

УДК 621.9.048.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УПРУГУЮ ДЕФОРМАЦИЮ НЕЖЕСТКОГО ЭЛЕМЕНТА

Пашков Е.В., Бохонский А.И., Голубев А.В.

Создана установка, моделирующая процесс динамического импульсного компенсирующего воздействия одного знака на нежесткую деталь при токарной обработке, позволяющая практически определить влияние основных параметров воздействия на динамическое поведение упругого объекта. Проведены исследования влияния импульсного динамического воздействия вращающейся шаровидной массы на упругое деформирование нежесткого элемента.

Для проверки результатов теоретических исследований, связанных с оценкой влияния параметров периодического импульсного воздействия на динамическое поведение тонкостенной цилиндрической детали, изложенных в [1], была разработана и создана экспериментальная установка, показанная на рисунке 1.

Установка включает плиту 1 с полой втулкой 5, имеющей восемь горизонтальных отверстий. На втулке 5 размещена обойма 11, имеющая внутреннюю кольцевую проточку, а также резьбовые отверстия под питающие штуцеры 14. Внутри обоймы закреплено нижнее кольцо 2, образующее с установленным на втулке 5 посредством резьбового соединения верхним кольцом 3 коническую кольцевую полость, в которую помещен шарик 19. В заданном положении верхнее кольцо фиксируется стопорной гайкой 4.

Объектом исследования является тонкая пластина 15 длиной l и толщиной h , имитирующая тонкостенную цилиндрическую деталь. Плоская пластина используется для удобства проведения эксперимента. При этом коэффициент, характеризующий поперечную жесткость пластины, определяется по формуле

$$C = \frac{48EJ}{l^3}$$

для пластины с шарнирным креплением и

$$C = \frac{192EJ}{l^3}$$

для пластины с жестким креплением. Этой пластине может быть поставлена в соответствие по жесткости (в радиальном направлении)

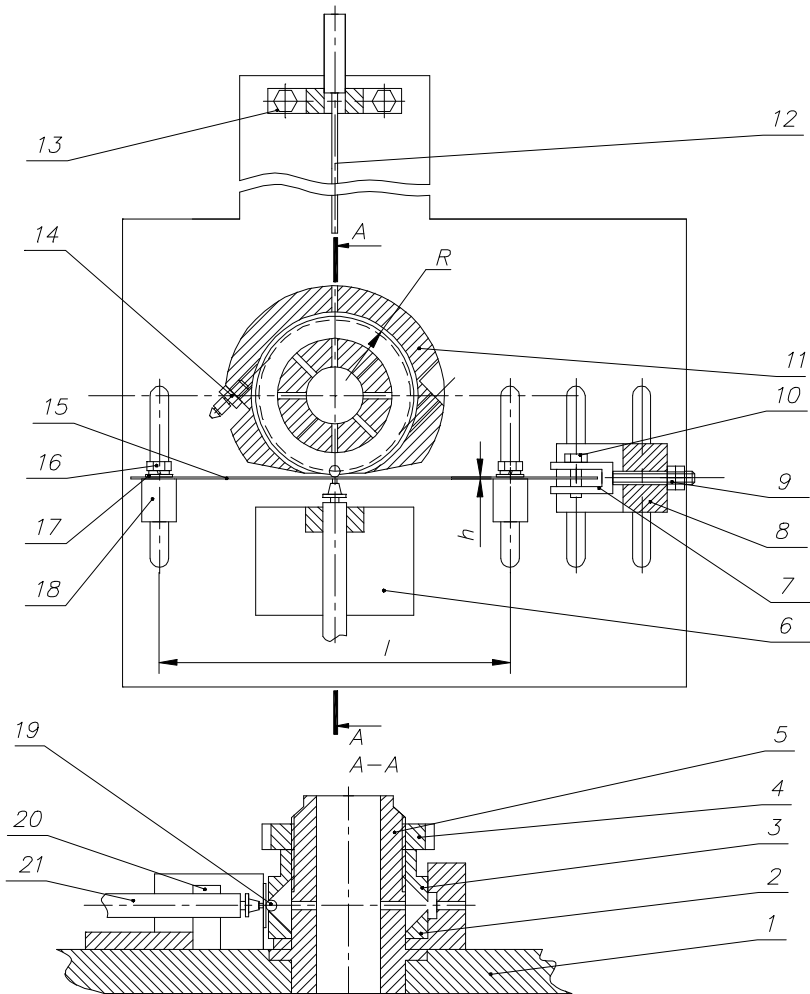


Рисунок 1 – Экспериментальная установка

тонкостенная цилиндрическая оболочка, для которой

$$C = \frac{\pi E h}{\frac{l^3}{6R^3} + 0.802[3(1-\nu^2)^{\frac{3}{4}}(\frac{R}{h})^{\frac{3}{2}}]^3},$$

где E – модуль упругости; h – толщина оболочки; R – срединный радиус оболочки; l – длина оболочки; ν – коэффициент Пуассона.

