

4. Проектирование и эксплуатация лазерных приборов в судостроении: Справочник / Е.Ф. Белов, Б.С. Губанов, В. Я. Зельченко и др. – Л.: Судостроение, 1986. – 336 с.
5. Постройка корпусов судов на стапеле: Справочник / Л. Ц. Адлерштейн, А. Я. Розин, В. Ф. Соколов, М.Р. Шраерман. – Л.: Судостроение, 1977. – 303 с.
6. Основы механизации и автоматизации судостроительного производства: Учебник/ Бавыкин Г.В., Доброленский В.П., Догадин А.В., и др.; под общ. ред. Соколова В.Ф. - Л.: Судостроение, 1989. -360с.
7. Применение трехмерного лазерного сканирования в отечественном судостроении В.П. Суетин, В.А. Кукушкин, В.А. Стародубов, М.Ю. Дружинин, С.Л. Серегин. // Геопрофи. 2005. №1. С. 16-19.
8. Johnson, G. W., Walker, H. F. Use And Implementation Of Digital Close-Range Photogrammetry to Enhance Competitiveness: Use, Application, And Cost Justification. // FAIM 97. Conference. – Middlesbrough, England. – 1997.
9. Fraser, C.S., Brown. D.C. Industrial Photogrammetry: New Developments and Recent Applications. // The Photogrammetric Record. –1986. – №12(68). – P.197 – 217
10. Maas Hans-Gerd, Kersten Thomas. // Digital Close Range Photogrammetry For Dimensional Checking and Control in a Shipyard. – VIDEOMETRICS 8. – 1994. – P. 18 –24
11. Серпов Б.И, Харлаб А.Ю. Сфера и эффективность роботизации технологических процессов в корпусообработывающем производстве // Технология судостроения. 1982. №11. С. 28-30.
12. Градецкий В.Г., Рачков М.Ю. Роботы вертикального перемещения. – М.: Тип. Мин. Образования РФ, 1997. – 223 с.
13. ОСТ5.9324-89. Комплексная система контроля качества корпуса металлических судов. Точность изготовления узлов и секций. – Введ. 01.01.91. – М.: Из-во стандартов, 1991. – 108 с.
14. IACS. International Association of Classification Socialites. –London. – 1996. – 62 p.

Сдано в редакцию 31.01.07

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ГІДРОРІЗНОГО ВЕРСТАТА ІЗ СИСТЕМОЮ КОНТРОЛЮ ЗОНИ СТРУМИННОЇ ЕРОЗІЇ

Саленко О.Ф., Антоненко О.В. (Кременчуцький державний політехнічний університет)

Materials of researches, directed on development of theory of structural analysis of decisions of arrangements in the area of machine-tool construction are presented in the article, in particular, machine-tools for gidro jetting. New theoretical positions which are based on the account of spatial position of instrument and control chains are described, new technical decisions, and also mathematical models of work of separate knots and systems of machine-tool, are presented.

Створення нових машин та обладнання, яке реалізує високоефективні фізико-технічні явища для формоутворення заготовок і деталей є перспективним напрямком розвитку сучасного машинобудування. Серед таких машин активно розширюється сектор верстатів для струминного різання конструкційних неметалевих матеріалів. Володіючи високою різальною спроможністю, струмінь рідини, що витікає із сопла з надзвуковою швидкістю, виконує контурне різання, уподібнюючись до ідеалізованого точкового інструменту безперервної дії.

Не зважаючи на те, що досліді щодо активізації процесу ведуться з 60-х років минулого сторіччя, наразі не існує систем автоматичного адаптивного керування процесом, а представлені на ринку гідрорізні верстати мають переважно типове порталне компонування (рис.1). Вважається, що головною причиною відсутності

подібних розробок є складність явищ взаємодії струменя з поверхнею, а також обмеження, накладені технічними рішеннями, відтвореними у гідрорізних верстатах.

Отже, пошук нових технічних рішень, які б дозволили реалізувати систему безперервного контролю зони струминної ерозії, є актуальною задачею сьогодення.

Проведені нами дослідження доводять, що такі рішення можна виявити на снові розвитку теорії компоновань металорізальних верстатів.



Рис. 1. Деякі моделі гідрорізного обладнання – WaterJet та Resoto

Відомо, що будь-який верстат складається із основи (нерухомого блоку) та ряду переміщувальних вузлів (рухомих блоків), які, рухаючись за певними координатними осями, дозволяють виконувати формоутворення поверхонь напрямними та твірними лініями. Відповідно до стандарту ISO вісь координат завжди приймають паралельно осі головного шпинделя, незалежно від того, як він розташований. За позитивний напрямок осі Z приймається напрямок від заготовки до інструменту, а вісь X приймають завжди горизонтальною. Додаткові рухи, паралельні осям X , Y , Z позначають відповідно U , V , W (вторинні) та P , Q , R (третинні). Обертові довкола осей X , Y , Z рухи позначають як A , B , C , а додаткові – D , E . Блоки можуть бути з'єднані як послідовно (при цьому використовуються символ “.”) так і паралельно (символ “+”). Додаткові пристрої, що розвивають конструктивний ланцюг, позначають на відповідному кінці формули у квадратних дужках.

