

УДК 621.681.7

ДИАГНОСТИКА ПОТЕРИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ

Румбешта В.А., Слипченко В.П., Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

В работе рассматривается новая методика, информационные модели механики износа инструмента, алгоритмы построения системы диагностики металлообрабатывающих процессов на станках с ЧПУ, на основе виброакустического мониторинга технического состояния процесса резания при точении

Введение

Диагностику процесса механообработки можно проводить только на основании параметрических исследований всех физических процессов, которые сопровождают данную обработку резанием. Как показывали предыдущие исследования данный процесс характеризуется большим набором различных параметров, находящихся между собой в сложных корреляционных взаимосвязях, что затрудняет формирование описывающих данный процесс, математических моделей с одной стороны, контроль и диагностику надежности прохождения - с другой.

Поэтому параметрическое исследование взаимосвязи параметров резания, их влияние на надежность его протекания является базой для моделирования процесса механообработки, его потери надежности и формирования системы функциональной диагностики контроля качества данной технологической операции. Поэтому такая работа является актуальной и важной для повышения качества изделий [1].

Механизм износа инструмента

Чтобы создать четкую структурную информационно-параметрическую модель процесса механообработки, которая явилась бы основой для разработки системы технического его диагностирования, необходимо более глубоко и подробно исследовать механизм постепенного отказа процесса резания. При этом будем сохранять допустимый элемент формализации физических процессов, введенные условности упрощенную классификацию некоторых явлений и параметров, что позволит создать формализованные модели образа отказа.

Силу резания можно разбить на ряд составляющих, согласно причинам их порождающих. В этом случае общая суммарная сила резания $\bar{P}_{\Sigma}$ может быть представлена из четырех составляющих:

$$\bar{P}_{\Sigma} = \bar{P}_{ct} + \Delta \bar{P}_1 + \Delta \bar{P}_2 + \Delta \bar{P}_h \quad (1)$$

где $\bar{P}_{ct}$ - вектор статической силы резания без любых отклонений как основной составляющей резания; $\Delta \bar{P}_1$ - колебание силы от динамики только процесса ре-

зання; $\bar{P}_2$ - колебание силы от возникающей вибрации упругой системы станка; $\Delta \bar{P}_h$ - вектор приращения силы резания из-за изнашивания инструмента.

Как принято в технической литературе эти векторы сил надо направлять от инструмента на деталь - как режущую силу. Очевидно, что на режущий инструмент будут действовать адекватные по величине, но противоположные по направлению аналогичные по причинам возникновения силы реакций $\bar{F}_\Sigma$, $\bar{F}_{cm}$, $\Delta \bar{F}_1$, и т. д. Векторы этих реакций, по второму закону Ньютона, будут равны по величине силам резания, но строго противоположного направления. Тогда можно записать условие относительного равновесия системы сил:

$$\left[\left(\bar{P}_{cm} + \Delta \bar{P}_1 + \Delta \bar{P}_2 \right) + \Delta \bar{P}_h \right] = - \left[\left(\bar{F}_{cm} + \Delta \bar{F}_1 + \Delta \bar{F}_2 \right) + \Delta \bar{F}_h \right] \quad (2)$$

Силы резания при установившемся нормальном качественном процессе резания будут приблизительно сохранять свою величину. Поэтому векторную модель равновесия сил в системе без учета износа инструмента можно записать в виде условия:

$$\left(\bar{P}_{cm} + \Delta \bar{P}_1 + \Delta \bar{P}_2 \right) = - \left(\bar{F}_{cm} + \Delta \bar{F}_1 + \Delta \bar{F}_2 \right) \quad (3)$$

Анализ показал, что эти силы при нормальных режимах резания не влияют на ухудшение качества процесса механообработки. Таким образом, из (2) следует, что только последняя составляющая силы резания от изнашивания инструмента $\Delta \bar{P}_h$ и ее реакция $\Delta \bar{F}_h$ повинны в нарушении качества процесса, как условие:

$$\Delta \bar{P}_h \rightarrow \infty \quad (4)$$

На базе этого вывода можно создать функционально-параметрическую модель механизма потери качества процесса механообработки. Данная модель может быть использована в системе технического диагностирования.

