

УДК 621.9

В.Є. Карпусь, д-р техн. наук, В.О. Иванов, К.С. Вараксіна, Харків, Україна

### ВИБІР БАЗУЮЧИХ МОДУЛІВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕННЯ ВАЛІВ ПРИ ОБРОБЦІ НА СВЕРДЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

В статье рассмотрены базирующие модули для установки валов при обработке на сверлильно-фрезерно-расточных станках. Аналитически по формулам и по теории размерных цепей определены погрешности базирования валов в призмах. Получены зависимости для расчета времени переналадки базирующих модулей при смене объекта обработки.

The base modules for multidiameter shaft location on drilling-milling-boring machine-tools are considered. Shaft locating errors in prisms are determined analytically and by dimension chain theory. The dependences of base module changeover time when workpiece replacement are obtained.

Вали широко використовуються у механізмах машин для передачі обертального руху та крутного моменту. Їх розрізняють за службовим призначенням, конструкцією, розмірам і матеріалом. Вони можуть бути безступінчасті та ступінчасті, суцільні та пустотілі, гладкі та шліцьові, вали-шестірні, а також комбіновані в різних поєднаннях.

У машинобудуванні найбільш поширені ступінчасті вали діаметром 30...80 мм і довжиною 150...1000 мм, які складають понад 85% від загальної кількості типорозмірів валів [1]. Ступінчасті вали поділяються на короткі (до 250 мм), середні (250...350 мм) та довгі (понад 350 мм). Жорсткими вважають вали, у яких відношення довжини до діаметра не перевищує 10.

Найбільш трудомісткими у виготовленні є ступінчасті вали, які мають шийки під підшипники та зубчасті колеса, шпонкові канавки, шліцьові та різьбові поверхні. Вали виготовляють із вуглецевих і легованих конструкційних сталей (35, 40, 45, 40Г, 50Г, 40Х, 50Х та ін.) і, як правило, піддають термічній обробці.

На рис. 1 наведено запропоновану класифікацію валів, що обробляються на свердильно-фрезерно-розточувальних верстатах, на яких найчастіше виконують фрезерування лисок і шпонкових пазів, свердління отворів, а також комбінації цих оброблюваних поверхонь, кількість яких може бути від однієї до кількох залежно від службового призначення вала. Як правило, вали базують по зовнішніх циліндричних поверхнях і торцю. Для реалізації цієї схеми базування застосовують різні конструкції призм, найчастіше призми з кутом 90°, в яких забезпечується найбільша усталеність заготовки, причому оброблювана поверхня може розміщуватися відносно базових поверхонь на консолях, над опорою або між опорами. Нами запропонована класифікація призм за ступенем гнучкості, способом та ступенем автоматизації переналагодження, механізмами регулювання і областю переналагодження (рис. 2). Найвища

ефективність обробки валів забезпечується при мінімальних витратах підготовчо-заключного часу на переналагодження установочних елементів, що досягається при використанні автоматизовано переналагоджуваних призм.



Рис. 1. Класифікація валів, що обробляються на свердильно-фрезерно-розточувальних верстатах

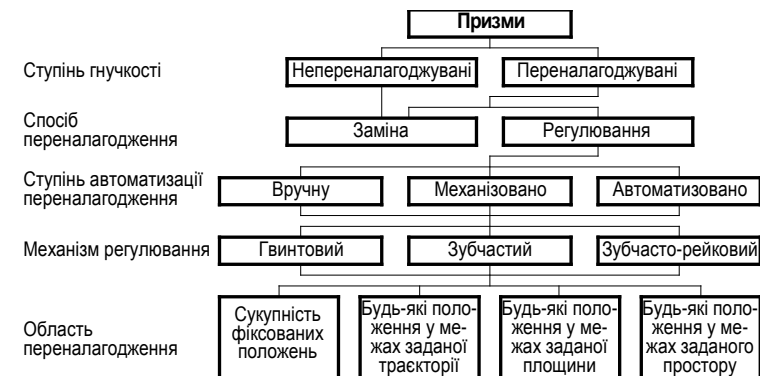


Рис. 2. Класифікація призм

Базування заготовок у верстатних пристроях (ВП) є одним з найважливіших факторів, що суттєво впливають на точність обробки. При базуванні валів у призмах через неспівпадіння вимірювальної і технологічної баз виникає похибка базування. У зв'язку з цим положення вимірювальних баз різних заготовок у виробничій партії при базуванні буде різним відносно оброблюваної поверхні.

