



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 25664—2010/ISO 15641:2001

---

## 高速切削铣刀 安全要求

Milling cutters for high speed machining—Safety requirements

(ISO 15641:2001, IDT)

2010-12-23 发布

2011-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

## 前 言

本标准等同采用 ISO 15641:2001《高速切削铣刀 安全要求》(英文版)。

本标准与 ISO 15641:2001 有下列差异:

- 删除 ISO 前言、目次;
- 部分规范性引用文件使用对应的国家标准:ISO 3855 用我国国家标准 GB/T 21019 代替, ISO 1940-1 用我国国家标准 GB/T 9239.1 代替,ISO 3002-1 用我国国家标准 GB/T 12204 代替;
- “本国际标准”和“本欧洲标准”用“本标准”代替;
- 用符号“.”代替用作小数点的符号“,”;
- 国际标准第 3 章涉及的术语和定义的格式和内容按我国国家标准规定编写。

本标准附录 A 和附录 B 为资料性附录。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国刀具标准化技术委员会(SAC/TC 91)归口。

本标准主要起草单位:成都工具研究所、上海工具厂有限公司。

本标准主要起草人:许刚、查国兵、邱易、沈士昌、刘刚、励政伟。

## 引 言

本标准的目的是帮助铣刀的设计者、制造商和供应商满足铣刀高速切削条件的要求。本标准对设计、验证试验以及制造商和供应商应提供的使用信息均制定了要求。

本标准的首要目的是确保铣刀在高速切削时能够安全承受与转速的平方成正比增加的离心力。

本标准是基于一个德国研究高速切削铣刀的适用性的合作研究项目。

本标准仅涉及刀具的安全性,仅此不能充分保证高速切削的安全性。机械的安全性应由其他相关的安全标准来处理。

本标准考虑的切削条件仅为制造商所需提供的使用信息。

资料性附录 A 对设计减少危险提供了指导性意见,资料性附录 B 说明了限定的使用范围。

## 高速切削铣刀 安全要求

### 1 范围

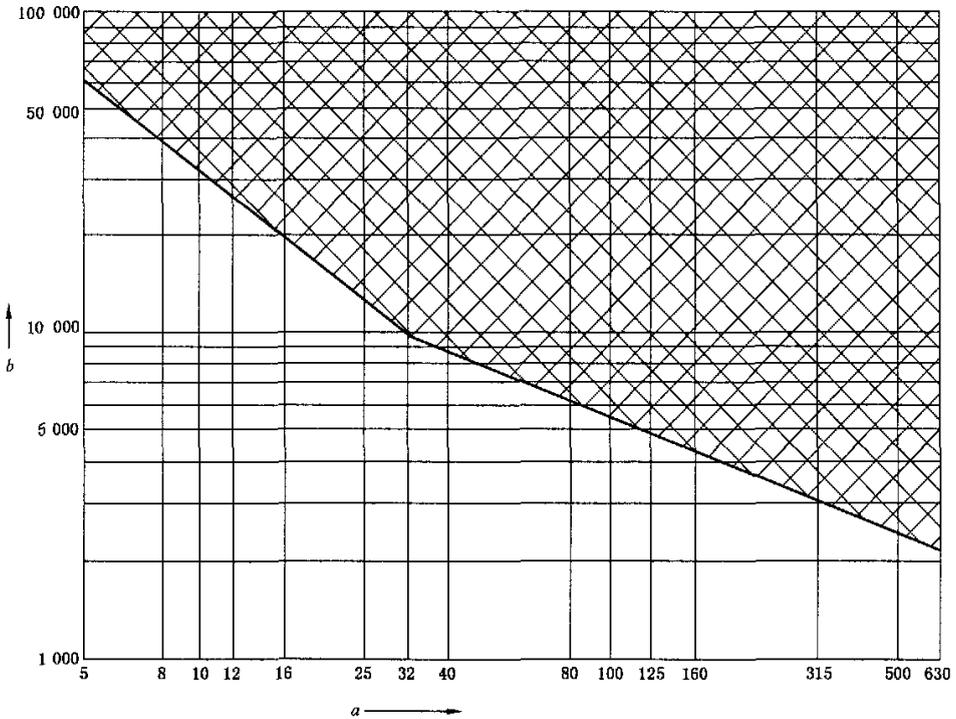
本标准涉及了铣刀(例如符合 GB/T 21019 的铣刀)用在金属切削机床上以高速进行切削加工(以很高的圆周速度切削)时产生的基本危险,规定了安全要求。