На рис.1 представлена такая функционально-параметрическая модель, которая отражает выше сказанное. Она отображает двухстороннюю зависимость между износом инструмента h_u , трением в зоне контакта f_{mp} (как заданный приближенный показатель – коэффициент трения между материалами детали и инструмента) и силой резания P . На полученной модели явно виден процесс постоянного взаимного генерирования величины отклонений параметров Δh_p ,

Δf_h и ΔP_h по замкнутому контуру, где первопричиной или первоисточником данного явления является износ инструмента h_u и Δh_p .

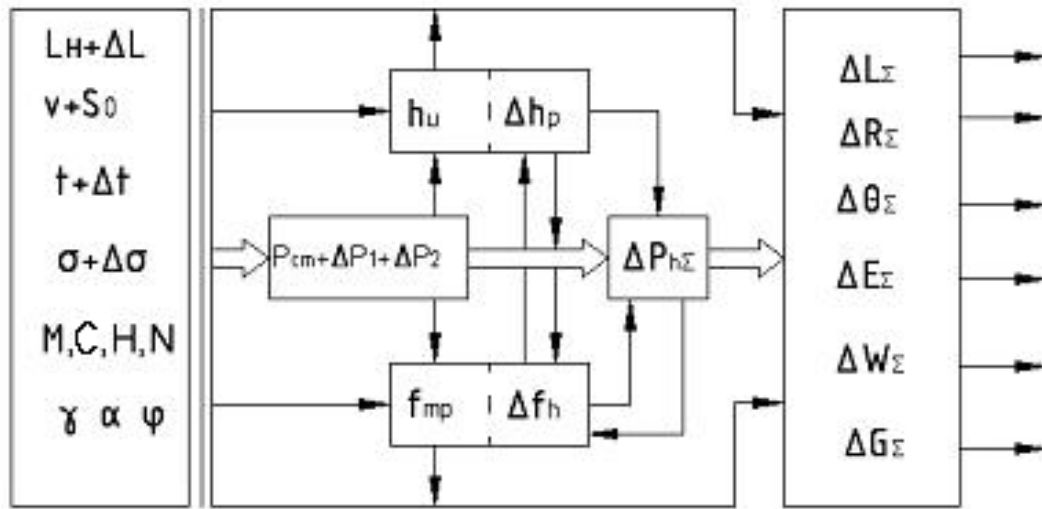


Рис.1 . Функционально-параметрическая структурная модель потери качества по причине износа инструмента

Как показывают многие исследования, при увеличении Δh_p растет периодичность величины трения Δf_h из-за явления схватывания детали и инструмента при фрикционных автоколебаниях системы, вызывающей увеличение релаксационных колебаний. Таким образом, трение влияет на износ, а износ инструмента увеличивает Δf_h . Увеличение периодичности трения вызывает колебание силы ΔP_h . Одновременно износ инструмента, меняя $\Delta \gamma$, $\Delta \alpha$ и $\Delta \varphi$, непосредственно изменяет условия резания и вызывает постоянный прирост силы ΔP_h . По этому эту составляющую можно представить так же как состоящую из двух составляющих:

$$\Delta \bar{P}_{h\Sigma} = \Delta \bar{P}_{h\Gamma} + \Delta \bar{P}_{hf} \quad (5)$$

где $\Delta \bar{P}_{h\Gamma}$ - систематически растущая составляющая от ухудшения геометрии режущей части инструмента по мере его изнашивания; $\Delta \bar{P}_{hf}$ - нарастающая случайная составляющая аperiodического характера из-за влияния растущего трения в зоне контакта, колебательного характера.

Приращение этих двух составляющих, как суммарный вектор сил изнашивания инструмента - $\Delta \bar{P}_{h\Sigma}$ увеличивает упругие деформации технологической обрабатываемой системы, что в итоге ведет к росту погрешностей обработки ΔL и упругих деформаций систематического переменного-возрастающего и слу-

чайно- апериодического плана. Поскольку такое приращение происходит постоянно по времени работы процесса, то при достижении этой составляющей $\Delta \bar{P}_{h\Sigma}$ определенного уровня наступает момент потери надежности процесса резания и потери качества процесса механообработки.

