

ВИБРАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЖАВОК РЕЗЦОВ ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ

В.А. Рогов, С. Горбани

Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Рассмотрено влияние конструкции режущего инструмента, режимов резания и вылета резца на вибрацию, возникающую в процессе резания. Используются цельнометаллический резец и металлический резец со сквозными горизонтальными отверстиями, расположенными в шахматном порядке, изготовленные из закаленной стали 40. В качестве обрабатываемых деталей использовались три заготовки из чугуна, стали и алюминия. Эксперименты выполнялись методом однофакторного эксперимента на токарно-винторезном станке модели 16К20ВФ1. Результаты экспериментов показали, что наиболее важным параметром, влияющим на вибрацию, является вылет резца. В ходе работы также установлены оптимальные режимы резания для обработки каждого материала.

Ключевые слова: вибрация, режим резания, износ режущего инструмента, однофакторный эксперимент.

При работе металлорежущего оборудования его работоспособность можно определить по виброакустическому сигналу, который позволяет судить о качестве процесса резания, его устойчивости, амплитуде и частоте колебаний. Наиболее важным является определение состояния отдельных исполнительных органов станка и выявление наиболее слабого, от которого в наибольшей степени зависит надежность работы станка в целом. Обычно в металлообработке наиболее слабым звеном является режущий инструмент.

Виброустойчивость технологической системы «станок—приспособление—инструмент—деталь» (СПИД) является одним из ключевых вопросов при обработке точением [2]. Около 70% отказов системы СПИД связано с повышенным уровнем вибрации [8]. Виброустойчивость в значительной степени зависит от автоколебаний. Анализ причин возникновения автоколебаний позволяет существенно снизить их влияние на процессы резания. Автоколебания влияют на производительность, надежность и качество обработанной поверхности [6]. Автоколебания зависят от параметров движения колебательной системы, они могут возникать только при наличии переменной силы. При точении возможны вибрации станины, резцедержателя, суппорта, державки резца, заготовки между центрами, крутильные колебания заготовки и шпинделя, вибрации центров и пиноли, передней или задней бабки [2]. Среди них вибрации режущего инструмента являются наиболее опасным явлением, так как они могут влиять на интенсивность износа режущего инструмента, точность размеров обрабатываемой заготовки, работоспособность станка, срок службы режущего инструмента и качество обработанной поверхности [4]. Вибрации технологической системы СПИД могут возникать в вертикальной и горизонтальной плоскостях, параллельно или перпендикулярно направлению подачи, и, следовательно, все это приводит к относительному перемещению заго-

товки и резца, изменяются параметры режимов резания (т.е. скорость резания, глубина резания и подача), что является основной причиной возникновения переменной силы [1].

Вибрация технологической системы СПИД в основном определяется геометрией режущего инструмента, режимом резания, родом обрабатываемого материала, жесткостью и массой системы станка. Высокая жесткость и низкая масса системы обеспечивают условия для уменьшения вибрации. Вибрацию также можно уменьшать увеличением прочности и твердости обрабатываемого материала [5]. При уменьшении главного и вспомогательного углов в плане (ϕ и ϕ_1) увеличивается радиальная сила резания (P_y), за счет чего увеличивается интенсивность вибрации. Чем больше радиус закругления при вершине резца в плане, тем больше амплитуда колебаний [9]. Однако стандартной процедурой, принятой для уменьшения вибрации при обработке резанием, является тщательное планирование параметров режима резания и повышение демпфирующей способности режущего инструмента. Исследования работ [1; 3] показали, что применение демпферов различных форм и типов в конструкциях сборных токарных резцов приводит к уменьшению вибрации. Методы, используемые для снижения вибрации, основаны на экспериментальных исследованиях, позволяющих получить оптимальные условия резания.