本标准规定了设计方法、离心力的试验程序、操作极限和信息提供,以将危险降至最低程度或完全消除。

本标准适用于按照图 1、图 2 所示速度运行的铣刀。

这些图表分别规定了相应铣刀直径的转速极限和圆周速度极限。

注:详细说明见附录 B。



——本标准适用范围;

$a$ ——刀具最大直径  $D$ , 单位: mm;

$b$ ——转速  $n$ , 单位:  $\text{min}^{-1}$ 。

图 1 转速  $n$  与刀具最大直径  $D$

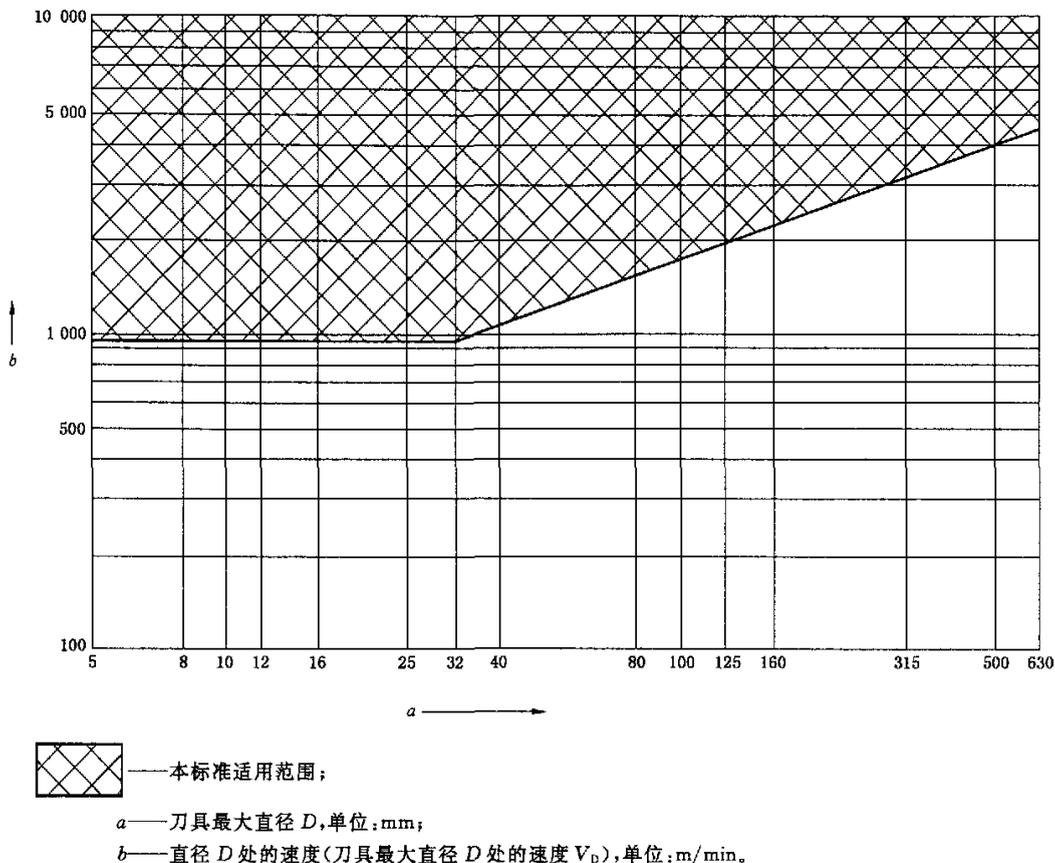


图2 直径  $D$  处的速度 ( $V_D$ ) 与刀具最大直径  $D$

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 9239.1 机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求 第1部分:规范与平衡允差的检验 (GB/T 9239.1—2006, ISO 1940-1:2003, IDT)

