

65Mn钢晶体亚结构参数对磨粒磨损 耐磨性的影响

俞贤芳 王琴远

(中国农业机械化科学研究院)

摘 要

本文通过对65Mn钢不同热处理工艺处理的磨粒磨损试样的X射线衍射分析,运用X射线线型数学解析方法,测定了宽化谱线的真实宽度、晶块尺寸和晶格畸变。并初步探讨了晶体亚结构参数(真实宽度、晶块尺寸、晶格畸变)和微观组织对磨粒磨损耐磨性的影响。

一、前 言

在各种机械中,磨损是导致零部件失效的主要原因之一,而磨粒磨损又是农业机械、矿山机械、工程机械磨损的主要形式。为此研究磨粒磨损的机理、研究影响磨粒磨损耐磨性的因素,对于寻求减少磨粒磨损的途径,提高零件使用寿命具有重要的实际意义。

在一定的磨损条件下,金属材料的耐磨粒磨损性能与其化学成份、热处理类别和组织结构状态有着极为密切的关系。以往在金属微观组织类型、碳化物形态、残余奥氏体量和耐磨性之间的关系方面研究较多,而在热处理后晶体亚结构参数对耐磨性的影响方面报导较少。为探讨晶体亚结构参数与金属材料耐磨性能的关系,我们通过对不同热处理工艺处理过的磨粒磨损试样进行X射线衍射分析,运用X射线线型数学解析方法,测定了宽化谱线的真实宽度、晶块大小、晶格畸变,并采用计算机Fortran语言进行付立叶计算处理,从而初步了解耐磨性与晶体亚结构参数之间的关系,同时对金属微观组织对耐磨性的影响也作了进一步的探讨。

二、材料及试验方法

1. 试验用试样材料的化学成份如表1所列。

牌 号	C	Mn	Si	S	P	Cr
65Mn	0.66	1.44	0.28	0.014	0.023	0.119

2. 热处理规范

i) 淬火-回火工艺

830℃ ± 10℃ 加热30分钟，油淬、分别经200℃、300℃、350℃、440℃回火一小时。

ii) 等温淬火工艺

830℃ ± 10℃ 加热30分钟，经270℃、290℃、310℃、330℃等温15分，水冷，180℃回火一小时。

3. 磨粒磨损试验

磨粒磨损试验在湿式橡胶轮磨料磨损试验机上进行。磨料浆由950毫升自来水和1.5公斤50~70目新会石英砂配成。橡胶轮直径为φ177毫米，转速240转/分，橡胶轮橡胶硬度为邵氏硬度56~60，其载荷为1.5公斤，试样先经1000转预磨作为跑合，换砂后再磨1000转，计其磨损量。磨损量用万分之一感量天平称量其磨损前后重量。

磨损试验是以65Mn油淬后，200℃回火一小时的试样做标准。其它各种处理的试样与之对比，以求得其相对耐磨性，相对耐磨性以 ϵ 表示，并按下式计算之：

$$\epsilon = \frac{\text{标样的失重}}{\text{试验试样的失重}}$$

磨损试验的结果列于表2。

表2 磨 损 试 验 结 果

试样编号	热 处 理 度	硬度HRC	相对耐磨系数
A ₃	830℃油淬 290℃ 回火1小时	58	1.000
A ₆	" 300℃ "	53	0.897
A ₁₁	" 350℃ "	50	0.836
A ₁₆	" 440℃ "	45	0.819
B ₃	830℃加热270℃等温15分180℃回火1小时	55	1.123
B ₆	" 290℃ " "	51	0.951
B ₉	" 310℃ " "	48	0.855
B ₁₂	" 330℃ " "	45	0.828

4. X射线衍射试验

i) 衍射试样的制备

将试样切割成15×12毫米的衍射试样。另外，取同种材质同样尺寸的试样经完全退火处理后作为衍射试验用的标样，本试验标样用65Mn经810℃保温2小时冷至400℃出炉。用细砂纸磨去氧化皮，然后在10%硝酸酒精溶液中浸泡2.5小时，以消除氧化皮和磨削应力。

ii) X射线衍射试验

将试样和标样在相同实验条件下进行X射线衍射试验，试验在日本D/max-ⅢA型X衍射仪上进行。用钴阳极，30千伏，20毫安，装有单色器附件，闪烁计数器测量，发散狭缝DS=1°，散射狭缝SS=1°，接收狭缝=0.3毫米，CPS=400，t=2秒，扫速度 $\omega = \frac{1^\circ}{2}$ /分，纸速=10毫米/分在记录仪上画出试样的衍射谱线和标样的衍射谱线（或称工具曲线）。

