

“CL”钻头与“RPC”钻头加工马氏体不锈钢切削性能的试验研究

李振洲

江祖发

(机械系)

提 要

本文通过合理的试验设计,以马氏体不锈钢2Cr13为试件,对“CL”钻头及“RPC”钻头进行了耐用度对比试验。应用方差分析,回归分析和正交设计等工程数理统计的方法,求出了两种钻头的耐用度数学模型。在这个基础上,定性定量地分析了两种钻头的异差。试验结果表明,“RPC”钻头的切削性能较优。

日本常用的高速铁麻花钻头(直径 $\leq 13\text{mm}$)和规格不同的立铣刀等刀具,据称该钻头的耐用度要比中国产品高出4—5倍。为了找出差异,分析原因,需要进行性能对比,因此,我们选择了生产中常用的并有一定代表性的成都量具刃具厂生产的同规格的麻花钻头,进行了系统的耐用度对比实验,用数理统计方法(方差分析、回归分析等)对实验结果加以分析、比较、判断和建立起耐用度预报方程。不仅可以定性地而且力图定量地说明它们间的异差,并为生产部门使用这些钻头提供一些依据。

一、试验条件

1. 实验研究在郑州工学院机械系切削实验室进行。
2. 实验机床: 法国“GSP”生产的钻镗床。
3. 试件: 马氏体不锈钢2Cr13, 其化学成份和机械性能如下表所示。

表1

材料 牌号	化学成份 %							机械性能					
	C	Cr	Ni	Mn	Sj	S	P	σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ %	ψ %	σ_k 公斤/毫米 ²	HB
2Cr13	0.16~ 0.24	12~ 14	<0.6	≤ 0.6	≤ 0.6	≤ 0.03	≤ 0.035	45	66	16	55	8	132~150
20	0.17~ 0.24	≤ 0.25	—	0.33~ 0.24	0.17~ 0.37	≤ 0.04	≤ 0.04	25	40	25	55	—	156

4. 试验用钻头:

直径为10毫米的直柄麻花钻。日本RPC生产的(记为RPC)钻头及成都量具刃具厂生产的(记为CL)钻头的有关参数列于表2中。

• 试验得到实验室朱书志、黄明生、张才吉、郭旭亮、张瑞莲、张治国等同志的协助。

表2

钻 头	锋 角	螺旋角	外园处后角	钻心直径 (毫米)	刃带宽度 (毫米)	主刃的不平 直度(毫米)	主刃的不对 称度(毫米)
RPC	$118^{\circ} \pm 2^{\circ}$	31°	$11^{\circ} - 12^{\circ}$	1.8	≈ 1.2	0	< 0.03
CL	$118^{\circ} 2^{\circ}$	27°	$11^{\circ} \sim 12^{\circ}$	2.3	≈ 1.0	> 0.2	> 0.1

采用大号钻夹头装夹。

5. 切削液:

全部切削试验均采用机油作切削液。

6. 磨损测量装置及磨钝标准:

钻头在正常情况下后刀面的磨损带如图1a所示, 最大磨损发生在边缘主付刀刃汇合处的刀尖上, 其磨损量为 V_C ; 而中部正常磨损带的平均宽度则为 V_B , 试验采用型号为JXD—1型及JLC型二台国产读数显微镜组装而成的磨损测量装置, 刻度值为0.01毫米。参照《ISO3685—1977刀具寿命试验》的有关规定; 从切削刃的原始位置起测量主切削刃后刀面的磨损带宽度(参见图1b)。