GB/T 12204 金属切削 基本术语 (GB/T 12204—1990, neq ISO 3002-1:1982)

GB/T 21019 金属切削刀具 铣刀术语 (GB/T 21019—2007, ISO 3855:1977, MOD)

EN 1070 机械安全 术语

## 3 术语和定义

EN 1070、GB/T 12204 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1 刀具分类术语

#### 3.1.1

**整体或单件铣刀 solid or one-piece cutter**

不带可拆卸部分的铣刀;其刀体和一个或多个切削部分为一整体。

#### 3.1.2

**焊(粘)接铣刀 composite cutter**

将一个或多个切削部分(如刀片)用结合材料将其固定在刀体上的铣刀(如钎焊)。

## 3.1.3

**组装铣刀 complex cutter**

铣刀的一个或多个部分(如可转位刀片、刀夹、夹紧零件)通过机械联结(如运用摩擦锁紧(3.2.3)或成形锁紧(3.2.4)原理的键螺栓、螺栓或夹紧螺栓)紧固于刀体上。

## 3.2 固定型式

## 3.2.1

**焊(粘)接式 bonding**

用结合材料紧固刀具各部分,如钎焊、熔焊或粘接。

## 3.2.2

**可拆式 separable**

用可拆卸的紧固件紧固刀具的各部分。如:可重复安装、拆卸的摩擦锁紧(3.2.3)和成形锁紧(3.2.4),或者是两者的一个组合。

## 3.2.3

**摩擦锁紧 friction lock**

利用摩擦力防止刀具各部分在使用时发生位移的紧固方式。

## 3.2.4

**成形锁紧 form lock**

利用刀具各部分的形状和排列防止其在使用时发生位移的紧固方式。

## 3.3 几何参数术语

## 3.3.1

**刀具最大直径 maximum diameter of tool**

$D$

刀具旋转时形成最大圆的直径。

注:见图3、图4、图5中的 $D$ 。

## 3.3.2

**弯曲临界直径 critical diameter for bending**

$d$

承受由于离心力和切削力产生的最大弯曲应力的直径。

注:见图3、图4、图5中的 $d$ 。

## 3.3.3

**刀具悬伸长度 protruding tool length**

$l_p$

铣刀装卡后沿旋转轴线方向测量的自由伸出部分的长度。

注:见图3、图4、图5中的 $l_p$ 。