Як правило, на кресленнях можуть задавати розміри оброблюваної поверхні від різних конструкторських баз, які не співпадають з вимірювальними (табл. 1). Наприклад, для обробки лиски на валу можуть бути задані такі розміри:  $h_1$  – від нижньої твірної вала до оброблюваної поверхні;  $h_2$  – від верхньої твірної вала до оброблюваної поверхні;  $h_3$  – від осі вала до оброблюваної

поверхні. Похибка базування  $\varepsilon_{\sigma}$  для розмірів  $h_1, h_2, h_3$  при встановленні вала у призми залежить від допуску на зовнішній діаметр заготовки  $Td$  і від кута  $\alpha$  призми.

Таблиця 1

Похибки базування валів у призмах

Розмір	Похибка базування вала при схемі обробки лиски			
	паралельно до стола верстата		перпендикулярно до стола верстата	
	формула	$\varepsilon_{\sigma}$ , мкм	формула	$\varepsilon_{\sigma}$ , мкм
$h_1$	$\frac{Td}{2} \cdot \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$	33	$\frac{Td}{2}$	80
$h_2$	$\frac{Td}{2} \cdot \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$	193	$\frac{Td}{2}$	80
$h_3$	$\frac{Td}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}$	113	0	0

Розглянемо схеми базування валів у призмах, коли обробляється лиска паралельно або перпендикулярно до робочої поверхні стола верстата. Аналітичні розрахунки дозволили визначити похибки базування валів для обох схем обробки при базових діаметрах вала 30...50 мм з полем допуску  $Td = 160$  мкм (IT11). При фрезеруванні лиски, паралельної до поверхні стола верстата, мінімальною буде похибка базування для розміру  $h_1$ . Досягнення  $\varepsilon_{\sigma} = 0$  можливе лише за умови отримання розміру  $h_3$  при фрезеруванні лиски, перпендикулярної до робочої поверхні стола верстата.

Одним із способів визначення похибки базування є розрахунок за теорією розмірних ланцюгів. При механічній обробці деталей їх розміри мають певні випадкові похибки, а отже у партії оброблених деталей буде розсіювання значень розмірів, що підпорядковується закону розподілення випадкових величин. Похибка замикаючої ланки і є такою випадковою величиною, що являє собою суму випадкових похибок складових ланок. Тому похибки

замикаючої ланки будуть підпорядковуватись закону нормального розподілу і тим точніше, чим більша кількість складових ланок розмірного ланцюга. Розрахунки виконують за методами максимуму і мінімуму та імовірнісним. Імовірнісний метод припускає, що 0,27% (відсоток ризику) оброблених деталей мають розміри, які виходять за межі поля допуску [2]. Допуск на розмір замикаючої ланки за імовірнісним методом визначається з урахуванням коефіцієнту відносного розсіювання  $K$  (для закону нормального розподілення  $K = 1$ ) за формулою [2]:

$$Td_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i^2 \cdot Td_i^2)}$$

Розглянемо розрахунок похибки базування вала у запропонованій базуючій призмі [3], що входить до комплексу універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв [4] за теорією розмірних ланцюгів. Для базуючої призми визначили ланки, які впливають на точність встановлення вала, і призначили допуски на виготовлення всіх елементів, що входять до розмірного ланцюга. Розмірний ланцюг складається з 11 ланок, які враховують коливання діаметрів вала у партії, зазори між спряженими деталями, а також бокові зазори у зубчастій передачі (рис. 3).

