

УДК 620.1.08

Г.А. Оборский, д-р техн. наук, Ю.Г. Паленный, В.П. Гугнин, канд. техн. наук,
Л.М. Перпери, канд. техн. наук, А.М. Голобородько, Одесса, Украина

БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

У статті проведено аналіз джерел похибок контактних і безконтактних перетворювачів з метою створення методу безконтактного вимірювання відносних переміщень інструмента і деталі в процесі різання.

В статті проведено аналіз источников погрешностей контактных и бесконтактных преобразователей с целью создания метода бесконтактного измерения относительных перемещений инструмента и детали в процессе резания.

The article describes the analysis of error sources of contact and non-contact sensors, the aim is to develop a method for non-contact distance measurement tool relative to details in the process of cutting.

Введение. Погрешность обработки детали режущим инструментом не в последнюю очередь зависит от точности позиционирования инструмента и детали при обработке. Современное оборудование позволяет обеспечивать позиционирование инструмента с достаточно высокой точностью, однако, в процессе обработки возникают факторы, которые могут значительно снизить точность полученной детали [1].

К таким факторам относятся:

- биение шпинделя вследствие износа подшипников;
- недостаточная жесткость одного или нескольких элементов технологической системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка»;
- износ инструмента и погрешность его установки;
- температурные деформации технологической системы;
- правильный выбор смазывающе-охлаждающей технологической среды.

Постановка задачи. Актуальными являются вопросы, связанные с созданием метода, которые позволят производить измерения взаимного перемещения инструмента и обрабатываемой детали процессе обработки.

Все эти факторы в разной степени влияют на погрешность обработки и для оценки этого влияния необходимо выбрать метод измерения погрешности, непосредственно в процессе резания, существенно

понижающий погрешность измерения и позволяющий осуществлять управление точностью обработки. Или создать новый метод, в значительной степени лишенный недостатков существующих, что и является целью данной работы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор аналогов;
- определить недостатки контактных и бесконтактных датчиков;
- провести анализ источников погрешности контактных и бесконтактных датчиков.

Обзор аналогов. Поскольку процесс резания не является стабильным во времени, то с целью изучения всего процесса резания, измерения целесообразно производить непрерывно и фиксировать все получаемые результаты измерений всей протяженности процесса резания. В связи с этим, в работе не рассматриваются средства измерительной техники, такие как индикаторы часового типа, микаторы, микрометры, которые не подключаются к регистрирующим приборам.

Для измерения взаимного перемещения инструмента и детали используют, преобразователи перемещений, которые подключают к регистрирующим приборам. К таким преобразователям относят: индуктивные, трансформаторные, емкостные или оптико-электронные датчики [2, 3, 5, 7].

При измерении перемещений с помощью индуктивных, трансформаторных и емкостных преобразователей корпус преобразователя закрепляется неподвижно относительно объекта измерения, а изменение положения объекта измерения определяется измерительным стержнем преобразователя. Измерительный стержень преобразователя с одной стороны контактирует с объектом измерений, а с другой стороны воздействует или на сердечник катушки индуктивного преобразователя, или на якорь трансформатора, или на пластину емкостного преобразователя [2, 3, 7].

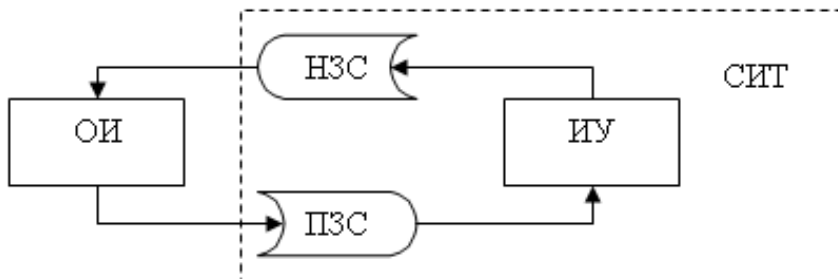
Измерение перемещений оптико-электронными преобразователями линейных и угловых перемещений проводится аналогично, с той лишь разницей, что измерительный стержень перемещает пластину со штрихами, а электронное отсчетное устройство преобразователя считывает штрихи [4, 6, 7].

