

Способы прогнозирования периода стойкости режущих инструментов

Артём Гамов (denisenko@arbelosnpp.ru)

В статье рассмотрены способы прогнозирования периода стойкости режущего инструмента. Выявлены недостатки существующих методов и предложен альтернативный способ прогнозирования стойкости.

Введение

Для промышленных предприятий актуальны задачи снижения трудоёмкости операций и себестоимости изготовления деталей с обеспечением заданных показателей качества, поэтому технологические бюро ведут постоянный поиск путей совершенствования технологических процессов изготовления деталей с учётом возможностей, предоставляемых современным оборудованием и высокопроизводительным инструментом, информационным и программным обеспечением. В условиях современного производства чрезвычайно важным является определение момента замены инструмента, с помощью которого производится механическая обработка заготовок на станках с ЧПУ.

Основная часть

В настоящее время производственники пытаются повысить эффективность замены режущего инструмента с применением статистических методов, отслеживая время работы инструмента и, для страховки, оставляя неиспользованными 20–30% от ресурса режущего инструмента [1, 2]. Такой вариант допустим при достаточно стабильных параметрах и качестве инструмента. Для отечественного инструмента задача осложнена тем, что стойкость инструмента даже одной партии имеет довольно широкий разброс. Кроме того, на современных машиностроительных предприятиях широко применяют сборные режущие инструменты, содержащие несколько режущих пластинок, имеющих разную стойкость. Всё это повышает риск получения брака или поломки инструмента в процессе резания, чего производитель не желает допустить, особенно при обработке заготовок из дорогостоящих материалов. Кроме того, такие ситуации недопустимы, когда обработка заготовок продолжается в течение длительного времени: неисправимый брак почти готовой детали, вызванный поломкой

инструмента, может привести к слишком большому финансовым потерям.

Способы прогнозирования периода стойкости режущих инструментов можно разделить на три группы.

В первую группу входят способы, основанные на измерении некоторых характеристик процесса резания, например, термо-ЭДС, силы резания и т.п., связанных со стойкостью инструмента. Для реализации этих способов необходимо кратковременное проведение процесса резания данным инструментом в условиях, близких к эксплуатационным. Существенным недостатком этой группы прогнозирования являются затраты времени, труда, материалов, связанные с необходимостью проведения процесса резания.

Ко второй группе относятся способы, основанные на различных теоретических моделях изнашивания режущих инструментов. Аналитические методы прогнозирования лишены недостатков, присущих первой группе, но, как правило, формулы для расчёта периода стойкости имеют трудноопределимые или неизвестные параметры.

В третью группу входят способы, основанные на связи стойкости инструмента с каким-либо физическим свойством инструментального материала, количественные характеристики которого могут быть измерены без проведения резания. Способы третьей группы достаточно легко и быстро реализуются с помощью универсальной или специальной аппаратуры.

Методы прогнозирования периода стойкости режущего инструмента, основанные на использовании параметров, характеризующих материал режущего инструмента, базируются на различии численных значений характеристик физико-химических свойств инструментального материала в зависимости от колебаний его состава, структуры и параметров процесса изготовления. Эти методы позволяют получить информацию, необходи-

мую для прогнозирования вне процесса резания, например, на стадии изготовления режущего инструмента.

Имеются различные подходы к осуществлению таких методов прогнозирования. Так, в работе Э.С. Горкунова [6] отмечается, что структурные изменения в твёрдых сплавах влияют как на прочностные, так и на магнитные свойства, и предполагается, что по магнитным свойствам можно оценивать не только твёрдость, предел прочности, но и специальные эксплуатационные свойства, такие как стойкость режущего инструмента. При обработке углеродистой стали У7 твердосплавными пластинами (10% Co, 75% WC и 15% (TiC, TaC, NbC)) пластины с меньшей коэрцитивной силой имеют более высокую степень износа. Сопоставление результатов испытаний со структурой сплавов показало, что для образцов с меньшей коэрцитивной силой характерны более крупные прослойки кобальтовой связки и что для этих образцов характерна меньшая плотность и твёрдость [6]. Недостатком этого метода является сложность определения коэрцитивной силы образцов больших размеров и (или) сложной формы. Также этот метод применим только к магнитным материалам.