部分衍射谱线如图1所示。

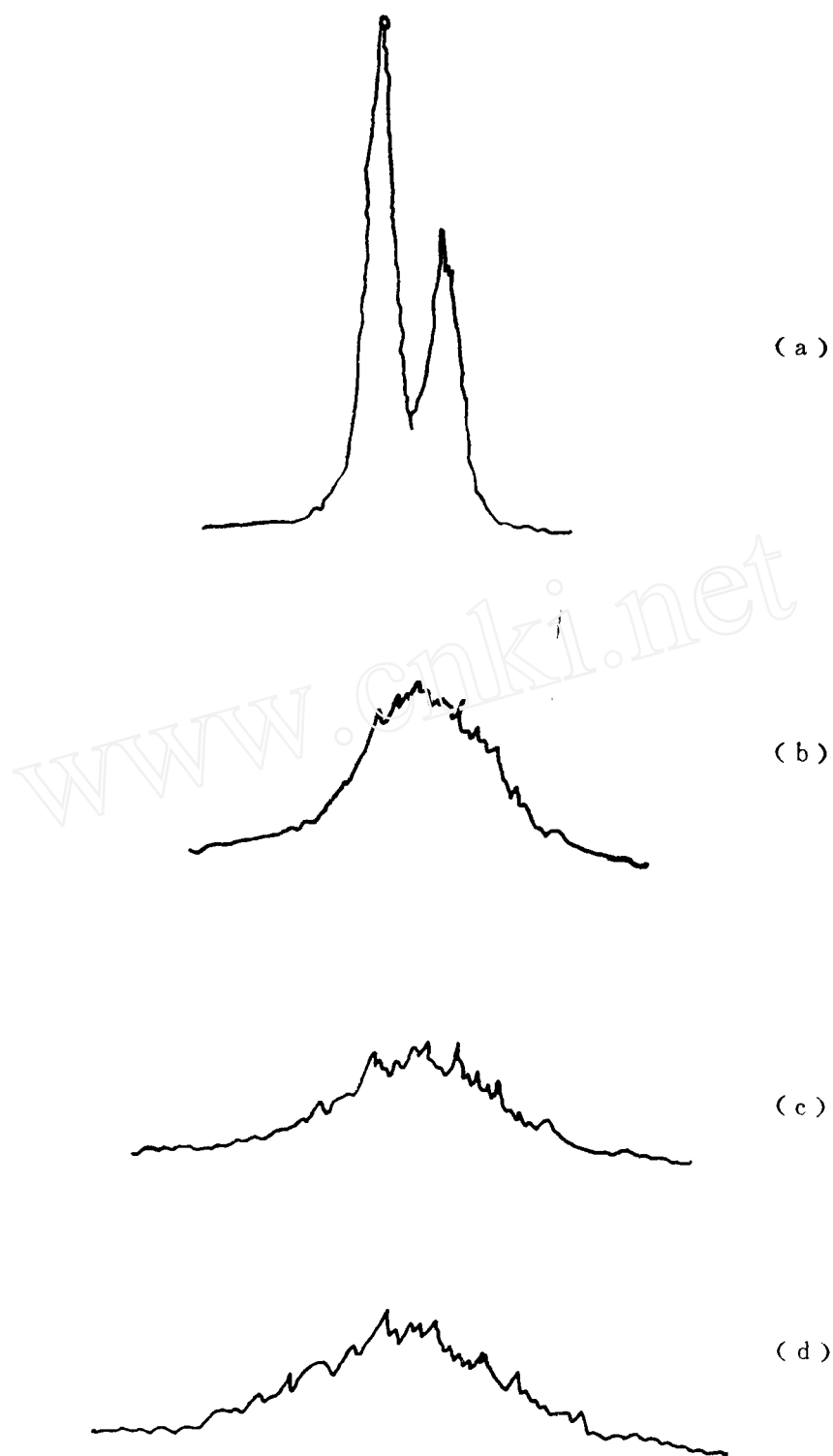


图1 试样的[220]衍射谱线
(a) — 标样; (b) — A₁₀; (c) — A₀; (d) — B₀

三、X衍射谱线分析方法^[1,2]

