

Висновок

Таким чином розробка раціональної послідовності підготовчих і виробничих етапів одержання виробів дозволяє значно скоротити виробничий цикл виготовлення 1-х виробів. На базі цих 1-х виробів проводиться вдосконалення конструкції та технологічний процес виготовлення.

Отже запропонована модель технологічної підготовки складального виробництва забезпечує комплекс властивостей таких, як зменшення часу на введення виробу у виробництво, зниження собівартості виготовленої продукції, збільшення рівня якості продукції, а також прискорює обіг коштів, вкладених у виробництво, зменшує обсяг виробничих площ на підприємстві. Тому ця модель є актуальною бажаною для ефективного функціонування сучасного дрібносерійного виробництва.

Список використаної літератури

1. Румбешта В.О. Основи технології складання приладів: Підручник /- К:ІСДО, 1993.
2. Остаф'єв В.О., Держук В.А., Румбешта В.О. Технологические процессы изготовления деталей приборов. – К.: Высшая школа, 1983. – 207 с.

УДК 621.924

Н.В. Гнатейко, канд.техн.наук

НТУ Украины “Киевский политехнический институт”, г.Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНОСТИ СИЛЫ РЕЗАНИЯ НА ВИБРОДИНАМИКУ МЕХАНООБРАБОТКИ

В статті надаються результати досліджень вібродинамічних режимів при точінні металу, як самого процесу різання, так і пружне – дисипативної системи верстата, їх взаємодії та взаємовпливи. Розглядаються причини появи гістерезиса в коливаннях технологічної оброблювальної системі та сили різання, технологічні фактори та характер зміни гістерезисних петель двох цих динамічно не стійких систем, вплив їх взаємодії на вібродинаміку та якість механообробки.

The article describes the results of researching vibration dynamics modes in lathe processing of metals, the process of cutting, and the elastically dissipative system of the machine, their interference and relations. Causes of hysteresis in the oscillations of the processing device and cutting forces, technological factors and the pattern of changes in the hysteresis hinges of these two dynamically unstable systems, the impact of their interaction on vibration dynamics and quality of machining are considered.

ВСТУПЛЕНИЕ

Основным первичным переменным параметром механообработки при точении, вызывающим динамическую неустойчивость всей обрабатываемой системы, является квазипериодическая, переменная величина силы резания. Причины возникновения динамики процесса резания, как первого динамического фронта вынужденных

колебаний силы резания известны. Это следствие периодического изменения глубины резания Δt и микропрочности срезаемого слоя поверхности ДНВ по обороту детали. Переменная глубина резания Δt возникает из-за погрешности диаметральной формы – не цилиндричности заготовки, ее овальности, гранности, волнистости, или из-за ее смещения относительно оси вращения шпинделя станка во время установки и закрепления детали в патроне. Поэтому такие вынужденные колебания силы резания кратны числу оборотов шпинделя во время обработки точением.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В начале механообработки динамика процесса резания, как изменение силы резания, вызовет в маложесткой, упруго-диссипативной системе станка (УДСС) вторичный фронт упругих колебаний, который принято называть автоколебательным процессом технологической обрабатываемой системы (ТОС).

Анализ таких автоколебаний многими исследователями показал, что их амплитудно-фазово-частотные характеристики (АФЧХ) во многом определяются основными динамическими характеристиками УДСС, как массой ее элементов M , общей жесткостью системы C и диссипативно-демпфирующими ее свойствами H . Естественно, что эти два вибродинамических режима, первый – генерирующе-возбуждающий, второй – возбуждаемый в виде упруго-инерционных колебаний элементов механической системы функционально связаны между собой как энергетически, так и определенным взаимодействием и взаимовлиянием. Так упруго-колебательный процесс в станке в свою очередь возбуждает и поддерживает определенную цикличность изменения взаимного положения детали и инструмента, что приводит к изменению с той же цикличностью глубины резания Δt и из-за этого силы резания ΔP [1].