Недостатки контактных преобразователей. Перечисленные методы можно отнести к контактным методам измерений, поскольку измерительный стержень контактирует с поверхностью объекта измерений. Применение контактных преобразователей перемещений позволяет выполнять измерения с достаточно высокой точностью, однако такие преобразователи плохо выдерживают внешние факторы, которые возникают в процессе резания,

такие как линейные ускорения, механические удары, вибрация, высокая температура, наличие смазывающе-охлаждающей технологической среды.

Недостатки бесконтактных преобразователей. Применение преобразователей основанных на ультразвуковых, электромагнитных, емкостных, электростатических и ионных эффектах позволяет решить ряд задач, связанных с проблемами контакта физических тел средствами измерительной техники с объектом измерений. Однако их точность существенно ниже, чем точность контактных преобразователей.

Анализ источников погрешности контактных и бесконтактных преобразователей. Процесс измерения это всегда взаимодействие средства измерительной техники (СИТ) с объектом измерений (ОИ). Такое взаимодействие происходит, как правило, через специально предназначенные для этой функции элементы СИТ – через звенья связи. Обобщенная структурная схема измерений перемещений представлена на рис. 1.



ОИ – объект измерений; ПЗС – подвижное звено связи;
ИУ – измерительное устройство; НЗС – неподвижное звено связи;
СИТ – средство измерительной техники

Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема измерений перемещений

При выполнении операций измерений информация о размере передается от объекта измерений на измерительное устройство (ИУ) через подвижное звено связи (ПЗС). Подвижное звено связи это: в микрометре – подвижная пятка; в индикаторе часового типа и индуктивном преобразователе – стержень, связанный с соответственно часовым механизмом и сердечником катушки индуктивности и так далее. Измерительное устройство в указанных СИТ это микрометрический винт со шкалой на барабане микрометра, часовой механизм со шкалой у индикатора часового типа или катушка индуктивности с сердечником в индуктивных преобразователях. НЗС это: скоба микрометра, корпус индикатора часового типа или индуктивного преобразователя перемещений и индикаторная стойка на которой они крепятся.

В процессе измерений ОИ взаимодействует с ИУ через ПЗС и НЗС. Величина взаимодействия определяется измерительным усилием, которое воздействует как на ОИ так и на звенья связи. Результатом такого взаимодействия будет:

- изменение размеров ОИ вызванное смятием микронеровностей или деформацией объекта измерений;
- износ элементов звеньев связи контактирующих с ОИ;
- изменение частоты и амплитуды колебаний ОИ если его масса сравнима с массой ПЗС.

Кроме того следует учитывать, что измерительная информация не может быть передана от ОИ к ИУ с частотой большей, чем собственная частота колебаний ПЗС.

В связи с вышеперечисленным для СИТ величину измерительного усилия обычно минимизируют, а элементы звеньев связи, которые контактируют с ОИ изготавливают из высокопрочных материалов. Так, например, пятки микрометров и наконечники индикаторов изготавливают из твердосплавных материалов.

Для снижения собственной частоты колебаний подвижных элементов СИТ необходимо снижать массу ПЗС. Ограничением в снижении массы ПЗС является необходимость обеспечения жесткости и прочности конструкций этих элементов. Все это накладывает ограничения на использование подобных СИТ для измерения перемещений в процессе резания (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние физических свойств звена связи на СИТ и процесс измерения

Физическое свойство звена связи	Влияние на СИТ и на процесс измерения
Твердость	Уменьшение износостойкости СИТ
Температурное расширение	Зависимость результата измерений от изменения температуры
Теплопроводность	Температурное воздействие на ИУ
Масса	Ограничение передаваемых частот
Размер	Ограничение способа установки СИТ

Перечисленные задачи решаются с помощью применения бесконтактных СИТ. Бесконтактными такие СИТ можно назвать условно, поскольку контакт все же существует, с тем лишь отличием, что ПЗС является не физическим объектом, а полем. Различают следующие виды полей: электрическое, магнитное и гравитационное. Гравитационное поле, как правило, не применяют для измерений, поскольку сила гравитационных

взаимодействий очень мала и ее сложно использовать в СИТ. В некоторых СИТ используются электромагнитные поля, возникающие в колебательных системах.