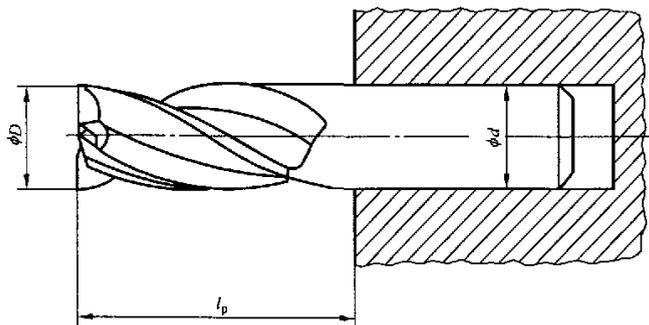


图3 整体、单件或焊(粘)接铣刀示例

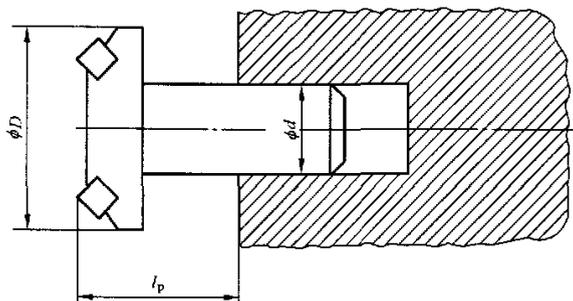


图 4 组装铣刀示例

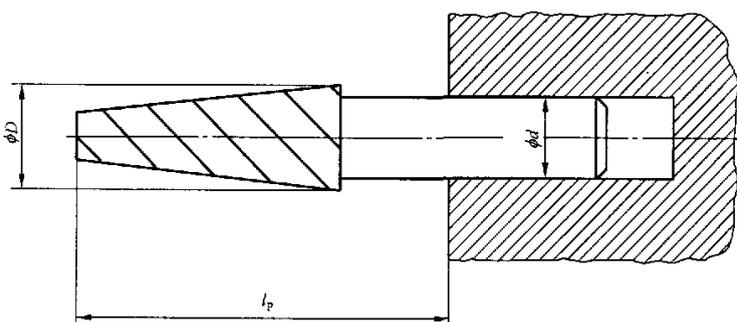


图 5 圆锥形整体刀具、单件或焊(粘)接铣刀示例

### 3.4 机械参数术语

#### 3.4.1

**铣刀质量** mass of milling cutter

$m_w$

完全安装就绪并准备待用的铣刀质量。

#### 3.4.2

**部件质量** component masses

$m_i$

组装铣刀(3.1.3)的所有部件的质量。

### 3.5 载荷参数术语

#### 3.5.1

**最高转速** maximum rotational speed

$n_{max}$

制造商针对具体铣刀规定的最高转速。

#### 3.5.2

**试验转速** rotational speed for test

最高转速(3.5.1) $n_{max}$ 乘以用于速度试验的转速安全系数得到的速度。

## 4 危险性

### 4.1 产生危险的因素

#### 4.1.1 主要危险

当铣刀用于高圆周速度时,由于使用了高转速,离心力以转速的平方成正比增加,使相关的力超过

了正常切削的情况。还要考虑刀具受到的其他型式的力,例如:夹紧在驱动端部的铣刀通过加速到达工作速度时,组装铣刀中的预应力和来自于空气或冷却液的流体力。离心力通常是主要载荷,而其作用的高能量导致了高的结构载荷,当这些载荷达到极限时,将导致刀具爆碎。

当铣刀用于高圆周切削速度时,具有高水平的旋转动能。当刀具损坏事故发生时,这些能量将可能释放出来。脱出的质体以不可预测的轨迹沿旋转方向或切线方向高速飞离原来的旋转轴。它们的能量只有通过运动途中的一次或多次碰撞,或者机床部件的变形才能释放出来。

由于这种型式的刀具损坏,释放的能量足以损坏和穿透机床部件。这会对在机床旁或机床附近人员造成严重的人身伤害。由于这种高速切削加工操作的高动态性,事故发生时不可能期望操作人员能够停止机床或离开危险区域以及时避免受到这样的伤害。

#### 4.1.2 操作危险

在加工之前、之后,操作人员在工作过程中所必需的刀具操作都可能产生危险(如:运输、装配、安装或拆卸、机床主轴上的夹固等)(见第7章)。

### 4.2 刀具的损坏型式

铣刀用于高圆周速度时的损坏可归纳为以下基本原因:

#### 4.2.1 刀体损坏

由于结构超载导致铣刀刀体的变形或爆碎。原因如下:

——长悬伸铣刀由于切削力、离心力或不平衡导致刀具损坏。长悬伸铣刀的安装很关键,由于安装偏心产生的不平衡力会导致损坏在转速很低时就产生。

——短悬伸铣刀由于离心力产生的应力超过刀体材料的极限强度导致刀具损坏。

#### 4.2.2 切削部分的固定零件损坏

由于离心力和(或)切削力造成的结构超载,使组装铣刀的刀体和切削部分(如可转位刀片或刀夹)的连接件损坏(如变形或破裂)。

#### 4.2.3 切削部分损坏

由于离心力和(或)切削力造成切削部分的结构超载。

### 5 安全要求和(或)检测

#### 5.1 通过设计保证安全

被设计用于高圆周速度的铣刀应能承受使用时产生的离心力。转速安全系数应取2,这样,其与离心力的安全系数为4:1。转速安全系数也可以按5.4.3的要求取1.6。

由于生产线上刀具的几何相似性,如果对来自于这样的生产线上至少一件刀具做离心力型式试验的结果是完全确实可靠的,那么,允许对刀具进行计算。

检验:通过计算和(或)离心力型式试验。

#### 5.2 平衡的重要性

随着转速的增加,由偏心产生的不平衡力以二次方的比例增加。

为安全起见,铣刀在最高转速 $n_{\max}$ (见3.5.1)时的平衡质量等级,按GB/T 9239.1应等于或优于G40。

如果为提高性能(如提高刀具寿命或改善加工表面粗糙度),也可采用一个可确保安全的较低的平衡质量等级(如G6.3,G2.5)。

图6中的图线中的许用剩余不平衡度 $U_G^*$ 建立于下面的公式且范围已扩大至较高的速度水平:

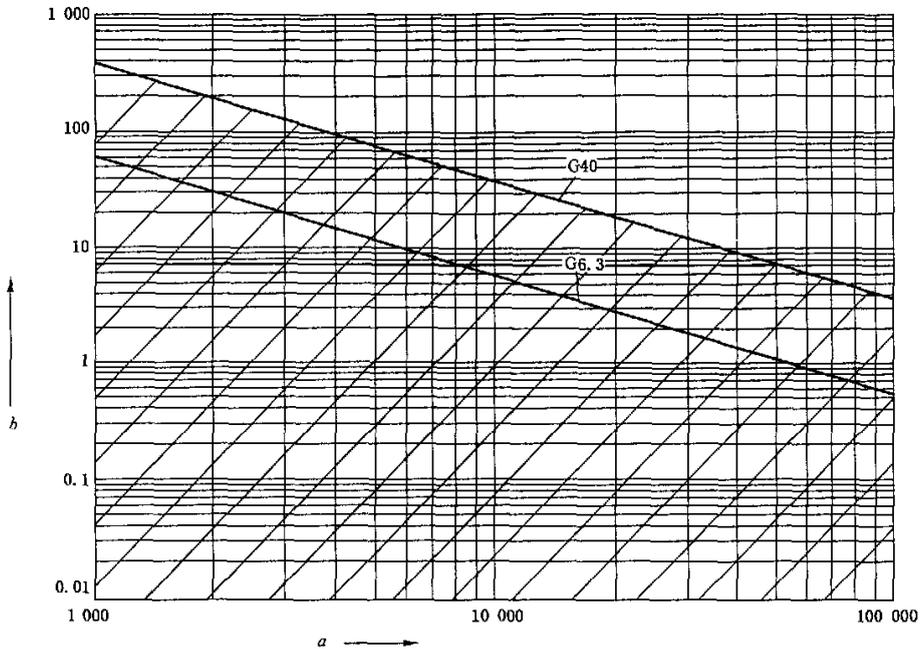
$$U_G^* = 3.8197 \times 10^5 \times \frac{1}{n_{\max}} \quad (\text{见 GB/T 9239.1 附录})$$

式中:

$n_{\max}$ ——最高转速,单位为转每分钟( $\text{min}^{-1}$ );

$U_G^*$ ——铣刀许用剩余不平衡度,单位为克毫米每千克( $g \cdot mm/kg$ )=许用剩余质量中心位移,单位为微米( $\mu m$ )。

检验:测量铣刀的不平衡量。



$a$ ——最高转速  $n_{max}$ , 单位  $min^{-1}$ ;

