60～0.90	0.80～1.10	0.15～0.25	≤0.035	≤0.035
实际控制	0.33～0.37	0.10～0.20	0.62～0.72	0.82～0.92	0.16～0.25	≤0.020	≤0.015

注：w[O] ≤ 25×10^{-6}，w[N] ≤ 60×10^{-6}，w[H] ≤ 2.5×10^{-6}

表 2　Cr、Mo 系列冷镦钢外形尺寸和偏差　mm

公称直径	允许偏差	不圆度
5～10	±0.25	≤0.40
10.5～15.0	±0.30	≤0.48
15.5～25.0	±0.35	≤0.56

1.2　表面质量

盘条表面要求不得有裂缝、结疤、夹杂、耳子和折叠等缺陷，允许有深度不超过公差一半的个别划痕和麻点，直径不大于 20 mm 的盘条允许深度不超过 0.10 mm，直径大于 20 mm 的盘条允许深度不超过 0.15 mm。

1.3　冷顶锻

热轧盘条要求进行 1/2、1/3 冷顶锻试验，试验后试样侧面不得出现裂口和裂缝。

2　生产工艺

为保证 ML35CrMo 合金冷镦钢的表面质量和综合力学性能，确定工艺路线为：高炉铁水→铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→LF 精炼→VD 真空脱气→大方坯连铸 280 mm × 380 mm→轨梁或特钢开坯 150 mm × 150 mm→长材厂轧制。

在一般冷镦钢生产技术的基础上，轧制应采用缓冷相变控制工艺，防止贝氏体和马氏体出现，得到珠光体 + 铁素体理想组织，图 1 是全断面出现贝氏体组织的金相照片。根据 ML35CrMo 的 C 曲线[5]，可以看出 1～10 ℃/s 冷速内就会形成贝氏体，当冷速小于 1 ℃/s 时才会出现铁素体 + 珠光体组织[6]，所以要尽可能保证冷却速度控制在 1 ℃/s 以下，重点保证盘条非搭接处冷却速度和出保温罩搭接处的冷速。对斯太尔摩冷却线不同位置进行测温，测温结果如表 3 所示，控制冷速保证盘条在较高温度下保温时间相对较长，盘条冷速较慢，加之 Cr、Mo 元素的加入能强烈地推迟珠光体转变而对贝氏体转变推迟较少[7]，最终获得珠光体 + 铁素体 + 少量贝氏体组织。

3　组织与性能及非金属夹杂物检验

3.1　显微组织

按照轧制工艺要求得到了理想的金相组织照片，如图 2 所示。根据 GB/T 13299[8] 进行金相组织评定，腐蚀剂采用 4% 硝酸酒精溶液。利用 LEICA DMIRM 型光学显微镜观察盘条母材金相组织，组织为铁素体 + 珠光体 + 少量的贝氏体。

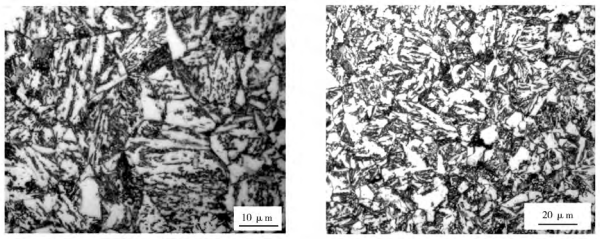


图 1　轧制过程中出现贝氏体组织的金相组织照片

表 3　斯太尔摩冷却线不同位置处测温结果　℃

种类	入保温罩温度	第 6 个保温罩温度	第 9 个保温罩温度	第 12 个保温罩温度	第 16 个保温罩温度	出保温罩温度
盘条搭接处	770～780	720～730	680～690	650～660	640～650	630～640
盘条非搭接处	750～760	680～690	640～650	<600		

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

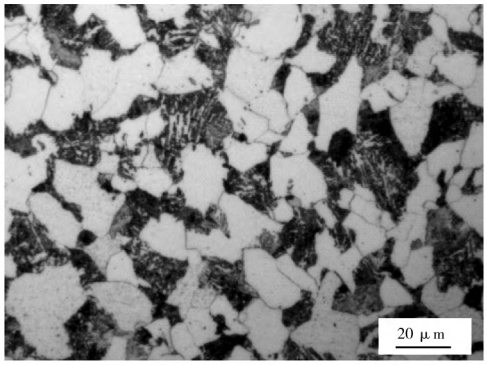


图2 轧制成品盘条金相组织照片
(铁素体+珠光体+少量贝氏体)

3.2 拉伸试验

盘条经过热处理调质后检验力学性能,调质工艺为淬火+回火工艺。影响淬火效果的因素有两个:加热温度和冷却速度,大幅度提高淬火温度,会使工件组织粗大,淬火应力增加,工件综合性能下降。冷却速度取决于冷却介质的冷却能力,在高温段和低温段冷却速度较慢,在中温段尽量快以避免奥氏体分解,同时淬火介质的温度影响淬火介质的冷却速度[3]。结合国标GB/T 6478—2001[4]标准中要求,制定了ML35CrMo盘条的调质工艺一如下:①淬火:加热温度为850 ℃,保温时间为1 h,冷却方式为油冷。②回火:加热温度为550 ℃,保温时间为1 h,冷却方式为空冷。盘条调质进行拉伸试验,检验结果如表4所示,盘条抗拉强度824~878 MPa,屈服强度为705~722 MPa,延伸率15.5%~17.5%,面缩率41%~45%,检验结果不满足标准要求。重新制定盘条的调质工艺二如下:①淬火:加热温度为870 ℃,保温时间为1 h,冷却方式为水冷。②回火:加热温度为560 ℃,保温时间为1 h,冷却方式为空冷。检验结果如表5所示,盘条抗拉强度1 052~1 108 MPa,屈服强度为843~865 MPa,延伸率15.0%~16.0%,面缩率49%~52%,检验结果满足了标准要求。由于水冷的冷却能力比油冷的冷却能力强,使盘条获得比较理想的淬火效果。