Использование в качестве ПЗС полей, а не физических объектов, позволяет исключить влияние на процесс измерений таких величин как масса, твердость, теплопроводность, частота собственных колебаний ПЗС. Таким образом, преобразователи перемещений, у которых измерительная информация передается от ОИ к ИУ посредством поля, а не физического объекта обладают рядом преимуществ.

Поля, так же как и физические объекты обладают определенными свойствами, которые с одной стороны могут быть использованы для получения измерительной информации, а с другой стороны могут привносить неопределенность в результаты измерений. При проектировании бесконтактных преобразователей перемещений необходимо учитывать следующие свойства полей:

- отсутствие четких границ взаимодействия поля с физическими объектами или с другими полями;
- нелинейность силовых линий в пространстве;
- магнитная и электрическая проницаемость среды;
- взаимодействие полей с электрическими зарядами;
- возникновение внешних полей в результате движения электрических зарядов.

Отсутствие четких границ полей связано с тем, что полям сложно придать определенную форму, так как это мы обычно делаем с физическими объектами. Для того, что бы учесть возможность взаимодействия поля с объектами не участвующими в измерительном процессе необходимо провести тщательный анализ, как конструкции преобразователя, так и всей измерительной системы, включая объект измерений.

Форма полей не всегда бывает очевидной, поэтому при планировании эксперимента целесообразно производить моделирование процесса измерений, например с помощью программы QuickField компании Tera Analysis Ltd для анализа схемы измерений и максимального исключения неопределенностей измерений.

Свойство нелинейности силовых линий поля в пространстве может быть использовано как способ получения измерительной информации. Например, определяя изменение силы взаимодействия двух электрических зарядов можно делать заключение об изменении расстояния между этими объектами. То же можно сказать и о взаимодействии магнитных полей.

Наличие достаточно чувствительных датчиков для измерения напряженности магнитного поля позволяет изготавливать на их базе бесконтактные преобразователи перемещений, в которых подвижное звено связи является магнитным полем.

Измерение перемещений с помощью постоянного магнитного поля может быть реализовано способами, представленными на рис. 2 и 3.

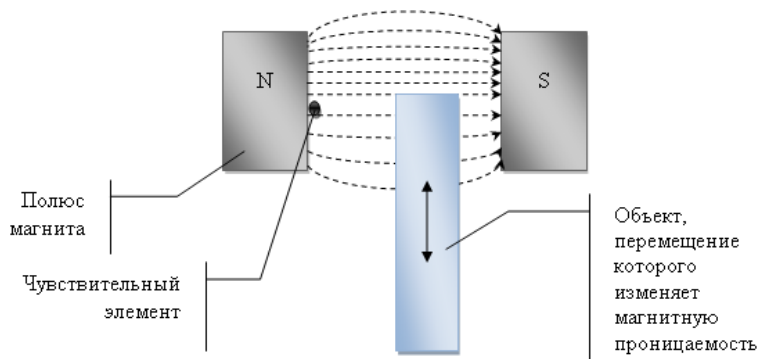


Рисунок 2 – Измерение, основанное на принципе изменения магнитной проницаемости среды

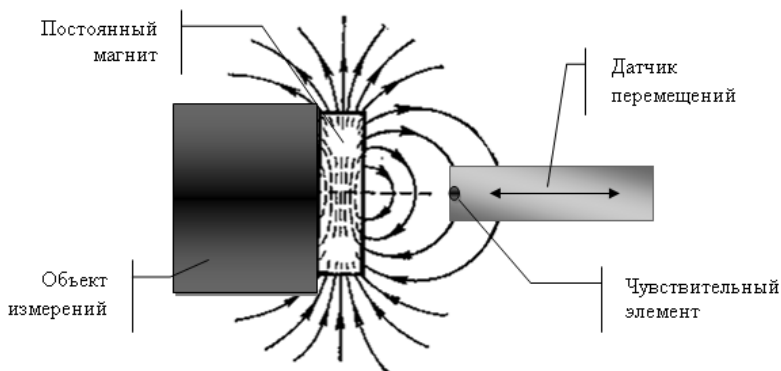


Рисунок 3 – Измерение, основанное на принципе перемещения чувствительного элемента в неоднородном магнитном поле

