

影响 CVD 金刚石涂层硬质合金界面结合强度的因素及其改善方法

邓福铭, 吴学林, 赵晓凯

中国矿业大学(北京)超硬刀具材料研究所

摘要: 化学气相沉积法制备金刚石涂层硬质合金刀具综合了金刚石与硬质合金的优异性能,被广泛应用于切削难加工材料。金刚石与基体界面结合强度是评价金刚石涂层的一个主要性能指标。本文主要介绍了影响 CVD 金刚石涂层刀具界面结合强度的主要因素,并对如何提高其界面结合强度的方法进行了较深入的探讨,这对解决刀具基体与金刚石涂层之间的界面结合强度问题具有一定的实际意义。

关键词: 化学气相沉积(CVD);金刚石涂层;硬质合金;界面结合强度

中图分类号: TG174.4

文献标志码: A

Effects and Improvement Approaches for Interfacial Bond Strength of CVD Diamond Coated Cemented Carbide

Deng Fuming, Wu Xuelin, Zhao Xiaokai

Abstract: Cemented carbide tools with diamond coatings grown up by CVD have outstanding performances. It is widely applied for cutting of difficult processing materials. Interfacial bonding strength is one of the key questions for the fabrication and application of CVD diamond coatings. In this paper, the effect factors on the interfacial bonding strength of CVD diamond coated tool are introduced, and the methods of improving interfacial bonding strength of CVD diamond film coated tool are studied. These methods will be helpful for solving the problems about the little adhesive force between the tools' substrate and the diamond coatings.

Keywords: chemical vapor deposition(CVD); diamond coatings; cemented carbide; interfacial bonding strength

1 引言

化学气相沉积(Chemical Vapor Deposition, CVD)金刚石涂层具有硬度高、摩擦系数低、耐磨性强以及表面化学性能稳定等优异的机械及摩擦学性能,这些优异的性能应用于切削工具上,能大大降低刀具磨损,延长刀具寿命^[1]。金刚石涂层刀具可广泛应用于加工有色金属、非金属、塑料、复合材料、木材、石墨等材料。金刚石涂层刀具制造设备投资小,性能价格比高,极富市场竞争力,具有广阔的发展前景。与硬质合金刀具相比,它具有寿命长、加工精度高、加工速度快、可干切削从而减少环境污染等优点。而它与聚晶金刚石刀具相比,则具有刀具形状复杂、成本低、一片多刀刃等优点,使其在硬质合金工模具领域具有广阔的应用前景。

影响 CVD 金刚石硬质合金涂层刀具质量的两个关键问题是涂层的界面结合强度低和表面粗糙度高。由于刀具基体大多选用硬质合金材料,就硬质

合金金刚石涂层工具而言,涂层界面结合强度低的原因是金刚石涂层与硬质合金基体在热膨胀系数方面存在比较大的差异,以及硬质合金中的粘结相钴在金刚石涂层生长过程中具有强烈的溶解碳及促进石墨形成的作用,界面处石墨的存在将大大降低涂层的界面结合强度^[2]。

在保证金刚石涂层与刀具基体之间界面结合强度的前提下,金刚石涂层刀具的表面粗糙度成为影响切削性能和保证加工精度和工件表面质量的关键因素。在切削过程中,要求刀具表面具有较小的摩擦系数和较高的抗磨损性能。然而,随着金刚石涂层厚度的增加,涂层表面粗糙度增大,从而导致刀具磨损加剧,刀具耐用度和切削性能下降,影响加工精度和表面质量。抛光是降低金刚石涂层刀具表面粗糙度、减小摩擦和刀具磨损的有效方法。但对于麻花钻、立铣刀等复杂形状金刚石涂层刀具,抛光问题已成为此类刀具推广应用的障碍。由此可见,在保证获得一定厚度金刚石涂层的同时,如何有效减小涂层表面粗糙度,以降低对金刚石涂层刀具抛光的苛刻要求,是降低 CVD 金刚石涂层刀具制造成本、实现产业化需要解决的关键问题^[3]。

