

УДК 621.92

Ю.А. Сизый, д-р техн. наук, А.В. Фесенко, канд. техн. наук,
Ю.Н. Любимый, Харьков, Украина

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ НА КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОМ СТАНКЕ МОДЕЛИ ЗБ153У

У статті наведено приклад практичної ідентифікації технологічної системи врізного шліфування визначенням загального її показника – амплітудно-частотної характеристики $A(\omega)$ при $\omega=0$.

В статье приведен пример практической идентификации технологической системы врезного шлифования определением ее общего показателя – амплитудно-частотной характеристики $A(\omega)$ при $\omega=0$.

In this article the example infeed grinding system identification by definition of it general index-amplitude-frequency response of the system $A(\omega)$ when $\omega=0$.

Представленные в статье результаты предполагают их использование для дальнейшего исследования эффективности применения различных составов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), способов их приготовления и подачи.

Принимается, что круглое наружное врезное шлифование (КНВШ) является наиболее приемлемой схемой шлифования для определения эффективности применения различных составов СОЖ, способов их приготовления и подвода в зону обработки. КНВШ, в отличие от круглого шлифования с продольной подачей, позволяет сохранять неизменным положение шлифуемой поверхности вдоль оси детали, т.е. от опыта к опыту сохранить неизменной ее жесткость, а значит и податливость всей упругой системы станка.

Поэтому, имеющееся оборудование для проведения исследований: круглошлифовальный универсальный станок ЗБ153У с возможностью только ручного управления врезной подачей, был подвергнут модернизации с целью получения автоматизированной врезной подачи с бесступенчатым регулированием.

Модернизация заключалась в механизации привода вращения винта поперечной подачи с помощью гидродвигателя через редуктор и две ременные передачи. Схема станка показана на рисунке 1.

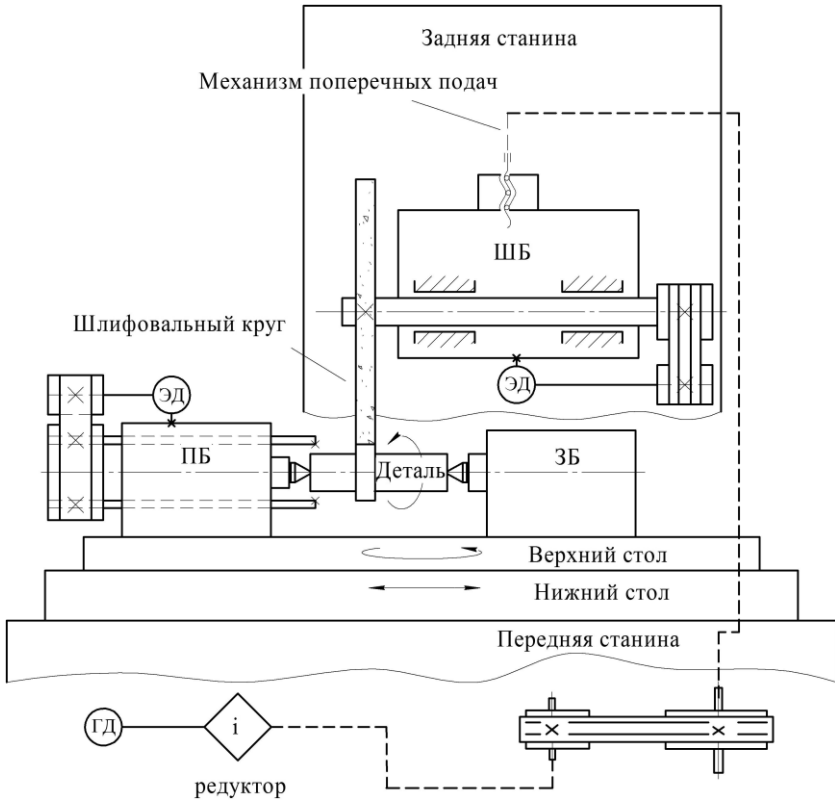


Рисунок 1 – Схема станка мод. 3Б153У

Бесступенчатая регулировка частоты вращения гидродвигателя осуществляется гидродвигателем привода продольного перемещения стола станка. Для понижения частоты вращения винта поперечных подач установлен редуктор с передаточным отношением 1/40 в цепи передачи вращения от гидродвигателя к винту поперечных подач.

