УДК 621.9

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-3-238-22-26

А. Р. Ингеманссон

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
И РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ
В ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ**

АО «Федеральный научно-производственный центр “Титан-Баррикады”»

E-mail: aleing@yandex.ru

Подтверждена возможность адаптивного управления стабильностью деформированного состояния поверхностного слоя обработанных деталей и стабильностью работоспособности режущих инструментов в цифровых производственных системах.

Ключевые слова: сила резания, адаптивное управление, поверхностный слой, износ инструмента.

© Ингеманссон А. Р., 2020.

A. R. Ingemansson

THE ABILITY RESEARCH OF ADAPTIVE CONTROL OF SURFACE INTEGRITY DEFORMED CONDITION AND WORKING PERFORMANCE OF INSTRUMENTS IN DIGITAL PRODUCTION SYSTEMS

JSC «Federal Scientific and Production Centre "Titan-Barricady"»

The ability of adaptive control of stability of machined parts surface integrity deformed condition and stability of working performance of cutting instruments in digital production systems is justified.

Keywords: cutting force, adaptive control, surface integrity, tool wear.

Управление стабильностью упрочненного состояния поверхностей, получаемых механической обработкой, и стабильностью работы режущих инструментов является актуальной научно-практической задачей. Построение цифровых производственных систем (ЦПС) в механообработывающем производстве, т. е. производственных систем, основанных на интеграции современных информационно-вычислительных технологий, наукоемкого оборудования и машиностроительных технологий, требует решения данной проблемы.

После разработки математических моделей для технологической подготовки производства (ТПП) и адаптивного управления (АУ) [1] были выполнены экспериментальные исследования

по АУ обработкой резанием с целью реализации стабильной работоспособности инструментов на участках станков с ЧПУ.

Зависимость роста площадки износа h_z по главной задней поверхности от пройденного режущей кромкой сменной многогранной пластины (СМП) пути при точении представлена на рис. 1. В качестве критерия износа, при котором должна производиться смена инструмента на станке с ЧПУ, при предварительном точении принято $h_z = 0,8$ мм.

Характер изменения силы резания P_z , выраженной из величины мощности на приводе главного движения ОЦ, при выполненных исследованиях изнашивания инструмента представлен на рис. 2.

Рис. 1. Зависимость изменения критерия h_z от пути резания (Сталь 40Х (твердость НВ 300) – твердый сплав с покрытием NC3215; $t=2$ мм; $v=120$ м/мин; $s_0=0,5$ мм/об; обработка без СОЖ на токарном ОЦ)

Рис. 2. Характер изменения силы резания P_z от пути резания (Сталь 40Х (твердость НВ 300) – твердый сплав NC3215; $t=2$ мм; $v=120$ м/мин; $s_0=0,5$ мм/об; обработка без СОЖ на токарном ОЦ)

Оценка полученных экспериментальных данных показывает, что предложенные математические модели [1] для ТПП и АУ с достаточной степенью точности описывают процесс обработки. Расчетное значение силы резания, определенное согласно рекомендаций [1], для режимов и условий рис. 1 и 2 составляет 9296 Н. Значение силы резания, полученное экспериментальным путем, при точении новой кромкой СМП (первая точка на графике (рис. 2) составляет 8523 Н, а при достижении заданной величины износа $h_z = 0,8$ мм (последняя точка на графике (рис. 2) равно 8883 Н. Таким образом, погрешность расчетного аппарата [1] составляет 9,07 и 4,65 % соответственно, что приемлемо для практического применения.

Разработанные математические модели для определения силы резания (нагрузки на инструмент) позволяют выполнять АУ процессом резания в ЦПС с целью обеспечения заданной работоспособности инструментов. АУ по величине силы резания за счет ее вычисленной нормативной величины, занесенной в систему ЧПУ станка, позволяет обеспечивать работу инструмента в стабильных условиях в период нормального изнашивания, нивелируя влияние колебаний припуска и твердости материала заготовки.