Такий підхід дозволяє виявити більшість варіантів компоновань верстатів, а також, шляхом обернення окремих елементів кінематичного ланцюга, тобто перетворення нерухомих блоків у рухомі та навпаки, виявити найбільш перспективні конструктивні рішення. У той же час формули не передбачають залучення до опису положення та рухів інструменту, що на нашу думку, є важливим моментом при аналізі компоновань. Також відсутні у структурній формулі відомості про ланцюги контролю, які теж потребують відповідного опису. Після проведення ряду аналітичних досліджень нами було сформульовано основні положення опису структур гідрорізальних верстатів, поданих нижче:

- 1) опис компоновань гідрорізних верстатів, як і взагалі металорізальних верстатів, здійснюється для розташування осей координат відповідно до вимог ISO;

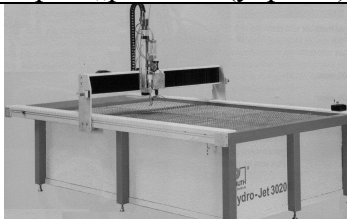
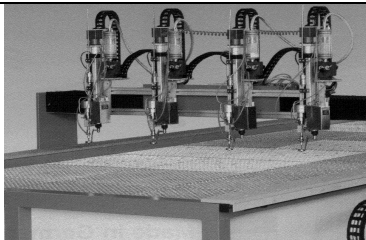
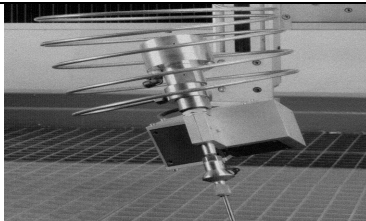
- 2) внаслідок того, що гідрорізанням піддають, в основному, плоскі довгі заготовки, ось Z розташовують завжди вертикально, а позитивний напрямок відкладуть від заготовки до струминної головки;
- 3) структурна формула пов'язує між собою ланки заготовки та струминної головки, а запис ведеться від заготовки, позначеної Z_{ij} з індексами, що вказують на площину її розташування на робочому столі, до струминної головки P з індексом, що вказує на напрямок переміщення для підтримання оптимальної відстані (він співпадає із віссю витікання струменя);
- 4) прописними літерами позначають головні рухи формоутворення, рядковими – рухи інтенсифікуючі (зворотно-поступальні із невеликими амплітудами);
- 5) зв'язок заготовки Z із робочим органом (i , відповідно, інструментом - струменем рідини) P здійснюється через базовий елемент – основу O ;
- 6) з урахуванням особливостей контролю процесу різання ланка контролюючого пристрою вводиться як додатковий рухомий блок, встановлений на одному із блоків верстата із відповідним записом до структурної формули у дужках.

Виходячи із наведеного, структурна формула компоновання гідрорізального верстата запишеться з таких міркувань. Головна вісь, яка за класифікацією ІСО є віссю шпинделя, співпадатиме з віссю струменя рідини надвисокого тиску. Рух потоку рідини, який здійснює роботу руйнування, позначимо через $\bar{P}$. Оброблювану заготовку позначатимемо як Z через площину, в якій вона розташована. Тоді, для типового компоновання гідрорізального верстата структурна формула набуде вигляду $Z_{xy} OXYz\bar{P}_z$, тобто нерухома заготовка знаходиться на робочому столі (рис. 1), що має координати руху X та Y , на елементі, що рухається у напрямку $\pm Y$ є додатковий привод z , на якому змонтовано струминну головку, встановлену вертикально (уздовж осі z). З огляду на те, що гідрорізання використовується переважно для операцій з листовими матеріалами, компоновання з довільним розташуванням заготовки у вертикальній площині сенсу не матиме. У той же час доцільним може бути встановлення заготовки під певним кутом до горизонтальної поверхні: це дає змогу частково зменшити поле заготовки за рахунок скорочення площі з lxb до $lx(\cos\alpha)b$, α – кут нахилу, а також забезпечити безперешкодне стікання рідини з оброблюваної поверхні. Структурні формули компоновання типоряду верстатів відомих виробників подано в табл. 1.

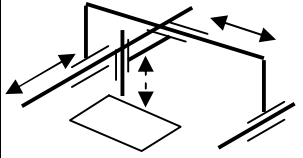
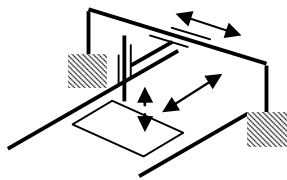
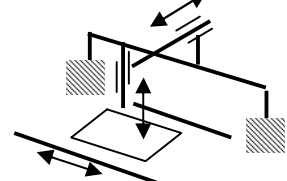
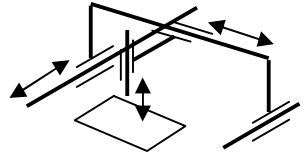
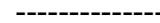
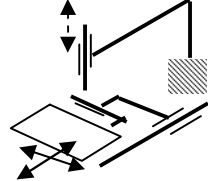
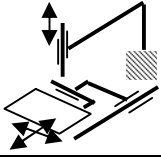
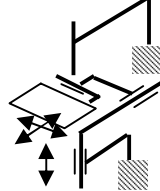
Розширення технологічних можливостей гідрорізних верстатів криється в пошуку нових компоновальних рішень, ефективних для виконання тих чи інших операцій розкроювання. Складемо таблицю, в якій прослідкуємо можливі зміни компоновання розкрійних верстатів при інверсуванні блоків, тобто при перенесенні рухомих блоків з одного ланцюга до іншого відносно основи. Матимемо таке (табл. 2.).