随着研究的深入开展,基体与涂层界面结合强度问题仍未取得突破,尤其与国外相比还存在一定差距。对金刚石硬质合金涂层刀具的界面问题的研究也不够彻底。本文拟重点对金刚石涂层刀具应用的关键技术、影响金刚石涂层硬质合金刀具界面结合强度的影响因素及如何提高金刚石涂层硬质合金刀具的界面结合强度做一综述,为进一步研究微纳米金刚石多层涂层发展奠定基础。

2 影响金刚石涂层与硬质合金基体界面结合强度的主要因素

涂层与基体粘结性能较差是影响金刚石涂层硬质合金质量的一个重要问题^[4]。要解决这一问题,首先须认清其产生的根源。与 Si 及陶瓷基不同,硬质合金基体与金刚石涂层之间不能形成化学键结合。金刚石与硬质合金在物理和化学等性能上的较大差异,以及硬质合金基体中粘结相 Co 对涂层与基体界面上金刚石涂层生长的负面影响,是造成金刚石涂层与硬质合金基体粘结性较差的根本原因。深入分析 CVD 金刚石涂层硬质合金的过程和效果,造成金刚石涂层与硬质合金基体粘结性较差的主要因素有以下三个:①在涂层与基体界面上有孔隙形成;②在涂层与基体界面上存在非金刚石物质;③较高的残余应力。

首先,孔隙的形成,是由于较低的金石形成核密度所致。金刚石晶核在硬质合金表面生长之前,在涂层与基体界面上有一形核过程,形核密度低,将导致界面上的孔隙增加。由于金刚石二次形核数量有限,在随后的晶核生长过程中,也无法填充这些孔隙。因此,涂层之后,界面上有孔隙形成。而硬质合金基体中的粘结相 Co 对金刚石的形核极为不利。研究发现含 Co 量大于 6% 时,金刚石在硬质合金上的形核率极低。这导致了现在大多数的研究都集中在含 Co 量小于 6% 的硬质合金。

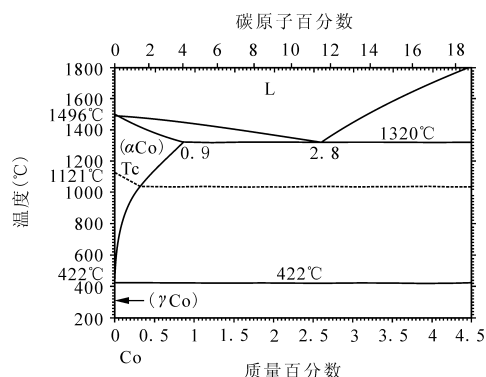


图1 C-Co 二元相图

其次,界面上形成的非金刚石成分,对金刚石涂层的质量和结合强度有极大的害处。在金刚石沉积生长过程中,基体中的 Co 会向界面涂层方向扩散,致使界面涂层中形成许多含饱和 C 的球形 Co 粒子即钴碳固溶体,这在成分上会严重影响金刚石涂层的质量。另外,Co 的存在还促进了在涂层与基体的界面上形成非金刚石物,如石墨、非晶 C 等。从 C-Co 二元相图(见图 1)可知,在沉积温度范围内,C 在 Co 中有较大的溶解度,冷却过程中随着温度的降低,C 在 Co 中的溶解度下降,析出的 C 会扩散到界面,形成粘结性差的类石墨涂层。温度下降时,从热力学上来讲,在沉积条件下石墨是 C 的稳定形态。因此,在沉积冷却过程中,从 Co 中析出的 C 会扩散到界面,形成粘结性差的类石墨涂层。

最后,残余应力的影响。金刚石涂层的残余应力包括内应力和热应力,其残余应力 σ_i 的表达式为

$$\sigma_i = \sigma_i + \sigma_{th} \quad (1)$$

式中, σ_i 为涂层内应力, σ_{th} 为涂层热应力。

涂层内应力的产生,主要与涂层沉积的非平衡过程有关。当非平衡组织存在时,如亚稳相、非晶组织、各种缺陷等会造成涂层内部产生一定的内应力。涂层热应力是由涂层与基体的热膨胀系数不同和沉积温度的变化所引起的。一般来说,涂层热应力远大于其内应力,因为涂层厚度远远小于基体厚度,故涂层中的应力应变要远大于基体的应力应变。当忽略基体应变时,涂层由温度变化引起的应变 ε_f 为

$$\varepsilon_f = (\alpha_f - \alpha_s) dT \approx (\alpha_f - \alpha_s) (T_d - T_r) \quad (2)$$