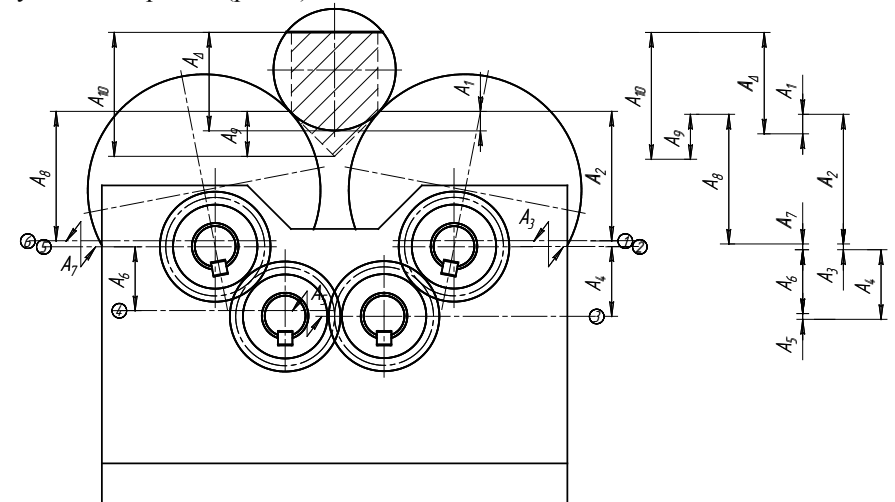


Рис. 3. Базирующая призма (патент Украины № 31416) і розмірний ланцюг для визначення похибки базування при фрезеруванні лиски, паралельної до стола верстата

Допуски на ланки розмірного ланцюга призначаємо відповідно до робочих креслень деталей базуючої призми та їх геометричних співвідношень, а також допусків на зубчасті передачі (табл. 2).

Таблица 2  
Допуски на ланки розмірного ланцюга базуючої призми (при фрезеруванні лиски, паралельної до робочої поверхні стола верстата)

Назва ланки	Величина допуску, мкм	Пояснення	Джерело інформації
$TA_1$	24	Допуск на розмір між технологічною і вимірною базами заготовки	$TA_1 = \frac{Td_{заг}}{2} \cdot (1 - \cos \alpha)$ , де $Td_{заг}$ – допуск на діаметр заготовки; $\alpha$ – кут призми
$TA_2$	17	Допуск на розмір між технологічною базою заготовки і віссю обертання опорного диска (вісь 1)	$TA_2 = \frac{Td_{диска}}{2} \cdot \cos 45^\circ + Te \cdot \sin \gamma$ , де $e$ – ексцентриситет; $\gamma$ – кут повороту диска
$TA_3$	29	Можливий максимальний зазор між осями вала і отвору у кутнику (осі 1 і 2 відповідно)	Відповідно до креслень вала і кутника
$TA_4$	23	Допуск на боковий зазор $j_{n \min}$ між парою зубчастих коліс з урахуванням косинуса кута, під яким розташовано колеса	$TA_4 = j_{n \min} \cdot \cos 45^\circ$ відповідно до ГОСТ 1643-81
$TA_5$	30	Можливий максимальний зазор між осями отворів у кутнику (осі 3 і 4)	Відповідно до креслення кутника
$TA_6$	23	Допуск на боковий зазор $j_{n \min}$ між парою зубчастих коліс з урахуванням косинуса кута, під яким розташовано колеса	$TA_6 = j_{n \min} \cdot \cos 45^\circ$ відповідно до ГОСТ 1643-81
$TA_7$	29	Можливий максимальний зазор між осями отвору у кутнику і вала (осі 5 і 6 відповідно)	Відповідно до креслень вала і кутника
$TA_8$	17	Допуск на розмір між віссю обертання опорного диска (вісь 6) і технологічною базою заготовки	$TA_8 = \frac{Td_{диска}}{2} \cdot \cos 45^\circ + Te \cdot \sin \gamma$
$TA_9$	11	Допуск на розмір еталона	Відповідно до технічних вимог на виготовлення еталонів
$TA_{10}$	10	Допуск на розмір для налагодження різального інструменту	Відповідно до вимог на налагодження різального інструменту