Інверсія рухомих блоків, тобто надання певних координатних рухів блокам заготовки замість блоків струминної головки доводить, що варіанти 1-4 вже існують (другий та третій варіанти не набули широкого розповсюдження, четвертий варіант найбільш поширений у західних виробників – трьохосове керування (x,y,z)). Заслугує на увагу варіант 9 (менш технологічним є варіант 8) – $z_{xy}uor_zz$, який передбачає надання рухів подач установлених в горизонтальній площині заготовці, у той час коли її товщину може компенсувати переміщення струминної головки по координаті z . Варіанти 5-7 мають значно менші технологічні можливості у порівнянні з вар. 9, варіант 10 є складним у конструктивному виконанні внаслідок того, що вертикальне переміщення заготовки значних розмірів спряжено із рядом складнощів.

Таблиця 1. Типоряд гідрорізних верстатів провідних виробників

№	Фірма-виробник та загальний вигляд верстата	Структурна формула
1	 Фірма „родень” (україна)	$3_{xy}OXYZP_z$
2	 Фірма „кнут” (німеччина)	$3_{xy}OXYZP_z$
3	 Фірма „кнут” (німеччина)	$3_{xy}OXY P_z$
4	 Багатоголовкова система “sweden waterjet”	$3_{xy}OXYZ4(P_z)$
5	 Кутова поворотна головка	$3_{xy}OXYZABP_z$

Таблиця 2. Деякі компонування, отримані на основі перестановок рухомих блоків

№	Формула	Опис	Ескіз	Примітка
1	$3_{xy}OXYP_z(z)$	Нерухома у площині XOY заготовка, рухома струминна головка, переміщення по z установче		Типове компонування
2	$3_{xy}XOYP_z(z)$	Заготовка рухається уздовж X, струминна головка переміщується за Y, установче переміщення - z		Відоме компонування $23_{xy}XO(y)P_z(z)$ – різання прямолінійних закрайок
3	$3_{xy}YOXP_z(z)$	Заготовка рухається уздовж Y, струминна головка переміщується за X, установче переміщення - z		Також відоме компонування $3_{xy}YO(x)P_z(z)$ – мірне прямолінійне різання
4	$3_{xy}OXYZP_z$	Заготовка нерухома, розташована у площині XOY, струминна головка здійснює усі координатні переміщення		Різновиди: $23_{xy}YOXZP_z$; $43_{xy}YOXZP_z$
5	$3_{xy}XOYZP_z$	Відміна від 2, 3 – кероване переміщення по координаті Z		
6	$3_{xy}YOXZP_z$			
7	$3_{xy}ZOXYP_z$	Заготовка переміщ. вертикально		Компонування невідоме
8	$3_{xy}XYOP_z(z)$	Керовані переміщення здійснює заготовка, координата z – установча		
9	$3_{xy}XYOP_zZ$	Керовані переміщення здійснює заготовка, координата Z забезпечується струминною головкою		Найбільш цікаве компонування, що відповідає компонуванню листообробних пресів
10	$3_{xy}XYZOP_z$	Усі переміщення здійснює заготовка		Необхідна складна система вертикального переміщення заготовки

Подані варіанти компоновань не охоплюють усіх конструктивних особливостей гідрорізних верстатів (у першу чергу стосовно систем керування обробкою) і потребують уточнення. Таке уточнення було виконане за допомогою морфологічного аналізу. При цьому було взято до уваги, що головними параметрами, які необхідно контролювати для забезпечення оптимальних умов протікання нестационарного процесу струминної ерозії, є реальна міцність T та структура S оброблюваного матеріалу ($h_1, \sigma_1, h_2, \sigma_2$ – для моделі двокомпонентного тришарового композита як ортотропного матеріалу).

Умови евакуації рідини обумовлюються наявністю або відсутністю її вільного стікання. Роботою [1] було показано, що ускладнене стікання відпрацьованого потоку призводить до значного погіршення якості обробки. Виходячи зі схеми розташування оброблюваної заготовки на столі гідрорізного верстата, можна зробити висновок, що опора заготовки у вигляді вільно насипаних кульок або сіткових ножів періодично змінює умови стікання рідини при русі різального сопла по поверхні заготовки.

Для проведення аналізу компоновальних рішень та керованості процесу гідрорізання складено вирази варіантів виконання верстатів (відповідно до табл. 3.)

