参考译文，由 Van Phong 技术与贸易有限公司翻译。以已发表的原文为准；图表请参阅原文。

冷处理——提高钻具材料耐磨性的一种方法

Le Thanh Binh, V. I. Bolobov, G. A. Yusupov, M. P. Moseev

Gornyi Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten（《矿业信息分析通报》，GIAB），2016年，第11期，第108–114页 · ISSN 0236-1493 · UDC 622.23.05

摘要

本文介绍了冷处理（试样在-75 °C下保持）对钻具钢38XM和55C2在不同温度淬火后的基本力学性能（$\sigma_{0.2}$、σ_B、KCV、HRC）及耐磨性影响的试验研究结果。研究发现，与经常规热处理的材料相比，经冷处理的试样耐磨性显著提高（分别提高18–26%），而强度略有提高（1–1.1%），冲击韧性有所降低（1.4–19%）。结论认为，冷处理可作为一种有前景的附加热处理工序，用于提高制造矿山工作工具——液压破碎锤钎杆、钻杆、钻头体以及其他在磨料磨损条件下工作的矿山设备——所用钢材的耐磨性。

***关键词：**钻具钢，冷处理，热处理，耐磨性。*

众所周知[1, 2, 3]，如果钢的马氏体转变终了点M_f低于室温，则淬火后材料组织中会残留残余奥氏体，其数量随钢中碳和合金元素含量的增加而增加（图1）。其含量越高，M_f点越低（图2）。

淬火零件材料组织中存在残余奥氏体会对其物理力学性能产生不利影响，首先表现为硬度和强度降低、导热性和磁性能变差。材料的这些性能对机械制造工艺具有首要意义。钢的导热性对切削工具刃口的散热速度有显著影响。试验已经证实，金属切削机床高速切削时刀具耐用度降低，是由于刃口上产生的高温所致，而这一高温源于奥氏体导热性差[1]。

[图1 — 见原文PDF第2页] 残余奥氏体量与合金元素含量的关系[2]。

冷处理是将淬火钢冷却至其M_f温度以下，促使残余奥氏体转变为马氏体，从而改善材料的耐磨性和力学性能。此外，在远低于M_f的温度下长时间保持，会使钢在随后回火时析出大量非常细小的碳化物颗粒（称为η碳化物），这同样有助于改善钢的使用性能[4]。冷处理的效果取决于淬火钢中残余奥氏体的数量，并随M_f点的降低而增强。因此，冷处理对含碳量大于0.6%的碳素钢和高合金钢最为有效。

[图2 — 见原文PDF第2页] M_f点与碳含量的关系[3]。

表1. 冷处理和深冷处理对国外工具钢耐磨性的影响

钢号		-79 °C冷处理	-190 °C深冷处理
AISI	GOST近似对应钢号	耐磨性提高幅度，%	
D2	Х12МФ	216	717
S7	6Х4М2ФС	241	403
52100	Х	95	320
O1	9ХВГ	121	218
A10	–	130	164

钢号		-79 °C冷处理	-190 °C深冷处理
AISI	GOST近似对应钢号	耐磨性提高幅度，%	
M1	P2AM9K5	45	125
H13	4X5MΦ1C	64	109
M2	P6M5	17	103
T1	P18	41	76
P20	38XM	23	30
440C	95X18	28	21

冷处理和深冷处理作为淬火后的附加工序，在工程上被广泛用于改善工具钢的耐磨性[1]。例如，根据文献[5]的数据（表1），对用作切削工具及冷、热变形模具材料的多种合金钢和高速钢的淬火试样进行低温保持，可使其耐磨性显著提高（分别最高达2.5倍和7倍）（文献[5]未给出试验方法）。

与此同时，文献中尚未发现应用上述处理方式提高承受磨料磨损的矿山工具材料使用性能的资料。本文将几种应用最广泛的钻具钢经冷处理后的磨料耐磨性和力学性能，与这些材料经实际常用热处理后的性能进行比较，并探讨在矿山机械制造中应用冷处理工序的可能性。

研究对象为作为冲击式钻孔设备钎杆材料的38XM和55C2钢的基本物理力学性能（$\sigma_{0.2}$、σ_B、KCV、HRC）和抗磨料磨损性能（R_W），试样分别经过此类钢的典型热处理（油淬加低温或中温回火）以及附加冷处理。在后一种情况下，试样淬火后立即放入装有-75 °C冷却液的低温恒温器中保持4小时。

