

自动切入装置

〔苏〕 K. M. 科斯秋科夫 等著

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВРЕЗНЫЕ УСТРОЙСТВА

机械工业出版社

343912

自动切入装置

〔苏〕 K.M. 科斯秋科夫 等著

杨宗信 译

彭晋龄 校



机械工业出版社

0119/13
本书阐述了用于自动控制切削工具（砂轮、铣刀、车刀、钻头）切入工件过程各类装置的结构原理和设计基础，介绍了大量的自动切入装置，分析了这些装置在各种类型金属切削机床上的应用效果。

本书可供从事金属加工工艺过程自动化的工程技术人员参考，同时对有关专业的大专院校和中等专业技术学校的师生也有助益。

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВРЕЗНЫЕ УСТРОЙСТВА

К. М. КОСТЮКОВ, В. Н. МИХЕЛЬКЕВИЧ
МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1980

自动切入装置

〔苏〕 К. М. 科斯科科夫 等著

杨宗信 译

彭晋龄 校

责任编辑：冯 钱

封面设计：方 芬

责任印制：张俊民

责任校对：刘思碚

版式设计：张世琴

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第17号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $5^{1/4}$ · 字数 112 千字
1990年3月北京第一版·1990年3月北京第一次印刷
印数 0,001—1,600 · 定价：4.90元

ISBN 7-111-01469-3/TG·362

前 言

在金属切削机床上实现金属加工过程自动化，是国民经济中一个亟待解决的问题。因为应用自动装置和自动系统，就可提高机床设备的生产率及其利用率，实施最佳的工艺规范，保证有目的地控制机床上工件的质量指标。

金属加工的工时消耗总额中，辅助时间所占的比重很大。例如，某些磨削工序的辅助时间竟为20~25%左右。这一辅助时间，包括工件的安装、紧固及拆卸时间，机床的操作时间和直接在机床上测量工件的时间。根据苏联金属切削机床实验科学研究所公布的平均统计数据，最常用的几种类型金属切削机床（车床、磨床、铣床）的辅助时间大致分配如下：机床操作为35~50%，工件的安装、紧固及拆卸为15~25%，在机床上测量工件为20~40%，工件运送到机床上为5~10%。

机床操作的各个动作，诸如刀架和砂轮架的趋近、工件在两顶尖之间的安装、工件的紧固和拆卸、在机床上测量工件等的自动化，就能保证最大的技术经济效益。

各种装置的结构及其作用原理，均可使金属切削机床的刀架、砂轮架以及其他机构的快速趋近实现自动化，这就相应地使得切削工具切入工件的过程也能实现自动化。自动切入装置能够大大缩短切削工具向工件趋近的辅助时间，因而可以缩短加工工件的机动时间。

关于自动切入装置的设计及其在金属加工各部门内合理应用的问题，无论苏联还是国外的技术文献中，迄今为止尚未得到应有的反映。

本书作者在力求填补这个空白的过程中，系统地总结和整理了苏联一些厂家、设计单位、科研机关以及国外一些公司在设计和应用自动切入装置方面所积累的经验，详细拟定了这种装置的计算方法与设计细节。

作者希望本书能对从事金属加工工艺过程自动化的广大专家有所裨益。本书乃是系统阐述切削工具切入工件过程自动化基础的一次尝试。

目 录

前言

第一章 自动切入装置的设计基础1

1. 自动切入装置的结构原理1
2. 自动切入装置的分类8
3. 砂轮架空行程时砂轮向工件快速趋近速度的选择16
4. 将切削工具切入工件的过程作为控制对象18
5. 切入时切削工具进给速度的选择34

第二章 切削工具和工件接触时刻的自动预置及检测装置42

1. 切削工具和工件接触时刻的预置装置42
2. 切削工具和工件接触时刻的直接检测装置53
3. 切削工具和工件接触时刻的间接检测装置61

第三章 多用自动切入装置71

1. 机床主运动驱动电动机的电参数是切入过程的信息载体71
2. 根据驱动电动机总电流来检测切入过程的装置83
3. 根据驱动电动机电流有效分量来检测切入过程的自动切入装置94
4. 根据驱动电动机电流导数来检测切入过程的装置109
5. 根据机床主运动驱动电动机消耗功率来检测切入过程113