В первом приближении такой вибромеханический процесс взаимосвязи сил резания и трения при срезании стружки и упруго-инерционных сил колеблющихся элементов обрабатываемой системы в каждый момент времени τ можно представить в виде векторного упругого взаимодействия двух силовых систем

$$\left[\sum_{i=1}^n \vec{P}_i(\tau) \eta_i \right] \xleftrightarrow{C} \left[\sum_{j=1}^k \vec{F}_j(\tau) \eta_j \right] \quad (1)$$

где левый компонент представляет векторную сумму постоянной и переменных сил резания и трения от различных возбуждающих факторов числом n , вызывающих вынужденные колебания в обрабатываемой системе, а второй компонент-векторная сумма упруго-инерционных сил от упругих автоколебаний основных узлов ТОС, число которых k , η_i и η_j - тригонометрические функции при проецировании всех сил на ось Y , где наиболее ощутимы такие колебания на качество обработки детали.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как показали исследования [1; 2; 3; 4] во время механообработки детали АФЧХ автоколебательного процесса в ТОС обычно не совпадают с АФЧХ процесса резания, что и является причиной нелинейности в их взаимодействии (1) и взаимовлиянии.

УДСС при механообработке поэтому следует рассматривать как фазово-частотный преобразующий модулятор, активно влияющий на динамику процесса резания и его устойчивость.

Поскольку основные динамические характеристики устойчивости двух основных узлов обрабатывающей токарной системы: шпиндельного узла с деталью и суппортного узла с режущим инструментом, определяющих устойчивость процесса резания и качество обрабатываемой поверхности детали, значительно разнятся по массе, жесткости, демпфирующе-диссипативным свойствам и подвижности при работе, то это приводит и к нелинейности амплитудно-частотных характеристик процесса механообработки и различным законам колебательных перемещений элементов станка. При этом в большинстве случаев силовая система сил резания на определенную фазу φ опережает систему упруго-инерционных сил, вызывая тем самым гистерезисность перемещений элементов механической, многомассовой, упруго-мало жесткой системы станка по отношению к возбуждающим их сил резания. В итоге и сама сила резания под таким влиянием также имеет гистерезисный характер изменения за один оборот обрабатываемой заготовки. В.А. Кудинов определил такую зависимость по гистерезису силы резания [1], показанную на рис.1, где направление обхода величины силы резания P_z по гистерезисной петле за один оборот заготовки проходило по часовой стрелке.

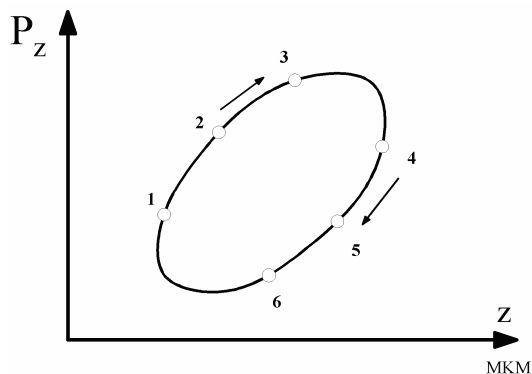


Рис1. Гистерезисность силы резания по В.А.Кудинову

Анализ такого гистерезиса силы резания от гистерезисного колебания ТОС проф. Василенко Н.В. [2 и 3] и наши исследования [4 и 5] показали, что возникающие при механообработке точением два динамических колебательных процесса сил резания и упруго-инерционных сил от колебаний элементов ТОС (1) ведут себя по разному при изменении режимов резания механообработки.

Особенно заметно оказывает влияние на периодичность изменение силы резания скорость обработки V , как частота вращения заготовки, где с той же периодичностью меняются Δt и $\Delta HВ$. При увеличении такой скорости пропорционально растет частота периодичности изменения $\Delta P(\tau)$. При увеличении подачи инструмента на 1 оборот детали S_0 частотный спектр $\Delta P(\tau)$ сдвигается к нижним частотам из-за упруго-вязкого демпфирования растущего срезаемого слоя металла.

В то же время частотный спектр упругих колебаний основных рабочих элементов станка, как отмечалось выше инерционен к такому изменению $\Delta P(\tau)$, т. к. во многом определяется их динамическими характеристиками: их массами m_i , жесткостью c_i и их диссипативными свойствами h_i . К тому же на АФЧХ колебаний этих элементов

оказывает также влияние их собственные частоты колебаний $\omega_{oi} = \sqrt{m_i/c_i}$, которые даже могут при их совпадении с АФЧХ $\Delta P(\tau)$ вызывать резонансные явления, а при определенном их рассогласовании может возникнуть заметное затухание колебаний.