В исследовании А.М. Пинахина [8] приведены результаты исследований закономерностей изнашивания инструмента после импульсной лазерной обработки (ИЛО). Полученные результаты говорят о наличии многократной приработки инструмента в процессе изнашивания. Это способствует повышению износостойкости инструмента против абразивного изнашивания и хрупкого разрушения.

Существующая концепция, согласно которой после ускоренного износа начинается стадия катастрофического износа с прогрессирующей потерей режущих свойств для твердосплавного инструмента, прошедшего ИЛО, не всегда находит экспериментальное подтверждение. Для большинства режущих инструментов, прошедших ИЛО, износостойкость в процессе приработки повышается.

Следует внести также коррективу и в величину критерия затупления твёрдо-

сплавного инструмента, прошедшего ИЛО. Так, результаты опытных данных [8] показали, что критерий затупления увеличился в 4-5 раз по сравнению с нормативным. Благодаря этому существенно увеличивается продолжительность работы инструмента, в основном, за счёт повышения прочности твёрдого сплава.

Влияние динамических взаимодействий в технологических системах на износ инструмента исследовал Г.О. Оборский [10]. Износ рабочих поверхностей инструмента представляет собой сложный физико-химический процесс разрушения и состоит из следующих физических явлений: упругих и пластических деформаций, структурных изменений, молекулярных взаимодействий, тепловых и термоэлектрических процессов. Автор выявил зависимости стойкости инструмента от амплитуды колебаний. Эти зависимости имеют вид кривых с ярко выраженными экстремумами. Наибольшая стойкость наблюдается при определённой амплитуде колебаний. Как увеличение, так и уменьшение амплитуды колебаний приводят к резкому снижению стойкости. Такой эффект возникает в результате воздействия следующих противоположных факторов. С одной стороны, автоколебания, возникающие в процессе резания, так же, как и специально возбуждаемые в зоне резания вынужденные колебания, приводят к облегчению пластической деформации, уменьшению коэффициента трения по поверхностям инструмента, к заметному снижению силы резания и, следовательно, к уменьшению интенсивности изнашивания. С другой стороны, циклическое нагружение инструмента при увеличении интенсивности автоколебаний, начиная с определённого уровня, вызывает усталостное разрушение режущей кромки [12]. При этом стойкость инструмента снижается. Положение точки экстремума, соответствующее максимуму стойкости, зависит от условий резания и характеристик обрабатываемого и инструментального материалов.

Общим недостатком методов прогнозирования стойкости с помощью параметров, характеризующих материал режущего инструмента, является то, что анализ физико-химических показателей материала инструмента позволяет судить об относительной стойкости одного режущего инструмента по сравнению с другим. Для установления корреляционной связи физико-химических показателей со стойкостью необходимо дополнительное проведе-



Рис. 1. Схема построения ЦД

Результаты оценки систем

Параметры для сравнения	Системы					
	PROMETEC Promos (Германия)	NORDMANN (Швейцария)	MONTRONIX Diagnostic Tools (Германия)	Brankamp iMBoard (Германия)	Brankamp CMS (Германия)	СТАНКИН Machine Tool Diagnostics (Россия)
Способ отображения результатов	График зависимости сила/время	График зависимости сила/время	График зависимости сила/время	График зависимости сила/время	Текстовая индикация	График зависимости сила/время
Интеграция с системами ЧПУ	SINUMERIK 810D/840D	SINUMERIK 840D, REXROTH FUNUC	SINUMERIK 810D/840D	SINUMERIK 810D/840D	Автономный модуль	SINUMERIK 840D AxiOMA
Диагностические данные	Силы RxpRypPx АЗ, мощности, вибродатчики	Силы RxpRypPx АЗ, мощности, вибродатчики, дистанционный	Силы RxpRypPx АЗ, мощности, вибродатчики	Работа с различными датчиками	АЗ и продольной деформации	Силы RxpRypPx
Реализация функции прогнозирования в реальном времени	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Реализована
Реализация функции диагностики режущего инструмента в реальном времени	Реализована	Реализована	Реализована	Реализована	Реализована	Реализована
Независимость от системы ЧПУ	Только встроенная версия	Только встроенная версия	Только встроенная версия	Только встроенная версия	Автономный модуль	Возможна реализация в виде автономного модуля
Возможность использования различных диагностических алгоритмов	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Не реализована	Реализована