Таблиця 3. Основна морфологічна матриця ТОС гідрорізання

Заготовка			Робочий процес		Інструмент		Засіб контролю	
1. Тип	2. Вид	3. Рух	4. Стан	5. Вид взаємодії	6. Рух	7. Параметри	8. Вид	9. Контр. параметр
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1. однорідна пласка 1.2. однорідна профільна 1.3. композит плаский 1.4. композит профільн. 1.5. Однорідна із включеннями	2.1. пласка тонка 2.2. пласка різновисщин-на 2.3. коробчаста	3.1. контурн. площинний 3.2. контурн. просторов. 3.3. вібраційний лінійний 3.4. вібраційний площинний 3.5. нема	4.1. незмінні умови 4.2. змінні	5.1. безперервна обробка 5.2. циклічно повтор. 5.3. імпульсна	6.1. поступальн. контурний 6.2. контурний. просторовий 6.3. обертовий 6.4. осцилюючий 6.5. вібраційний 6.6. нема	7.1. постійні 7.2. змінні	8.1. циклічної дії 8.2. періодичної дії 8.3. постійної дії 8.4. нема	9.1. шум 9.2. світлові характеристики 9.3. індуктивні 9.4. теплові 9.5. тактильні 9.6. нема

$$X_{\text{тип}} \rightarrow 1.1 - 2.1 - 3.5 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.4 - 9.6$$

$$\begin{matrix} 1.3 & & (4.2)*5.2 & & (7.2)*(8.3-9.3) \\ (1.5) \end{matrix}$$

де * - можливий варіант, який потребує уточнення.

Пропоновані комбінації можуть бути подані у такому вигляді:

$$C1: 1.1 - 2.1 - 3.5 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.4 - 9.6$$

$$\begin{matrix} 1.3 & 2.3 & & (4.2)*5.2 & & (7.2)* \end{matrix}$$

$$C2: 1.2 - 2.1 - 3.5 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.1 - 9.5$$

$$\begin{matrix} 1.4 & 2.2 & & (4.2)*5.2 & & (7.2)*8.3 \\ 2.3 \end{matrix}$$

$$C3: 1.2 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.6 - 7.1 - 8.3 - 9.5$$

$$\begin{matrix} 1.4 & 2.2 & & (4.2)*5.2 & & (7.2)* \\ 2.3 \end{matrix}$$

$$C4: 1.2 - 2.1 - 3.4 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1 - 8.3 - 9.5$$

$$\begin{matrix} 1.4 & 2.2 & & (4.2)*5.2 & & (7.2)* \end{matrix}$$

2.3

C5: 1.2 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.6 – 7.1 – 8.3 – 9.5
 1.4 2.2 3.4 (4.2)* 5.2 (7.2)*

2.3

C6: 1.2 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.5 – 7.1 – 8.3 – 9.5
 1.4 2.2 (4.2)* 5.2 (7.2)*

2.3

Отже, сполучення окремих ознак елементів гідрорізального обладнання дозволяє виявити наступні нові ефекти можливих конструктивних рішень: C1 - враховує структуру оброблюваного матеріалу за допомогою простого контрольного пристрою; C2 - дозволяє виконувати обробку матеріалів профільних або змінної товщини в оптимальних умовах (додатково введений до структури пристрій може бути не зв'язаний безпосередньо із системою керування: наприклад, установлений на струминній головці слідкуючий механізм); C3 – заготовці надано рух контурної подачі, замість надання даного руху струминній головці; C4 – заготовка здійснює осцилюючий рух для інтенсифікації процесу струминного різання (високочастотна вібрація з амплітудою, що дорівнює половині діаметра струменя), рух контурної подачі виконує інструмент; C5 – осцилюючий рух контурної подачі здійснює заготовка; C6 – заготовка здійснює рух контурної подачі, а струминна головка – осцилюючий рух.

Пропоновані компоновання обладнання відповідно до розглянутих варіантів матимуть такі структурні формули: C2: $3_{xy} OXYZ \bar{P}_z$ - усі рухи, у тому числі і по координаті Z, здійснює струминна головка; C3: $3_{xy} XYO(z) \bar{P}_z$ - заготовка здійснює рух подачі, координата z залишається установчою; C6: $3_{xy} XYO \bar{P}_z(xy)$ - заготовка здійснює рух подачі, головка виконує осцилюючі рухи для інтенсифікації процесу; C9: $3_{xy} XYOZ \bar{P}_z(xy)$ - заготовка здійснює рух подачі, головка забезпечує подачу і по координаті Z, можливий осцилюючий рух головки.

Остання структурна формула доводить, що інтенсифікуючий осцилюючий рух струминної головки вимагає використання двох приводів або двох осциляторів із взаємопов'язаними рухами. Це дає змогу узгодити напрямки осциляцій із рухом подачі, який у загальному випадку є контурним. Спростити компоновання можна, якщо перетворити два пов'язані лінійні рухи в обертовий і лінійний: $xy \rightarrow p_{bc}$. Тепер лінійне переміщення може забезпечуватися віброприводом з лінійною координатою, а обертова координата с забезпечуватиме співпадання напрямків контурної подачі та вібраційного руху. Удосконалене компоновання відображатиметься записом (рис. 2):

$$C9': 3_{xy} XYOZ \bar{P}_z(p_{bc}).$$

З урахуванням того, що наразі відсутні систематизовані відомості щодо пристроїв контролю процесу струминного різання, а проведений морфологічний аналіз показав певну множину ефектів, на базі яких можлива велика кількість конструктивних рішень відповідних систем моніторингу зони різання, введемо до структурної формули компоненти, які б дозволяли відображати місце елемента моніторингу в структурі верстата.