X射线衍射技术是晶体结构分析的主要手段，X射线衍射图对晶体材料的结构变化非常敏感。当晶粒尺寸 $\leq 10^{-5}$ 厘米（1000 Å），由于每个晶粒中晶面数目的减少，将引起衍射谱线的宽化。因此，可以根据衍射线的加宽程度来测量晶格畸变和晶块尺寸。但是引起衍射线宽化的因素很多，晶块细化和晶格畸变会使衍射线增宽，试样尺寸、X射线发散度等实验条件也会使衍射线增宽，前者引起宽化称真实宽度（或称物理宽度），后者引起宽化称仪器工具宽度。所以从实验测出的X衍射谱线是上述因素共同作用的结果，必须逐个将其区分才能计算晶块大小和晶格畸变，采取不同的数学处理方式分离上述各种加宽效应就形成了不同的测量方法。常用的数学解析方法有近似函数法、付立叶分析法。

1. 近似函数分析法

近似函数法即积分宽度法。该方法基于对仪器线形，物理加宽线形及待测试样的线形人为假设满足某种函数。将所假设的函数代入卷积方程求得各种线形的宽度，然后只需测出待测试样线形宽度 B_0 及仪器工具宽度 b_0 ，即可求出待测试样的真实宽度 β 。

本文选用的真实宽度计算公式为 $\frac{\beta}{B_0} = 1 - \frac{b_0}{B_0}$

2. 付立叶分析法

i)原理：付立叶分析法是把变宽的衍射谱线进行付立叶分析。将真实宽度（或称物理宽度）从衍射谱线中分离出来，最后由真实变宽的付立叶级数的系数定出晶块大小和晶格畸变。

ii)晶块尺寸L值和晶格畸变 e_s 值的计算

对具有立方结构的材料计算公式为：

$$L = \frac{2a \tan \theta}{\Delta 2\theta \sqrt{h^2 + K^2 + l^2}} \cdot n$$

式中a—被研究材料的晶格常数；

$\Delta 2\theta$ —衍射峰的分布范围（弧度）；

n—付立叶系数 $F_r(n) \sim n$ （ $n = 0, +1, +2 \dots$ ）曲线切线同横轴交点的坐标

$$\text{或} \left[-\frac{dF_r(n)}{dn} \right]_{n \rightarrow 0} = -\frac{1}{n}$$

$$\text{晶格畸变 } e_s = \frac{\sqrt{\Delta L_s^2}}{L_s}$$

$$\text{式中} \sqrt{\frac{\Delta L_s^2}{L_s^2}} = \frac{\sqrt{-L_s F_r(n)_{\text{应力}} \cdot a}}{\pi \sqrt{2} \cdot \sqrt{h^2 + K^2 + l^2}}$$

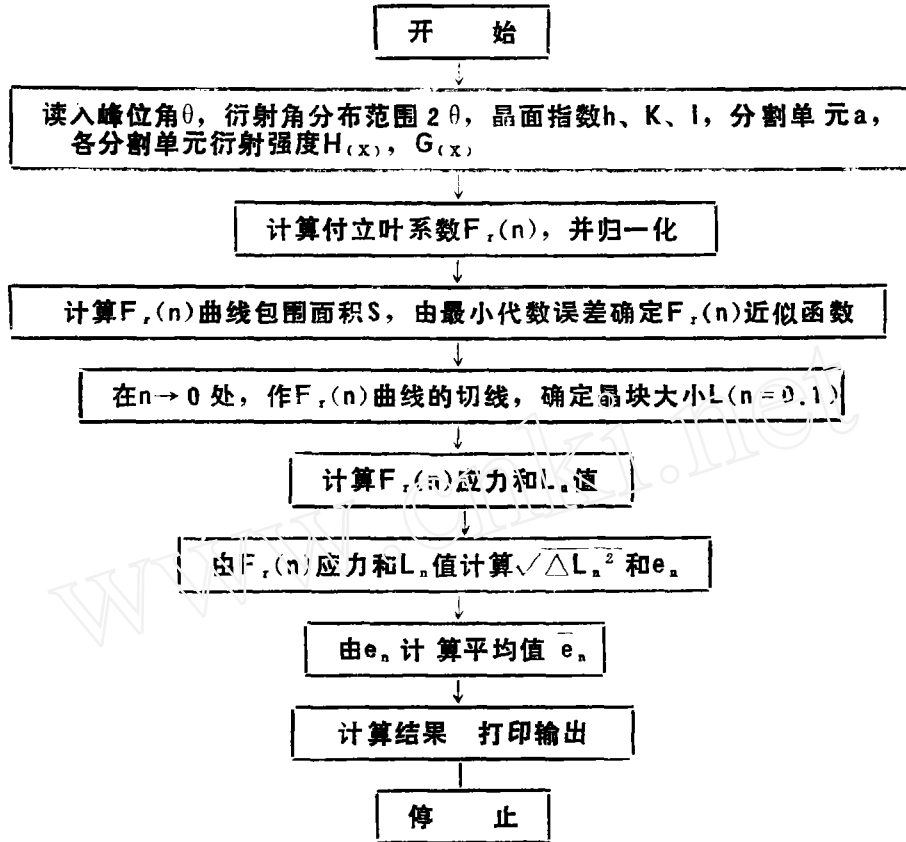
总的付立叶系数 $F_r(n)$ 为晶块大小有关的系数 $F_r(n)_{\text{晶}}$ 和微观应力有关的系数 $F_r(n)_{\text{应力}}$ 的乘积

