УДК 621.69.001

ГНУЧКИЙ ЕЛЕМЕНТ ХВИЛЬОВОГО РЕДУКТОРА ЯК ДАТЧИК КРУТНОГО МОМЕНТУ

Пупков В.С.
ДонДТУ, м. Лисичанськ, Україна

Анотація: *Хвильові редуктори на сьогодні є стандартом редуктора у робототехніці. Практично всі сучасні актуатори роботів засновані на використанні хвильових редукторів. Оскільки вони поєднують велике передаточне відношення з компактними розмірами. Одним з складових цього редуктора є гнучкий елемент тому запропоновано використати його в якості датчика крутного моменту. Це дозволить мати інформацію щодо крутного моменту на вихідні ланці привода без використання допоміжних елементів.*

Ключові слова: *хвильові редуктори, гнучкий елемент, крутний момент, привод, робот*

Останнім часом дуже велика увага прикута до створення роботизованих гуманоїдних [1-4]. При цьому було доведено що з точки зору керування такими системами треба мати як найменшу вагу ніг та здійснювати контроль крутного моменту на виході приводу, вже після редуктора [5]. Тому при розробці системи для дослідження бігу гуманоїда (рис. 1) стало питання щодо створення датчику крутного моменту [6-7].

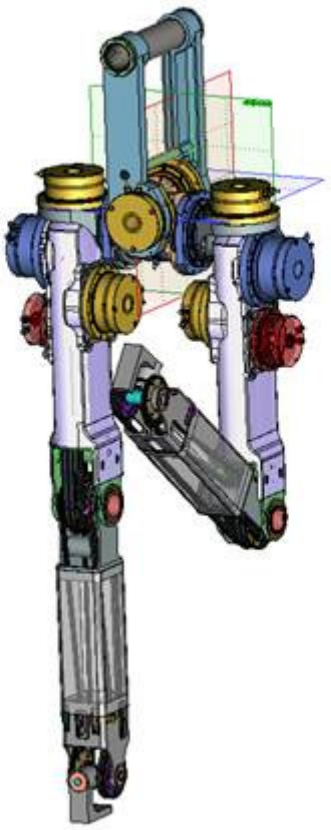

Рис.1. Роботизована нога

Це було пов’язано здебільше з питанням забезпечення компактного розміру тазо-бедрового сусаву. Первинна ідея щодо використання датчиків ATI mini85 (рис. 2) не дозволила створити цей вузол компактним.

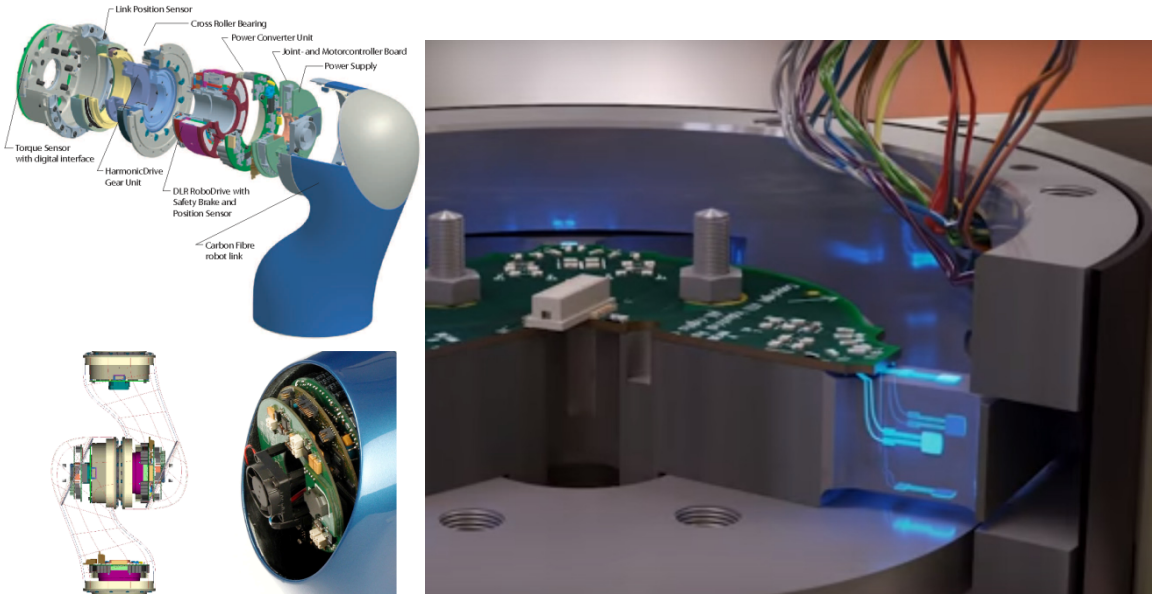

Рис. 2. ATI mini85 series SI-1000-50

Тому будо прийнято рішення розробити новий пристрій. Оскільки в якості актуаторів планувалося використання приводів Harmonik Drive серії FHA було запропоноване рішення провести експериментальні дослідження щодо оцінки можливості використання гнучкого елементу хвильового редуктора в якості датчику крутного моменту (рис.3)