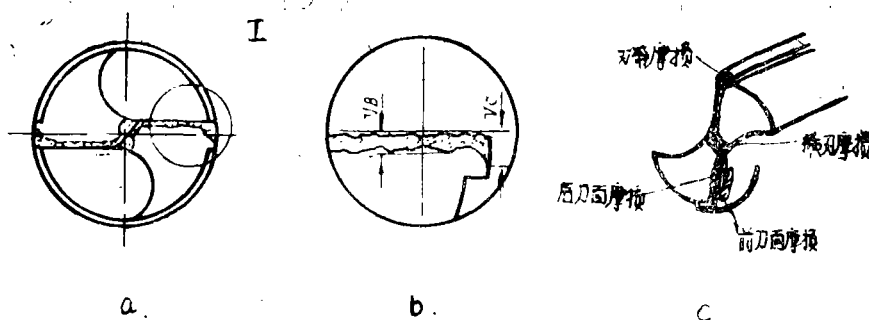


图1. 钻头的磨损带

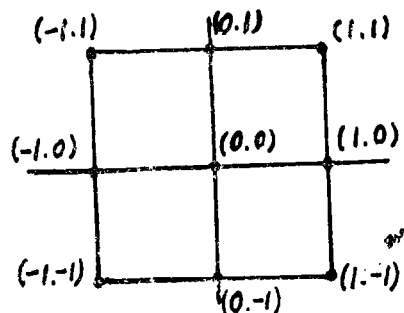
为了省时省料, 本试验取磨钝标准为: $V_C = 0.3$ 毫米, $V_B = 0.2$ 毫米。并且, 以钻削的孔的总长度 L_C (米)来定义钻头的耐用度, 作为评价钻头切削性能的指标。

二、试验设计及试验结果

1. 试验设计

要全面地进行性能对比试验研究, 本应在较宽的切削条件范围内, 改变较多的因素才可能作出较全面的评价。但为了省时省料, 只针对一种工件材料(2Cr13), 只改变切削速度(转速)和进给量这两个因素, 按二因素三水平的组合设计法安排试验。而且, 在各变量都取零水平的中心点, 只做一次试验。因此, 这种组合设计的试验点, 其因子空间的分布如图2所示。各变量所取水平, 除了尽量符合采用优先数而机床又能提供的几何级数外, 选择

切削速度的最高水平接近高速钢刀具常用的最大值(约30米/分);此外,还考虑到马氏体不锈钢的性韧大,切屑不易折断而易缠绕,直柄钻头长度又较短这一特点,选择进量给 f 的水平稍低于常规推荐值(0.08~0.12)。现将各因素的取值及编码列于表3中。



九 设计

表3

变 量	各 水 平 值		
主轴转速 n (rev/min)	900	640	450
进给量 f (mm/rev)	0.09	0.064	0.045
编 码	1	0	-1

为了充分反映各个因素的影响及其交互作用,即不仅应包括变量的一次项的影响,而且还要有二次项和交错项的影响,因而采用了二次回归正交设计。表4为二因子二次回归正交设计的结构矩阵

表4

试验号	列	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2
1		1	1	1	1	1	1
2		1	1	-1	-1	1	1
3		1	-1	1	-1	1	1
4		1	-1	-1	1	1	1
5		1	1	0	0	1	0
6		1	1	0	0	1	0
7		1	0	1	0	0	1
8		1	0	-1	0	0	1
9		1	0	0	0	0	0

2. 试验结果

图3是将实验结果绘成的磨损曲线图。而以主切削刃边缘处最大磨损正常地达到磨钝标准($V_c = 0.3$ 毫米),及中部磨损带达到磨钝标准($V_B = 0.2$ 毫米)时的钻孔总长度 L_c (米)