Таким чином, допуск замикаючої ланки  $TA_\Delta$  за імовірнісним методом:

$$TA_\Delta = \sqrt{24^2 + 17^2 + 29^2 + 23^2 + 30^2 + 23^2 + 29^2 + 17^2 + 11^2 + 10^2} = 70 \text{ мкм.}$$

Крім того, складено розмірні ланцюги і виконано розрахунки за імовірнісним методом для таких базуючих модулів: призма з комплекту елементів системи універсально-збірних пристроїв (УЗП) (рис. 4, а), призма з гвинтовими опорами, що незалежно регулюються (рис. 4, б); призма, що регулюється (рис. 4, в) [5]; призма з комплекту елементів системи збірно-розбірних пристроїв (ЗРП) (рис. 4, г); самоцентруючі лещата з призматичними губками (рис. 4, д).

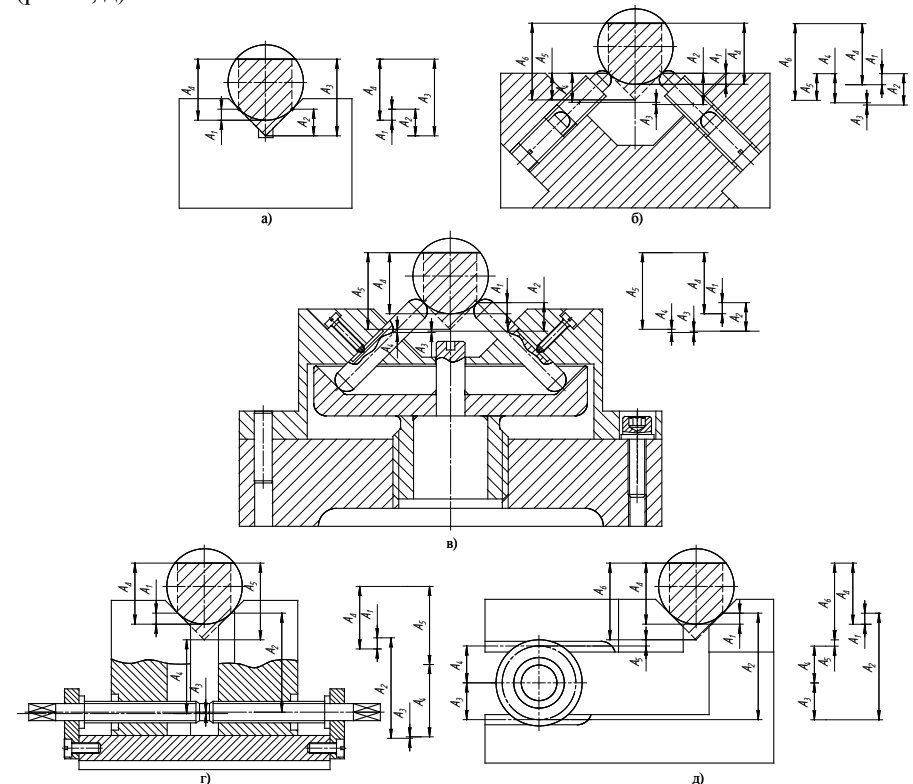


Рис. 4. Конструкції базуючих модулів і розмірні ланцюги: а – призма з комплекту УЗП; б – призма з опорами, що незалежно регулюються; в – призма, що регулюється; г – призма з комплекту ЗРП; д – самоцентруючі лещата з призматичними губками

Сучасне машинобудування, яке характеризується нестабільністю номенклатури й обсягів випуску продукції, потребує від конструкцій ВП підвищеної гнучкості. Гнучкість – це здатність ВП до переналагодження (шляхом

заміни або регулювання) його елементів у межах заданих технічних характеристик для обробки потрібної номенклатури оброблюваних деталей.