故

$$\sigma_{th} = (\alpha_f - \alpha_s) (T_d - T_r) E_f / (1 - V_f) \quad (3)$$

式中, α_f 和 α_s 分别代表涂层和基体的线膨胀系数; E_f 和 V_f 分别代表涂层的 Young 模量和 Poisson 比; T_d 和 T_r 分别代表沉积温度和室内温度。

对于金刚石, $E_f = 1345 \text{ GPa}$, $\alpha_f = 3.1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; 对于硬质合金, $\alpha_s = (4.5 - 7.1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (随 Co 含量不同而变化), 当 Co 含量为 3%、6%、12% 时, 取平均值分别为 $\alpha_s = 5.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 、 $\alpha_s = 5.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 、 $\alpha_s = 6.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。利用式(1)和式(3)可计算出不同 Co 含量硬质合金基体上金刚石涂层的残余应力。

研究表明,在金刚石沉积过程中,硬质合金基体中的 Co 不仅影响金刚石涂层的质量,还将对金刚石的形核与残余应力产生不利影响,从而导致金刚石涂层与硬质合金基体较差的粘结性能。因此,要改善金刚石涂层与硬质合金基体的界面结合强度,

必须克服上述三个不利因素。其中,消除或减弱 Co 的负面影响是解决问题的关键所在。各种硬质合金基体表面预处理的应用,正是为了消除或减弱 Co 的负面影响,以改善涂层与基体的粘结性能^[5]。

提高金刚石涂层与硬质合金基体之间的界面结合强度的困难来自于硬质合金中的 Co,Co 在高温高压条件下能够促进石墨向金刚石转化,因此它可以用作高压合成金刚石的触媒。然而在低温低压下(CVD 金刚石生长条件下),它却促进石墨生长,使 CVD 金刚石很难形核,从而使金刚石涂层与硬质合金基体之间的界面结合强度变得很差,甚至无法应用。所以近几年,人们想尽一切办法试图提高金刚石涂层与硬质合金基体之间的界面结合强度。

3 提高涂层与硬质合金基体界面结合强度的主要措施

3.1 基体预处理对 CVD 金刚石涂层刀具结合强度的影响

为了提高金刚石涂层与硬质合金基体间的界面结合强度,发展了许多硬质合金基体的预处理方法,主要集中在以下几个方面^[6]:

(1) 沉积前预处理

沉积前预处理是提高金刚石形核率的关键工艺,包括化学清洗、液体超声清洗、金刚石微粉研磨等。化学清洗、超声清洗工艺实质是在硬质合金基体表面形成了许多划痕、位错和晶界等缺陷,一方面,这些缺陷为金刚石形核提供了形核功,从而促进金刚石的形核;另一方面,基体表面粗糙度的增加,增强了涂层/界面的机械锁合作用,从而提高了涂层的界面结合强度。研究发现,研磨时间越长,晶粒形核率越高。当粗糙度达到 $0.1\mu\text{m}$ 时,金刚石涂层与基体之间的附着力达到最大值,但表面过度粗化会使金刚石涂层与基体之间产生较多的空隙,反而会使附着力下降。

用含金刚石微粉的悬浮液对硬质合金基体表面进行研磨处理。处理后,残留在硬质合金表面缺陷内的金刚石微粉碎屑可为 CVD 法沉积金刚石提供形核核心,从而提高形核密度;同时这种形核生长方式可使金刚石涂层与基体之间形成“锚链效应”,显著提高金刚石涂层与基体的结合强度。在金刚石微粉悬浮液中加入适量的金属粉末也可有效提高金刚石残留碎屑的密度,增加硬质合金表面的粗糙度。另一种增加形核率方式是将纳米级金刚石微粉加入液体介质中,通过搅拌液体介质使其均匀散布于硬

质合金表面,然后利用激光或迅速加热的方式使硬质合金表面层中的粘结相金属熔化,使金刚石微粉嵌入粘结相表层,增大基体表面的碳浓度,以利于提高金刚石的成核密度,从而改善金刚石涂层质量。