$b$ ——许用剩余不平衡度  $U_G^*$ , 单位:  $g \cdot mm/kg$  或  $\mu m$ 。

图6 不平衡质量等级 G6.3、G40 的许用剩余不平衡度

### 5.3 制造的完善性

为确保铣刀在高圆周速度时安全使用,刀具的生产应确保其质量的一致性,且没有热处理产生的物理缺陷或其他原因的裂纹。

检验:制造商的质量规程。

### 5.4 离心力型式试验

#### 5.4.1 一般要求

为确保铣刀在高速加工时安全使用,应对每一种结构类型的铣刀进行离心力型式试验。

型式试验应包括:

- a) 审核设计图纸的一致性,且如有必要还需对设计计算进行审核;
- b) 视觉检查,测量和检查铣刀的装配情况。

#### 5.4.2 整体、单件或焊(粘)接铣刀的试验

整体、单件或焊(粘)接铣刀以两倍于铣刀标明最高转速的实验转速做离心力型式试验,铣刀没有损坏或破裂现象。

#### 5.4.3 组装铣刀的试验

组装铣刀可按 5.4.2 进行试验。但是,充分保证铣刀对离心力的抵抗能力也可以下述方法证实,即当试验转速达到标明最高转速的 1.6 倍时,刀具没有损坏或破裂,并且没有永久变形或(组成刀具的零件)位移不超过 0.05 mm。

#### 5.4.4 试验转速的持续时间

根据 5.4.2 或 5.4.3 的试验转速,至少应持续 1 min。

## 6 铣刀标记

高速切削铣刀至少应清晰、明显、永久的标记以下信息：

——最高转速；

并且，如果可能，至少还应标记以下信息：

——制造商或供应商的名称或商标；

——特定代码，根据此代码能从制造商的随行文件中查到刀具的特性。

检验：视觉检查铣刀，检验相关图纸、文件的说明。

## 7 使用所需的文件和信息

制造商应提供刀具的随行文件。文件中应包含或给出刀具安全使用的参考信息，至少包括：

——刀具最高转速  $n_{max}$  的说明；

——型式试验的证明文件；

——所有零部件正确装配、拆卸的详细说明；

——用明确的文本对刀具上的代码进行解释；

——有关刀具的修复和维护的信息，特别是备用件和磨损件的信息；

——决定刀具最大允许悬伸量  $l_p$  的信息（见 3.3.3）；

——关于刀具平衡条件的信息；

——关于铣刀正确使用信息（对高速切削的安全性尤为重要）；

——合理切削及其他可换零件的信息；

——刀具正确装夹的信息。

制造商或供应商在使用或出售的产品资料中，应说明铣刀是否按本标准制造。

**附录 A**  
**(资料性附录)**  
**关于危险的设计说明**

**A.1 关于危险的设计说明**

刀具以很高的圆周速度进行切削时承受着巨大的离心力,并随着速度的增加以 2 次方的比例增加,它大大的超过了切削力。这类刀具的设计是以最高转速  $n_{max}$  为基础的,设计时不仅要考虑切削过程的载荷,更要考虑由离心力引起的结构载荷。只要刀具达到切削所需转速时,无论是否切削,刀具都将承受上述载荷。

考虑到第 5 章所说的力,以及潜在危险和损坏模式,刀具设计时应考虑以下基本建议。

**A.2 刀具的总质量或刀具部件质量**

因刀具质量直接影响离心力的大小,从而影响由于离心力而引起的应力负荷,因此建议:

- a) 特别注意:最大限度的减轻刀具质量或所有组成刀具的单个零件的质量;
- b) 应避免质量集中在大半径上,这特别涉及到部件质量(如可转位刀片和夹头)的分布,以及安装机构。