Были выполнены исследования с целью определения возможности АУ в ЦПС стабильностью деформированного состояния поверхностного слоя обработанных деталей. Проведены работы по определению поверхностной микротвердости HV, глубины h_n и степени наклепа

U_n на деталях, обработанных точением, при применении новой твердосплавной СМП и изношенной ($h_z = 0,8$ мм). Выполнялось продольное точение на проход стали 40Х (твердость HB 300) без СОТС СМП CNMG 120408 из твердого сплава с покрытием NC3215 на следующих режимах: глубина резания $t = 2$ мм, скорость резания $v = 120$ м/мин; подача $s_0 = 0,5$ мм/об. Сила резания P_z при обработке свежей режущей кромкой равнялась 8439 Н, при обработке изношенной кромкой – 8883 Н.

На металлографическом микроскопе мод. МЕТАМ ЛВ-41 (АО «ЛОМО», г. Санкт-Петербург) выполнялось исследование глубины наклепа h_n . С применением микротвердомера мод. KB-30S («KB Pruftechnik GmbH», Германия) производилось определение глубины наклепа h_n , поверхностной микротвердости HV и степени наклепа U_n наклепа на образцах из тела деталей.

Экспериментальные исследования обнаружили следующие зависимости. После токарной обработки свежей режущей кромкой глубина наклепа лежит в диапазоне 0,019–0,022 мм (рис. 3), изношенной режущей кромкой – в диапазоне 0,04–0,043 мм (рис. 4). Таким образом, при прочих равных условиях изменение силы резания вследствие колебания припуска, твердости обрабатываемого материала и изнашивания инструмента вызывает изменение деформированного состояния поверхностного слоя обработанных деталей. АУ позволяет обеспечить стабильность указанной характеристики.

Рис. 3. Фотографии образцов под увеличением в 500 и 2000 раз с выделенной зоной металла, которая обладает измененными физико-механическими характеристиками после точения новой режущей кромкой

Рис. 4. Фотографии образцов под увеличением в 500 и 2000 раз с выделенной зоной металла, которая обладает измененными физико-механическими характеристиками после точения изношенной режущей кромкой

Далее был выполнен анализ степени наклепа согласно методике [2].

После обработки новой режущей кромкой микротвердость поверхностного слоя образцов составила 526 HV 0,1, а после обработки изношенным резцом – 549 HV 0,1. Степень наклепа обработанной поверхности относительно ис-

ходной твердости материала заготовки в соответствие с методикой [2] составляет: свежим резцом около 31 %, а изношенным – 37 %.

Ниже приведены результаты, согласно которым после точения свежей режущей кромкой глубина наклепа равна 0,026 мм, а после точения изношенной – 0,044 мм (рис. 5 и 6).

Рис. 5. Распределение микротвердости в поверхностном слое после точения новой режущей кромкой

В проведенных экспериментах смоделировано изнашивание режущего инструмента, имеющее место при механической обработке на ряду с колебаниями припуска и твердости материала детали. Следует отметить, что зна-

чения, полученные при измерениях на микроскопе мод. МЕТАМ ЛВ-41 и микротвердомере мод. КВ-30S, демонстрируют достаточную близость, поэтому выбранная методика исследований является корректной. Выпол-

ненные исследования свидетельствуют о возможности адаптивного управления стабильно-

стью деформированного состояния поверхностного слоя.

Рис. 6. Распределение микротвердости в поверхностном слое после точения изношенной режущей кромкой

Таким образом, АУ процессом резания по величине силы резания P_z с использованием разработанных математических моделей позволяет обеспечить стабильность деформированного состояния поверхностного слоя деталей и стабильность работы режущих инструментов что особо актуально при создании ЦПС в машиностроении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ингеманссон, А. Р. Построение расчетных зависимостей функциональных и выходных параметров токарной обработки для цифровых производственных систем / А. Р. Ингеманссон, Ю. Л. Чигиринский, В. В. Жуков // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (236) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 17–20.
2. Суслов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.