На данной модели слева представлены основные входные параметры процесса, которые либо заданы ($L_H + \Delta L$)-..., ($t + \Delta t$)-..., ($\sigma + \Delta \sigma$ - как переменная ε переменная прочность детали), либо подбираются как управляющие из условия оптимальности работы нового настраиваемого процесса обработки заданной детали. Средняя часть модели схематично моделирует сам процесс резания в виде преобразующей динамической системы, где силы резания и трения формируют определенную скорость изнашивания инструмента, которая является основной причиной нарастания дефекта процесса механообработки и $\Delta \bar{P}_{h\Sigma}$.

Каждый из выходных параметров на информационной модели (ΔL_Σ ; $\Delta R_{a\Sigma}$ - точность полученных размеров и шероховатости; $\Delta \theta_\Sigma$ и ΔE_Σ - тепловые и электро-магнито-волновые характеристики резания, ΔW_Σ и ΔG_Σ - динамические и виброакустические параметры в обрабатывающей системе) своим изменением по времени работы процесса от определенного начального значения отражает изнашивание инструмента. Поэтому любой такой параметр может служить источником при техническом диагностировании процесса механообработки по заключению о его техническом состоянии, как информация о нарастании дефекта в работе процесса резания и о потере его качества.

Модель диагностики процесса механообработки

Функциональное диагностирование - это наиболее сложная и совершенная процедура анализа качества работы объекта и представляет собой метрологическую процедуру постоянного мониторинга параметров работы сложной технической системы и проверки точности и надежности работы этой системы и ее технического состояния с целью своевременного распознавания дефекта.

Часто главные параметры качества работы различных систем и процессов обладают плохой контролепригодностью.

В таких случаях прибегают к косвенному методу ТД, когда вместо непригодного к измерению главного параметра качества Q выбирают другой, из числа всех выходящих сигналов иных параметров, которые генерирует работающий объект. Такой параметр - спутник, должен быть тесно коррелирован с главным параметром Q и при работе объекта адекватно менять свою величину, т.е. иметь тесную функциональную связь желательно прямую, и аналогичную динамику изменения по времени (τ)

В качестве параметра-спутника принимается виброакустический сигнал:

$$G_i(\tau) = \varphi(Q_i(\tau)) \quad (6)$$

Однако, обычно, такой параметр - спутник, иной физической природы по отношению к Q_i , которая естественно измеряется другими единицами измерения и имеет другой энергетический уровень. Тогда, при прямой зависимости, параметр - спутник $G_i(\tau)$ можно связать по величине с главным параметром Q_i , как генератором этой величины, таким соотношением:

$$\varphi_g(G_i(\tau)) = A_{Q_g} \varphi_Q(Q_i(\tau)) \quad (7)$$

где A_{Q_g} - масштабный коэффициент пересчета величины Q_i в G_i . Чтобы перейти к таким расчетам, необходимо установить передаточную функцию (или уравнение связи) между данными величинами, которую обычно записывают в виде частной производной:

$$\left(\frac{\partial G_i(\tau)}{\partial Q_i(\tau)} \right) \quad (8)$$

Тогда при диагностировании проводится мониторинг величины $G_i(\tau)$ со снятием сигнала через отрезок заданного времени ($\Delta\tau$), величина которого выбирается из условия скорости развития дефекта $\Delta Q_i(\tau)$. Измеряется величина изменения параметра - спутника $G_i(\tau)$ в виде $\Delta G_i(\tau)$ от изменения главного параметра $Q_i(\tau)$:

$$\Delta G_i(\tau) = A_{Q_g} \left(\frac{\partial G_i(\tau)}{\partial Q_i(\tau)} \right) \Delta Q_i(\tau) \quad (9)$$

На основании полученного с объекта сигнала по изменению спутника на величину $\Delta G_i(\tau)$ определяется уровень изменения главного параметра качества данного объекта величины $Q_i(\tau)$:

$$\Delta Q_i(\tau) = A_{gQ} \left(\frac{\partial Q_i(\tau)}{\partial G_i(\tau)} \right) \Delta G(\tau) \quad (10)$$

где A_{Q_g} - обратный масштабный коэффициент пересчета от G_i на Q_i .