В результате данных изменений реализована возможность осуществлять автоматические врезные подачи с плавной их регулировкой от 0 до 1 мм/мин. При необходимости увеличения минутной врезной подачи можно поменять местами ведущий и ведомый шкивы.

Известно, что свойства СОЖ, способов ее приготовления и подачи оцениваются такими важнейшими показателями как: охлаждающее, диспергирующее и смазывающее их действие. В дальнейших исследованиях

предполагается оценка СОЖ по влиянию ее на диспергирующее и смазывающее свойства. Эти свойства в основном проявляются во влиянии их на силу шлифования. Поэтому модернизированный станок ЗБ153У был снабжен системой измерения составляющих силы шлифования: нормальной P_y и тангенциальной P_z . Для этого разработана измерительная система, которая позволяет записывать результаты экспериментальных данных на персональном компьютере (ПК). Обобщенная схема системы измерения составляющих силы резания представлена на рисунке 2.

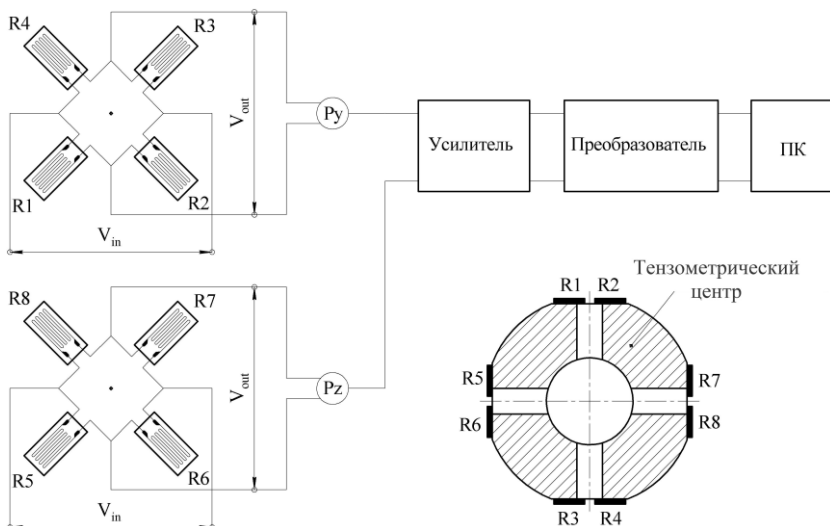


Рисунок 2 – Схема системы измерения составляющих силы резания

Здесь первичным преобразователем является задний тензометрический центр, на который наклеены восемь тензорезисторов по двум мостовым схемам. Каждый мост обеспечивает измерение одной составляющей силы резания, преобразовывая деформации заднего центра в уровень напряжения в микровольтах. Для дальнейшей обработки полученный аналоговый сигнал очень слабый. Поэтому перед преобразованием предусмотрено его предварительное двухкаскадное усиление приблизительно в 20000 раз. Усиленный сигнал поступает в микроконтроллер преобразователя, который производит калибровку, оцифровывает его и выводит данные на ПК.

Результаты расчетов передаются на ЭВМ через USB-COM преобразователь с гальванической развязкой. С помощью программы реализовано чтение данных, а также управление микроконтроллером.

Изменение (уменьшение) силы шлифования, достигаемое составом СОЖ, способом подвода ее и приготовления не является показателем, позволяющим оценить эффективность процесса шлифования. В качестве такого показателя может быть принята производительность процесса шлифования при достижении требуемого качества.

Производительность процесса врезного шлифования может быть определена с использованием формул расчета снимаемого припуска на всех фазах цикла, полученных и приведенных в [1].

