

функциональных возможностей за счет новых оригинальных алгоритмов с использованием современных информационных технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Драган А.В. Оценка плавности работы прямозубой зубчатой передачи по данным кинематического контроля // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2000. – № 4. – С. 2-6.
2. Dragan A. Methods and means of gears diagnostics on kinematics and vibration criteria // Proceedings of the International conference "Power transmission'03" / Balkan association of power transmission. – Varna (Bulgaria), 2003. – Vol. 3. – P. 93–97.
3. Alexander V.Dragan, Andrew S. Scorohodov, Vera S. Alexandrova Kinematic Criteria of Smoothness of Work of Cylindrical Gear Wheels // Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, Tianjin university, 1–4 april 2004 / Edited by Tian Huang. – Tianjin (China), 2004. – Vol. 2. – P. 773–776.
4. Басинюк В.Л., Драган А.В., Басинюк Я.В., Мардосевич Е.И., Усс И.Н. Влияние кинематической погрешности прямозубых зубчатых передач на динамическую нагруженность зубьев // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2004. – №4. – С. 6-11.
5. Абрамов Б.М. Колебания прямозубых зубчатых колес. Харьков.: Издательство харьковского университета, 1968. – 175 с.
6. Берестнев О.В., Гоман А.М., Ишин Н.Н. Аналитические методы механики в динамике приводов. – Мн.: Наука і тэхніка, 1992. – 238 с.
7. Гавриленко В.А. Основы расчета точности эвольвентной зубчатой передачи. М.: Машиностроение, 1969.- 431с.
8. Штриплинг Л.О. Учет параметрических колебаний при расчете кинематической погрешности цилиндрической зубчатой передачи. // Известия вузов. Машиностроение. 1997. - №4-6, с.39-48.

УДК 621.941.23

Капитальян И.А., Шпак А.В.

ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЗАНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Введение. Одной из приоритетных задач современного машиностроения является автоматизация мелкосерийного и серийного производства. В настоящее время эта задача решается главным образом путем внедрения станков и станочных комплексов с числовым программным управлением (ЧПУ). Относительная доля оборудования с ЧПУ в станочном парке предприятий машиностроения постоянно возрастает, и в этой связи все более актуальными становятся вопросы их эффективной эксплуатации. Одним из путей решения этой задачи является применение методов обработки, основанных на преднамеренном введении в процесс резания кинематической неустойчивости, которая достигается преимущественно регулированием подачи и скорости резания. Такие методы применяются при торцовом и фасонном точении, контурном фрезеровании, врезном шлифовании, обработке нежестких заготовок на станках различных типов, кинематическом дроблении стружки [1,2].

Анализ конструктивных особенностей широкой номенклатуры деталей различных классов, формообразование которых производится на станках с ЧПУ, показал, что целесообразно реализовать те изменения подачи, которые могут быть использованы как типовые решения при выполнении различных технологических операций механической обработки. К ним следует отнести линейное изменение подачи в функции пути, а также модулированное изменение подачи и ее прерывание.

Программные модули, реализующие указанные изменения подачи были включены в технологическое программное обеспечение микропроцессорного устройства ЧПУ КМ 65 [3]. При их разработке использован принцип управления, при котором параметр, используемый в качестве управляющего воздействия (подача), изменяется приращениями в функции пути, а уровень сигнала управления между приращениями остается постоянным и определяется частотой управляющих импульсов (формируется в функции времени).

Увеличение (уменьшение) минутной подачи S в функции пути осуществляется приращениями ΔS по мере обработки участков Δl между их приращениями [3]. Управляющие устройства при этом реализуют следующую зависимость:

$$S_K = S_H \pm l \Delta S / \Delta l,$$

где S_H и S_K – начальная и конечная скорости подачи, мм/мин; l – длина перемещения, на которой подача изменяется от S_H до S_K . Величина ΔS принимается из ряда 0,1; 0,2; 0,3 мм/мин и т.д. Величина Δl находится из выражения: $\Delta l = \pm l \Delta S / (S_K - S_H)$ и принимается кратной длине перемещения исполнительного органа станка при подаче устройством ЧПУ одного импульса. Знак “плюс” или “минус” указывает соответственно на увеличение или уменьшение подачи.