Реальная жесткость пластины находится как отношение усилия, передаваемого на пластину посредством шупа 12, смонтированного в стойке 13 и определяемого с помощью динамометра, к перемещению пластины, измеряемому датчиком перемещений. Таким образом, жесткость пластины длиной 0,12 м, шириной 0,02 м и толщиной 0,0006 м в ненагруженном состоянии соответствует жесткости тонкой стальной цилиндрической оболочки со следующими геометрическими размерами: длина $l = 0,4$ м, радиус срединной поверхности $R = 0,04$ м, толщина стенки $h = 0,00052$ м.

Пластина с помощью болтов 16 и шайб 17 закреплена на опорах 18, установленных с возможностью перемещения в пазах основания 1. Для регулирования натяжения пластины, соответственно ее жесткости, используется натяжной узел, состоящий из кронштейна 8, вилки 7 с регулировочными гайками 9 и осью 10.

Датчик 21 упругих перемещений пластины закреплен на стойке 20 платформы 6.

Установка работает следующим образом. Сжатый воздух через штуцер 14 подается между кольцами 2 и 3, вызывая вращение шарика 19 по окружности радиусом r с угловой скоростью ω , который через окно в обойме периодически взаимодействует с пластиной, обеспечивая таким образом периодическую импульсную нагрузку. Величина усилия, периодически прикладываемого к пластине, соответствует центробежной силе шарика и определяется из выражения

$$F = mv^2 / r ,$$

где m – масса шарика; r – расстояние от центра вращения до центра тяжести шарика; $v = \omega r$ – скорость центра массы шарика.

Изменение зазора между верхним 3 и нижним 2 кольцами позволяет регулировать радиус вращения шарика, а, следовательно, и расстояние от центра вращения до центра тяжести шарика. Изменение натяжения пластины за счет ее растяжения позволяет регулировать ее жесткость, имитируя детали с различными геометрическими размерами (R и h).

Пневматическая часть установки собрана на базе коммутирующих и управляющих элементов фирмы «Festo», Германия.

В качестве датчика упругих перемещений используется измерительная электронная система модели 212 ПС. Чувствительным элементом системы является индуктивный преобразователь, который совместно с входным устройством, усилителем и демодулятором преобразует механическое перемещение измерительного наконечника преобразователя в электрический сигнал, пропорциональный перемещению. С целью предохранения измерительного прибора от перегрузок, возникающих при значительном смещении измерительного наконечника преобразователя, в схему введен узел ограничения сигнала. Система содержит устройство электрического смещения «нуля», позволяющее в значительной мере упростить ее настройку. Питание преобразователя осуществляется переменным напряжением (1 ... 1,5) В с частотой (2...5) кГц.

Технические характеристики измерительной системы: цена деления согласно таблице 1; основная погрешность системы в делениях шкалы – 1; рабочее положение преобразователя – горизонтальное; измерительное усилие преобразователя не более 0,4 Н; перепад измерительного усилия преобразователя не более 0,1 Н; свободный ход измерительного наконечника 2 мм; погрешность системы от тангенциального усилия на наконечник преобразователя величиной 0,15 Н не более 0,05 мкм; параметры питания системы: переменное напряжение 220 В, частота 50 Гц.

Таблица 1 – Пределы измерительной системы

Пределы измерения, мкм	±3	±6	±15	±30	±60
Цена деления, мкм	0,1	0,2	0,5	1	2

Для исследования влияния импульсного воздействия на деталь разработана методика и программа экспериментов, в которую входили: исследование влияния частоты вращения и массы шарика, а также жесткости пластины на упругодеформированное состояние детали.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований влияния частоты вращения шарика на перемещение упругого объекта