Если проектировать цикл врезного шлифования, включающий две фазы: 1) шлифование на ускоренной черновой подаче $S_{чер}$; 2) шлифование на чистовой подаче $S_{чист}$, то необходимо воспользоваться следующими формулами расчета припуска снимаемого в эти две фазы цикла.

$$P_{чер} = \sum_{i=1}^n [S_{чер}(1-K^i)], \quad (1)$$

$$P_{чист} = \sum_{i=1}^n [S_{чист}(1-K^i) + S_{чер} \cdot K^i] \quad (2)$$

где $P_{чер}$ – припуск, снимаемый на черновой подаче; $P_{чист}$ – припуск, снимаемый на чистовой подаче; K – обобщенная характеристика системы шлифования; i – номер оборота заготовки; $S_{чер}$ – подача черновая на оборот заготовки; $S_{чист}$ – подача чистовая на оборот заготовки.

Параметром качества, ограничивающим применение режимов шлифования может быть принята предельная температура нагрева поверхности детали $T_{пред}$, превышение которой приведет к недопустимому изменению твердости поверхности, возникновению нежелательных фазовых и структурных изменений в материале детали или возникновению нежелательных остаточных напряжений.

Для пользования формулами (1) и (2) необходимо знать важнейший параметр системы врезного шлифования (СВШ) K , который определяется следующим образом [2]:

$$K = \frac{C_p}{J + C_p}, \quad (3)$$

где C_p – жесткость процесса шлифования, $\frac{H}{м}$; J – жесткость упругой системы «станок – заготовка», (СЗ), $\frac{H}{м}$.

Параметр K в [2] назван обобщенной характеристикой (СВШ). Он получен из анализа динамической системы врезного шлифования амплитудно-частотной ее характеристикой

$$A(\omega) = d/\Delta h,$$

где d – деформация упругой системы станка; Δh – высота выступа детали, набегающего на круг при шлифовании правильной цилиндрической поверхности.

Значение K – это значение $A(\omega) < \omega_{пред}$, где $\omega_{пред}$ – предельное значение частоты изменения входной координаты в СВШ, т.е. Δh , при котором влияние частоты ω не сказывается на $A(\omega)$. Это значит $A(\omega) < \omega_{пред} = A(\omega = 0)$. Таким образом, K – это статическая характеристика СВШ.

Обычно при шлифовании хорошо заправленным кругом и при заготовке, прошедшей предварительную обработку точением, частота воздействия на СВШ неровностями заготовки и круга не превышает удвоенной частоты вращения заготовки, что обычно меньше $\omega_{пред}$, как это показано в [2]. Поэтому проектировать цикл врезного шлифования можно, пользуясь статической характеристикой СВШ, $K = A(\omega = 0)$.

Статическая характеристика СВШ может быть рассчитана, если известны C_p и j .

Для расчета C_p надо знать зависимость нормальной составляющей силы резания P_y от h – глубины шлифования

$$P_y = C_p \cdot h \quad (4)$$

Обычно зависимость (4) получается линеаризацией относительно глубины шлифования h зависимости силы P_y от условий шлифования (режимов резания, характеристики круга, условий правки и пр.)

Жесткость упругой системы «станок-заготовка» можно рассчитать по следующей формуле [2] :

$$J = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3}, \quad (5)$$

где C_1 – жесткость в связи заготовки со станком; C_2 – жесткость связи шлифовального круга со шлифовальной бабкой; C_3 – жесткость связи шлифовальной бабки со станиной.

Однако, параметры C_1 , C_2 , C_3 , C_p обычно, в самом общем случае не известны. Определение их достаточно сложная задача. А если говорить об

определении жесткости соединения круга на шпинделе станка с шлифовальной бабкой, которое реализуется гидродинамическими подшипниками, то экспериментальное ее определение должно производиться при вращающемся шпинделе, что практически невозможно в условиях производства.

В то же время не определяя параметры C_1, C_2, C_3, C_p можно поставить эксперимент по определению K , т.е. выполнить идентификацию СВШ.

В формуле (1) выражение $\sum_{i=0}^n K^i$ – сумма убывающей геометрической прогрессии, которую можно представить через ее знаменатель K [3].