Ступінь гнучкості ВП залежить від часу переналагодження  $t_{nep_i}$  його елементів для обробки деталі  $i$ -го типорозміру і визначається за формулою:

$$G_{ВП} = \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^n t_{nep_i}}{\sum_{i=1}^n t_i \cdot N_i}}$$





З використанням загальномашинобудівних нормативів [6] нами отримано формули для визначення часу переналагодження  $t_{nep}$  установочних елементів призм залежно від діаметрів базових поверхонь обробленої деталі  $d_2$  і заготовки  $d_1$ , що підлягає обробці; діаметра зубчастого колеса  $d_{зк}$  для зубчастого і зубчато-рейкового механізмів регулювання; кроку  $P$  для гвинтових механізмів регулювання. Похибка розрахунку за запропонованими формулами не перевищує 6%. У табл. 3 наведено результати розрахунку похибок базування валів у наведених базуючих модулях за теорією розмірних ланцюгів, діапазони діаметрів заготовок, які можливо встановити, а також формули для визначення часу переналагодження установочних елементів при зміні об'єкту обробки.

Таблиця 3

Технологічні можливості базуючих модулів для установлення валів

Базуючий модуль	Похибка базування вала, мкм, при установленні у базуючий модуль для обробки лиски		Діапазон діаметрів встановлюваних заготовок, мм	Формули для визначення часу переналагодження базуючих модулів, хв.
	паралельно до робочої поверхні стола верстата	перпендикулярно до робочої поверхні стола верстата		
1	2	3	4	5
	70	67	25...100	$t_{nep} = \frac{0,103}{\pi} \cdot \frac{(d_2 - d_1)}{d_{зк}}$
	28	28	Комплект з 9 призм	Переналагодження виконується шляхом перекомпонування

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5
	118	63	5...90	$t_{nep} = 0,3 + \frac{0,032 \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right)^{0,73}}{P^{0,62}}$
	88	62	30...80	$t_{nep} = 0,28 + \frac{0,028 \cdot \left[\left(\frac{d_2 - d_1}{2}\right) \cdot \text{Sin} \alpha\right]^{0,73}}{P^{0,62}}$
	56	63	25...110	$t_{nep} = 1,41 + \frac{0,028 \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{\sqrt{8}}\right)^{0,73}}{P^{0,62}}$
	74	63	25...100	$t_{nep} = \frac{0,224}{\pi} \cdot \frac{(d_2 - d_1)}{d_{зк}}$

Порівняльний аналіз конструкцій призм для базування валів, показав, що в умовах багатомоделного виробництва при виборі компоновки ВП перевагу слід надавати базуючим модулям з мінімальними витратами часу на переналагодження. Враховуючи можливість переналагодження базуючої призми у широкому діапазоні і заданий конструктором допуск ( $Td = 160$  мкм), можна зробити висновок, що запропонований модуль на основі базуючої призми дозволить отримати розмір з заданою точністю.

Список літератури: 1. Технология машиностроения (спец. часть) : учеб. для вузов / [А. А. Гусев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Колесов и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с. 2. Солонин И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 110 с. 3. Пат. на корисну модель № 31416 Україна, МПК (2006) B23В 39/00. Базуюча призма, що автоматично регулюється / Карпуть В. С., Іванов В. О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т "ХПІ". – № у 2007 12864; заявл. 20.11.2007; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7. 4. Карпуть В. Е. Универсально-сборные переналаживаемые приспособления / В. Е. Карпуть, В. А. Иванов // Вестник машиностроения. – М. : Машиностроение, 2008. – № 11. – С. 46–50. 5. Пат. на корисну модель № 29823 Україна, МПК (2006) B23В 39/00. Призма регулювана / Карпуть В.С., Іванов В.О.; заявник та власник патенту Нац. техн. ун-т "ХПІ". – № у 2007 11451; заявл. 15.10.07; опубл. 25.01.08, Бюл. № 2. 6. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин : мелкосерийное и единичное производство. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1974. – 220 с.