Модулированное изменение подачи заключается в периодическом ее увеличении от S_{\min} до S_{\max} , а затем снижении до первоначального значения. Изменение подачи между ее пиковыми значениями производится приращениями величиной ΔS по мере обработки участков Δl между приращениями. Для этого устройство ЧПУ поочередно реализует зависимость $S_{\max} = S_{\min} + n_s \Delta S$ и зависимость $S_{\min} = S_{\max} - n_s \Delta S$, где n_s – число приращений скорости подачи при ее изменении от S_{\min} до S_{\max} . Длина пути разгона (замедления) l_1 при этом определяется из выражения $l_1 = n_s \Delta l$. Величина ΔS назначается из ряда 0,1; 0,2; 0,3 мм/мин и т.д. Величина Δl принимается кратной одной дискрете (перемещению исполнительного органа станка при подаче устройством ЧПУ одного импульса).

Капитальян Иван Алексеевич, доцент, к.т.н. каф. "Технология машиностроения" Белорусского национального технического университета.

Шпак Анна Валерьевна, ассистент каф. "Технология машиностроения", Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013 г. Минск, пр. Независимости, 65.

При таком способе регулирования подачи за время t_s исполнительный орган станка перемещается на расстояние l_{t_s} , которое определяется по следующей зависимости (при разгоне)

$$l_{t_s} = \frac{\Delta S}{\Delta S} \left(e^{\frac{\Delta S}{\Delta t} t_s} S_H + \Delta S - S_H \right).$$

Тогда текущее значение подачи на оборот S_0 в момент времени t_s устанавливается из соотношения

$$S_0 = \frac{S_H \Delta t}{\Delta S} \left(1 - 1/e^{\frac{\Delta S}{\Delta t} t_0} \right) e^{\frac{\Delta S}{\Delta t} t_s},$$

где t_0 – время одного оборота заготовки.

Процесс резания при таком управлении является нестационарным и определяется текущими значениями скорости S и ускорения S' минутной подачи.

Текущее значение минутной подачи S определяется как производная от l_{t_s} по t_s , т.е. $l'_{t_s} = f'(t_s)$ или

$$S = l'_{t_s} = e^{\frac{\Delta S}{\Delta t} t_s} S_H.$$

Тогда производная от S по t_s есть ускорение подачи, т.е.

$$S' = S_H \frac{\Delta S}{\Delta t} e^{\frac{\Delta S}{\Delta t} t_s}.$$

При таком регулировании подачи в широких пределах изменяются геометрические параметры сечения срезаемого слоя, скорость резания, кинематические рабочие углы. Это определяет условия протекания пластического деформирования в зоне резания, приводит к изменению скоростей сдвига и размеров зоны пластической деформации. Как следствие изменяется площадь контакта режущей части резца с металлом и условия трения по передней и задней поверхностям, что отражается на силовом и температурном режимах обработки, стойкости режущего инструмента. От указанных факторов в значительной степени зависят физико-механические свойства обработанной поверхности [4,5]. В этой связи возникает необходимость в исследованиях влияния параметров перемещенной подачи на физико-механические свойства поверхностного слоя металла. Полученные результаты будут полезны при определении закономерностей и диапазонов регулирования подачи с целью повышения эффективности процесса формообразования на станках с ЧПУ, а также при создании адаптивных систем, у которых в качестве управляющего воздействия используется подача.

Экспериментальные исследования выполнялись с использованием станка 1А734Ф3, оснащенного микропроцессорным устройством ЧПУ КМ 65. Обработывались заготовки из стали 40ХН при консольном закреплении в трехкулачковом патроне. Обработка велась подрезно-проходным резцом с механическим креплением трехгранной режущей пластины из твердого сплава Т15К6. Геометрические параметры режущей части: $\varphi = 95^0$; $\varphi_1 = 5^0$; $\alpha = 8^0$; $\gamma = 8^0$; $r = 0,8$ мм. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применялась эмульсия.