$$\text{由公式 } F_r(n)_{\text{应力}} = \frac{F_r(n)}{F_r(n)_{\text{晶}}} \text{ 求 } F_r(n)_{\text{应力}}$$

式中 $F_r(n)$ 为各个 n 值下所对应的 $F_r(n) \sim n$ 曲线切线的纵坐标值。然后由 e_n 计算平均值 $\bar{e}_n$ 。

3. 用电子计算机进行付立叶分析

付立叶法推导严格、准确度高，为避免计算上的繁琐，我们采用Fortran语言编写了计算程序，其框图如下所示。



四、试验结果及讨论

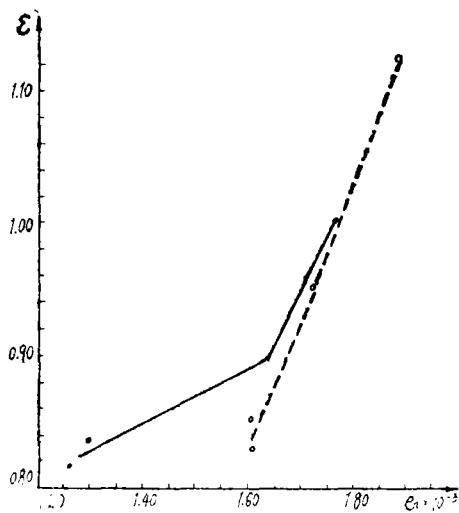
1. 本次试验的综合结果列于表3及表4，按结果作出关系曲线示于图2～图5。

表3 A_{10} 、 A_{11} 、 A_9 、 A_3 试验结果

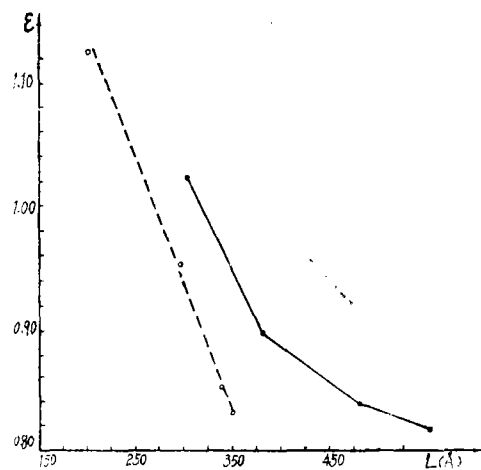
编 号	A_{10}	A_{11}	A_9	A_3
热处理工艺 830℃淬火	440℃回火	350℃回火	300℃回火	200℃回火
晶块大小 $L(\text{Å})$	551	482	382	261
晶格畸变 e_n ($\times 10^{-3}$)	1.26	1.30	1.64	1.77
真实宽度 $\beta(^{\circ})$	0.57	0.76	0.96	1.22
硬度(HRC)	45	50	53	58
相对耐磨系数(c)	0.819	0.836	0.897	1.000