В результате получим

$$P = S_0 \cdot \left[n - \frac{K \cdot (1 - K^n)}{1 - K} \right]. \quad (6)$$

Из (6) можно получить трансцендентное уравнение как функцию K

$$f(K) = P - S_0 \cdot \left[n - \frac{K \cdot (1 - K^n)}{1 - K} \right], \quad (7)$$

которое решается достаточно просто численно в пакете «MathCad». Таким образом, для экспериментального определения K с расчетом его по (7), необходимо с момента касания круга заготовки с подачей S_0 измерить величину снятого припуска P за n оборотов. Следовательно, фиксируемые результаты опыта – это P и n . При этом желательно, чтобы n было больше, чем количество оборотов до установившегося значения глубины шлифования, т.е. $n > n_{уст}$. В то же время n не должно значительно превышать $n_{уст}$, т.к. упругие свойства станка (жесткость j) и режущая способность круга (жесткость процесса шлифования C_p) особенно заметно себя проявляют в течении времени, когда $n < n_{уст}$.

Кроме P и n в эксперименте записываются на ПК величины составляющих силы резания P_z и P_y в функции времени.

Для того, чтобы перед началом процесса шлифования установить необходимую врезную подачу на оборот и частоту вращения заготовки, изготовлен специальный измерительный прибор (см. рис. 3). Принцип работы прибора основан на счете импульсов, которые подаются от прерывателя (энкодера). Прерыватель представляет собой диск с прорезями, которые с помощью оптопар позволяют генерировать электрические импульсы. На рисунке 4 показан прерыватель, установленный на механизме поперечных подач.



Рисунок 3 – Прибор для измерения частот вращения и врезной подачи

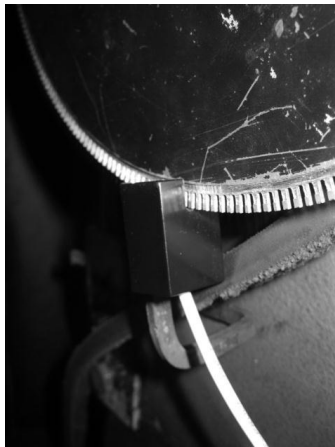


Рисунок 4 – Прерыватель, установленный на механизме поперечных подач

Измерительный прибор также имеет счетчик импульсов, который позволяет определить точное количество оборотов заготовки.

Для измерения диаметра заготовки до и после шлифования изготовлена специальная измерительная скоба с закрепленным на ней микрометрическим стрелочным индикатором.

Описанная методика идентификации СВШ реализована для следующих условий шлифования: материал заготовки сталь 40Х незакаленная, ширина шлифования 20 мм, частота вращения заготовки 292 об/мин, состав СОЖ – вода + сода 2% + масло 5%. Результаты пяти опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Протокол проведения экспериментальных исследований

№ опыта	Черновая подача на оборот s_0 , мкм/об	Припуск на обработку Pr , мкм	Число оборотов	Сила резания (P_r), Н	Установившиеся значения силы (P_z), Н
1	4,43	66	16	170	80
2	4,42	64	16	165	78
3	4,46	75	18	171	82
4	4,44	70	17	171	80
5	4,3	68	17	155	72

Программа расчета среднего значения K и протокол этого расчета в пакете MathCad приведены на распечатке рис. 5.

Расчет среднего экспериментального значения обобщенного показателя процесса шлифования станка мод. ЗБ153У

ORIGIN := 1

Исходные данные:

Черновая подача, мкм/об: $s01 := (4.43 \ 4.42 \ 4.46 \ 4.44 \ 4.30)^T$

Количество полных оборотов: $n1 := (16 \ 16 \ 18 \ 17 \ 17)^T$

Припуск на обработку, мкм: $Pr1 := (66 \ 64 \ 75 \ 70 \ 68)^T$

Программный расчет

```
K :=  $\left| \begin{array}{l} \text{Sum} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..5 \\ \quad s0 \leftarrow s01_i \\ \quad n \leftarrow n1_i \\ \quad Pr \leftarrow Pr1_i \\ \quad k \leftarrow 0.8 \\ \quad f(k) \leftarrow Pr - s0 \cdot \left[ n - \frac{k \cdot (1 - k^n)}{1 - k} \right] \\ \quad \text{solution} \leftarrow \text{root}(f(k), k) \\ \quad \text{Sum} \leftarrow \text{Sum} + \text{solution} \\ \text{Sol} \leftarrow \frac{\text{Sum}}{5} \end{array} \right.$ 
```

$K = 0.553$

Рисунок 5 – Программный расчет обобщенного показателя процесса врезного шлифования

На рисунке 6 приведены зависимости $P_z(t)$ и $P_y(t)$ для опыта №1 согласно табл. 1.



