

切削刀具的可靠性

李儒荀

(机械系)

摘要 本文定义了刀具的可靠性,分析了刀具可靠度的分布规律与计算方法,提出了提高刀具可靠性的措施。

主题词 刀具;可靠性、维修性、失效率,威布尔分布

在切削加工中,常常使用刀具的耐用度作为衡量刀具综合质量的主要指标。但这并不是经常合理的。这是因为刀具耐用度是一个被测定的数值,它受一系列因素的影响,主要有以下三个方面:

(1) 激化磨损的因素:例如被加工工件材料的机械物理性能,切削用量以及作为其结果的刀具——工件接触面上的切向和法向应力、切削温度等等。

(2) 决定刀具抵抗磨损能力的因素:如刀具材料的机械物理性能、刀具结构及几何参数刀面、刀刃的原始状态,表面粗糙度,刀具的制造工艺,特别是刀具的热处理质量和刃磨质量。

(3) 伴随切削发生并影响刀具耐用度的因素:如冷却润滑液的成分、性能、其供给方式、工艺系统的刚性、所形成的切屑的形状和性质等等。

所以即使是同一类刀具,在相同的试验或切削条件下,它们的耐用度都不相同,有不同程度的离散性质。更不用说不同类的刀具了。而且,刀具的失效(丧失切削性能)除正常磨损引起的渐变失效之外,还经常有意外的突发性失效(如打刀,崩刃等)。所以用刀具耐用度来衡量刀具质量和确定它无故障工作时间就有很大的局限性。

在加工工艺系统中,尤其在自动化加工系统和柔性生产系统中,对切削刀具的失效现象以及发生的概率进行分析,研究,预测,试验,评定和控制以及发生可修复失效之后进行维修的功能及概率进行研究,是一个十分重要的问题。这就是所谓的刀具可靠性工程,它不仅关系到加工生产率、产品质量,经济效益、人机安全,而且关系到单位、企业以至国家的声誉。

切削刀具可靠性的研究目前国内外都不普遍,尤其我国还未见一篇有关这方面研究文章,因此本文将对刀具的可靠性问题作一较全面的论述。

按 GB3187—82 的规定,可靠性的定义是:“产品在规定的条件下和规定的时间内,完成其规定功能的能力”。当使用“概率”来量度这一“能力”时,就是可靠度。

在这个定义中,包括三方面的内容:

(1) 规定的条件,对刀具而言,主要指加工机床、切削用量、加工条件、工件材料、状

态和质量, 加工环境等。

(2) 规定的时间, 对刀具而言可以指在它的耐用度周期内。

(3) 规定完成的功能: 这主要指刀具能加工出规定数量的合格产品。

因此, 刀具的可靠度可定义为: 在规定的使用条件下和预定的耐用度周期内加工出规定数量的合格产品的概率。

假设在相同的条件下用 N_0 把刀具进行试验, 经过时间 t 后, 有 N_{0t} 把刀具失效, 有 N_p 把刀具还能正常工作, 则在 t 时间内失效的概率为

$$F(t) = N_{0t}/N_0$$

$F(t)$ 又称为故障概率或不可靠度, 显然可靠度(即不发生故障的概率)为:

$$R(t) = N_p/N_0 = 1 - N_{0t}/N_0 = 1 - F(t)$$

N_0 —试验的刀具总数; N_p —经过时间 t 后, 还没有失效的刀具数; N_{0t} —失效的刀具数。

从上式可知, 可靠度 $R(t)$ 是时间 t 的函数, 而且 $0 \leq R(t) \leq 1$

可靠度 $R(t)$ 的具体数值要求, 根据具体情况而定, 在通常情况下, 即一般所指的在大于或等于平均耐用度的时间内应要求刀具的可靠度 $R(t) \geq 0.90$, 即假设有 100 把刀具, 要求经过 t 时间工作之后, 失效的刀具最多是 10 把。

刀具的可靠度可用它的失效率来表示, 所谓失效率 $\lambda(t)$ 是指工作到某时刻尚未失效的刀具, 在该时刻后单位时间内发生失效的概率。可用某时刻后单位时间内失效的刀具数与工作到该时刻尚未失效的刀具数之比作为它的观察值。因此:

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_p} \cdot \frac{dN_{0t}}{dt}$$

即可靠度可表示为:

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{d[1 - F(t)]}{dt} = -\frac{1}{N_0} \frac{dN_{0t}}{dt} = -\frac{N_p}{N_0} \cdot \lambda(t) = -R(t) \cdot \lambda(t)$$

$$\text{即 } R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

这就是可靠度的数学表达式。

可靠度与失效率是密切相关的, 失效率的分布规律就决定了可靠度的分布规律。

试验和研究指出, 刀具的失效概率, 及它的可靠度符合两参数的威布尔 (Weibull) 分布规律, 即刀具的不可靠度为:

$$F(T) = 1 - e^{-(T/T_0)^\beta}$$

刀具的可靠度为:

$$R(T) = e^{-(T/T_0)^\beta}$$

由上式可知, 当 $T_0 = T$ 时, (T —刀具耐用度)

$$F(T) = 1 - e^{-1} = 0.632$$

所以 T_0 的含义是当刀具失效概率为 0.632 时的耐用度, 它称为特征耐用度或特征寿命。

上列的可靠度表达式可变换为。

$$\frac{1}{1-F(t)} = e^{(T/T_0)^\beta}$$

两边取自然对数，有

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = \beta \ln T - \beta \ln T_0$$

令

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = Y, \ln T = X, -\beta \ln T_0 = C$$

则上式变为：

$$Y = \beta X + C$$

因此如以 $Y = \ln \ln \frac{1}{1-F(t)}$ 为纵坐标，以 $X = \ln T$ 为横坐标，将得到一条直线，其斜率为 β ，截距为 C 。所以 β 又称为威布尔斜率或形状参数。 β 越大则刀具耐用度的离散性越小，也就是该刀具质量越加稳定或相同。当 $\beta = 40$ 时，就可以用平均耐用度来作为刀具的质量指标，并以此为基础进行工艺过程和其它参数的计算。当 β 较小，特别是 $\beta = 20$ 或更小时，就不能采用平均耐用度作为工艺计算的基础，因为此时刀具耐用度的离散程度较大，可能比平均耐用度更短的时间内出现意外的故障。因此， β 也是一个衡量刀具一致性的度量值。

但是，如果在应用时每次都计算 Y 和 X ，这会过于繁琐。因此我们可采用特殊的威布尔概率纸，当把呈威布尔分布的随机变量 T 和相应的 $F(T)$ 在威布尔概率纸上描点时，就得到一条直线，从而直接求出斜率 β 和截距 C 。

现举例加以说明。

假如用六把刀具进行耐用度试验，得到它们的耐用度分别为400分钟，130分钟，980分钟，660分钟，270分钟和520分钟。现要求出：

- (1) 这些刀具耐用度分布的威布尔斜率 β ；
- (2) 特征耐用度 T_0 ；
- (3) 总体10%失效时的寿命耐用度 L_{10} ；

其求解方法是：

- (1) 将给出的各耐用度按递增顺序排列，并按下式计算中位秩 MR_j ：

$$MR = \frac{j - 0.3}{n + 0.4} (\%)$$

其中 j ——失效顺序号；
 n ——刀具总件数

失效顺序 j	耐用度 T (10 ² 分钟)	中位秩 MR %
1	1.3	10.91
2	2.7	26.55
3	4.0	42.18
4	5.2	57.82
5	6.6	73.45
6	9.8	89.09

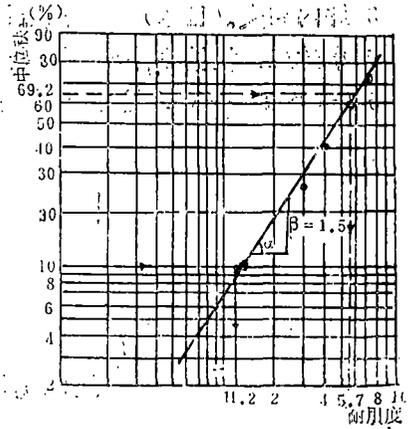
(2) 以耐用度 T 为横坐标, 中位秩 MR 为纵坐标, 在威布尔概率纸上描点, 并求出这六个点的拟合曲线。如该拟合曲线为一直线, 则表明是符合两参数的威布尔分布, 否则说明是符合其它规律分布的情况。刀具可靠度一般是符合两参数的威布尔分布规律的(见图)。