(2) 酸蚀或等离子体刻蚀除钴

酸液浸蚀是目前去除硬质合金表面钴的最常用方法。将硬质合金放入腐蚀性的酸液中进行腐蚀,使表面层的钴与酸液发生化学反应,形成稳定的化合物,从而达到去除表面层钴的目的。由于钴的去除,碳化钨表面将留下缺陷,这将减少表面位垒,使碳原子在缺陷处聚集形成碳原子团,随着原子团尺度的增加,其中的金刚石相不断增多,最终形成金刚石核,使金刚石涂层与硬质合金之间的界面结合强度增加。由于碳化钨不易被酸浸蚀,其在表面大量存在,阻碍了酸对钴的进一步浸蚀,故不能有效、深入地去除基体表面的钴。90 年代中期,发展了一种新的化学酸蚀表面预处理方法,即目前常采用的两步浸蚀法:先用 Murakami 试剂(其质量配比为 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]:\text{KOH}:\text{H}_2\text{O}=1:1:10$)浸蚀碳化钨相,消除碳化钨对酸浸蚀的阻碍影响;后用酸处理钴相,这样不仅可以有效地去除硬质合金基体表面的钴,而且还显著粗化硬质合金基体表面,由于粗糙表面而产生的机械咬合效应,能改善金刚石涂层的组织结构,显著提高涂层的界面结合强度。

等离子体刻蚀法兼顾除钴和脱碳两方面,是利用 H_2 、 O_2 - H_2 、 CO - H_2 、 Ar - H_2 、 H_2O - H_2 气体中的 O、H 原子(或离子)或 CO 等与硬质合金基体中的碳化钨、金属钴发生反应生成易挥发的 CO_2 、 CH_4 气体、 $\text{Co}(\text{CO})_4$ 、 $\text{Co}(\text{OH})_4$ 等化合物,使得硬质合金表层形成一定厚度的纯钨层,在随后的金刚石沉积初期该层被再次碳化,产生化学键合形成新的碳化钨晶粒。由此在金刚石沉积初期,金刚石和基体之间形成了自然 WC 过渡层,既可有效地减少涂层中的残余应力,又可阻挡金刚石生长过程中基体深层的钴向表面重扩散,同时使金刚石晶粒嵌入到 WC 晶界之中,增大了金刚石涂层与基体之间的接触面积,使涂层和基体之间形成了“钉扎效应”,有效提高了涂层基体之间的界面结合强度。

(3) 施加过渡层

在金刚石涂层和硬质合金基体之间预沉积中间过渡层,也是重要的基体预处理方法。引入中间层的作用主要有以下五个方面^[11]:①阻碍碳和基体石墨化元素钴的扩散;②减少金刚石和基体材料的晶格参数、热膨胀系数不匹配而造成的热应力;③与金

刚石涂层、WC 硬质合金两种异质材料均能形成较强的结合键;④提高金刚石的形核密度和涂层的界面结合强度;⑤提高化学稳定性,且具有一定的机械强度。

目前普遍采用的过渡层材料有:Si、SiC、B、Ti、Cr、Cu、TiN、TiC、TiCN、Si₃N₄、SiC、SiC_xN_y、(Ti, Si)N_x、无序碳、DLC 涂层等,及复合过渡层 WC/W、Cr/CrN/Cr、TiN/TiCN/TiN、TiCN/Ti、Cu/Ti、TiC/TiN 等。

(4) 化学热处理

化学热处理主要是对硬质合金基体进行渗硼、硼氮共渗和碳氮共渗等处理方法,使其在硬质合金表面形成 Co₂B、Co₂N 等化合物。这些化合物层在金刚石沉积中能有效地阻挡粘结相钴的扩散,抑制金刚石涂层中非晶碳或石墨碳的形成,克服了钴对金刚石涂层沉积的不利影响;由于渗层与基体之间形成冶金结合,保持了基体的连续性,因此缓解了涂层应力,获得的金刚石涂层质量和界面结合强度很好。研究人员采用固体粉末渗硼法对硬质合金进行预处理,在其表面形成含 Co 的化合物渗层,应用直流电弧等离子体喷射设备,沉积出高质量和高界面结合强度的金刚石涂层。