Для определения состояния технологического процесса используется метод мониторинга технологического процесса, который определяется манипуляцией измерений датчиком (например, таких параметров, как сила, вибрация, температура). Среди этих методов мониторинг вибросостояния является наиболее широко используемым методом, потому что большинство сбоев в работе могут возникнуть из-за повышенного уровня вибрации [8]. Например, Nidhi and Pratesh Jayaswal показали зависимость вибрации от режима резания при точении низкоуглеродистой стали [7; 8]. В результате получено, что скорость резания больше влияет на вибрацию. Abuthakeer и др. проводили экспериментальное исследование влияния режима резания на вибрации при точении алюминия (Al 6066 aluminum). Результаты показали, что глубина резания (38%), скорость резания (35%) и подача (27%) являются основными параметрами, влияющими на интенсивность вибраций [4]. Таким образом, при помощи полученных данных об интенсивности вибраций можно определить рациональные режимы резания для выполнения механической обработки и тем самым увеличить срок службы инструмента и улучшить качество обрабатываемой поверхности.

Целью данной работы является изучение влияния параметров режимов резания, вылета резца и конструкции сборного токарного резца на вибрации в процессе механической обработки материалов. Были использованы три заготовки из стали, алюминия и чугуна, а в качестве режущих инструментов — резец со стандартной цельнометаллической державкой, выполненной из стали 40X и резец со сквозными горизонтальными отверстиями в державке, расположенными в шахматном порядке.

Методика проведения исследований. Эксперименты выполнялись на токарно-винторезном станке модели 16K20ВФ1. Исследовались цельнометаллический сборный токарный резец и металлический резец со сквозными горизонтальными отверстиями, расположенными в шахматном порядке ($\varnothing 10$ мм) со сменными мно-

гогранными пластинами (СМП) и с габаритными размерами $150 \times 27 \times 27$ мм. Материал державок резцов — закаленная сталь 40Х, а материал СМП — твердый сплав марки СТ35М с углом при вершине 80° , производитель Sandvik Coromant. Форма СМП — четырехгранная с отверстием. Обрабатывались три цилиндрические заготовки, изготовленные из стали 45, алюминия Д16 и серого чугуна СЧ20 с диаметрами 68, 62 и 63 мм, и с длинами 190, 160 и 175 мм соответственно. На заготовках были проточены пять канавок шириной 5 мм, разделяющих их на дорожки, для удобства проведения экспериментов и измерения шероховатости. Эксперименты проводились при помощи метода однофакторного эксперимента с целью установления зависимостей между частотой колебаний и режимами резания, вылетом резца и видом обрабатываемого материала. Следует отметить, что при однофакторном эксперименте каждый фактор варьируется, т.е. в каждом опыте варьируют тот фактор, влияние которого необходимо изучать, а все остальные факторы оставляют постоянными, считая, что они не зависят друг от друга и от абсолютной величины их самих [1].

В табл. 1 приведены исходные данные режима резания при однофакторном эксперименте.

Таблица 1

Исходные данные для однофакторного эксперимента

Фактор	№ эксперимента			
	1	2	3	4
Постоянные факторы	$t = 0,05$	$N = 1000$	$N = 1000$	$N = 1000$
	$s = 0,05$	$s = 0,05$	$t = 0,05$	$s = 0,05$
	$L = 50$	$L = 50$	$L = 50$	$t = 0,05$
Переменные факторы	$N_1 = 400$	$t_1 = 0,05$	$s_1 = 0,05$	$L_1 = 41$
	$N_2 = 500$	$t_2 = 0,10$	$s_2 = 0,06$	$L_2 = 50$
	$N_3 = 630$	$t_3 = 0,15$	$s_3 = 0,075$	$L_3 = 65$
	$N_4 = 800$	$t_4 = 0,20$	$s_4 = 0,09$	—
	$N_5 = 1000$	$t_5 = 0,25$	$s_5 = 0,10$	—

Обозначения: N — частота вращения (мин^{-1}), t — глубина резания (мм), s — подача (мм/об), L — вылет резца (мм).

На рис. 1 представлен общий вид рабочей зоны станка при использовании металлического резца со сквозными горизонтальными отверстиями при $L = 50$ мм; $N = 400 \text{ мин}^{-1}$; $t = 0,05$ мм и $s = 0,05$ мм/об.