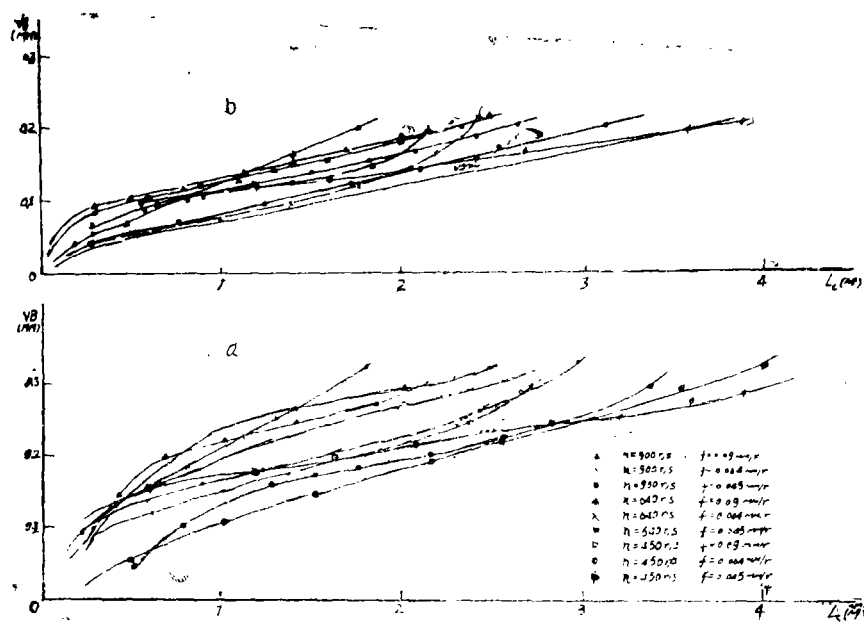


图3 A.RPC钻头的磨损曲线: a, 边缘; b, 中部

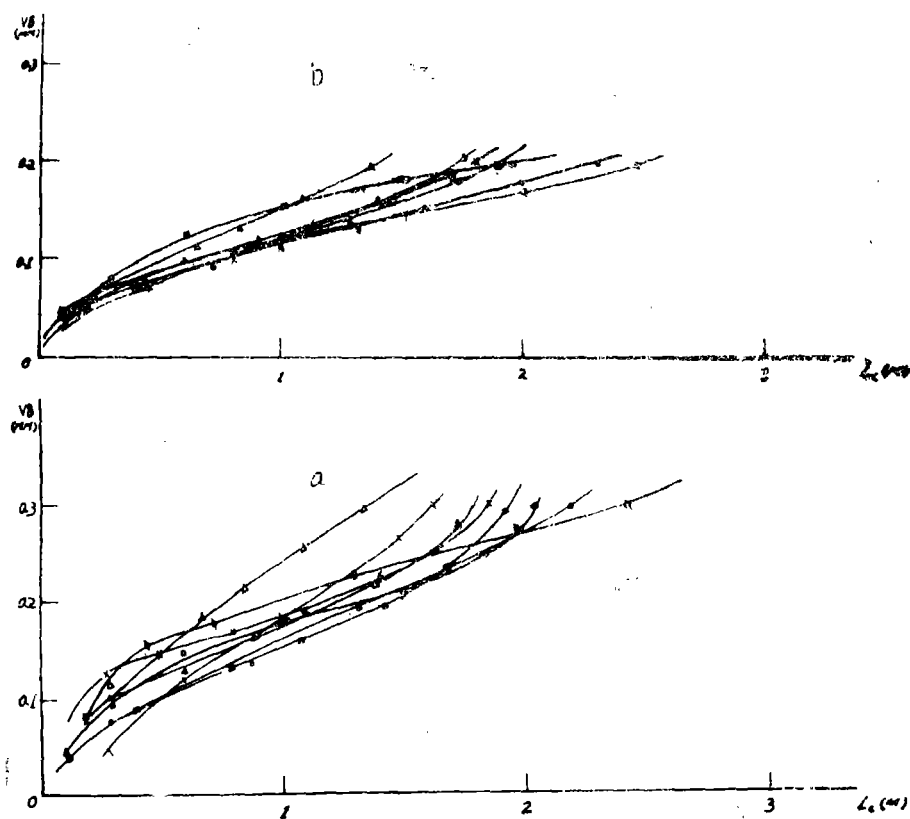


图3 B.CL钻头的磨损曲线: a, 边缘; b, 中部

(均指钻头两刃的平均值)纪录于表5中。对于那些不正常的磨损,如崩刃或严重地成沟形而使钻头失效的试验均已剔除在外。

表5 两种钻头钻削总长度(L_c)的试验结果

部位 钻头	边 缘				中 部		
RPC	转速n (rev/min)	进 给 量			f (mm/rev)		
		0.09	0.064	0.045	0.09	0.064	0.045
	900	1.62	2.54	3.45	1.76	2.355	3.14
	640	2.10	2.74	3.814	2.20	2.40	3.86
	450	2.22	2.835	4.20	2.34	2.68	3.95
CL	900	1.34	1.63	1.80	1.38	1.72	1.94
	640	1.82	1.88	1.94	1.75	1.80	1.90
	450	2.08	2.20	2.42	1.92	2.32	2.48

三、试验结果分析和讨论

(1) 两种钻头的切削性能对比分析

1. 耐用度(实测值)的比较

从表5中所记录的试验结果可以看出,在相同的切削条件下,RPC钻头的耐用度—钻孔总长度 L_c (米)确实比CL钻头的耐用度高。表6是在相同的条件下两种钻头的耐用度的比值,表明RPC钻头的耐用度约为CL钻头的1.1~2倍。在低速进给量大时两者比较接近,而在高

表6 两种钻头钻孔总长度的比值

进给量 转 速 (rev/min)	f (mm/rev)					
	0.09	0.064	0.045	0.09	0.064	0.045
900	1.209	1.558	1.917	1.275	1.369	1.618
640	1.154	1.457	1.966	1.257	1.333	2.032
450	1.067	1.289	1.736	1.219	1.155	1.593