不同的预处理方法都有各自的特点,为了克服一些弊端,在实际生产或实验中往往综合使用多种方法,更好地提高硬质合金基体上金刚石的形核密度和涂层质量,以及涂层和基体间的界面结合强度。

3.2 金刚石涂层结构的优化设计

金刚石涂层厚度有一定的临界值。涂层太薄,容易脱落,刀具使用寿命不高;涂层太厚,与硬质合金基体的粘附性变差且制造成本增加。选择合适的厚度也是金刚石涂层刀具合理性价比的关键。金刚石涂层刀具的附着强度随涂层厚度的增加而下降。一般金刚石涂层刀具的涂层厚度不宜超过 10μm。

另外,用 CVD 法在硬质合金基体表面上制备的金刚石涂层凹凸不平,通常表面粗糙度为 R_a4 ~ 10μm,金刚石涂层切削刀具在加工铝合金时其表面形状会影响到被加工表面的粗糙度,难以获得精加工所期待的表面光洁度。J. Hu 等人^[9]对纳米金刚石涂层硬质合金刀具进行研究,结果表明金刚石涂层结构等对刀具的切削性能有重要的影响。通过对涂层结构的创新,开发了纳米、多层结构等大量新型涂层,大幅度提高了涂层硬度和韧性。

如表 1 所示,由于微米金刚石和纳米金刚石在性能特点上存在差异,如何设计金刚石的晶粒度大

小以获得微纳米金刚石涂层,充分发挥微米金刚石和纳米金刚石各自的优点,对提高涂层界面结合度和质量有重要作用^[10]。

表 1 纳米金刚石涂层与微米金刚石涂层的性能比较

性能	纳米金刚石	微米金刚石
晶粒尺寸 (nm)	3 ~ 20	几十微米
表面粗糙度 (nm)	< 19	粗糙
硬度 (GPa)	39 ~ 78	85 ~ 100
摩擦系数	0.05 ~ 0.1	0.1 (经抛光处理)
电阻率 (Ω · cm)	半导体,与硼掺杂金刚石相似	0.001 (硼原子浓度在 10 ²⁰ ~ 10 ²¹ cm ⁻³ 范围)
表面声波波速 (m/s)	10450	1100
带隙 (eV)	4.2	5.2
化学惰性	优异	优异
弹性模量 (GPa)	384	354 ~ 535

由于纳米金刚石晶体的形核密度较高,所以纳米的金刚石晶体与硬质合金基体的结合要强于微米金刚石涂层,采用纳米金刚石与硬质合金基体进行连接,以提高涂层与基体的界面结合强度是很关键的^[10]。纳米金刚石由于晶粒细小对降低涂层表面粗糙度是十分有利的。但是纳米金刚石生长条件比微米金刚石更为苛刻,不利于降低金刚石涂层刀具成本,为此提出采用纳米金刚石 + 微米金刚石 + 纳米金刚石的梯度复合涂层来更好地提高涂层与硬质合金基体的结合强度和降低涂层表面粗糙度。

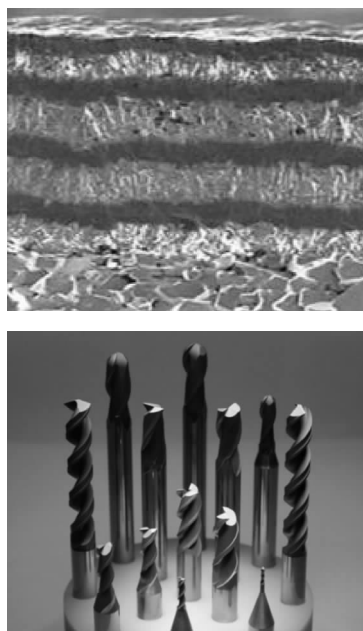


图 2 CemeCon 公司的典型金刚石复合多层涂层硬质合金及实物图

如何设计涂层结构制备出高结合力的纳米金刚石过渡层 + 高强度微米金刚石 + 纳米光滑表面金刚石的微纳米金刚石复合涂层。其中底层纳米形核提高结合力 (异质形核) + 微米 (同质形核) + 纳米光