Для запису відповідних компонент формули введемо ряд базових положень:

- 1) вважаємо, що система моніторингу струминної обробки може монтуватися на базових, рухомих елементах або на струминній головці. Місце розташування пристрою відображається у формулі за записом відповідного блоку або елемента, а сам елемент позначається як М;

- 2) якщо пристрій складається із кількох пов'язаних між собою елементів, їх позначають відповідно як $M^1, M^2 \dots$, зазначаючи місце розташування кожного з елементів за вище поданим правилом; якщо система моніторингу використовує кілька непов'язаних систем моніторингу, позначатимемо їх як $M_1, M_2 \dots$;

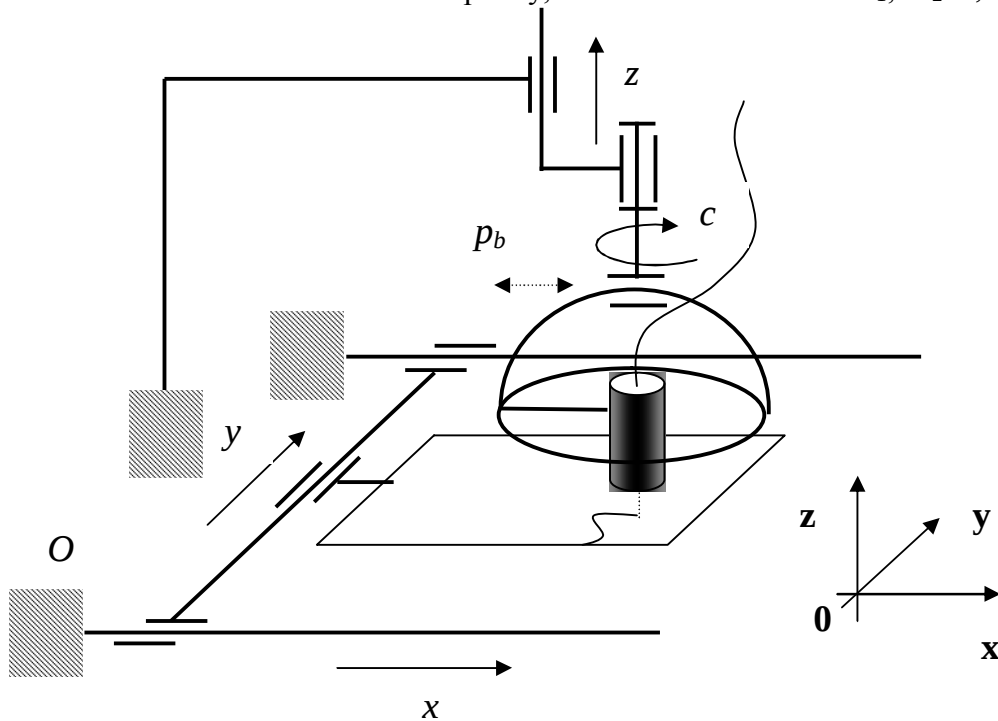


Рис. 2. Компонувальне рішення гідрорізного верстата за варіантом С9'

- 3) у дужках після позначення відповідного елементу моніторингу зазначається параметр, який контролює система.

Отже, для пропонованих варіантів конструктивних рішень систем моніторингу С12-С16 маємо наступні структурні формули: С12: $3_{xy} OXYz\bar{P}_z M$ - варіант виконання системи моніторингу на основі контролювання шумового ефекту. Заготовка нерухома, переміщення здійснює інструмент. Чутливий елемент (датчик) встановлено на струминній головці, його переміщення здійснюється разом із рухами головки, контроль зони різання постійний; С13: $3_{xy} XYOM^1 z\bar{P}_z M^2$ - система моніторингу виконана на основі індукційного ефекту (контролювання відхилення струменя від напрямку натікання на перепону). Датчик складається з двох елементів, один змонтований на нерухомій частині верстата, інший – на струминній головці. Контурний рух подачі здійснює заготовка; С14: $3_{xy} M^1 OXYz\bar{P}_z (p_b c) M^2$; С14' : $3_{xy} XYOM^1 Oz\bar{P}_z (p_b c) M^2$ - варіанти компоновки обладнання, в якому індукційний контроль стікання струменя виконується постійно, однак у першому випадку заготовка і один із елементів датчика залишається нерухомим, а переміщення здійснює струминна головка, а у другому випадку контурний рух подачі здійснює саме заготовка; С15: $3_{xy} XYOz\bar{P}_z M$ - варіант виконання оптичної системи, в якій датчик контролю встановлений на струминній головці, рух подачі здійснює заготовка; можливий варіант виконання пристрою відповідно до С12, тобто $3_{xy} OXYz\bar{P}_z M$, а С15~С12; С16: $3_{xy} XYOz\bar{P}_z M_1 M_2$ - варіант

виконання системи моніторингу з двома датчиками, наприклад, тактильним для підтримання оптимальної відстані між оброблюваною поверхнею та соплом та оптичним – для забезпечення оптимальних умов протікання нестационарних процесів струминної ерозії.