Исследования проводились для режимов разгона и замедления (при положительных и отрицательных ускорениях по-

дачи). Формообразование наружной цилиндрической поверхности диаметром 80 мм проводилось при постоянной глубине резания $t = 1$ мм и скоростях резания, соответствующих следующему ряду частот вращения шпинделя: 250; 500; 1000 об/мин. Требуемый режим разгона (замедления) на длине $l = 24$ мм обеспечивался путем задания в кадре управляющей программы расчетного значения $\Delta S = 0,1$ мм/мин. Длина обработки Δl между приращениями подачи назначалась в зависимости от принятого значения частоты вращения шпинделя и была соответственно равна 0,050; 0,025; 0,015 мм.

Физическое состояние поверхностного слоя оценивалось по степени упрочнения (наклепа) N и глубине упрочненного слоя h_H . Для определения степени наклепа использовалась зависимость [6]

$$N = 100(H_{HM} - H_M) / H_M (\%),$$

где H_{HM} – микротвердость обработанного (упрочненного) материала; H_M – микротвердость исходного материала.

Микротвердость измеряли с помощью прибора ПМТ-3 при увеличении 500^x с нагрузкой 1Н. Глубину упрочненного слоя и изменение микротвердости по мере удаления от наружного контура поверхности исследовали по микрошлифу, выполненному в виде лыски шириной b на образце диаметром D . Взаимосвязь расстояния от i -ой контролируемой точки до края лыски c_i (линии пересечения лыски и наружной цилиндрической поверхности образца) с глубиной t_i поверхностного слоя в этой точке устанавливалась по следующей зависимости (рис. 1.)

$$c_i = 0,5 \left(b - \sqrt{(D - 2t_i)^2 - 4a^2} \right).$$

Графики строились по средним значениям тридцати замеров. Интервальная оценка среднего значения, а также сравнительные дисперсии и средних производилось согласно работе [7].

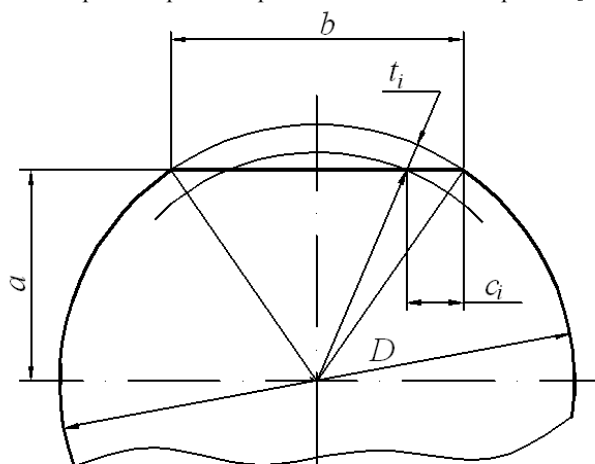


Рис. 1. Расчетная схема для определения глубины упрочненного слоя.

На рис. 2 представлены зависимости микротвердости обработанного металла H_{HM} и глубины упрочненного слоя h_H от подачи при ее увеличении (уменьшении) в функции пути.

Как видно из графиков, при изменении подачи в диапазоне 0,04 – 0,2 мм/об значения H_{HM} и h_H в случае измене-

ния подачи в сторону ее уменьшения несколько выше. Это можно объяснить следующим образом. При точении с постоянной подачей глубина проникновения пластических деформаций в 1,5 – 2 раза больше толщины среза [1]. Причем твердость наклепанного слоя распределяется по глубине неравномерно. С увеличением расстояния от поверхности резания, образованной на предшествующем обороте заготовки, степень наклепа уменьшается. Поэтому с уменьшением подачи режущая кромка резца плавно переходит в более наклепанный слой металла. Контактные давления при этом возрастают, как следствие возрастает и сила резания [5]. С ростом толщины среза удельная сила резания уменьшается, в результате уменьшается и микротвердость H_{HM} поверхностного слоя. Это приводит к тому, что разница в значениях H_{HM} при увеличении и уменьшении подачи становится меньше.

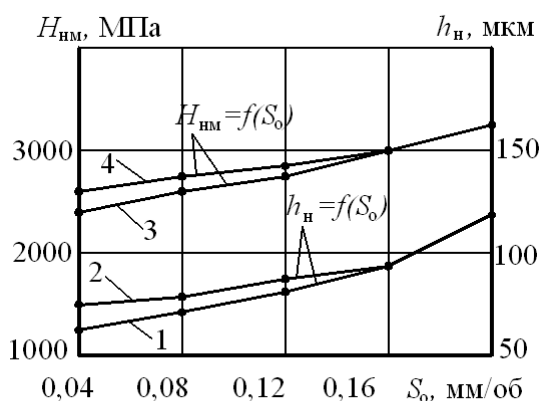


Рис. 2. Зависимости микротвердости H_{HM} и глубины упрочненного слоя h_H от подачи на оборот S_0 : 1, 3 – при разгоне; 2, 4 – при замедлении.