滑表层(同质形核)。制备纳米金刚石涂层的先决条件是极高的形核密度($10^{12} - 10^{13}/\text{cm}^2$)。要得到这样高形核密度并不十分困难,用金刚石微粉或纳米金刚石粉研磨衬底,或在形核和生长过程中施加一定的负偏压,在形核期采用更高的甲烷浓度等技术手段都有可能获得要求的形核密度。如图 2 所示,典型代表是 CemeCon 公司的金刚石复合多层涂层的硬质合金刀具^[8]。用它加工碳纤维增强的复合材料和玻璃纤维增强的铝合金时,由于金刚石涂层极为耐磨损,因而整个工具的寿命大大延长。

4 结语

采用不同的基体预处理技术和合理设计金刚石涂层结构和厚度是提高金刚石涂层与硬质合金基体界面结合强度的有效手段,因此研究新的基体预处理方法和结构设计非常重要。CVD 金刚石涂层硬质合金刀具在国外已实现了一定的产业化规模,国内也开展了一系列产业化应用研究。但要实现金刚石涂层硬质合金刀具的广泛应用,还需要各科研院所企事业单位共同努力,开发出更多更好的金刚石刀具,促进金刚石涂层刀具的蓬勃发展。

参考文献

- [1] 王光祖. 纳米金刚石[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.
- [2] Wen Chilai, Yu Shiangwu, et al. Enhancing the adhesion of diamond films on cobalt - cemented tungsten carbide substrate using tungsten particles via MPCVD system [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2011, 509: 4433 - 4438.
- [3] 刘沙. 硬质合金基体表面预处理及其金刚石涂层的研究[D]. 中南大学博士学位论文, 2003.
- [4] F A Almeida, E Soares, et al. Diamond film adhesion onto sub - micrometric WC - Co substrates [J]. Vacuum, 2011, 85: 1135 - 1139.
- [5] Sarangi S K, Chattopadhyay A, Chattopadhyay A K. Effect of pretreatment methods and chamber pressure on morphology, quality and adhesion of HFCVD diamond coating on cemented carbide inserts [J]. Applied Surface Science, 2008, 254: 3721 - 3733.
- [6] Geng C L, Tang W Z, Hei L F, et al. Fracture strength of two - step pretreated and diamond coated cemented carbide microdrills [J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2007, 25: 159 - 165.
- [7] Sarangi S K, Chattopadhyay A, Chattopadhyay A K. Effect of pretreatment, seeding and interlayer on nucleation and growth of HFCVD diamond films on cemented carbide tools [J]. International Journal of Refractory Metals and Hard

Materials, 2008, 26: 220 - 231.

- [8] Kanda K, Takehana S, Yoshida S, et al. Application of diamond - coated cutting tools [J]. Surface and Coatings Technology, 1995, 73: 115 - 120.
- [9] J Hu, Y K Chou, R G Thompson, et al. Characterizations of nano - crystalline diamond coating cutting tools [J]. Surface & Coatings Technology, 2007, 202: 1113 - 1117.
- [10] C S Abreu, M Amaral, F J Oliveira, et al. HFCVD nano-crystalline diamond coatings for tribo - applications in the presence of water [J]. Diamond & Related Materials, 2009, 18: 271 - 275.
- [11] Y Tang, Y S Li, Q Yang, et al. Deposition and characterization of diamond coatings on WC - Co cutting tools with W/Al interlayer [J]. Diamond & Related Materials, 2010, 19: 496 - 499.
- [12] A Schneider, D Steinmueller Nethl, Manish Roy, et al. Enhanced tribological performances of nanocrystalline diamond film [J]. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2010, 28: 40 - 50.

第一作者: 邓福铭, 教授, 中国矿业大学(北京)超硬刀具材料研究所, 100083 北京市

First Author: Deng Fuming, Professor, Institute of Super - hard Cutting Tool Materials, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China

十二五期间鼓励中国重化工企业走出去

国家发改委近日发布《“十二五”利用外资和境外投资规划》(下称《规划》)称,“十二五”期间国内企业应积极参与境外资源开发项目,大力实施境外市场开拓战略。

《规划》鼓励中国化工、冶金、建材等重化工业或其部分加工制造环节向境外转移。鼓励企业在能源矿产资源丰富、市场空间较大的国家和地区,发展钢铁、有色、炼化等深加工产业,并进而带动产品、设备和劳务输出,拓展企业国际发展空间。《规划》指出,支持企业结合境外资源开发需要,开展境外基础设施建设和投资;加强与周边国家在跨境运输通道建设方面的投资合作,实现能源资源进口多元化,保障供应安全。