Для исследования нового режущего инструмента должно быть установлено влияние режимов резания на вибрацию. С этой целью пьезоэлектрический акселерометр КД-35 наклеивался на рабочую часть резца с нижней стороны с помощью специального клея. Колебания, возникающие во время обработки, фиксировались при помощи пьезоэлектрического акселерометра КД-35 и передавались на многофункциональный анализатор спектра А17-У8. При помощи программного обеспечения ZETLAB, установленного в персональном компьютере, задавались параметры анализа и расшифки полученных данных (рис. 2). Для частотного анализа сигнала использовалась программа «Узкополосный спектр», которая входит в программный пакет ZETLAB.

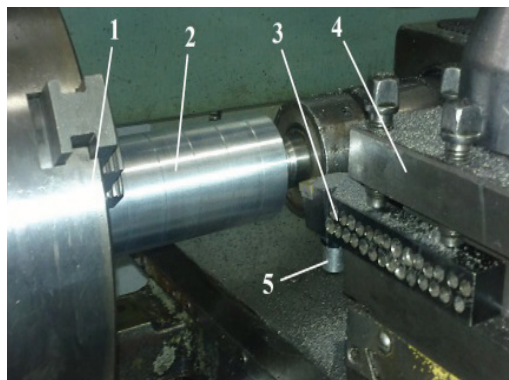


Рис. 1. Общий вид рабочей зоны станка:
1 — шпиндель; 2 — обрабатываемая деталь;
3 — резец; 4 — резцедержатель;
5 — пьезоэлектрический акселерометр KD-35



Рис. 2. Анализатор А17-У8 и ПК для визуализации результатов

Результаты исследования и их обсуждение. В табл. 2 представлены значения частот, полученных при анализе обрабатываемых материалов. На основе данных табл. 2 получены зависимости частоты колебаний от вида обрабатываемого материала и конструкции режущего инструмента, частоты вращения шпинделя, подачи, глубины резания и вылета резца. На рис. 3 показана зависимость частоты колебаний от частоты вращения шпинделя, подачи, глубины резания, вылета резца и вида конструкции режущего инструмента при точении стали 45.