Зависимости H_{HM} и h_H при различных значениях скорости резания v представлены на рис. 3. Из графиков видно, что влияние подачи на H_{HM} и h_H уменьшается с увеличением скорости резания. Это связано с тем, что под влиянием нагрева зоны резания одновременно с упрочнением в поверхностном слое металла протекает отдых (разупрочнение). Конечное состояние поверхностного слоя металла при этом определяется соотношением скоростей протекания процессов упрочнения и разупрочнения, которые зависят от преобладания действий в зоне резания силового или теплового фактора. Изменение скорости резания приводит к возрастанию количества теплоты в зоне резания и как следствие усиливает интенсивность отдыха, снимающего наклеп поверхностного слоя.

Выводы

1. Установлено, что при линейном изменении подачи в функции пути в диапазоне 0,04 - 0,2 мм/об большие значения H_{HM} , h_H и ΔH относятся к поверхностному слою металла, образованному при отрицательных ускорениях подачи.
2. При скоростях резания свыше 200 м/мин наблюдается некоторое увеличение стабильности параметров H_{HM} и

h_H по длине поверхности, обработанной с переменной подачей, что обусловлено явлением разупрочнения, вызванным увеличением температуры в зоне резания.

3. Результаты исследований будут полезны при создании адаптивных систем, у которых в качестве управляющего воздействия используются подача и скорость резания.

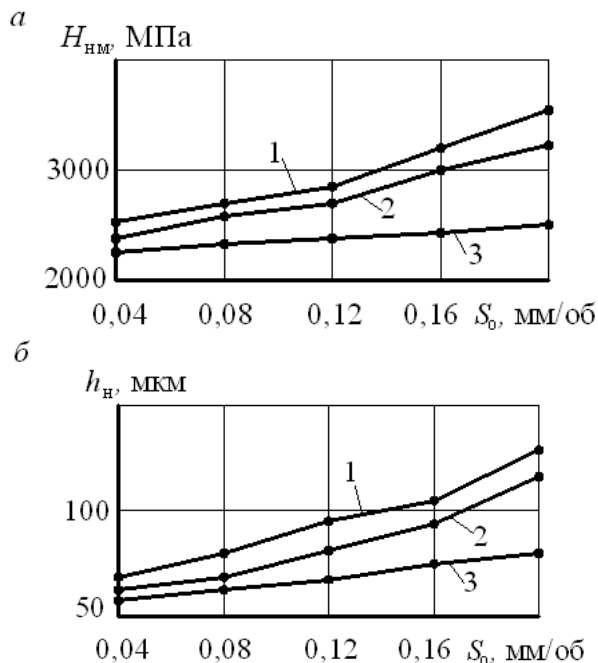


Рис. 3. Зависимости микротвердости H_{HM} (а) и глубины упрочненного слоя h_H (б) от подачи на оборот S_0 при различных скоростях резания: 1, 2, 3 - $v = 62,8; 125,6; 251,2$ м/мин, соответственно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. – М.: Машиностроение, 1977. – 304 с.
2. Старков В.К. Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1984. – 120 с.
3. Каштальян И.А. Математические модели и алгоритмы управления нестационарными процессами формообразования на станках с ЧПУ // Автоматизация и современные технологии. – 2006, № 6. – С. 18-24.
4. Каштальян И.А. Формирование микрорельефа поверхности при нестационарном резании на токарных гибких производственных модулях // Весті НАН Беларусі. Сер. Фізика-тэхн. навук. 2003, № 1. – С. 52-57.
5. Каштальян И.А. Физические параметры кинематически неустойчивых процессов резания на токарных ГПМ // Материалы, технологии, инструменты. – 2003, № 2. – С. 63-67.
6. Ящерин П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / Учеб. для вузов. – Мн., 1990. – 512 с.
7. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1968. – 288 с.