**A.3 不平衡**

转子以很高的圆周速度运转时对不平衡要求特别苛刻,所以应采取设计措施以防止或消除不平衡。

- a) 防止不平衡:
  - 1) 采用与回转中心对称的刀具结构;
  - 2) 放弃受安装影响且不能重复安装的连结件、调整和夹持机构。
- b) 用设计参量消除不平衡:
  - 1) 在适合的平面上均衡不平衡量(修正);
  - 2) 用某种设计均衡不平衡量(例如表面涂覆、去除重量、机械平衡零件如外部安装调节螺钉及类似零件)。

**A.4 刀具结构**

a) 材料的选用

刀具以很高的圆周速度切削时主要承受因离心力而产生的高应力,因此,应采用有适宜韧性且没有裂纹的材料。

计算两种主要型式(带柄和带孔)刀具的应力载荷,首先应采用近似的分析方法。由于刀具不同的功能而采用的不同结构,其实际零件的几何形状是多种的,不同于理想模式,每一种具体情况下,应根据相应的直径和远大于材料的极限强度值选择材料。

b) 应力集中减至最低程度

在设计高速切削加工铣刀时,应尽可能避免结构上的凹槽以免产生过度的应力集中。但在许多情况下,这种要求与刀具所要求的功能是矛盾的(如分屑槽、切削刃区及类似情况),这时,应考虑通过在凹槽内适当设计较大的内圆角以过度的应力集中最小。

c) 根据载荷选择和安排零件结构

组装刀具零件的选择和安排应避免夹紧力因离心力作用而减小。成形锁紧方式优于摩擦锁紧方式。对于切削部分不可换的刀具,采用结合材料固定被证明是成功的。

d) 分离点和连接件

连接件、调整件、夹持机构及分离点应减到所需的最低限度,因为它们可能导致刀具的损伤。

**附录 B**  
(资料性附录)  
适用范围的说明

本标准第 1 章定义的适用范围应满足下列数学条件:

$$V_D/A \geq 1 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$A=958 \text{ m/min}$ 。

和

$$\frac{n^2 \cdot D}{B} \geq 1 \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$B=2.9 \times 10^9 \text{ mm/min}^2$ 。

要适用本标准就应同时满足这两个条件。

本标准在第 1 章中的适用范围,是根据对所考虑的刀具需有一个统一和通用的规范来规定的。做极限曲线图(见图 1、图 2),以具有下列结构特性的假想组装刀具为基础:

- a) 径向上的质量块是用摩擦锁紧方式在刀具最大直径上夹固的;
- b) 用特性等级为 8.8 的 M3 螺钉在该质量块中心孔处夹固;
- c) 被夹持质量块  $m=0.015 \text{ kg}$ ;
- d) 接触线内的摩擦系数  $\mu=0.1$ 。

计算极限曲线时,根据摩擦锁紧失效将引起被夹持质量块滑移的刀具最大直径来决定极限速度。

根据上述规范,用切削直径的函数关系来计算极限速度:

$$\mu \cdot F_V \geq F_F = m \cdot \frac{D \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (2 \cdot \pi \cdot n)^2 \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

$$n \leq \sqrt{\frac{\mu \cdot F_V}{2 \cdot m \cdot \pi^2 \cdot D \cdot 10^{-3}}} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

$$n \leq \sqrt{\frac{0.1 \cdot 2390}{2 \cdot 0.015 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot 10^{-3}}} \cdot 60 \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

- $\mu$ ——摩擦系数;
- $F_V$ ——螺钉的预应力,单位为牛顿(N);
- $F_F$ ——离心力,单位为牛顿(N);
- $m$ ——切削部分的质量,单位为千克(kg);
- $D$ ——刀具最大直径,单位为毫米(mm);
- $n$ ——转速,单位为转每分种( $\text{min}^{-1}$ );
- $V_D$ ——直径  $D$  处的速度,单位为米每分钟(m/min)。

通过以上计算确定的极限速度落在安全一侧。这已通过实验验证。