Аналіз структурних формул C12-C16 показав, що не всі отримані нами в процесі морфологічного аналізу варіанти конструктивного виконання гідрорізальних систем будуть здійсненими. Наприклад, компоновання C14 не має сенсу: переміщення струминної головки не створить умов для того, щоб здійснювати постійний контроль процесу за допомогою індуктивного датчика, один із елементів якого нерухомо змонтований на столі верстата [2]. У той же час ідентифікація оброблюваного матеріалу шляхом виконання тестового різі (із виміром певних параметрів) найбільш доцільна саме для компоновання C13. Компоновання C12 та C15 є тотожними, отже, вибір варіанту обумовлюватиметься тільки достовірністю та простотою виміру контрольованого параметру в той чи інший спосіб. Окрім того, верстати такої структури є найбільш простими.

Отже, оптимальному за рядом технологічних ознак варіанту C9' відповідає варіант адаптивного верстата C14', однак варіант C16, який легко можна отримати із C14' є найбільш універсальним з точки зору технологічних можливостей обробки, однак і найбільш складним. Таким чином, найбільш універсальним є обладнання, яке відповідає структурним формулам: **C14'** $3_{xy}XYM^1Oz\bar{P}_z(p_b c)M^2$; **C15** $3_{xy}XYOz\bar{P}_zM$ (або $3_{xy}OXYz\bar{P}_zM$); **C16** $3_{xy}XYOz\bar{P}_zM_1M_2$. Усі вони відповідають базовому компонованню C9.

Подані варіанти передбачають надання руху подачі заготовці. Сама технологічна система постає квазістационарною, тобто положення струминної головки відносно базового елементу – станини – залишається незмінним, відтоді виникає можливість реалізації засобів контролю струминної ерозії при довільній контурній обробці на відміну від рішень, поданих у [2]. Дослідженнями встановлено, що найбільш простим є варіант системи контролю зони різання, побудований на оптичному пристрої [3].

Математичний опис верстата пропонованого компоновання базується на структурній схемі, поданій на рис. 3.

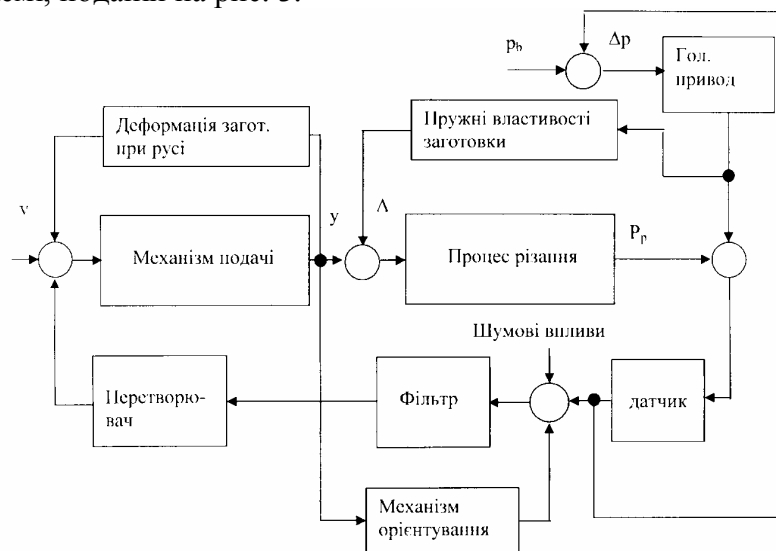


Рис. 3. Структурна схема динамічної системи гідрорізального верстата із системою моніторингу

Так, динамічна система верстата поєднує процес різання, динамічну систему нежорсткої заготовки, механізм подачі, механізм орієнтування системи моніторингу, головний привод, датчик та перетворювач.

Внаслідок того, що оброблювана заготовка у загальному вигляді може бути нежорсткою, її деформації можуть мати суттєвий вплив на точність відтворення заданого контуру та динамічну якість технологічної системи в цілому, особливо коли мова йде про відносно високі швидкості обходу контуру.

Коливання частини заготовки як пластини у точці натікання струменя можуть бути визначені такими рівняннями:

$$m_1 \ddot{\xi}_1 + b_1 \dot{\xi}_1 + c_1 \xi_1 = P \cos \varphi(t);$$

$$m_2 \ddot{\xi}_2 + b_2 \dot{\xi}_2 + c_2 \xi_2 = P \sin \varphi(t);$$

де P - динамічна складова сили різання, що діє у площині заготовки;

$\varphi(t)$ - кут між силою різання та напрямком головних осей жорсткості.

