

620.174.21

СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ИНСТРУМЕНТА

© Али Юсупович Албагачиев, Аркадий Арсентьевич Титов

Московский технологический университет, Москва, Россия
albagachiev@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены некоторые вопросы измерения изгиба резца с использованием двух оптических волокон, излучателя, фотоприемника, аналого-цифрового преобразователя и микропроцессора. Оценены параметры устройства.

Ключевые слова: резец, изгиб, оптические волокна, фотоприемник, излучатель, аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор.

SYSTEM STUDY OF THE AMPLITUDE OF OSCILLATION TOOL

© Ali Yusupovich Albagachiev, Arkadij Arsentiyovich Titov

Moscow Technological University (MIREA), Moscow, Russia
albagachiev@yandex.ru

Annotation. Some problems of measurement of cutter's bend using two optical fibers, a radiator, photodetector, the analog-digital converter and microprocessor are investigated. Device parameters are evaluated.

Keywords: cutter, bending, optical fiber, photodetector, emitter, analog-digital converter, microprocessor.

В настоящее время при обработке заготовок на строгальном станке необходимо обеспечить необходимую шероховатость поверхности. На этот процесс оказывают влияние, как параметры резца, так и его колебания.

В процессе резания инструмент под воздействием переменной силы резания совершает изгибные колебания. Возникающие вынужденные колебания приводят к изменению рабочих углов инструмента относительно поверхности резания, что приводит к изменению сечения снимаемой с заготовки стружки и автоколебаниям. В исследованиях посвященных резанию металлов в основном рассматриваются радиальные перемещения и колебания системы станок-инструмент. Периодически возрастающая и падающая (пилообразная) сила резания при строгании, действующая на переднюю поверхность инструмента вызывает упругие перемещения (прогиб) консольного инструмента параллельно направлению резания. Максимальный прогиб инструмента можно оценить по формуле сопромата:

$$y = \frac{P_z l^3}{3EJ} \quad (1)$$

где P_z – сила резания; l – длина вылета инструмента; E – модуль упругости материала державки инструмента; J – момент инерции.

Для расчета силы при свободном строгании нами выведена следующая формула [1]:

$$P_z = 1,155\sigma_{st}h_1b \left\{ \left[1 + \mu_1(1 - \operatorname{tg}\gamma) + \frac{0,5 + \mu}{2k_c} \right] \cos\gamma + \frac{k_c}{4\cos\gamma} + \mu\sin\gamma + \mu_2 \frac{l_3}{h_1} \right\}. \quad (2)$$

где σ_{st} - напряжение текучести при определённой температуре;

h_1 - толщина срезаемого слоя металла; l_3 - длина контакта задней поверхности резца с обработанной поверхностью заготовки; μ - коэффициент трения по напряжению текучести; k_c - коэффициент утолщения стружки; γ -передний угол резца; b -ширина срезаемого слоя металла; μ_1 , μ_2 -соответственно коэффициенты трения по передней и задней поверхностям резца.

По приведенным зависимостям можно аналитически рассчитать максимальный прогиб инструмента.

Для исследования изменения изгиба резца в процессе резания необходимо рассмотреть известные методы измерения. Существует метод измерения изгиба державки режущего инструмента, основанный на использовании акселерометров, которые жестко крепятся к державке [5]. Недостатком устройства, реализующего такой метод, является его сложная конструкция, необходимость согласования массы датчика с массой конструкции, на которую он установлен. Кроме того, данным методом сложно измерить изгиб самого резца (особенно если размеры резца достаточно малы), так датчик с сопутствующими ему цепями коррекции и проводами на нем практически не закрепить. Поэтому для решения поставленной задачи целесообразно использовать бесконтактные методы измерения с использованием оптических волокон. Волоконно-оптические датчики широко используются для решения таких задач как измерения перемещений, температуры, давления, ускорения.