第四章 自动切入装置在金属加工过程自动控制系统中的应用122

1. 切削力及加工区温度的自动限制装置122

2. 自动切入装置在金属加工过程适应控制系统中的应 用	134
3. 起动式自动切入装置的整定值计算及精度等级选择	151
4. 应用自动切入装置的技术经济效益	156
参考文献	159

第一章 自动切入装置的设计基础

1. 自动切入装置的结构原理

在高效金属切削机床上,切削工具(车刀、钻头、铣刀、砂轮等)向工件趋近以及加工结束时切削工具自工件退出,这两道操作进行的速度,都要大大超过工作进给速度。这就能够极大地缩短机床每一工作循环总时间中的辅助时间,从而可以显著地提高加工生产率。这个问题,对于工作进给速度比较低的某些金属切削机床来说,具有特别重要的现实意义。比如说,在最初的磨削(粗磨)工序中,大多数磨床的砂轮架移动速度为 $v_{c1}=0.5\sim1.5\text{mm/min}$,而在极个别情况下,可达 $3.0\sim5.0\text{mm/min}$ 及以上。在最后的磨削(精磨)工序中,工作进给速度则很低,其值不过为 $v_{c2}=0.005\sim0.5\text{mm/min}$ 。因此,砂轮若以工作进给速度向工件趋近,那是极不合理的,因为这时的辅助时间与机动时间相比可能不相上下。除机床的工作循环之外,还由于各工件存在一定的初磨削余量分散,所以在该阶段砂轮1向工件2快速趋近原则上是不可能的。如果各个工件的初磨削余量 s_{H1} 始终相同,那么就可以避免砂轮架3的空行程,而以粗磨进给速度 v_{c1} 开始加工循环(图1)。实际上,运送到磨削工序上的这些工件,在其公差范围内,总是具有一定的初磨削余量分散的。因而,工件的初磨削余量的尺寸,既可处在公差范围的平均值内,又可为其上限和下限。

假如机床上事先没有规定砂轮向工件作快速趋近,那么就得分花一些时间来克服砂轮架的空行程;当工件的初磨削余

其中，均方根偏差 $\sigma = \frac{\delta_s}{6}$ ，而数学期望值则为：

$$m = s_{\text{Hmin}} + \frac{\delta_s}{2} \quad (5)$$

此时，砂轮架空行程的平均值 $s_{c0} = 0.5\delta_s$ ，而克服这段行程所花的时间则为：

$$t_{c0} = \frac{\delta_s}{2v_{c1}} \quad (6)$$

在某些非自动化磨床中，时间 t_{c0} 可为 7~12s 及以上。为了避免这一时间损失，应在磨削循环开始时就使砂轮以速度 $v_{c,n}$ 向工件作快速趋近，其速度要超过工作进给速度 v_{c1} 好几倍。

在许多结构—工艺情况下，为了能保持规定的加工工艺规范，必须一开始就立即以工作进给速度 v_{c1} 切去加工余量。当砂轮向工件快速趋近时，要满足上述要求，只有采用自动切入装置(АВУ)才有可能。自动切入装置的功用在于，能按一定的精度确定出砂轮和工件的接触时刻，形成和发送断续指令，传送到横向进给砂轮架的液压或电气传动装置相应的执行机构，以使砂轮架的移动速度从 $v_{c,n}$ 降低到 v_{c1} 。

从上可见，自动切入装置的基本功能之一，实质上就是，当切削工具和被加工毛坯刚一接触时，就形成一个断续指令，并将它输入机床的控制系统，以便使切削工具不再快速趋近，而以给定的工作进给速度开始加工工件。

对于一系列的结构—工艺情况而言，根本就不允许有这种接触，尤其是切削工具以快速趋近速度切入工件时更是如此。之所以不允许这样，其原因在于防止切削工具出现可能的崩裂，这不仅因为在切削工具和工件的接触瞬间会产生一些

动态负荷,甚至是冲击负荷的缘故,还因为切削工具的进给量加大时,切削区内发热量大,会引起金属显微组织发生改变等。属于这些情况的可以是:在成形磨床和外圆磨床上采用各种薄的和有槽砂轮来加工工件;在内圆磨床上加工某些薄壁工件;采用小直径的长钻头来钻孔;机床上具有转动惯量较大而装有切削工具的砂轮架或刀架。要实现切削工具向工件快速趋近,唯一可行的是在这些机床上装设自动切入装置,它可按一定的准确度自动地预置切削工具和工件的接触时刻。