国家发改委指出,投资境外能源和矿产资源开发项目,应着眼于为国民经济发展提供长期、稳定、经济、安全的能源资源供给。

在引进外资政策方面,《规划》指出,“十二五”时期,中国利用外资的目标为:有效利用国外贷款,稳定贷款规模,优化投向;统筹境外借款、融资租赁、债券发行等境外融资方式,进一步提高资金使用效益;提升外商投资水平,使外资在推动中国产业升级等方面发挥更加积极的作用。

基于数控系统的刀具失效实时响应研究

黄登红

长沙航空职业技术学院

摘要: 目前刀具在线监控系统通常需要开发专门的控制软件来实现刀具损坏的实时响应。这对于普通的数控机床用户来说比较复杂、难以掌握,使用和维护起来也很困难。本文基于 FANUC 数控系统,利用中断型宏指令功能和系统变量,通过编制数控程序来实现在线监控系统检出刀具失效后的相关处理,能满足一般实时性要求,且灵活性好、应用方便、易于掌握,有利于刀具在线监控技术在数控机床上的应用推广。

关键词: 数控系统;刀具失效;中断型宏指令功能

中图分类号: TG71

文献标志码: A

Research on On-line Monitoring for Tool Breakage in NC Machines

Huang Denghong

Abstract: By means of the interruption type custom macro function in FANUC NC system, the real-time processing of tool breakage is realized by NC programming, which meets the real time demand and has many obvious advantages, such as good flexibility, convenient application, easy grasp. It is beneficial to the application and extension of the on-line monitoring for tool breakage in NC machines.

Keywords: CNC system; tool failure; interruption type custom macro function

1 引言

在以数控加工为代表的自动化生产过程中,为了避免因切削刀具的磨损、破损等因素造成工件甚至机床设备的损坏,常常需要对刀具进行在线监控。刀具在线监控系统一旦发现刀具损坏立即做出响应,如通知机床停止走刀并报警等。随着自动化程度的不断提高,对刀具失效响应要求也更高,如监控系统在检出刀具失效时不仅要实时报警,还要实时保存中断时的加工位置、切削参数、刀具补偿等相关信息以便操作人员完成相关处理后继续加工,或在检出刀具失效时控制机床自动更换新刀并从中断处继续加工等。为实现上述要求,通常需要开发专门的控制软件。这些专门的控制软件虽然能够满足刀具失效响应的相关要求,但对于普通的数控编程人员来说比较复杂、难以掌握,使用和维护起来也就困难。本文基于 FANUC 数控系统,利用数控系统提供的中断型宏指令功能,编制数控程序来实现刀具破损的实时响应,能满足一般实时性要求,且灵活性好、应用方便、易于掌握,有利于刀具破损在线监控技术在数控机床上的应用推广。

2 数控系统的中断型宏指令功能

当一个程序正在执行时,从机床输入一个中断信号(UINT),可以调用另一个程序,这一功能称为中断型宏指令功能。使用以下格式编制中断命令:

M96 Pxxxx; 中断型宏指令功能激活

M97; 中断型宏指令功能失效

通过应用中断型宏指令功能,用户可在执行一个程序的任意块时调用另一个程序,从而使程序的运行适应随时变化的情况。数控系统对中断信号的响应情况如图 1 所示。

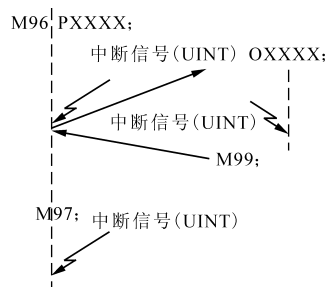


图 1 数控系统对中断信号的响应

当在程序中标注 M96 Pxxxx 时,中断型宏指令功能激活,在程序执行过程中,输入中断信号(UINT),则数控系统立即中断当前程序的执行,继而执行标注为 Pxxxx 的中断程序。执行完中断程序后,再执行当前程序。在执行中断程序期间或 M97 被标注之后,输入的中断信号则被忽略。