№	P, МПа	f, Гц	W, мкм	W _{ср} , мкм
1	0,18	266	3,0, 3,0, 3,5, 2,5, 3,0, 2,5, 3,0, 3,5, 3,0, 3,0	3,0
2	0,23	293	4,5, 5,0, 5,0, 5,5, 5,5, 4,5, 5,0, 4,5, 5,5, 5,0	5,0
3	0,28	313	9,5, 9,5, 9,5, 10,0, 9,5, 9,0, 9,5, 9,0, 9,5, 10,0	9,5
4	0,33	316	10,0, 11,0, 12,0, 12,0, 12,0, 11,0, 11,5, 11,0, 11,5, 12,0	11,4
5	0,39	353	18,0, 19,0, 19,5, 19,5, 19,0,	19,25

			20,0	19,5	19,0	19,5	19,5	
--	--	--	------	------	------	------	------	--

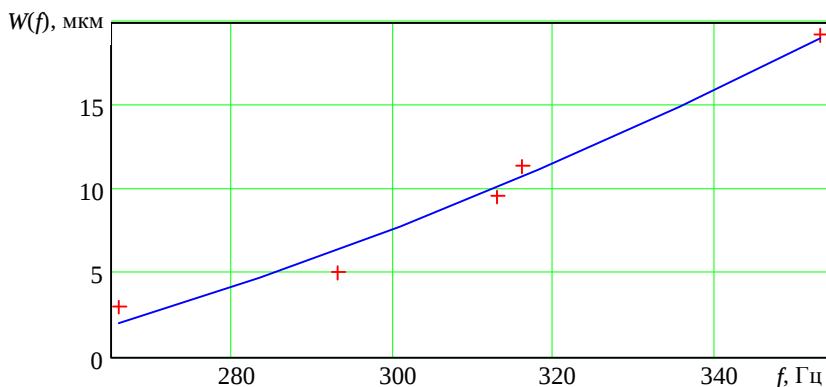


Рисунок 2 – Аппроксимированная по способу наименьших квадратов экспериментальная зависимость перемещения пластины от частоты воздействия, где + экспериментальные точки

В ходе эксперимента измерялись параметры: давление P , подаваемое в установку; частота вращения шарика f , измеряемая стробоскопом; масса шарика m ; жесткость пластины C ; перемещение пластины под действием импульсной нагрузки W . При каждом изменении одного из параметров, влияющих на упругую деформацию пластины, проводилось по десять замеров перемещения W . Среднеарифметическая величина упругого перемещения (оценка математического ожидания) определялась по формуле

$$W_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i .$$

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований влияния жесткости упругого объекта на его перемещение

№	C , Н/м	W , мкм	W , _{ср} , мкм
1	20000	18,0, 19,0, 19,5, 19,5, 19,0, 20,0, 19,5, 19,0, 19,5, 19,5	19,25
2	40000	12,0, 13,0, 12,5, 13,0, 12,5, 13,0, 12,5, 13,0, 12,5, 13,0	12,7
3	50000	10,5, 10,0, 10,0, 10,0, 10,5, 10,0, 9,5, 10,0, 10,0, 10,0	10,5
4	70000	9,0, 8,0, 8,5, 8,0, 8,0, 7,5, 8,0, 8,5, 8,0, 8,0	8,15

5	90000	6,0, 6,0, 6,5, 6,0, 6,0, 5,5, 6,0, 6,0, 6,0, 6,0	6,0
---	-------	---	-----

В таблице 2 представлены результаты исследования влияния частоты вращения шарика f на упругое перемещение пластины W . Измерения проводились в диапазоне частот от 266 до 353 Гц при изменении давления в диапазоне от 0,18 до 0,39 МПа для шарика массой 0,9 г; при этом жесткость пластины составляла 20000 Н/м. Экспериментальные данные аппроксимировались по методу наименьших квадратов в системе Mathcad [2]. На рисунке 2 показана зависимость величины среднего прогиба W от изменения частоты вращения шарика. Видно, что при увеличении частоты вращения шарика деформация пластины увеличивалась. Данное явление объясняется тем, что при увеличении частоты вращения шарика увеличивается сила его взаимодействия с пластиной и частота следования импульсов