	边缘 $v_c = 0.3\text{mm}$			中部 $V_B = 0.2\text{mm}$		

速小进给量时异差比较显著。说明这两种钻头的切削性能有一定的差异。

2. 方差分析

为了进一步鉴别不同切削条件和两种钻头对耐用度影响的效应,有必要用方差分析的方法找出它们对耐用度影响的差异。方差分析的结果如表7所示。

表7 钻头耐用度的方差分析表

部位	方差来源	平方和	自由度	均方	F比	显著性
边缘	钻头之间	3.93	1	3.93	17.088	0.01
	切削条件之间	4.64	8	0.58	2.53	
	误差	1.84	8	0.23		
	总计	10.41	17			
中间	钻头之间	3.11	1	3.11	18.77	0.01
	切削条件之间	4.08	8	0.51	3.07	0.1
	误差	1.32	8	0.165		
	总计	8.51	17			

分析结果表明, 钻头之间的 $F_{比} > F_{0.01}(1.8) = 11.26$ 说明不同的两种钻头, 对耐用度的影响是高度显著的。即两种钻头的切削性能在99%的置信度上存在着显著的差异。而切削条件的不同, 只在90%的置信度上显著。这里说的切削条件是指九次试验不同转速与进给量的组合。至于转速和进给量这两个因素对耐用度的效应是否显著还须进一步分析。

3.t 检验

将两种钻头在不同切削条件下的耐用度观察值作t检验, 同样可以判断两种钻头的切削性能以及同一钻头两个部位的两组观察值之间是否存在差异。统计量t的计算结果列于表8中。

表8 统计量t的计算值

钻头之间	边缘	中部	t临
	3.114	3.031	$t_{0.01}(16) = 2.92$
钻头内部之间	RPC 0.245	CL 0.733	$t_{0.1}(16) = 1.746$

计算结果表明, 两种钻头之间的t值均大于 $t_{0.01}(16) = 2.92$, 说明两种钻头耐用度的平均值在99%的置信度上有显著差异。因而它们的切削性能有显著差异。而钻头自身不同磨损部位之间的t值均小于t临, 说明它们内部并没有明显的差异。因而可用中部结果来代表整个刀刃的磨损规律。