Процесс протекает нормально, если полученное значение ΔQ_i , отражающее своим изменением уровень годности протекания механообработки, в данное время регистрации τ находится в допустимых пределах, т. е. между крайними заданными границами $Q_{\max}$ и $Q_{\min}$ при условии:

$$[Q_{\min} < Q_i(\tau) < Q_{\max}] \quad (11)$$

Это условие легко реализуется двумя критическими уровнями сигнала о годности обработки, а регистрируемый сигнал имеет возможность вариации между ними.

Как упоминалось выше, многие характеристики процесса резания могут меняться по времени в процессе механообработки. По мере роста износа режущего инструмента растут силы резания и температура, вибрация системы и другие характеристики. Будет расти к верхнему пределу и показатель качества процесса $Q_i(\tau)$. Скорость данного изменения, как средняя величина $\bar{v}_Q$ может быть ориентировочно определена на основании статистических данных и функциональной зависимости $Q_i(\tau) = \varphi[x_i(\tau)]$ при моделировании процесса с учетом входных данных.

На основании таких расчетов строится график зависимости параметра Q_i по времени τ (рис. 2), где Q_{ip} - это линия изменения расчетного (теоретического) значения анализируемого параметра в заданных пределах Q_{min} и Q_{max} .

В реальных условиях из-за различных отклонений и возмущений действительная кривая действительного измеренного параметра Q_{id} будет отличаться от расчетной зависимости. Анализ возможных отклонений этого параметра по ходу протекания процесса можно проследить на основании динамического движения точки на плоскости, описываемого уравнением:

$$Q_i(\tau) = \left(Q_0 + \Delta Q_i(\tau) + \frac{\partial Q_0}{\partial \tau} \Delta \tau + \frac{\partial^2 Q_0}{\partial \tau^2} (\Delta \tau)^2 \right) \quad (12)$$

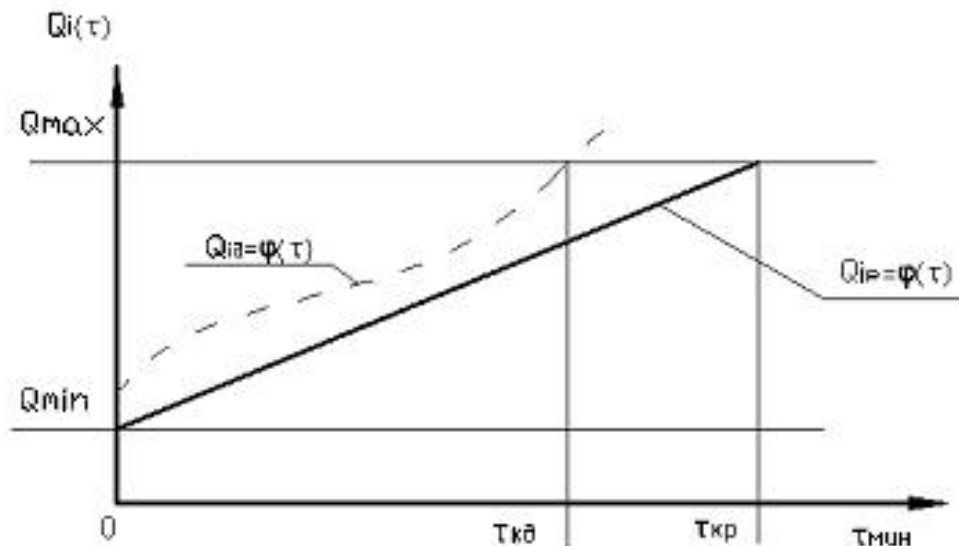


Рис. 2. График зависимости параметра качества ПМО от времени работы процесса

Первое слагаемое в скобках Q_0 — как изначальное значение сигнала, а $\Delta Q_i(\tau)$ — представляет текущую координату точки, как величину исследуемого параметра во время регистрации; третье слагаемое — первая частная производ-

ная, представляет собой скорость изменения диагностируемого параметра по времени, как $\bar{V}_{i\partial}$ - действительная скорость перемещения точки $Q_i(\tau)$ за период времени $\Delta\tau$ между циклами измерений при мониторинге $Q_i(\tau)$; четвертое слагаемое – вторая производная по времени, представляет характеристику ускорения движения точки, если такова имеется или для нашего примера – интенсивность случайного роста проверяемого параметра, как симптом нарастающего дефекта процесса.