Достоинством таких датчиков являются их малые размеры и возможность бесконтактного измерения параметров объектов, нечувствительность к воздействию электромагнитных волн, низкая стоимость. Наиболее близким аналогом устройств по измерению изгиба резца являются волоконно-оптические датчики перемещения. В работе [3] рассмотрен волоконно-оптический датчик перемещений, содержащий передающее и приемное оптические волокна и зеркальный отражатель, перемещение которого измеряется. Недостатком датчика является узкий диапазон измерений, обусловленный диаметрами волокон, и большая нелинейная зависимость мощности света в фотоприемнике от перемещения. Особенностью использования данного датчика в рассматриваемой задаче является то, что резец представляет собой диффузно-отражающий объект. Кроме того, необходимо расширить диапазон измерения и обеспечить линейность выходной характеристики датчика.

Предлагаемая схема устройства приведена на рисунке.

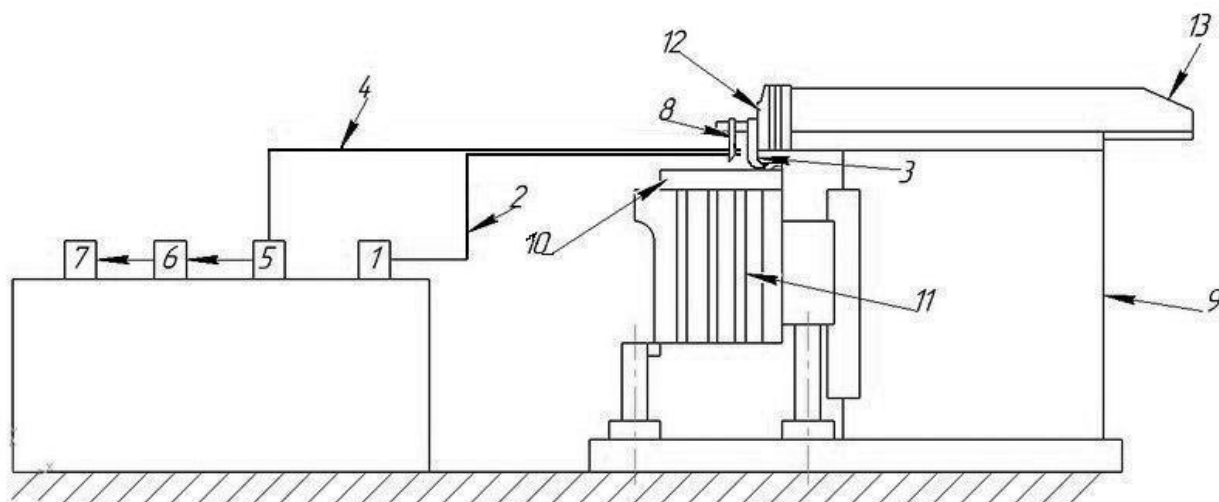


Рисунок: 1 – излучатель, 2 – первое оптическое волокно, 3 – резец, 4 – второе оптическое волокно, 5 – фотоприемник, 6 – аналого-цифровой преобразователь,

7 – микропроцессор, 8 – державка, 9 – строгальный станок, 10 – заготовка, 11-стол, 12-резцедержатель, 13-суппорт.

Устройство содержит излучатель 1, который через первое оптическое волокно 2 освещает резец 3. Отраженный от резца 3 свет через второе оптическое волокно 4 освещает фотоприемник 5, выход которого соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) 6, который соединен с микропроцессором 7. Волокна установлены в держателе 8, закрепленном вместе с резцом 3 в резцедержателе 12 строгального станка 9. Обрабатываемая заготовка 10 установлена на столе 11. Стругание производится перемещением суппорта 13.

Конструктивно блоки 1,5,6,7 могут быть расположены в одном корпусе, который можно установить вне зоны станочного парка(за счет выбора необходимой длины оптических волокон), что позволяет проводить дистанционные измерения.

Рассмотрим, как работает устройство. При изгибе резца 3 в процессе работы меняется расстояние между волокнами и резцом 3, что приводит к изменению величины светового потока, поступающего в фотоприемник 5, сигнал с которого преобразуется АЦП 6 в цифровой код, поступающий в микропроцессор 7, который рассчитывает величину амплитуды изгиба резца 3.