表4 B_{12} 、 B_9 、 B_5 、 B_3 试验结果

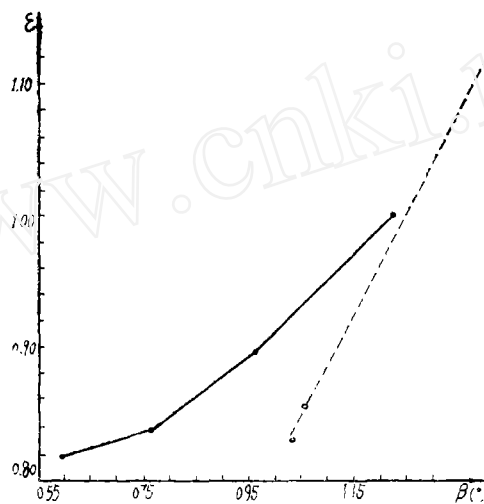
编 号	B_{12}	B_9	B_5	B_3
热处理工艺	330℃ 等温15分	310℃ 等温15分	290℃ 等温15分	270℃ 等温15分
晶块大小 $L(\text{Å})$	346	339	277	196
晶格畸变 e_n ($\times 10^{-3}$)	1.61	1.60	1.72	1.88
真实宽度 $\beta(^{\circ})$	1.03	1.05	1.09	1.41
硬度(HRC)	45	48	51	55
相对耐磨系数(c)	0.828	0.855	0.951	1.123



(a)



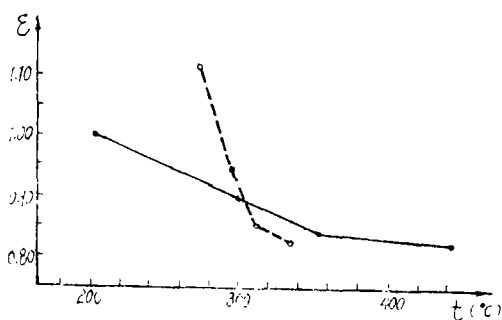
(b)



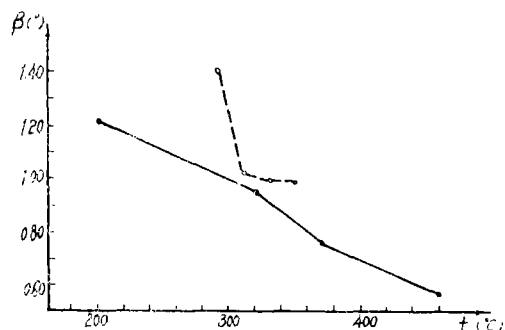
(c)

图2 (a) 65Mn相对耐磨性(ε)与晶格畸变(e_s)的关系;
(b) 65Mn相对耐磨性(ε)与晶块尺寸(L)的关系;
(c) 65Mn相对耐磨性(ε)与真实宽度(β)的关系

.....等温淬火; ————淬火、回火



(a)



(b)

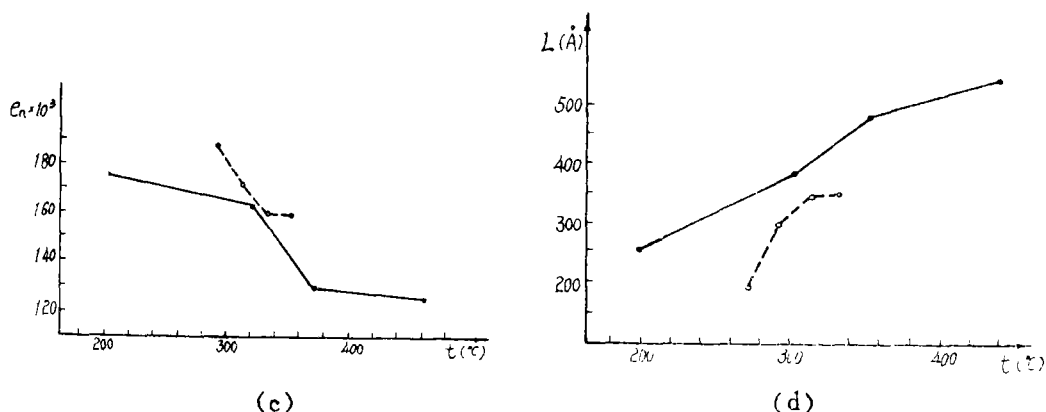


图3 (a) 65Mn相对耐磨性(ϵ)与等温淬火、回火温度的关系
 (b) 65Mn真实宽度(β)与等温淬火、回火温度的关系
 (c) 65Mn晶格畸变(e_n)与等温淬火、回火温度的关系
 (d) 65Mn晶块尺寸(L)与等温淬火、回火温度的关系
等温淬火; ——淬、回火