Для нормального функционирования процесса резания должно выдерживаться условие:

$$\left| \begin{aligned} \frac{\partial Q_{\partial}}{\partial \tau} \Delta \tau = \bar{V}_{Q_{\partial}} &\leq \bar{V}_{Q_{\partial \partial \partial}} \\ \frac{\partial^2 Q_p}{\partial \tau^2} (\Delta \tau)^2 &\approx 0 \end{aligned} \right. , \quad (13)$$

где $\bar{V}_{Q_{\partial \partial \partial}}$ - установленная, на базе расчетной $\bar{V}_{Q_{\partial}}$, допустимая скорость изменения параметра качества процесса по времени.

Одной из самых ответственных задач при разработке системы технического диагностирования (АСТД) является формирование алгоритмов функционирования этой системы. Такой алгоритм должен быть по возможности краток и прост, а так же он должен быть таким, чтобы система АСТД быстро и надежно распознавала все возможные образы дефектов, их симптомов и заблаговременно могла выработать соответствующий управляющий сигнал на систему управления.

На рис. 3 представлен такой разработанный алгоритм работы АСТД в виде блок-схемы.

На начальном, верхнем уровне обязательно, для избежания аварийной ситуации на объекте, производится контроль годности диагностируемого параметра и если условие годности нарушено, то работа объекта останавливается для устранения дефекта.

Затем через функции присвоения замеренному сигналу устанавливаются значения предыдущего параметра ($i-1$) и производится анализ характера изменения параметра при сравнении результата с последующим замером уровня $Q_i(\tau)$. Этот анализ проводится на основании вычисления по определению уровня нарастающего по времени работы дефекта:

$$\begin{aligned} 1) \quad \Delta Q_i &= Q_i - Q_{i-1} \\ 2) \quad \Delta Q &= \Delta Q_i - \Delta Q_{i-1} \end{aligned} \quad (14)$$

Если $\Delta Q > \Delta Q_{\partial \partial \partial}$ - это значит, что появился симптом потери надежности в работе объекта, дефект принял критическое значение и принимается заключение о возможном отказе и проведении соответствующей регулировки в системе объекта, если это еще возможно.

Если это уже невозможно, то при следующем измерении система будет отключена по нарушению условия годности [2,3].