物理力学性能测定试验在标准试样上进行，使用Zwick/Roell Z100拉伸试验机、Zwick/Roell RKP450摆锤冲击试验机和Zwick/Roell ZHU硬度计。耐磨性试验按照ASTM G99方法（"销–盘"法）在圆柱形销试样（直径4 mm，高14 mm）上进行，试样在恒定载荷（P = 40 N）下，以0.257 m/s的速度在电熔刚玉盘上磨损规定时间。根据磨料作用前后试样的称重结果，按下式计算耐磨性：

$$W_R = \rho \cdot P \cdot L / m,\ N{\cdot}m/mm^3 \quad (1)$$

式中ρ为销材料密度，g/mm^3；m为销磨损造成的质量损失，g；L为磨损路程（100 m）。

所测材料性能值（取3次试验结果的算术平均值）列于表2。

表2. 未经冷处理和经冷处理的热处理钻具钢试样物理力学试验及耐磨性测定试验结果

钢号	处理类型	参数值				
		屈服强度 $\sigma_{0.2}$，MPa	抗拉强度σ_B，MPa	冲击韧性KCV，J/cm^2	硬度，HRC	耐磨性R_W，N · m/mm^3
38XM	淬火（870 °C）+ 回火（200 °C）	1478	1933	40.6	51.1	69.0
38XM	淬火（870 °C）+ 冷处理 + 回火（200 °C）	1529 (+3.5%)	1953 (+1.0%)	32.9 (-19.0%)	51.6 (+1.0%)	81.9 (+18.6%)
38XM	淬火（950 °C）+ 回火（200 °C）	1486	1887	37.5	48.7	–
38XM	淬火（950 °C）+ 冷处理 + 回火（200 °C）	1486 (0.0%)	1907 (+1.1%)	33.2 (-11.5%)	49.3 (+1.2%)	–
55C2	淬火（870 °C）+ 回火（200 °C）	*	*	5.6	59.6	97.0
55C2	淬火（870 °C）+ 冷处理 + 回火（200 °C）	*	*	4.8 (-14.3%)	60.5 (+1.5%)	122.2 (+25.9%)

钢号	处理类型	参数值				
		屈服强度 $\sigma_{0.2}$，MPa	抗拉强度σ_B，MPa	冲击韧性KCV，J/cm^2	硬度，HRC	耐磨性R_W，$N \cdot m/mm^3$
55C2	淬火（870 °C）+ 回火（360 °C）	*	*	7.1	57.8	–
55C2	淬火（870 °C）+ 冷处理 + 回火（360 °C）	*	*	7.0 (-1.4%)	58.4 (+1.0%)	–
55C2	淬火（870 °C）+ 回火（460 °C）	*	*	22.3	46.9	–
55C2	淬火（870 °C）+ 冷处理 + 回火（460 °C）	*	*	19.0 (-14.8%)	47.4 (+1.1%)	–

* — 试样在较宽应力范围内发生脆性断裂。

由表中数据可知，与常规热处理相比，冷处理（与文献[1, 2, 3]中一样）使被试材料的强度指标（$\sigma_{0.2}$、σ_B）和硬度略有提高，同时冲击韧性降低。（由于试验结果离散性大，未能测定55C2钢的$\sigma_{0.2}$和σ_B值；可以推断，这是热处理导致试样脆化所致。）而且，随着奥氏体化温度和回火温度的升高，冷处理的上述效果减弱。低温作用使磨料耐磨性提高18%至26%。

根据所给出的初步研究结果可以得出结论：冷处理可作为一种有前景的附加热处理工序，用于提高制造矿山工作工具——液压破碎锤钎杆、钻杆、钻头体以及其他在磨料磨损条件下工作的矿山设备——所用钢材的耐磨性。同时，应寻找最优的热处理制度，使冷处理对钢冲击韧性的不利影响降至最低。

参考文献

1. Клименко А. П. Холод в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1969. – С. 247.
2. Чудаков Е. А. Машиностроение. Энциклопедический справочник. Раздел 2. Материалы машиностроения. Т. 3. – М.: ГОНТИ, 1947. – С. 341.
3. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия, 1978. – С. 182.
4. Collins D. N. Deep cryogenic treatment of tool steels: A review // Heat treatment of metals. – 1996. – no 2. – pp. 40–42.
5. Pete Paulin. Technological gear // Gear manufacturing. – 1993. – no 3–4. – pp. 26–29.