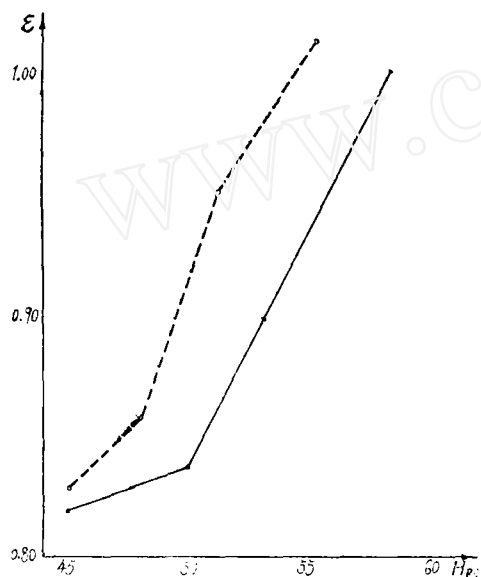


图4 65Mn相对耐磨性 ϵ
 与硬度 H_{Rc} 的关系
等温淬火; ——淬、回火

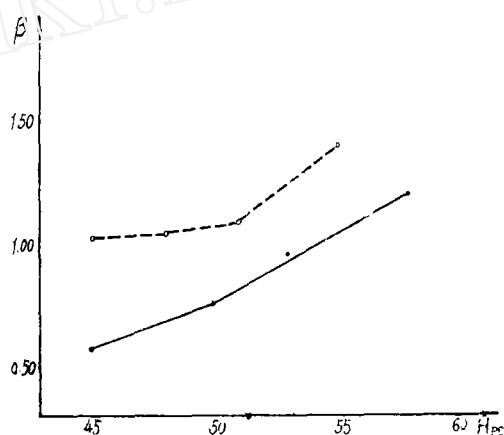


图5 65Mn谱线[220]真实宽度
 与硬度 H_{Rc} 的关系
等温淬火; ——淬、回火

2. 讨论

i) 晶体亚结构参数对磨粒磨损耐磨性的影响

试验结果表明: 65Mn淬火回火试样相对耐磨性随着X射线[220]的真实宽度增加、晶格畸变量增加而增加, 随晶块尺寸增大而减小。等温淬火试样相对耐磨性也随着[220]谱线的真实宽度、晶格畸变量的增加而增加, 随晶块尺寸增大而减小。如图2所示。

文献[3~5]研究了热处理时重结晶、淬火温度、结构参数对钢的耐磨性影响, 结果指出: 钢的耐磨性从物理观点解释有如下线性关系: $Q = Q_0 - \alpha' \beta_{220}$, 式中 Q_0 为晶格缺陷密度最小时的磨损量, α' 系数与磨损试验方法和变形强化程度有关。

磨损量不仅取决于由晶格缺陷密度所决定的钢的滑移抗力,而且取决于脆性断裂抗力,热处理钢的磨损量也取决于以上两因素,即取决于钢的(滑移)抗力和脆性断裂抗力。滑移抗力与造成不同晶格缺陷密度的淬火温度有关,而脆性断裂倾向性取决于最终回火温度。所以脆性断裂时,磨损量与X谱线宽度之间存在线性关系 $Q=f(\beta)$ 。

从本次试验结果图2也可以看出钢的耐磨性与晶体亚结构参数(X射线[220]线的真实宽度、晶格畸变值、晶块尺寸)存在一定的线性关系,等温淬火试样相对耐磨性随X射线[220]线谱线宽度增加的速率较淬火回火试样大,按照上述观点,这是由等温淬火 α' 系数与回火 α' 不同所致。