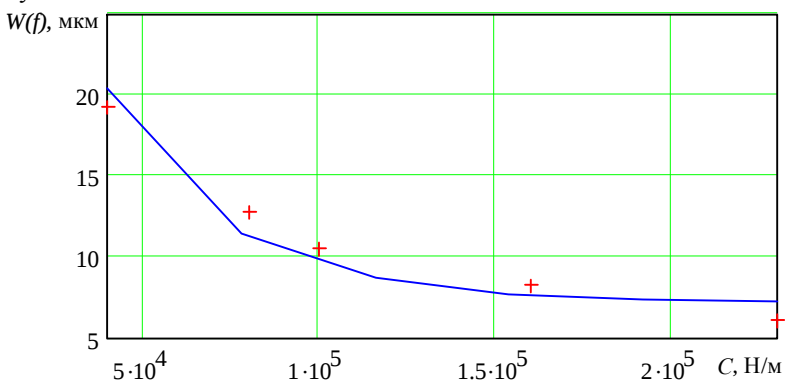


Рисунок 3 – Аппроксимированная по способу наименьших квадратов экспериментальная зависимость перемещения пластины от ее жесткости, где + экспериментальные точки

В таблице 3 представлены результаты исследования влияния жесткости пластины C на ее упругое перемещение W . Измерения проводились при частоте вращения шарика, соответствующей 353 Гц, давлению 0,39 МПа, массе 0,9 г; при этом жесткость пластины изменялась в диапазоне от 20000 до 90000 Н/м. Изменение жесткости пластины производилось за счет ее растяжения с помощью вилки 7 и гайки 9 (рисунок 1); момент затяжки гайки фиксировался динамометрическим ключом. На рисунке 3 представлена зависимость величины среднего прогиба W от изменения жесткости пластины. Как и следовало ожидать, при увеличении жесткости пластины ее деформация уменьшалась.

В таблице 4 представлены результаты исследования влияния массы шарика m на упругое перемещение пластины W . Измерения проводились для шариков массой 0,9 г, 1,5 г и 2 г при частоте вращения шариков соответствующей 300 Гц; при этом жесткость пластины составляла 20000 Н/м.

Таблица 4 – Результаты экспериментальных исследований влияния массы шарика на перемещение упругого объекта

№	m , г	W , мкм	$W_{\text{ср}}$, мкм
1	0,9	9,5, 9,5, 9,5, 10,0, 9,5, 9,0, 9,5, 9,0, 9,5, 10,0	9,5
2	1,5	16,0, 16,5, 17,0, 16,0, 16,5, 16,0, 16,5, 16,5, 16,0, 16,0	16,3
3	2	26,0, 26,5, 26,5, 26,0, 26,5, 26,0, 26,5, 26,0, 26,5, 26,5	26,3

На рисунке 4 изображена зависимость величины среднего прогиба W от изменения массы шарика. Видно, что при увеличении массы шарика деформация пластины увеличивалась, так как с увеличением массы шарика возрастает сила его воздействия на пластину.

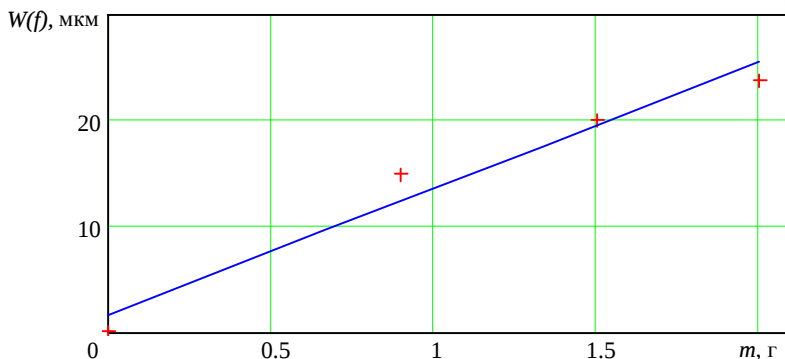


Рисунок 4 – Аппроксимированная по способу наименьших квадратов экспериментальная зависимость перемещения пластины от массы шарика, где + экспериментальные точки

Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает, что расхождения между ними не превышает 32%.

Обобщая полученные результаты экспериментов, можно сделать вывод, что применение импульсного воздействия при автоматической токарной обработке оболочек малой жесткости позволяет устранить радиальные перемещения, обусловленные радиальной составляющей силы резания, и тем самым уменьшить погрешности обработки. При этом параметры импульсного воздействия должны выбираться с учетом исключения явления ударного резонанса.

Библиография

1 Бохонский А.И. Моделирование динамической компенсации упругих перемещений цилиндрических деталей при точении / А.И. Бохонский А.В. Голубев // Вестн. СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2000. — Вып. 23. — С. 33–37.

2 Плис А.И. Mathcad 2000. Математический практикум для экономистов и инженеров / А.И. Плис, Н.А. Сливина: Учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 656 с.

Поступила в редакцию 20.11.2001 г.