(2).两种钻头耐用度的拟合方程。

如前所述, 为了充分反映各个因素及其交互影响, 能定量地说明它们对耐用度影响的显著程度, 对试验结果采用了二次回归正交设计进行处理。回归系数计算表之一如表9所示。根据表中计算结果, 可得二次回归拟合方程为:

$$\begin{aligned}
 Y &= 1.9 - 0.32x_1 - 0.15x_2 + 0.013x_1' - 0.001x_2' - 0.03x_1x_2 \\
 &= 1.9 - 0.32x_1 - 0.15x_2 + 0.013(3x_1^2 - 2) - 0.001(3x_2^2 - 2) - 0.03x_1x_2 \\
 &= 1.86 - 0.32x_1 + 0.039x_1^2 - 0.15x_2 - 0.003x_2^2 - 0.03x_1x_2
 \end{aligned}$$

$$\text{其中: } X_1 = \frac{2(n-900)}{900-450} + 1$$

$$X_2 = \frac{2(f-0.09)}{0.09-0.045} + 1$$

代入上式进行解码计算得:

$$Y = L_c = 2.912 - 2 \times 10^{-3}n + 78 \times 10^{-8}n^2 - 1.87f - 5.93f^2 - 5.3 \times 10^{-3}fn.$$

同理,可得两种钻头不同磨损部位的耐用度拟合方程式列于表10中

表9 CL钻头边缘部分回归系数计算表

列 试验号	x_0	x_1	x_1	$x'_1 = 3 \times (x_1^2 - \frac{2}{3})$	$x'_2 = 3 \times (x_2^2 - \frac{2}{3})$	$x_1 x_2$	$Y = L_c$	y^2
1	1	1	1	1	1	1	1.34	1.7956
2	1	1	-1	1	1	-1	1.80	3.24
3	1	-1	1	1	1	-1	2.08	4.3264
4	1	-1	-1	1	1	1	2.42	5.8564
5	1	1	0	1	-2	0	1.63	2.6569
6	1	-1	0	1	-2	0	2.20	4.84
7	1	0	1	-2	1	0	1.82	3.3124
8	1	0	-1	-2	1	0	1.94	3.7636
9	1	0	0	-2	-2	0	1.88	3.5344
$S_i = \sum x_i^2$	9	6	6	18	18	4	$\sum Y^2 = 33.3257$	
$B_j = \sum xy$	17.11	-1.93	-0.92	0.23	-0.02	-0.12		
$b_j = B_j/S_i$	1.90	-0.32	-0.15	0.013	-0.001	-0.03		
$Q_j = B_j b_j$	32.53	0.62	0.141	0.00244	0.000022	0.0036		

表10 耐用度的拟合方程式

钻 头		二 次 回 归	一 次 回 归
RPC	边 缘	$L_c = 7.762 + 28 \times 10^{-5}n - 1.4 \times 10^{-8}n^2 - 98f + 385.178f^2 + 74 \times 10^{-4}nf$ (米)	$L_c = 1.35/n^{0.3}f^{0.96}$ (米)
	中 部	$L_c = 9.463 + 19.6 \times 10^{-5}n - 3.3 \times 10^{-8}n^2 - 156.26f + 675.556f^2 + 45.42 \times 10^{-3} \times nf$ (米)	$L_c = 2.15/n^{0.81}f^{0.8}$ (米)
CL	边 缘	$L_c = 2.912 - 2 \times 10^{-3}n + 78 \times 10^{-8}n^2 - 1.867f - 5.93f^2 - 5.3 \times 10^{-3}nf$ (米)	$L_c = 23.84/n^{0.495}f^{0.245}$ (米)
	中 部	$L_c = 3.607 - 25.4 \times 10^{-4}n + 96 \times 10^{-8}n^2 - 4.178f - 33.58f^2$ (米)	$L_c = 11.61/n^{0.42}f^{0.33}$ (米)

二次回归的方差分析计算结果列于表11中.