这样一来,自动切入装置的第二个功能就在于,当切削工具向工件趋近到给定的距离时,就自动形成断续指令,并将指令输入机床的控制系统,以便使切削工具不再快速趋近,而以工作进给速度 v_{c1} 开始进给。

大多数结构—工艺情况下,并不一定要求在切削工具和工件的接触瞬间就使砂轮架或刀架的移动速度从快速趋近速度 $v_{c\pi}$ 转换成工作进给速度 v_{c1} ,而是需要在切削工具切入工件的阶段上稍许迟些时候才进行变速的。所谓起动式自动切入装置,便具有上述的功能,它可在切削工具切入工件的过程中达到所需的起始加工规范(通常是依据某一先验信息来给定的)时形成和发送断续的变速指令。此规范又称为起动加工规范。关于起动加工规范,将在本书的第三和第四两章中详加叙述,它可用表征切入过程的一个或是几个参数来检测。作为这样的参数,可以采用各个切削分力、机床主轴上的扭矩、机床上其中一个部件的弹性位移、机床某一个部件的振动幅度等。

起动式自动切入装置具有多种用途。在最简单情况下,即当金属切削机床未装设切削用量或加工精度的自动调节系统时,起动式自动切入装置不仅可以缩短辅助时间 t_{00} ,而且还

能在某种程度上缩短切削工具向工件切入阶段的部分机动时间。由于机床—夹具—工具—工件(СПИД)系统弹性变形的影响,加工余量切除量、金属切除速度及与这些量相关的各力规范参数,在切入过程中基本上是按指数规律变化的。此时,部分机动时间 $t_{\text{вс}}$ (切入阶段),就是金属切除瞬时速度 $v_{\text{м}}$ 达到自身的给定值 $v_{\text{м.в.с}}$ 所经历的时间,它可由快速趋近速度 $v_{\text{с.п}}$ 与金属切除给定速度 $v_{\text{м.в.с}}$ 的比值来确定:

$$t_{\text{вс}} = T_{\text{с}} \ln \frac{\beta_{\text{вс}}}{\beta_{\text{вс}} + 1} \quad (7)$$

式中 $\beta_{\text{вс}}$ ——加速系数, $\beta_{\text{вс}} = \frac{v_{\text{с.п}}}{v_{\text{м.в.с}}}$;

$T_{\text{с}}$ ——机床的机床—夹具—工具—工件系统的时间常数。

由式(7)可知,只有使切削工具的切入速度 $v_{\text{с.п}}$ 大大超过工作进给速度时,才能缩短切削工具切入工件阶段时该部分机动时间 $t_{\text{вс}}$,从而可提高金属切削机床的生产率。目前,很多金属切削机床都装有切削用量或加工精度的自动控制系统(稳定、随动、程序、适应控制系统),以便实现切削用量最佳化,限制切削力及切削区的温度,使工件获得预先规定的精度和几何形状。

设置在金属切削机床上的起动式自动切入装置,至少也能起到三种作用:保证自动控制系统在切削过程达到规定的起动规范时投入运行;缩短切入阶段的部分机动时间 $t_{\text{вс}}$ 和非生产时间 $t_{\text{с.п}}$ 。

很明显,多功用的起动式自动切入装置应当具有2~3种或以上的输出,因为它们除了形成和发送断续指令外,还要形成一些连续表征切入过程状态的模拟信号。

不管自动切入装置具有何种功能和结构特点如何，它们都由四个环节或四个功能元件组成：给定装置或称给定器、传感器、放大-变换装置和执行装置（图2）。给定装置3У用于给定能表征切入过程的一个或是几个参数的数值：砂轮架的移动行程、切入深度、金属切除速度以及切削力等。可以采用微动行程开关、继电器的反作用弹簧、可变电阻器以及许多其他的电器设备或装置作为给定器。