ние стойкостных испытаний с использованием заготовок из требуемого материала. Не исключено, однако, что в будущем можно будет судить о стойкости на основании комплексного анализа физико-химических показателей режущего и обрабатываемого материалов без проведения дополнительных стойкостных испытаний.

Группа учёных из НГТУ им. Р.Е. Алексеева разработала цифровой двойник режущего инструмента для механо-обрабатывающего производства [9]. Модель режущего инструмента построена на основе нейросетевого моделирования (рис. 1). Показано, что разработанная виртуальная модель ещё до реализации реального процесса изготовления режущего инструмента путём варьирования входных данных искусственной нейронной сети даёт возможность оптимизировать состав и структуру износостойкого покрытия и определять режимы обработки, обеспечивающие максимальную износостойкость режущего инструмента. Циф-

ровой паспорт режущего инструмента позволит потребителю избежать покупки контрафактного изделия.

Из данного исследования следует вывод, что НС позволяют моделировать износостойкость выбранного РИ и состав покрытия на стадии разработки нового технологического процесса без проведения трудоёмких стойкостных испытаний.

На рынке существует множество диагностических систем, отвечающих за надёжность и контроль процесса механической обработки изделий в автоматизированном производстве и использующих разные принципы и подходы. Многообразие существующих решений обусловлено разбросом критериев оценки износа инструмента и отсутствием единого подхода, соответствующего технологическим задачам и техническим возможностям конкретных технологических комплексов и оборудования. Результаты оценки основных систем, представленных на рынке, сведены в табл. [7].



Рис. 2. Архитектурная модель системы диагностики и прогнозирования состояния режущего инструмента в реальном времени

Зарубежные системы, как правило, ориентированы только на диагностику износа режущего инструмента, а прогноз остаточной стойкости не производится. Отечественные коммерческие решения для диагностики инструмента в реальном времени практически отсутствуют [3, 4].

По результату анализа удалось выявить, что входными параметрами для отслеживания износа будут составляющие силы резания, температура и звуковые сигналы, в том числе и вибрация. Следовательно, нужны датчики: вибродатчик, датчик акустической эмиссии, тензометрический и т.д. После этого полученные сигналы можно передать в наше «ядро», где будет происходить прогнозирование и диагностика в реальном времени. Такой метод применяет А.А. Козлов [7]. Отличие процедуры прогнозирования заключается в формировании обучающей выборки из исходного массива измерений. С учётом всех требований представлена архитектурная модель системы диагностики и прогнозирования состояния режущего инструмента в реальном времени (рис. 2).

В процессе обучения на вход НС подаётся вектор параметров технического состояния электромеханической системы из последовательных значений временного ряда интервала наблюдения. Вектор состоит из тех параметров, которые нам необходимо прогнозировать, соответственно, для прогноза выбирается и тот интервал времени, на котором значения параметров ТС известны. Выходной вектор НС формируется из значений временного

ряда интервала упреждения прогноза (интервала времени, на который разрабатывается прогноз) [5].

Предлагаемый способ диагностики и прогнозирования станков с ЧПУ с использованием программы «ЭМС-НС» позволяет оценивать состояние ЭМС, принимать своевременные корректирующие действия, снизить потери от отказов и может быть рекомендован к внедрению на предприятиях для диагностики и прогнозирования работоспособности электроприводов различных станков с ЧПУ.

Заключение

Подход А.А. Козлова позволяет использовать базу данных с эталонными данными, с данными о физико-химических свойствах материалов, а использование НС позволяет делать прогноз без дополнительных испытаний. Исследование Ю.Г. Кабалдина [9] показало, что НС позволяют симулировать износостойкость выбранного РИ и состав покрытия на стадии разработки нового технологического процесса без проведения трудоёмких стойкостных испытаний. Если взять концепцию цифрового двойника и внедрить в архитектурную модель системы диагностики и прогнозирования состояния режущего инструмента, то получится эффективная система прогнозирования износостойкости режущего инструмента. С её помощью замена инструмента будет производиться с минимальным запасом стойкости, что позволит уменьшить затраты на производство единицы изделия.