Оценим параметры устройства. Для этого определим мощность излучения, падающего на фотоприемник 5 от резца 3. Положим, что рассеяние света на резце 3 носит диффузный характер и подчиняется закону Ламберта, а площадь освещающего резец пучка меньше площади резца. Тогда используя результаты работы [2], получим выражение для мощности излучения, поступающего на фотоприемник 5 от резца 3:

$$P_5 = \frac{Pd^2\rho\tau}{4r^2}, \quad (3)$$

где P – мощность излучателя; d -диаметр оптического волокна; r -расстояние от торца волокна до резца; ρ – коэффициент отражения света от резца; τ – потери света в оптических волокнах.

Определим диапазон перемещения резца 3. Минимальное расстояние от торца оптического волокна до резца будет определяться апертурой волокна, равной[3]:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (4)$$

где n_1 -показатель преломления сердцевины волокна; n_2 -показатель преломления оболочки волокна.

При малых углах апертурный угол ввода излучения в оптическое волокно равен:

$$\sin \theta \approx \frac{d}{2r} \quad (5)$$

Поскольку при углах ввода излучения в волокно больше апертурного свет будет выходить из волокна, с учетом (4) и (5) найдем минимально допустимое расстояние от резца до волокна:

$$r_{\min} \geq \frac{d}{2NA}, \quad (6)$$

Определим диапазон возможного изменения расстояния между оптическим волокном и резцом. При этом нужно учесть, что, как можно видеть из выражения (3), зависимость мощности на фотоприемнике от расстояния между резцом и оптическим волокном во всем диапазоне изменения расстояния имеет в основном нелинейный характер. Зададимся начальным расстоянием $r_0 \geq r_{\min}$. Для определения линейного диапазона разложим выражение (3) в ряд Тейлора в окрестности r_0 , ограничившись двумя членами ряда:

$$P_5^* = \frac{Pd^2\rho\tau}{4r_0^2} - \frac{Pd^2\rho\tau(r-r_0)}{2r_0^3} \quad (7)$$

Найдем теоретическую ошибку от замены нелинейной функции линейной:

$$\Delta = P_5 - P_5^* = \frac{Pd^2\rho\tau}{4r_0^2} \left(\frac{r_0^2}{r^2} + \frac{2r}{r_0} - 3 \right) \quad (8)$$

Используя выражение (8), найдем относительную ошибку:

$$\eta = \frac{4r_0^2\Delta}{Pd^2\rho\tau} = \left(\frac{r_0^2}{r^2} + \frac{2r}{r_0} - 3 \right) * 100\% \quad (9)$$

Зависимость относительной ошибки η от r/r_0 приведена в таблице.

Таблица

r/r_0	1	0,95	0,9	0,85	0,8
η	0	0,8 %	3,45 %	8,4 %	16,25 %

Из приведенных в таблице данных можно видеть, что диапазон изменения расстояния между волокном и резцом при работе на линейном участке достаточно узок. Для работы в более широком диапазоне необходима разработка специальной программы для микропроцессора, рассчитывающей смещение резца с использованием выражения (3). Так как изгиб резца при

работе происходит в небольшом диапазоне, целесообразно оценить основные параметры устройства при работе на линейном участке. Определим сначала диапазон измерения. Для этого найдем минимальное и максимальное расстояния r . Сначала определим по выражению (6) r_{\min} . Выберем полимерное оптическое волокно диаметром 980 мкм и апертурой 0,45. Тогда из (6) получим $r_{\min} = 1$ мм.

Для более широкого диапазона измерения выберем $r_0 = 5$ мм. Задаваясь из таблицы точностью 8,4%, найдем $r = 0,85r_0 = 4,25$ мм. Тогда максимальный изгиб резца составит $r_{\text{изг max}} = r_0 - r = 0,75$ мм. Оценим теперь минимально возможный изгиб резца, который можно измерить данным методом. Используя выражение (7) с учетом чувствительности фотоприемника, его темнового тока и соотношения сигнал-шум, получим:

$$\Delta r = \frac{2r_0^3 I_m \left(\frac{S}{N}\right)}{Pd^2 Y \rho \tau} \quad (10)$$

Где I_m - темновой ток; $\frac{S}{N}$ - отношение сигнал-шум; Y - чувствительность фотоприемника. Выберем в качестве источника излучения полупроводниковый лазерный модуль мощностью 10 мВт и длиной волны излучения 645 нм; в качестве фотоприемника - фотодиод, имеющий чувствительность 0,8 А/Вт и темновой ток 5 нА; отношение сигнал-шум примем равным 10. Диффузный коэффициент отражения света от резца из стали равен 0,3, а потери света в волокне - 0,8. Подставляя указанные значения в выражение (10) при $r_0 = 5$ мм получим $r_{\text{изг min}} = 6,47$ мкм. Определим диапазон измерения, который будет равен $r_0 = r_{\text{изг max}} - r_{\text{изг min}} = 744$ мкм.