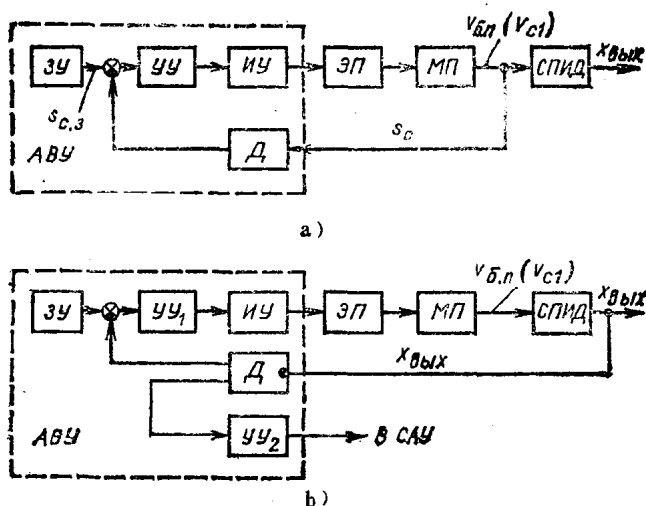


图2 自动切入装置ABY的方框图

a) 切削工具和工件接触时刻的预置装置 b) 切入过程的直接检测装置

传感器Д用于连续或是断续测量和检验自动化对象的各项输出变量：砂轮架的移动行程、切削力或切削功率、主轴上的扭矩、机床个别部件的振动幅度或弹性变形等。传感器可根据一个或几个被检测变量来获得切入过程实际的状态信息，并且能以这种方式在被控切入过程与自动切入装置之间实现反馈。

从给定器和传感器送来的信号，在比较点上连续或是断续的比较，其合成的失调信号再传送到执行装置ИУ。这些执行装置（通常为继电式，间歇动作）能在机床的液压或电气系统中进行切换，其结果使得机床的横向进给机构的移动速度发生改变。一般是采用各种继电器、液压阀的电磁铁等作为执行装置的。

大多数情况下，失调信号都是很微弱的，还不足以推动执行装置。鉴于这个原因，不得不借助中间放大-变换装置УУ将其加以放大。通常可采用间歇或继电作用的各种电动放大器作为放大装置。

用于预置切削工具切入工件时刻的自动切入装置，其方框图如图2a所示。对于这种装置，可以采用机床的横向砂轮架的移动行程 s_0 作为被检测输出量，而采用该砂轮架的线位移传感器作为传感器Д。给定装置可根据被加工毛坯的初磨削余量 s_n 的变化量来保证行程的给定值 $s_{0.н}$ 。例如在某些磨床上，用作给定装置的是些能测量磨削余量的电触点传感器，或是些电感式传感器，它们都是在工件装上后至磨削工作循环开始的时间间隔内工作的。从给定装置和传感器送来的这两个信号相比较，然后经过УУ传送到执行装置ИУ。当机床装有砂轮的砂轮架达到由ЗУ预先调整好的位置 $s_{0.н}$ 时，执行装置ИУ便间歇地动作。后者在机床砂轮架进给机构МП的电气传动装置ЭП的电路中进行转换，使得速度为 $v_{0.н}$ 的切削工具快速趋近停止下来，而砂轮架则以工作进给速度 $v_{0.1}$ 开始移动。

自动切入装置就其本质而论，是机床砂轮架精确停车装置的（位置）随动系统的一个组成部分（参阅图2的虚线框内部分）。在此情况下，自动切入装置АВУ会一直工作到切入过程开始时为止，所以，图中（参阅图2a）的控制对象本

身，即机床—夹具—工具—工件СПИД系统，不包括在自动检测系统的回路内。

图2b所示为多功用自动切入装置的方框图。这种装置可按控制对象——机床—夹具—工具—工件系统的其中一个输出变量 $x_{\text{ВМХ}}$ 对切削工具切入工件的过程进行检测。但这里与图2a所示的方框图不同，就是机床—夹具—工具—工件系统却包括在检测及控制主回路内。可以根据所采用的被检测输出变量 $x_{\text{ВМХ}}$ （金属切除量、径向力、切削功率等）来选用这种或那种传感器（加工余量、力、功率传感器等）。当输出变量 $x_{\text{ВМХ}}$ 达到用给定装置预先设定的数值时，间歇式执行装置就动作起来。

从传感器输出端来的连续信号，经过第二个放大—变换装置УУ₂，输入切削过程的自动控制系统。用于自动探寻切削工具和工件相互接触时刻的自动切入装置，通常是依据直接检测切入过程的原理制成的，而基于位置随动系统原理制成的则较为少见。