Литература

1. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надёжность и диагностика технологических систем: учебник. М.: Высшая школа, 2005. 343 с.
2. Черпаков Б.И., Григорьев С.Н. Тенденции развития технологического оборудования в начале XXI века // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 10. С. 2–7.
3. Тимофеев В.Ю., Зайцев А.А., Крутов А.В. Модель устройства диагностики металло-режущего инструмента по сигналу термо-ЭДС // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 5. С. 42–45.
4. Зориктуев В.Ц., Никитин Ю.А., Сидоров А.С. Мониторинг и прогнозирование износа режущего инструмента // СТИН. 2007. № 10. С. 31–34.
5. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ имени Баумана, 2002. 320 с.
6. Горкунов Э.С., Ульянов А.И. Магнитные свойства и методы контроля изделий из порошковых вольфрамкобальтовых твёрдых сплавов // Дефектоскопия. 1995. № 2. С. 15–42.
7. Козлов А.А., Аль-Джонид Халид. Диагностика и прогнозирование износа режущего инструмента в реальном времени // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 4. С. 2–4.
8. Пинахин А.М., Пинахин И.А., Иванова А.С., Левченко А.А. Кинетика изнашивания твердосплавного режущего инструмента // Сборник научных трудов: Серия «Естественно-научная». Ставрополь: СевКавГТУ, 2004. № 1.
9. Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Кузьмишина А.М. Разработка цифрового двойника режущего инструмента для механообработывающего производства // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2019. № 4. С. 11–17.
10. Оборский Г.А., Оргиян А.А. Влияние динамических взаимодействий в технологических системах на износ инструмента // Труды Одесского политехнического университета. 2005. Вып. 1(23). С. 1–6.
11. Остатчук А.К., Маслов Д.А., Овсянников В.Е. и др. Применение виброакустики для контроля износа режущего инструмента // Естественные и технические науки. 2009. № 2. С. 266–268.
12. Каширская Е.Н. Влияние усталостных напряжений на стойкость металлорежущего инструмента // Актуальные проблемы механики сплошной среды: Труды II междунар. конф. (в 2 т.). Т. 1. Ереван, 2010. С. 283–286.





ЛАБОРАТОРИЯ ИСПЫТАНИЙ

ЭКБ И РЭА

АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ ШИРОКИЙ СПЕКТР ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ (ЭКБ) И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (РЭА)

Для обеспечения качественной поставки ЭКБ проводятся:

- ☒ Входной контроль
- ☒ Отбраковочные испытания
- ☒ Климатические испытания
- ☒ Механические испытания
- ☒ Диагностический неразрушающий контроль
- ☒ Разрушающий физический анализ
- ☒ Испытания по оценке надежности ЭКБ
- ☒ Проверка на отсутствие признаков контрафактной продукции

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- ГОСТ РВ 20.57.416
- ГОСТ РВ 20.57.305
- ГОСТ РВ 20.57.306
- ГОСТ РВ 20.57.414
- ГОСТ Р 51293-99
- ГОСТ 20.57.406
- ГОСТ 9.048
- ОСТ В 11.073.013
- КТ-160G

АККРЕДИТАЦИЯ

- СДС «ЭЛЕКТРОНСЕРТ»
№ЭС 01.061.0140-2021 от 25 июня 2021 г.
- СДС «ВОЕННЫЙ РЕГИСТР»
№ВР АА.7.41.0040-2017 от 26 мая 2017г.
- Межгосударственный авиационный комитет - Авиационный регистр (АРМАК)
от 21 октября 2016 г.
- Аттестат Росавиации от 22 ноября 2021 г.

Реклама



+7 (495) 657-87-37



tp@test-expert.ru
www.test-expert.ru



125480, г. Москва,
ул. Планерная, д. 7А