Определим точность измерения, используя для этого выражение (7). С учетом изгиба резца $r_{\text{изг}}$ и начального расстояния r_0 расстояние r от торца волокна до резца будет равно $r = r_0 - r_{\text{изг}}$. Подставляя это выражение в (7) с учетом чувствительности фотоприемника получим:

$$r_{\text{изг}} = \frac{2I_5 r_0^3}{PYd^2 \tau \rho} - 0,5r_0 \quad (11)$$

где I_5 - ток на выходе фотоприемника.

Для нахождения относительной ошибки измерения необходимо продифференцировать выражение (11) по параметрам, имеющим ошибки. При этом нужно учесть, что параметры τ, ρ, r_0 имеют систематические ошибки, так как могут быть измерены перед началом работы и учтены при калибровке прибора. Тогда используя выражение (11), получим:

$$\frac{\Delta r}{r_{\text{изг}}} \approx \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d}\right)^2} \quad (12)$$

Как показано в работе [4], $\Delta P/P = 10^{-2}$, $\Delta Y/Y = 10^{-2}$. Диаметр оптического волокна изменяется от температуры. Для полимерных оптических волокон температурный коэффициент линейного расширения примерно равен $2 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Тогда при изменении

температуры на 20°C и диаметре волокна 980 мкм $\Delta d / d = 4 \cdot 10^{-3}$. Подставляя приведенные

$$\frac{\Delta r}{r_{изг}} \approx 1,54\%$$

значения в (12), получим $r_{изг}$.

Как было показано выше, диапазон изгиба равен 744 мкм. Подставляя в полученный результат

$$\text{вместо } r_{изг} \text{ } r_{\partial} \text{ найдем абсолютную ошибку измерения. } \Delta r = 0,0154 r_{\partial} = 11,45 \text{ мкм}$$

Оценим динамический диапазон устройства. Он будет зависеть от ширины полосы пропускания фотоприемника, частот преобразования аналого-цифрового преобразователя и микропроцессора. Если в качестве фотоприемника выбрать р-і-п фотодиод, то его полоса пропускания составляет порядка 1 ГГц [3]. Частота преобразования АЦП зависит от количества разрядов. Например, десятиразрядный АЦП фирмы National Semiconductor ADC10321 имеет частоту преобразования 20 МГц. Частота работы современных микропроцессоров составляет единицы ГГц. Поэтому динамический диапазон устройства будет определяться в основном частотой преобразования АЦП и составит 20 МГц. Такой диапазон вполне достаточен для проведения исследования механических систем. Кроме того, следует учесть, что в процессе строгания возникает пыль и стружка. Это может изменять характеристики устройства. Для защиты от таких воздействий можно разработать конструктивные меры защиты. Например, волокна можно разместить в гибкой резиновой втулке, которая будет контактировать с резцом 3 и закрепляться в держателе 8.

Таким образом, данный метод позволяет измерять изгиб резца при работе в достаточно широком диапазоне при приемлемой точности.

Список литературы

1. Воронцов А.Л., Албагачиев А.Ю., Султан-заде Н.М. Теоретические основы обработки металлов в машиностроении. ТНТ. 2013. 216 с.
2. Климков Ю.М. Основы расчета оптико-электронных приборов с лазерами. М.: Сов.радио, 1978, 83 с.
3. Уэдд Э. Волоконно-оптические датчики. М.: Техносфера. 2008, 148 с.
4. Титов А.А. Измерение торцевого износа ротора. Измерительная техника №6, 2013 с.40
5. Чепчуров М.С., Хуртасенко А.В., Маслова И.В. Автоматизированный контроль прогиба державки режущего инструмента при токарной обработке. Вестник Брянского государственного технического университета. 2009, №2(22), с.13-16.

Дата поступления статьи: 25 мая 2016 года.