2. 自动切入装置的分类

实现切削工具切入被加工毛坯（工件）的过程自动化用装置，最好是按照下列的特征来分类：1)按功能用途；2)按金属加工方式；3)按所形成的输出信号（指令）特征；4)按精度；5)按切入过程状态的信息内容和特征。

自动切入装置的功用，取决于金属切削机床的结构特点、切削工具的几何形状和性能，以及在机床上实现工艺过程和切削工具快速移动的各项参数。根据这一特征，自动切入装置可以分为三类：1)预置式装置——АВУ/У；2)切削工具和工件接触时刻的检测装置——АВУ/К；3)起动式装

置——ABY/C。

预置式装置是在切削工具向工件趋近到预先给定的距离时用来自动形成和发送断续信号(指令),以使机床的砂轮架(刀架、拖板)的移动速度从快速趋近转变成工作进给。ABY/Y类型装置一般用于砂轮架(刀架、拖板)惯性较大的各种金属切削机床,也可用于磨削薄壁工件(内圆和外圆磨床)、使用窄砂轮(成形磨床)、使用小直径的长钻头(钻床)、切削工具快速趋近速度较高($\beta_{0.0} > 5$)以及其他一些特殊的结构—工艺等场合。采用ABY/Y类型装置,可以极大地缩短切削工具向工件趋近的非生产辅助时间,同时尚可避免可能的事故隐患和切削工具(钻头、车刀、砂轮)的崩裂,并可通过防止切削工具以加速的快速趋近速度和工件发生可能的接触来消除工件废品。

ABY/K类型装置则是在切削工具和工件的接触瞬间就形成和发送断续指令。而在许多情况下,还能形成和发送模拟信号,输入机床的控制系统(电动、液压、气动系统),以使装有砂轮的砂轮架移动速度从快速趋近转换成工作进给。这类装置,通常用于实现这样的金属加工工艺过程自动化,即这些工艺过程允许切削工具和工件直接接触,原则上也可让切削工具以加速进给速度切入工件极薄一层深度。但是工艺过程中工件的加工工作循环,则应大致在初始条件为零时开始。ABY/K类型装置通常用于砂轮架和液压—电气传动装置的转动惯量都很小的金属切削机床,这就能在 $0.1 \sim 0.01s$ 如此极短的时间内,使快速趋近速度迅速地转变为工作进给速度,因而金属切除量和金属切除速度都不可能在此时间间隔内达到较大的数值。

某些个别场合下,这类装置还可用于这样的金属切削机

床：按照工艺过程的各个条件，这些机床不要求高精度地整定切入速度(切削力、切削功率等)的初始值。可以作为这种情况的一个例子，就是外圆磨床上用火花法检验砂轮和工件接触的装置〔12〕。它实际上可同时起到缩短辅助时间和一个简易起动式装置的作用。

起动式自动切入装置是在切削工具切入工件的过程中，当表征切入过程状态的其中一个参数达到自身的给定值时，便形成和发送断续及模拟指令(信号)，送往金属切削机床的控制系统，以使砂轮架的移动速度从快速趋近转换成工作进给。起动式装置ABY/C的整定值(给定值)，通常是从对工艺过程的自动控制系统各个初始条件的要求出发，根据金属加工工艺过程的某一先验信息来调整的。在很多情况下，这些整定值可直接在设置有起动式装置ABY/C的机床上用实验办法来完成。

应当指出，在苏联和国外的机床制造实践中，用得最普遍的，目前还是起动式自动切入装置，因为它乃系一种多功用的装置。起动式装置ABY/C除其直接的用途外，还可以在—组加工规范起动数值下，将其接通之后，成为自动控制系统的组成元件。

自动切入装置也可按金属加工方式的不同来分类，如车床用自动切入装置，磨床用自动切入装置，铣床用自动切入装置等。这样分类的合理性，来源于自动切入装置的结构。通常其结构只适用于具体的金属加工方式，如车削、钻削、铣削和磨削等方式。这是因为，每一种金属加工方式，均具有切削工具本身的工作特点、切屑形成本身的特点、切入过程本身的动态特性。这些特点，在某种程度上可能会反映到自动切入装置的结构上，也可能会反映在对其技术性能的某