У виразах по Лапласу диференціальні рівняння матимуть вигляд:

$$(T_{\xi_1}^2 s^2 + T_{\xi_1} s + 1) \xi_1(s) = p(s) \frac{\cos \varphi(t)}{c_1}$$

$$(T_{\xi_2}^2 s^2 + T_{\xi_2} s + 1) \xi_2(s) = p(s) \frac{\sin \varphi(t)}{c_2}$$

Так як пружні властивості заготовки проявляються як у вигляді відхилення при відпрацюванні переміщення приводами подач, так і у вигляді відхилення під дією сили струминного різання, подана система рівнянь буде використана у моделі двічі: при обранні у якості вхідного параметру сили руху заготовки $P_p = m \frac{dv}{dt}$, де v - динамічна

складова швидкості руху заготовки уздовж відповідної осі, та при обранні у якості вхідного впливу сили різання P . Вихідними координатами відповідно будуть: у першому випадку деформація заготовки уздовж відповідної осі, яка призводить до отримання похибки відпрацювання заданого переміщення Δ_p , у другому - деформація Δ_0 заготовки від дії динамічної складової сили різання P . Отже, структурна схема пружної нежорсткої заготовки набуде вигляду рис. 4.

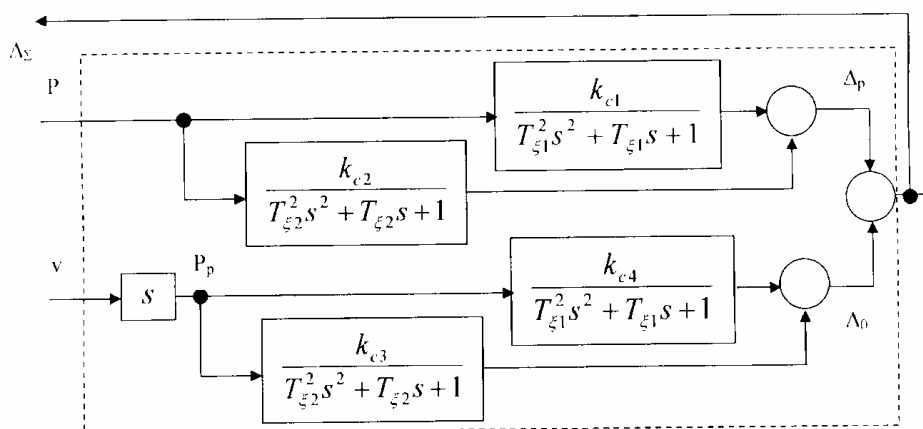


Рис. 4. Структурна схема динамічної моделі заготовки

Розглянемо більш детально динаміку процесу струминного різання. Автором роботи [4] запропоновано визначати передатну функцію процесу різання у вигляді

аперіодичної ланки, тобто $W_p = \frac{k_p}{T_1 s + 1}$. Аналіз інших джерел доводить, що для випадку

механічного різання передатна функція є більш складно. Зокрема, для лезового різання зміна сили при зміні величини припуску на основі [4] становить:

$$T_p \frac{dP_t}{dt} + P_t = k_c \left(y_t + T_1 \frac{dy_t}{dt} + T_1^2 \frac{d^2 y_t}{dt^2} \right)$$

де P_t – динамічна складова сили різання, обумовлена зміною величини припуску (тобто величини миттєвого переміщення заготовки у зоні струминного різання);

y_t – зміна припуску залежно від часу, $y_t = \frac{1}{s} v_m$;

T_p – постійна часу процесу різання;

T_1, T_2 – постійні коефіцієнти;

k_c – коефіцієнт передачі процесу різання.

Очевидно, якщо вважати процес струминного різання вигляді інтегральної роботи великої кількості мікроскопічних різальних клинів, а також зважаючи на значно меншу “жорсткість” струменя в порівнянні з механічним інструментом, дане співвідношення теж матиме місце. При цьому кут нахилу фронту борозенки різа (визначений за кутом стікання відпрацьованої рідини), як параметр контролю, визначатиметься як

$$\alpha = k_n y_t.$$

При перетворенні рівняння по Лапласу при нульових початкових умовах отримане співвідношення:

$$(T_p s + 1) p_t(s) = k_p (T_2^2 s^2 + T_1 s + 1) y_t(s)$$

Передатна функція визначиться

$$W_p = \frac{p_t(s)}{y_t(s)} = \frac{k_p (T_2^2 s^2 + T_1 s + 1)}{T_p s + 1}$$

Якщо прийняти, що $y_t = \Delta_\Sigma$, то структурна схема процесу різання із урахуванням зазначеного набуде вигляду рис. 5.

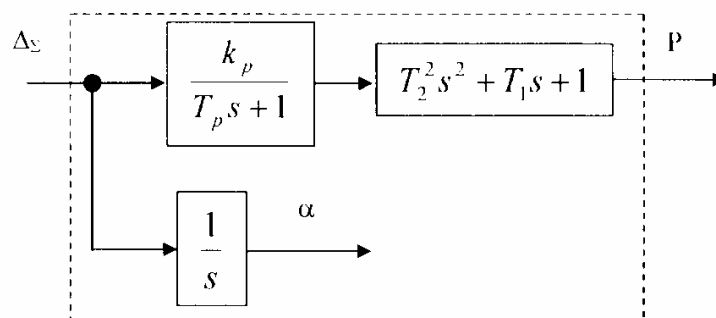


Рис. 5. Структурна схема моделі струминного різання

Підвищення точності стохастично-динамічної моделі вимагає врахування і такої властивості струменя, як його “жорсткість”, тобто спроможність відхилятися вбік при прикладанні поперечного зусилля, внаслідок чого, власне, і виникає сила різання P . розрахункова схема струменя подана на рис. 6.