文献[6]研究了30X1CrA和55X1CrΦ钢经等温淬火和淬火回火后耐磨性能,结果表明等温淬火后谱线变化,说明等温淬火后有较多组织畸变,耐磨性也高。

从本次试验结果图5中也可看出:在相同硬度下等温淬火[220]谱线宽度比淬火回火大,这说明等温转变产物下贝氏体比回火马氏体有较多的晶格畸变、晶块变小,导致谱线宽化,从 $Q=f(\beta)$ 的观点也说明等温淬火耐磨性高。

ii)晶体亚结构参数和热处理工艺的关系

65Mn钢淬火回火和等温淬火试样其亚结构参数随回火温度及等温淬火温度的升高,谱线密度减少,晶格畸变量减小,晶块尺寸变大。如图3所示。对比两种工艺可看出,经等温淬火处理的试样晶格畸变量大,衍射谱线宽化,晶块尺寸小。这是由于等温转变($270^{\circ}\sim 330^{\circ}\text{C}$)产物下贝氏体,是具有较高位错密度的亚组织,其中 α 相成针状,细小渗碳体颗粒呈弥散状分布,随等温转变温度降低,渗碳体颗粒愈细,分布也愈均匀,位错密度愈大,所以谱线宽度增加,晶格畸变量增加。而经淬火回火处理的试样,随回火温度的升高,马氏体中过饱和碳原子不断析出,马氏体正方度下降。在 $300^{\circ}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 回火时,低温析出 Fe_xC 碳化物转变为粒状渗碳体 Fe_3C ,并开始聚集粗化, α 固溶体在降低含碳量的同时,晶格畸变开始消失,晶块逐渐长大。

iii)微观组织对磨粒磨损耐磨性的影响

图4给出不同工艺下,耐磨性和硬度的关系,可以看出,耐磨性随硬度的增加而增加。不同硬度对应着不同组织。65Mn淬火低温回火得到回火马氏体组织。回火马氏体主要特征是高硬度,硬度高抵抗磨粒显微切削作用也就越强,当 $300^{\circ}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 回火时得到回火屈氏体组织,由于屈氏体硬度低于马氏体,相应耐磨性也随之下落。而在相同硬度条件下,等温淬火转变产物下贝氏体具有较高的耐磨性,这是因为下贝氏体是扁片状 α 相与在其内部沉淀碳化物 ϵ 相组成的两相组织,其碳化物呈粒状或短条状,沿着 α 相长轴相交 $55^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 的方向成排的沉淀出 $\epsilon\text{-Fe}_x\text{C}$ 颗粒,转变温度愈低时, $\epsilon\text{-Fe}_x\text{C}$ 颗粒愈细,分布也愈均匀。而回火马氏体中的碳化物分布在两个以上的方向上且分布不均匀。所以下贝氏体强度,塑性较高,有良好的综合性能。而磨粒磨损耐磨性不仅与被磨材料硬度有关,也与断裂韧性有关。故在一定的硬度范围内,提高材料的断裂韧性,对于改善材料的耐磨性是有利的。

五、结束语

本文运用计算机FORTRAN语言对X射线线型进行数学处理,测定了65Mn钢经淬火回火和等温淬火后晶体亚结构参数。并对晶体亚结构参数,微观组织对磨粒磨损耐磨性的影响

进行了初步探讨。

从研究结果表明采用适当的热处理工艺,改变晶体亚结构参数,能够在不加合金元素和不采用表面强化专门方法时,挖掘材料潜力,提高机器零件耐磨性。关于晶体亚结构参数对磨粒磨损耐磨性的影响还有待于进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] Шпнес, Б. Я., И. Березняк, Н. Г., ЖТФ, 24 (1951), 2: 329.
- [2] 范雄, X射线金属学, 机械工业出版社, 1980, 139~162.
- [3] Мухамедов, А. А., Шамахсудов, С. М., Изв. Вузов, Серия Черная
Металлургия, 1979, 1: 115~118.
- [4] Мухамедов, А. А.,
Изв. Вузов, Серия Черная Металлургия, 1978, 6: 110~113.
- [5] Мухамедов, А. А.,
Изв. Вузов, Серия Черная Металлургия, 1975, 10: 120~122.
- [6] Михайличенко, Т. А. И Тараско, Д. П.,
Изв. Вузов, Серия Черная Металлургия, 1979, 12: 63~66.

The Effect of Crystal Substruction Parameters of 65Mn Steel on Its Abrasive Wear Resistance

Yu Xianfang Wang Qingyuan

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences)

Abstract

This paper presents the measurements of the true width of broadening line, mosaic size and lattice distortion in the x-ray diffraction analysis of 65Mn steel using mathematical analysis of x-ray line profile. The effect of crystal substruction parameters (true width, mosaic size, and lattice distortion) and microstructure on abrasive wear resistance is also preliminarily discussed.