Так же установлено, что частотный спектр автоколебаний ТОС при изменении скорости V меняется заметно медленнее в определенном пределе и отстает от скорости изменения такого частотного спектра сил резания $\Delta P_i(\tau)$, т.е. он более инертен к изменению V или S_0 . При этом отмечено, что заметно меняются формы гистерезисных петель колебаний сил резания и элементов обрабатываемого станка и даже направление обхода таких петель, что приводит или к увеличению динамической неустойчивости всего процесса механообработки или, наоборот, к его заметному стабилизированию.

Такие закономерности хорошо исследовал проф. Василенко Н.В. [2; 3], который при анализе гистерезиса силы резания, полученного в результате эксперимента, петли такого гистерезиса описал математически, аппроксимировав полиномами в виде:

$$\begin{aligned} \Delta P_y &= P_{oy} - rY \left[1 + \sum_n (d_n + a_n I^{n+1}) Y^n \right] \\ \Delta P_z &= P_{oz} - rZ \left[1 + \sum_n (d_n + a_n I^{n+1}) Z^n \right] \end{aligned} \quad (2)$$

где P_{oy} и P_{oz} – средние значения величин составляющих силы резания по осям Y и Z ; ΔP_y и ΔP_z – величины колебаний соответствующих сил резания по осям, регистрируемые осциллограммами; Y и Z – смещения точек замера величин сил резания по осям; n – порядковый номер точки по ходу обхода петли гистерезиса сил ΔP_y и ΔP_z ; $I = \operatorname{tg} \varphi$ при $Y = A \cos \varphi$ и $I = -c \operatorname{tg} \varphi$ при $Y = A \sin \varphi$; φ – величина фазового сдвига; A – амплитуда смещения; r , d , a – силовые коэффициенты учета условий механообработки – S_0 , V , t и НВ.

При этом получаются сдвиги фаз φ между силой резания и вектором сил от колебаний ТОС по соответствующей координате на $\pi/2$. В этих работах также определенно, что некоторые коэффициенты полинома (2) при $n=3$ будут равны нулю. Тогда получено:

$$\Delta P_y = P_{oy} - rY(1 + d_0 I - d_1 Y - d_2 I^3 Y^2) \quad (3)$$

Аналогично записывается и значение ΔP_z .

Было установлено, что при определенном соотношении всех параметров процесса механообработки можно получить случай, когда в петле гистерезиса соответствующей составляющей силы резания ее обход при получении картины будет против хода часовой стрелки. Тогда величина площади петли будет символизировать об отнимании энергии от автоколебательного процесса ТОС и величине гашения ее динамических колебаний.

Проведенные нами аналогичные исследования [4; 5] по целенаправленному изменению фазы смещения главного вектора переменной силы резания по отношению к главному вектору упругих колебаний элементов станка (1) с помощью определенных изменений скорости резания V показали, что при получении их противофазового положения гистерезисная петля любой составляющей силы резания при механообработке точением имеет обход против хода часовой стрелки (рис. 2) и приводит к гашению колебаний рабочих элементов станка, стабилизации процесса механообработки и повышению качества обработки детали.