Рівняння поперечних коливань струменя як одномасової системи у першому наближенні запишеться так:

$$m_c \frac{d^2 y}{dt^2} + b' \frac{dy}{dt} + c' y = P_p$$

m_c – приведена до точки натікання маса струменя;

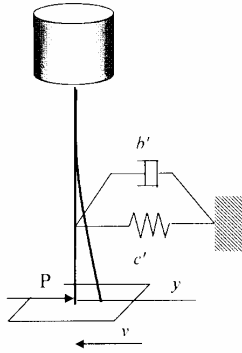


Рис. 6. Розрахункова схема струменя

b' , c' – приведені коефіцієнти демпфування та пружності відповідно (установлені на основі експериментальних спостережень).

У зображеннях по Лапласу при нульових початкових умовах матимемо:

$$\left(m_c s^2 + b' s + \frac{1}{e} \right) y(s) = P(s)$$

де $\frac{1}{e} = \frac{\partial p}{\partial y} = \text{const} = \frac{1}{c'}$ - деформативність індентору.

Якщо припустити, що $T_1 = \sqrt{m_c e}$ $T_2 = b' e$, рівняння набуде вигляду:

$$(T_1^2 s^2 + T_2 s + 1) y(s) = p(s).$$

Отже, структурна схема буде такою, що відповідає рис. 7

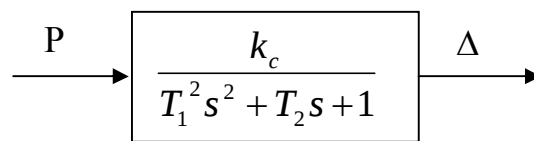


Рис. 7 Передавальна ланка, що описує динаміку струменя

Динамічні моделі приводів подач, системи живлення високого тиску складені відповідно до поданих рівнянь відповідно [98]. Ступінь впливу окремих стохастичних параметрів, зокрема, зміни тиску рідини, який викликає зміну сили впливу P , динамічних складових руху робочого органу (кліщат) верстата, враховано відповідними додатковими входами моделі (рис. 8).

0,2d_k. Керування процесом струминного різання запропоновано здійснювати шляхом зміни швидкості контурної подачі (що дозволить забезпечити кут нахилу фронту борозенки різа в оптимальних межах), а сама швидкість є функцією рівня керуючого сигналу I у вигляді $v_k = \frac{b_1}{I} + b_2$.

Таким чином, виявлення нових компоновальних рішень гідрорізних верстатів, яким властива незмінність схеми технологічного налагодження за рахунок нерухомості струменя відносно станини, і, відтоді, умов опирання заготовки, дозволило запропонувати не тільки нові принципи контролю зони струминної ерозії, а і знайти такі технічні рішення, реалізація яких на практиці не викликає ускладнень. Подальші дослідження можуть бути направлені на виявлення параметрів контролю стану струменеформуючого сопла та інших характеристик обладнання.

Список літератури: 1. Саленко О.Ф., Антоненко О.В. Принципи імітаційного моделювання струминного руйнування ортотропних наповнених полімерів // Нові технології: Науковий вісник ІЕНТ. – Кременчук, 2003. - №2, с. 105-109. 2. Саленко О.Ф., Струтинській В.Б., Загірняк М.В. Ефективне гідрорізання: Монографія. – Кр-к, в-во КДПУ, 2005. – 488 с. – іл. 3. Антоненко О.В. Діагностика стану поверхні в зоні різання з використанням лазера // Вісник КДПУ. – Кременчук, 2005. - №2, с. 73-76. 4. Струтинській В.Б. Математичне моделювання процесів і систем механіки. – Житомир, в-во ЖІТІ, 2001. – 680 с. – іл.

Сдано в редакцію 19.01.07

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ И МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ

Сахно К.Н. (АГТУ, г. Астрахань, Россия)

In the given work the idea stated in the literature [1] is considered. The research is direct at pipe making errors estimation and calculation when piping design. Results of research can be used at system engineering CAD/CAM of designing of pipelines and open an opportunity: arrangements of pipelines in view of scientifically-grounded maximum deviations and maintenance of the given requirements of trace.

Введение. В процессе проектирования сложных технических комплексов, насыщенных трубопроводами, после определения оптимальной трассировки, необходимо определить форму и размеры отдельных труб, с учетом суммарных погрешностей изготовления. Основу методики расчетов составляют теоретические положения и математические соотношения, изложенные в литературе [1-3].

Основное содержание и результаты работы.

Структура разработанной программы расчета включает в себя:

1. Исходные данные.

а) Координатные размеры трубы, (мм).

Характерные точки с координатами: $1(x_1, y_1, z_1), \dots, i(x_i, y_i, z_i)$.

б) Число прямых участков, n .