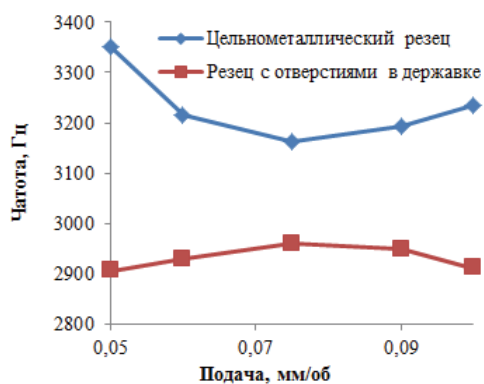
Таблица 2

Значения частоты колебаний при точении обрабатываемых материалов

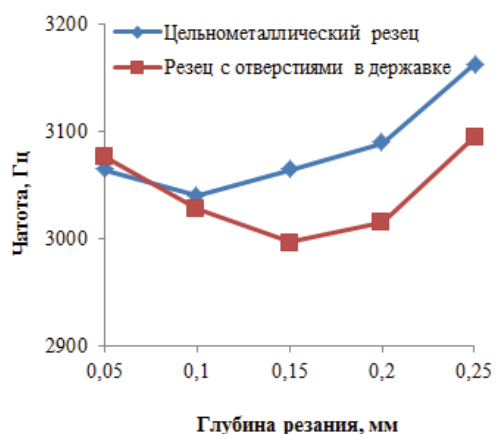
Эксперимент	Частота, Гц					
	цельнометаллический резец			резец с отверстиями в державке		
	сталь	чугун	алюминий	сталь	чугун	алюминий
$N_1 = 400 \text{ мин}^{-1}$	3271,5	3308,1	3308,1	2868,7	2868,7	2801,5
$N_2 = 500 \text{ мин}^{-1}$	3314,2	3283,7	3271,5	2838,1	2880,9	2880,9
$N_3 = 630 \text{ мин}^{-1}$	3295,9	3259,3	3289,8	2848,1	2893,1	2868,7
$N_4 = 800 \text{ мин}^{-1}$	3308,1	3241	3308,1	2862,5	2825,9	2838,1
$N_5 = 1000 \text{ мин}^{-1}$	3295,9	3253,2	3289,8	2893,1	2893,1	2850,3
$t_1 = 0,05 \text{ мм}$	3064	3088,4	3076,2	3076,2	2905,3	2775
$t_2 = 0,1 \text{ мм}$	3039,6	3076,2	3100,6	3027,3	2990,7	2801,5
$t_3 = 0,15 \text{ мм}$	3064	3094,5	3131,1	2996,3	3015,1	2777,1
$t_4 = 0,2 \text{ мм}$	3088,4	3057,9	3082,3	3015,1	2795,4	2771
$t_5 = 0,25 \text{ мм}$	3161,6	3106,7	3094,5	3094,5	2764,9	2844,2
$s_1 = 0,05 \text{ мм/об}$	3350,8	3155,5	3216,6	2905,3	2948	2941,9
$s_2 = 0,06 \text{ мм/об}$	3216,5	3210,4	3173,8	2929,7	2929,7	2905,3
$s_3 = 0,075 \text{ мм/об}$	3161,6	3247,1	3192,1	2887	2960,2	2911,4
$s_4 = 0,09 \text{ мм/об}$	3192,1	3179,9	3326,4	2911,4	2948	2948
$s_5 = 0,1 \text{ мм/об}$	3234,9	3198,2	3216,6	2960,2	2911,4	2893,1
$L_1 = 41 \text{ мм}$	4077,1	4156,5	4211,4	4156,1	3906,3	4003,2
$L_2 = 50 \text{ мм}$	3312,8	2966,3	2996,8	3289,4	2954,1	2850,3
$L_3 = 65 \text{ мм}$	2307,1	2282,7	2185,1	2564,5	2014,2	2152,2



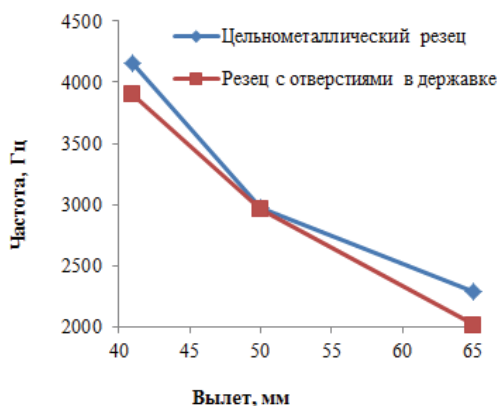
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Зависимость частоты от: а) частоты вращения; б) подачи; в) глубины резания и г) вылета резца при точении стали 45

Увеличение частоты вращения при постоянной величине глубины резания (0,05 мм), подачи (0,05 мм/об) и вылета резца (50 мм) приводит к увеличению частоты колебаний. Однако, как видно на рисунке 3а, это увеличение незначительно. Такая же тенденция прослеживается при точении алюминия и чугуна (табл. 2). При точении стали, алюминия и чугуна цельнометаллическим резцом увеличение подачи приводит к увеличению частоты колебаний, и при использовании резца с отверстиями в державке уменьшалась частота колебаний (рис. 3б, табл. 2). При увеличении глубины резания частота колебаний увеличивается. В качестве примера эта зависимость показана для стали 45 (рис. 3в). Из рис. 3г видно сильное влияние вылета резца на частоту колебаний. С увеличением вылета резца частота колебаний уменьшается. Данные табл. 2 и графиков на рис. 3 показывают, что в каждом эксперименте при использовании металлического резца с отверстиями в державке уменьшалась частота колебаний, причиной чему является наличие от-

верстий во вставке державки резца. Это можно объяснить тем, что державка с горизонтальными отверстиями имеет неоднородную структуру. При прохождении волны колебаний они постоянно проходят через чередующиеся границы сред: металл — воздух — металл — воздух. Происходит гашение колебаний, их частичное отражение, изменение направления движения, так как отверстия выполнены в шахматном порядке. В результате колебания затухают, что стабилизирует положение державки в пространстве и ведет к повышению качества обработанной поверхности.