表11 二次回归方差分析

方差来源	自由度	RPC 钻头						CL 钻头					
		边 缘			中 部			边 缘			中 部		
		均方	F比	显著性	均方	F比	显著性	均方	F比	显著性	均方	F比	显著性
x_1	1	0.451	23.25	0.025	0.491	27.74	0.025	0.62	60.78	0.01	0.47	22.47	0.025
x_2	1	5.088	262.27	0.001	3.604	203.62	0.001	0.141	13.82	0.05	0.269	12.87	0.05
x_1x_2	1	0.038	1.96		0.0575			0.0036	0.35		0	0	
x_1^2	1	0.011	0.567		0.075			0.00244	0.2392		0.041	1.96	
x_2^2	1	0.076	3.92		0.235			0.000022	0.002		0.00534	0.255	
回归	5	1.1126	57.35	0.01	0.8836	49.92	0.01	0.1534	15.04	0.05	0.1572	7.52	0.1
剩余	3	0.0194			0.0177			0.0102			0.0209		

为了变成广义的泰洛公式,也可以采用一次回归正交设计。一次回归的拟合方程亦列入表10中,而方差分析则列于表12中。

表12 一次回归方差分析

方差来源	自由度	RPC 钻头						CL 钻头					
		边 缘			中 部			边 缘			中 部		
		均方	F比	显著性	均方	F比	显著性	均方	F比	显著性	均方	F比	显著性
x_1	1	0.01206	22.819	0.01	0.013	10.214	0.025	0.0337	67.4	0.01	0.0241	26.78	0.01
x_2	1	0.1244	235.42	0.001	0.0871	68.45	0.001	0.0082	16.4	0.01	0.0145	16.4	0.01
回归	2	0.06824	129.12	0.001	0.05	39.33	0.001	0.0209	41.9	0.01	0.0193	21.4	0.01
剩余	6	0.000528			0.00127			0.0005			0.0009		

(3) 综合分析讨论

1.从表10~12可知,在试验条件下,不论用幂函数形式或用多项式形式拟合钻头耐用度与切削用量的关系,其回归方程显著性检验多在0.01水平上显著。转速和进给量的效应也是高度显著的,但交错项和二次项效应却不显著。还说明钻削马氏体不锈钢2Cr13时,转速 n 和进给量 f 仍然是影响钻头耐用度的主要因素。

2.从表10一次回归的预报方程中可以看出,耐用度 L_c 和转速 n 、进给量 f 成反比关系,即转速愈高,进给量愈大,则钻头的耐用度愈低。这是由于消耗的切削功增加,切削温度升高,从而加剧刀具磨损的缘故。但就转速 n 和进给量 f 这两个因素自身而言,不论从方差分析表还是从回归方程式中都可以看出它们的影响程度是不尽相同的。

3.幂函数形式的回归方程中,转速 n 的指数相当于广义泰洛公式 $t = \frac{1}{v} f^{\frac{1}{m}} a_p^{\frac{1}{p}}$ 中的指数 $(\frac{1}{m})$ 。从回归方程中可以看出,RPC钻头的转速 n 的指数比CL钻头的为小,这就是说,

RPC钻头的 m 值较CL钻头大。 m 值大时意味着切削速度的增加,对刀具耐用度降低较小,刀具材料的耐热性能较好。由此可见,RPC钻头的材料性能明显地优于CL钻头。这也是两者切削性能差异显著的主要原因之一。

4. 在进给量偏小的条件下钻削试验所得到的耐用度和速度的关系,和一般切削条件下所得有所不同,主要反映在刀具耐用度指数 m 值(等于转速 n 的指数 $0.3 \sim 0.495$ —表10—的倒数)比较大,这是由于在切削厚度较薄($a_c = 0.02 \sim 0.04$ 毫米)的情况下,前刀面磨损较轻,切削热较低,所以 m 值比一般切削钢材时约为0.2来的大。