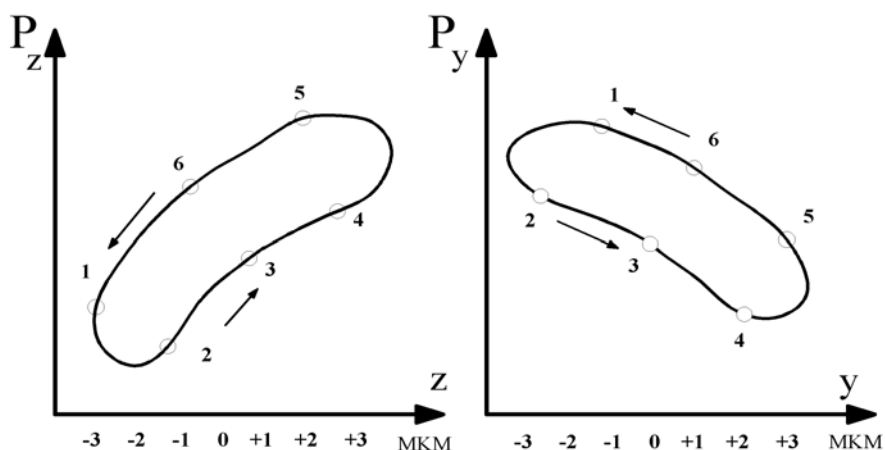


Рис.2. Виды петель гистерезиса при динамической стабилизации элементов ТОС

Однако со временем обработки одной детали система ТОС постепенно меняет свои частотные характеристики, медленно приспособляясь к новым условиям резания металла, и может изменить геометрию гистерезисной петли и привести ее форму к простой линии (рис. 3). Это показывает об энергетической стабилизации и самоуравновешивании взаимодействующих в обрабатывающей системе сил, что тоже не ухудшает процесс механообработки.

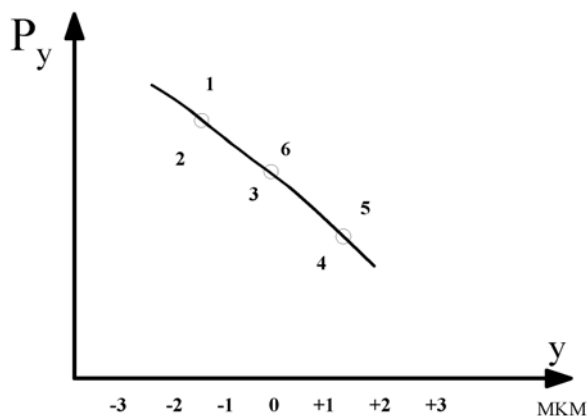


Рис.3. Форма кривой смещения элементов ТОС при энергетической стабилизации взаимодействующих в системе сил

При обработке больших и длинных заготовок точением возможны даже моменты появления гистерезисных петель сил резания уже с обходом против хода часовой стрелки и появлению нарастающей динамики от вибрации системы ТОС, ухудшающей качество обработки.

При начале обработки каждой следующей заготовки из партии, главный вектор сил резания будет иметь случайное значение направленности по отношению к не меняющему свое направление вектору сил от упруго-инерционных сил колебаний

элементов ТОС, т.к. векторы возмущений от Δt , ΔH и смещения заготовки при установке и закреплении будут иметь также случайные фазы смещений и направленности и могут менять всю картину вибродинамики в обрабатывающей системе

Установлено также, что при нарастающем износе режущего инструмента по ходу обработки партии деталей, векторы сил резания меняют свое направление. При этом замечено, что меняются и формы гистерезисных петель колебаний сил резания и элементов обрабатывающей системы и возможно изменение направления обхода таких петель силой резания. Это приводит или к увеличению динамической неустойчивости всего процесса механообработки, или, наоборот, к его заметному стабилизированию из-за дополнительного стабилизирования инструмента силами трения, как оптимальной приработке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали исследования динамики процесса механообработки при резании металла всегда возникают случайные процессы взаимодействия сил резания и сил упругих колебаний элементов ТОС, что усложняет возможность предсказать картину возможных возмущений вибродинамики и качества обработки при операциях механической обработки деталей резанием металлов из-за наличия большого числа случайных возмущающих факторов.

Чтобы получить эффект повышения качества механообработки за счет стабилизации его вибродинамических вредных режимов в обрабатывающей системе необходимо разработать и установить поисковую систему автоматической стабилизации механообработки с помощью противофазового гашения динамики резания и ТОС.

Список использованной литературы

1. Кудинов В.А. Динамика станков. – М: Машиностроение, 1967.- 360 с.
2. Василенко Н.В. Автоколебания при резании металлов с учетом источника энергии. – К.: ДАН УССР, серия А, №1, 1967. с. 47-49.
3. Василенко Н.В. О расчете гистерезисных автоколебаний при резании металлов. – К.: Прикладная механика, т.3, вып. 6, 1968. с. 36-40.
4. Гнатейко Н.В. Повышение качества процесса точения за счет мониторинга динамического состояния станка // Дисерт. канд. техн. наук.- К.: НТУУ «КПИ», 2000.
5. Гнатейко Н.В., Румбешта В.О. Методика оцінки показників якості роботи технічних систем за часом. “Наукові вісті” Житомирського інженерно-технічного інституту, №23, ЖІТІ, 2003. с. 19-22.