(3) 可用作图法找出拟合直线斜率 $\text{tg}\alpha$, 这就是威布尔分布的形状参数 β 。

本例中 $\beta = \text{tg}\alpha = 1.5$

(4) 确定 T_0 , 按定义, 当总体失效概率为 0.632 (63.2%) 时耐用度就是特征耐用度 T_0 。则只要在概率坐标纸的纵坐标上找到 63.2% 的点(见图), 作水平线和拟合直线相交, 其交点的横坐标即为 T_0 , 对本例 $T_0 = 5.7 \times 10^2$ 分钟。同理在找总体 10% 失效时的寿命耐用度 L_{10} 时, 只要在纵坐标上找到相应的点, 然后从该点作水平线, 找到该水平线与拟合直线的交点, 该点的横坐标即为所求的寿命耐用度 L_{10} 。对本例

$L_{10} = 1.26 \times 10^2$ 分钟。



刀具可靠度的威布尔分布规律图

如前所述, 减少刀具耐用度的离散程度, 提高刀具的可靠性, 有十分重要的意义。为此可采取如下措施:

(1) 提高刀具设计的可靠性, 这也就是所谓提高刀具软件的可靠性, 这主要指: 在设计刀具时, 要定出合理的磨损限度和留磨量, 并采用相应的易于发现和监测的方法或系统, 这对自动机床, 数控、程控机床尤为重要; 采用与切削情况(如生产率, 工件质量等等)相适应的刀具材料; 采用和设计适宜的, 简单易行的刀具结构, 合适的刀具形状及表面状态, (如热处理硬度, 表面涂层等等), 避免或减少刀具的变形和裂纹。提高刀具的造形精度, 减少理论设计误差, 这对于复杂精密刀具, 例如齿轮刀具, 拉刀, 成形车刀, 成形铣刀等尤为重要, 并应考虑到制造和工艺方面的条件、因素, 提高拟形曲线的拟合精度。在可能的条件下设计、采用刀具的储备系统, 一把刀坏了, 另一把刀立即跟上。

(2) 提高刀具的可维修性, 这主要指: 在预防维修和事后维修中要有易于发现, 监测和排除故障点的方法, 工具和系统; 刀具的刃磨(重磨)要方便, 并易于保证刃磨精度和恢复原有质量, 切削性能; 要配备技术熟练, 经验丰富, 工作认真的刀具刃磨工人, 这一点目前往往被人们所忽视。但大量的试验和实例都证明了仔细刃磨的重要性。要有与刀具维修相适应的维修体制与管理体制。

(3) 加强刀具使用的管理和控制, 这主要指: 对机床的状态及工艺系统的刚度、稳定性、可靠性要有严格的要求和控制; 切削用量的选择要按规定的程序进行; 要规定合适切削液的种类、成分、粘度、流量、流速以及供给方式等; 加强刀具的保管, 避免意外的损伤, 变形等。

总之, 提高刀具的可靠性, 应从技术, 经济, 管理等各方面采用切实可行的相应措施。

参 考 文 献

- 1 Верещака А С. Третвяков И П. (苏联)
Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. 1986
- 3 坪内和夫.(日本) 可靠性设计
- 4 牟致忠. 机械零件可靠性设计
- 5 GTB3187—82. 可靠性基本名词术语及定义

Reliability of cutting Tool

Li Ruxun

Abstract Reliability of cutting tool is defined in this paper. The distribution law and calculus are analysed. The means of how to raise reliability of cutting tool are suggested.

Subjectwords Cutting tool; Reliability; Maintainability; Failure rate; Distribution Weibul