表4 ML35CrMo盘条调质工艺一后的力学性能检验结果

钢种	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率/%	面缩率/%
ML35CrMo	857	711	17.0	41
	878	705	17.0	45
	824	722	15.5	42
	859	712	17.5	44

表5 ML35CrMo盘条调质工艺二后的力学性能检验结果

钢种	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率/%	面缩率/%
ML35CrMo	1 084	856	15.0	51
	1 108	865	15.5	49
	1 052	854	16.0	52
	1 065	843	15.0	50

3.3 冷顶锻性能

试样在镦粗变形过程中,在接触面摩擦力作用下,变形分为三个区域:Ⅰ为难变形区;Ⅱ为与作用力约成45°角的易变形区;Ⅲ变形程度居中的自由变形区,如图3所示。在Ⅲ区因金属沿径向向外流动,就产生了环向拉应力,且越靠近外层越大,而径向的压应力却越靠外层越小。变形物体的形状变成了鼓形,在环向拉应力作用下,极有可能在侧表面出现纵裂。纵裂的出现与否,首先取决于材料的塑性变形能力,其持续变形能力不足以维持镦粗过程材料的连续性,即会在Ⅲ区外侧发生表面开裂。其次,当Ⅲ区外表面存在一些缺陷或薄弱环节,由于缺口效应和应力集中的相互作用,可导致材料过早发生失稳变形,即表面开裂。冷镦开裂的原因可归咎于两个方面,一是材料自身塑性变形能力,二是可能引起缺口敏感效应的近表面缺陷等。对热处理调质后的ML35CrMo盘条进行1/2、1/3冷顶锻试验,试验结果如图4所示,试样表面没有出现裂纹。

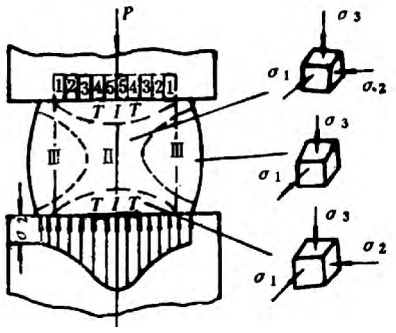


图3 试样镦粗变形过程变形及应力分布示意图

3.4 非金属夹杂物

将盘条试样沿纵向用铣床铣去二分之一,用砂纸磨平再抛光,按照国标GB/T 10561—2005[10]要求,采用LEICA DMIRM型光学显微镜对盘条母材非金属夹杂物进行评级,评级结果如表6所示,夹杂

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物级别最高为 1.5 级，满足技术条件要求。



图 4　ML35CrMo 盘条热处理后 1/2、1/3 冷顶锻照片

表 6　ML35CrMo 盘条非金属夹杂物检验结果　级

钢种	编号	A	B	C	D	Ds
35CrMo	1 681 - 5	0.5	0.5	0.5	1.0	
	1 681 - 8	1.5	0.5	0.5	1.0	

3.5　洛氏硬度

盘条纵向剖开检验洛氏硬度，根据国标 GB/T 230.1—2009[11]《金属洛氏硬度试验第 1 部分：试验方法》要求进行检测，洛氏硬度值范围为 26.9 ~ 28.9，三点硬度差相差不大于 2HRC，具体检测值见表 7。

表 7　ML35CrMo 盘条洛氏硬度检测结果

钢种	编号	洛氏硬度		
		硬度值 1	硬度值 2	硬度值 3
ML35CrMo	1 681 - 59	27.1	28.4	28.9
	1 681 - 60	26.9	28.2	28.1

4　结论

(1) 通过对 ML35CrMo 冷镦钢冶炼、轧制工艺控制，热轧状态下成品盘条得到珠光体 + 铁素体 + 少量贝氏体组织，非金属夹杂物满足技术条件要求。

(2) ML35CrMo 冷镦钢最佳热处理调质工艺为：淬火温度为 870 ℃，保温时间为 1 h，冷却方式为水冷，回火温度为 560 ℃，保温时间为 1 h，冷却方式为空冷。

(3) 调质后盘条的力学性能、冷顶锻及硬度检验满足标准要求。

参　考　文　献

[1] В А Готенин，А И Куэне. ВДГуров ЦутнРаэвития Цроиэводствг [J]. Крепежных ИэдеийСаь，2001，(5)：51.

[2] 惠卫军，翁宇庆，董翰. 高强度紧固件用钢 [M]. 北京：冶金工业出版社，2009.

[3] 先越蓉. 冷镦钢的生产和发展 [J]. 特殊钢，2005，26(3)：31 - 34.

[4] GB/T 6478—2001，冷镦和冷镦挤压用钢 [S].

[5] 戈春刚，刘玉峰. Cr、Mo 冷镦钢控制工艺的研究 [J]. 包钢科技，2006，32(5)：19 - 22.

[6] 李曼云，孙本荣. 钢的控制轧制和控制冷却技术手册 [M]. 北京：冶金工业出版，1998.

[7] 史美堂. 金属材料及热处理 [M]. 上海，上海科学技术出版社，1992.

[8] GB/T 13299—1991，钢的显微组织评定方法 [S].

[9] 牛士珍. 40Cr 棒材力学性能研究 [J]. 河北冶金，2006，(1)：25 - 27.

[10] GB/T 1056—2005，钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法 [S].

[11] GB/T 230.1—2009，金属材料：洛氏硬度试验法 [S].

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net