Рисунок б – Складові сили шліфування P_z і P_y як функції часу для експерименту №1 (згідно з табл. 1)

Из этих графиков видно, что процесс шлифования от начала касания кругом заготовки до отвода круга равнялся трем секундам. При этом видно, что P_y и P_z приобретают установившиеся значения через две секунды после касания кругом заготовки. При частоте вращения заготовки равной 292 об/мин время одного оборота равно $60/292=0,205$ сек. Следовательно, заготовка сделала $2/0,205 \approx 10$ оборотов до установившегося значения силы резания.

Установившиеся значения сил P_z , P_y означают, что шлифование производится с постоянной глубиной $h_{уст}$ равной подаче на оборот $S_{0чёрн}$ и для рассматриваемого опыта №1 (см. табл. 1) эта глубина $h_{уст} = 4,43$ мкм.

Зная $h_{уст}$ можно из (4) найти $C_p = \frac{P_y}{h_{уст}}$, которое для опыта №1 будет равно $170/0,00443=38374$ Н/мм = $3,837 \cdot 10^7$ Н/м. Зная жесткость процесса шлифования C_p , можно из (3) вычислить жесткость упругой системы «станок-заготовка».

$$j = C_p \cdot (1 - K). \tag{8}$$

Для рассматриваемого станка ЗБ153 получим

$$j = 3,837 \cdot 10^7 \cdot (1 - 0,553) = 1,715 \cdot 10^7 \text{ Н/м}.$$

Определив экспериментально C_1 и C_3 , что не представляет сложности, можно из (5) найти C_2 – жесткость связи шлифовального круга на шпинделе с

шлифовальной бабкой, которую, как указано выше, экспериментально определить затруднительно.

Знание составляющих C_1 , C_2 , C_3 общей жесткости технологической системы j дает важную информацию специалисту (конструктору и технологу) для поиска практических решений, позволяющих повысить j и тем самым увеличить производительность процесса шлифования.

Выводы

1. Приведена методика идентификации динамической системы круглого наружного врезного шлифования по ее статической характеристике $K = C_p / (j + C_p)$.

2. Показан пример применения этой методики для станка с модернизированным приводом врезной подачи, обеспечивающим автоматизированное бесступенчатое изменение ее скорости, а также оборудованного необходимыми средствами измерения.

3. Установлено, что статическая характеристика K модернизированного станка 3Б153У при черновой врезной подаче $S_{01} \approx 4,35$ мкм/об, материале заготовки – сталь 40Х, ширине шлифования 20 мм, составе СОЖ: вода + масло 5% + сода 2%, при круге с характеристикой 25А СМ1 6 К6, имеет значение равно 0,553. Этот параметр может быть в дальнейшем использован для сравнения по нему эффективности применения СОЖ других составов при прочих неизменных условиях.

4. Получив экспериментальную зависимость $P_y(t)$ при постоянной врезной подаче, можно установить значение P_y при установившейся глубине шлифования $h_{уст}$, которая будет равна подаче на оборот. Зная P_y и $h_{уст}$, можно вычислить C_p – жесткость процесса шлифования и жесткость j всей упругой системы «заготовка-станок».

5. Выполнив экспериментальное определение жесткости связей «заготовка - станина» и «шпиндельная бабка - станина» из (5), можно вычислить жесткость связи шлифовального круга с шлифовальной бабкой и, таким образом, получить важную информацию об упругой системе «станок-заготовка». Эта информация может быть полезной для принятия мер к повышению жесткости системы «станок-заготовка».

Список использованных источников: 1. Сизий Ю.А., Евтухов А.В. Розрахунок основного часу круглого врізного шліфування // «Вісник Сумського національного аграрного університету». – 2004. – №11. – С 82-90. 2. Сизий Ю.А., Евтухов А.В. Статическая и динамическая характеристики технологической системы врезного шлифования // «Резание и инструмент в технологических системах». – 2003. – Вып. 64. – С. 185-192. 3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М., 1962. – 608 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2013