Выводы. Проведено экспериментальное исследование с целью определения влияния факторов, таких как частота вращения, глубина резания, подача, вылет и вид резца, при точении деталей из разных материалов на частоту колебаний, при помощи метода однофакторного эксперимента.

После проведения экспериментов получены следующие выводы.

Вылет резца оказывает значительное влияние на частоту колебаний среди других факторов. Значение частоты колебаний при использовании металлического резца с отверстиями в державке меньше по сравнению с металлическим резцом. Оптимальный режим резания, при котором частота колебаний имеет наименьшее значение, для всех испытуемых материалов одинаков и является: $N = 1000 \text{ мин}^{-1}$, глубина резания $t = 0,05 \text{ мм}$, подача $S = 0,05 \text{ мм/об}$, вылет $L = 65 \text{ мм}$ при использовании металлического резца с отверстиями в державке.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белов П.С. Повышение качества обработки за счет улучшения конструктивно-технологических параметров резцов: Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 2012. [*Belov P.S. Povyshenie kachestva obrabotki za schet uluchsheniya konstruktivno-tehnologicheskikh parametrov rezcov: Diss. ... kand. tehn. nauk. — М., 2012.*]
- [2] Кудинов В.А. Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1967. [*Kudinov V.A. Dinamika stankov. — М.: Mashinostroenie, 1967.*]
- [3] Рогов В.А. Разработка и исследование конструкций и технология изготовления деталей и сборочных единиц станков из высоконаполненного композиционного материала: Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 1986. [*Rogov V.A. Razrabotka i issledovanie konstrukcij i tehnologija izgotovlenija detalej i sborochnyh edinic stankov iz vysokonapolnennogo kompozicionnogo materiala. Diss. ... kand. tehn. nauk. — М., 1986.*]
- [4] Abuthakeer S.S., Mohanram P.V. and Moham kumar G. Prediction and control of cutting tool vibration in Cnc lathe with Anova and Ann // International Journal of Lean Thinking. — 2011. — Vol. 2. — № 1. — P. 1—23.
- [5] Ivana Kovačić. The chatter vibrations in metal cutting — theoretical approach // The scientific journal FACTA UNIVERSITATIS Series: Mechanical Engineering. — 1998. — Vol. 1. — № 5. — P. 581—593.
- [6] Luke H.H. and Joseph C.C. A Multiple Regression Model to predict In-process surface roughness in turning operation via Accelerometer. Journal of Industrial Technology // (Internet (www.nait.org)). — 2001. — Vol. 17. — № 2. — P. 2—7.
- [7] Nidhi Gupta, Sawan Arya and Niti Rai. Areal tool condition monitoring of central lathe machining // International Journal of Emerging Trends in Engineering and development. — 2012. — Vol. 7. — № 2. — P. 608—618.

- [8] *Pratesh Jayaswal and Nidhi Gupta*. An investigation of tool condition monitoring // *International Journal of Engineering Science and Technology*. — 2012. — Vol. 4. — № 8. — P. 3858—3865.
- [9] *Vikas B. Magdum1 and Vinayak R. Naik*. Tool Wear Monitoring when Turning EN 8 Steel with HSS-M2 Tool // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. — 2013. — Vol. 2. — № 5. — P. 1706—1711.

VIBRATIONAL INVESTIGATION ON TOOLHOLDERS OF CUTTING TOOLS IN FINISH TURNING

V.A. Rogov, S. Ghorbani

Engineering Faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaja str., 6, Moscow, Russia, 117198

This paper investigates the effect of cutting tool construction, cutting conditions and overhang on the frequency during machining. The standard cutting tool and cutting tool with horizontal holes arranged in a chess-board pattern, made of hardened steel AISI 5140, were used. Three different workpieces made of aluminum, steel and cast iron were used. The experiments were carried out, based on single-factor experiment, on the lathe model 16K20VF1 (Russia). Results of experiments showed that the most significant parameter influencing the vibration is overhang variation. Besides, the optimum cutting conditions for the machined materials were found at different levels.

Key words: vibration, cutting conditions, tool wear, single-factorial design.