При использовании магнитного поля в качестве подвижного звена связи возникает ряд факторов, которые могут влиять на результат измерений:

- наличие собственных магнитных полей объекта измерений;
- возникновение вихревых магнитных и электрических полей, величина которых может оказать существенное влияние на результаты измерений;
- намагничиваемость и гистерезис намагничиваемости ферромагнетиков;

– воздействие магнитного поля на движущиеся заряды.

Выводы. Таким образом, для повышения точности бесконтактных преобразователей перемещений используемых для проведения измерений в процессе резания, необходимо провести детальное изучение источников погрешностей связанных со свойствами магнитных и электрических полей и их взаимодействия с дестабилизирующими факторами, возникающими в процессе резания.

Список использованной литературы: 1. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с. 2. Оборский Г.О., Слободяник П.Т., Костенко В.Л., Антошук С.Г. Вимірювання фізичних величин: навчальний посібник: за ред. проф. Оборського Г.О. – Одеса : Астропринт, 2012. – 400с. 3. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин: Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 320 с. 4. Клевец С.И. Принципы преобразования физических сигналов в датчиках систем сбора и обработки информации. Часть 1: Учебное пособие. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 96 с. 5. Евстихеев Н.Н., Купершмидт Я.А., Папуловский В.Ф., Скугоров В.Н.; Под общ. ред. Евстихеева Н.Н. Измерение электрических и не электрических величин: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с. 6. Коротаев В.В., Прокофьев А.В., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений. Часть 1. Оптико-электронные преобразователи линейных перемещений /Учебное пособие. –СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 114 стр. 7. Индуктивные преобразователи для линейных измерений М. И. Этингоф ОАО «НИИИзмерения», Москва, Россия. http://dopusk.net/?page_id=806

Bibliography (transliterated): 1. Reshetov D.N., Portman V.T. Tochnost' metallorzhushhih stankov. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 336 s. 2. Oborskiy G.O., Slobodyanik P.T., Kostenko V.L., Antoschuk S.G. Vimiryuvannya fizichnih velichin: navchalnyi posibnik: za red. prof. Oborskogo G.O. – Odessa : Astroprint, 2012. – 400 s. 3. Spektor S.A. JElektricheskie izmereniya fizicheskikh velichin: Ucheb. posobie dlja vuzov. L.: JEnergoatomizdat, 1987. – 320 s. 4. Klevcov S.I. Principy preobrazovaniya fizicheskikh signalov v datchikah sistem sbora i obrabotki informacii. CHast' 1: Uchebnoe posobie. - Taganrog: Izd-vo TTI JUFU, 2007. – 96 s. 5. Evtiheev N.N., Kupershimdt JA.A., Papulovskij V.F., Skugorov V.N.; Pod obshh. red. Evtiheeva N.N. Izmerenie jelektricheskikh i ne jelektricheskikh velichin: Ucheb. posobie dlja vuzov. – М.:JEnergoatomizdat, 1990. – 352 s. 6. Korotaev V.V., Prokofev A.V., Timofeev A.N. Optiko-jelektronnye preobrazovateli linejnyh i uglovyh peremeshhenij. CHast' 1. Optiko-jelektronnye preobrazovateli linejnyh peremeshhenij /Uchebnoe posobie. –SPb: NIU ITMO, 2012. – 114 str. 7. Induktivnye preobrazovateli dlja linejnyh izmerenij M. I. Jetingof OAO «NIИizmereniya», Moskva, Rossiya. http://dopusk.net/?page_id=806

Поступила в редколлегию 30.06.2015