5. 在幂函数的预报方程中,CL钻头转速 n 的指数比进给量 f 的指数为大,这与普遍的刀具耐用度试验结果是一致的。

但是,在RPC钻头的预报方程中, f 的指数比 n 的指数来得大。说明对于这种钻头,进给量 f 的影响是占第一位的,转速 n 的影响次之。在方差分析中, $x_2(f)$ 的效应高度显著同样说明了这一点。从表6中也可以看出。在进给量 $f = 0.045$ 毫米/rev(平均钻削厚度 $a_{c,r} = 0.02$ 毫米)时,RPC钻头的耐用度约为CL钻头的1.6~2倍;而当 f 增大到0.09毫米/rev(平均钻削厚度 $a_{c,r} = 0.04$ 毫米)时,则降为1.1~1.3倍。优越性远不如进给量小时明显。作者认为这一结果之所以出现,是因为钻削实验在切削厚度较小的薄切削层($a_c < 0.1$ 毫米)这一特定条件下进行的。切削厚度越小,切屑卷曲半径小,热应力中心就越靠近于主切削刃,切屑与前刀面接触长度短,刀尖散热较困难。与此同时,刀刃圆半径 ρ 的尺寸效应增加,刀口的压坏力增大,因此,在薄切削层的条件下与切削厚度 $a_c > 0.1$ 毫米下的普通切削相比,刀口的切削条件较为恶劣。这不仅要求钻头材料的耐热性和耐磨性要好,而且要求刀口强度和锐利性要高。上述两方面的性能越好,则随进给量的减少而使耐用度的提高就越显著。CL钻头耐用度在小进给量下提高的幅度不如RPC钻头大,也说明前者的耐热性和耐磨性,及其刀口强度和锐利性均不如后者。

6. 从方差分析(表11~12)中可知,转速 $n(x_1)$ 与进给量 $f(x_2)$ 的二次效应与交互效应并不显著。这可能是由于受到设备和条件的限制,试验中所取可控因素的范围偏窄,切削温度变化不大,而使高速钢钻头的磨损机理基本上没有变化,其耐磨性也没有显著变化的缘故。

7. 还需指出的是,钻头刃磨后在显微镜下检查刀口质量时可以发现,CL钻头主切削刃的直线性和对称性(都 > 0.1 毫米)不如RPC钻头好,使切削平衡遭到破坏。这也是前者的耐用度不如后者的一个原因。

四、结 论

1. 本试验研究通过正交回归设计,得到的两种钻头的耐用度数学模型,基本上反映了它们在加工马氏不锈钢2Cr13时与主要影响因素—转速 n 和进给量 f —的关系,也为分析它们的切削性能差异提供了有力的实验依据。

2. 两种钻头切削性能的试验研究结果表明,RPC钻头的切削性能优于CL钻头,特别是在实验条件下,高速和小进给时它们间的差异更为明显。

3. 通过分析表明,这两种钻头切削性能的差异主要是由于材料与热处理性能的不同造成的。后来经过化学成分分析及金相检验证明,RPC钻头含有10%的Co,晶粒度为10~11级,碳化物不均匀度为2级,回火程度为1级,硬度为HRC65,均比CL钻头好。证明上述分析是

正确的。其次, 钻头的螺旋角、槽形、钻心直径的大小, 以及制造精度, 刃磨的对称性, 平直性等不同, 也是造成耐用度差异的原因之一。

最后, 限于条件和时间短促, 试验的重复次数少, 精度还不够高, 加上水平有限, 错误和不妥之处在所难免, 望予以批评指正。

参 考 文 献

- [1] 许祖德译《国际标准ISO3685—1977单刃车削刀具的寿命试验》《工具技术》1979年, 4.5期。
- [2], 浙江大学数学教研组编, “概率论与数理统计”人民教育出版社。
- [3]、王育民编, “正交试验法与回归分析”北京工业学院 1983.7.
- [4], 华南工学院与甘肃工业大学主编“金属切削原理及刀具设计”上海科技出版社。1981.6