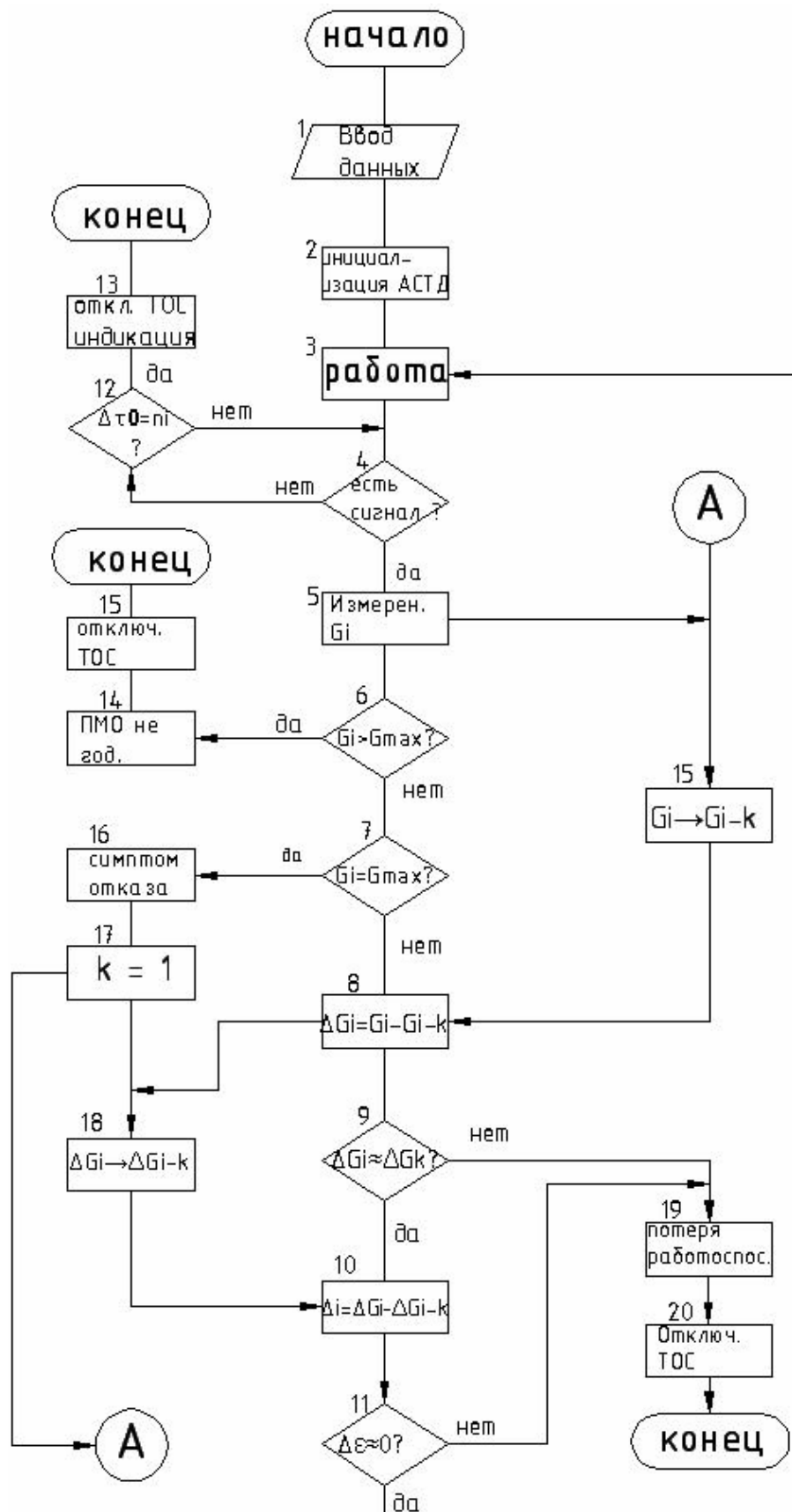


Рис. 3. Обобщенный алгоритм функционирования системы технического диагностирования

Разработка автоматической системы диагностики с применением предложенного алгоритма, формирование соответствующих функциональных блоков системы позволит повысить качество процесса механообработки, его производительность и исключить аварийные ситуации.

Выводы

Процесс механической обработки (ПМО) является сложной, много параметрическую систему со скрытыми сложными, часто нелинейными зависимостями в связях и множеством различных возмущающих факторов. Это обуславливает малую надежность процесса, что требует постоянного автоматического контроля.

Главной причиной потери качества ПМО является возрастание величины силы резания вследствие прогрессирующего износа инструмента ΔP_{Σ} . Эта величина с ростом износа и трения в зоне контакта образует внутренний замкнутый контур связей, который формирует увеличение этих параметров по ходу обработки и соответственно, нарастание дефекта процесса.

Литература

1. Остафьев В.А., Антонюк В.С., Тымчик Г.С. Диагностика процесса металлообработки. К.: Техника, 1991. - С.27-28.
2. Волосов С.С. Активный контроль размеров. М.: Машиностроение, 1984. - 223с.
3. Румбешта В.А. Автоматический контроль и диагностика процесса механической обработки на станках с ЧПУ // сб. научн. труд. конф. "Прогрессивные технологические процессы". К.: Знание, 1986. - С.16-19.

Румбешта В.А., Сліпченко В.П. Діагностика втрати надійності технологічного процесу точінням В роботі розглядається нова методика, інформаційні моделі механіки зносу інструмента, алгоритми побудови системи діагностики металообробних процесів на верстатах з ЧПК, на основі віброакустичного моніторингу технічного стану процесу різання при точінні.	Rumbeshta V.A., Slipchenko V.P. Diagnostics of the quality worsening of the technical process of cutting when sharpening A new method is worked in work, informative models of mechanics of wear of instruments, algorithms of building process diagnostic system metal-working processes on computerized machine-tools, on the basis of the vibroacoustic monitoring of the technical process of cutting when sharpening
--	--

*Надійшло до редакції
22 березня 2008 року*

УДК 621.785.375:620.152

РОЗПОДІЛ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В КРУТИЛЬНИХ КІЛЬЦЯХ

Чередніков О.М, Ігнатенко П.Л., Борисов О.О., Чернігівський державний технологічний