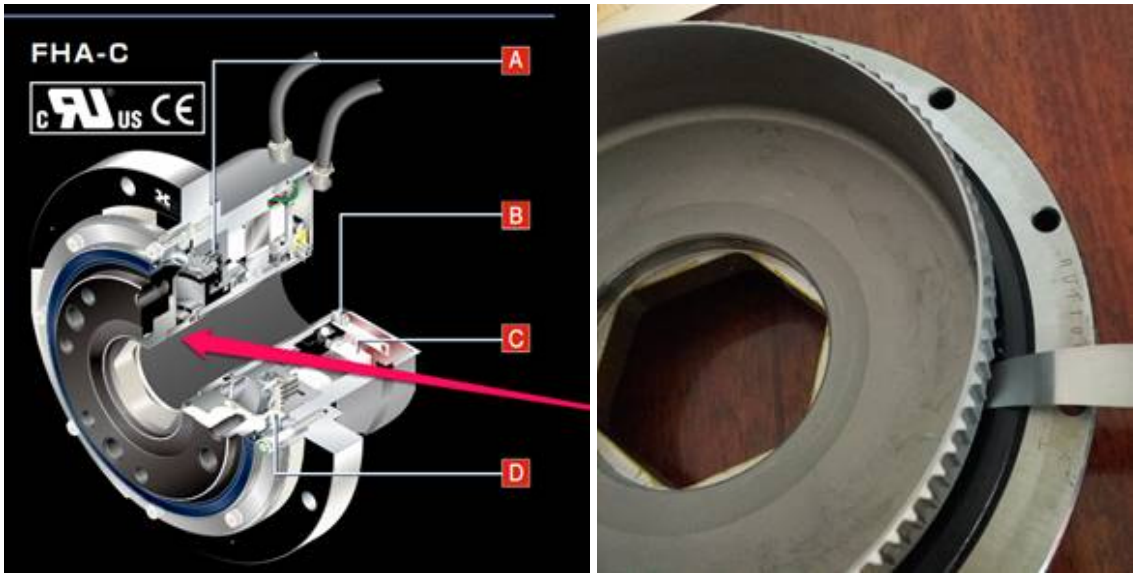

Рис. 3. Гнучкий елемент хвильового редуктора

На внутрішню поверхню гнучкого елементу було розташовано декілька тензоризисторів за для дослідження деформованого стану. Для оброблення сигналів використовувалося обладнання National Instrument (реконфігуроване шасі cRIO-9030 та модуль обробки сигналу тензодатчиків NI9237).

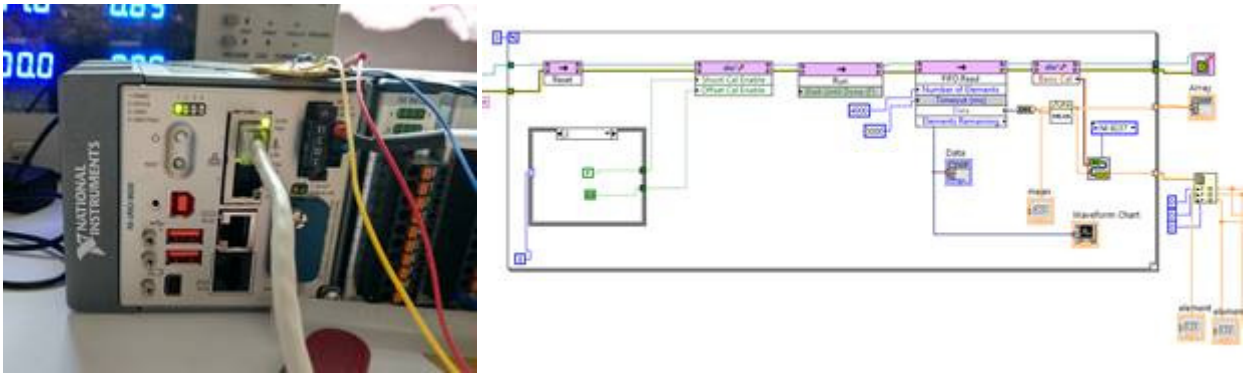

Рис. 4. Вимірювальне обладнання

Був розроблений та виготовлений експериментальний стенд для дослідження (рис 5.). Основною метою дослідження було реєстрація сигналу тензодатчиків при роботі актуатора без навантаження та при створенні крутного моменту.

Рис. 5. Експериментальний стенд

Була зафіксована форма сигналу з тензометрів для двох випадків з навантаженням та без навантаження (рис. 6).

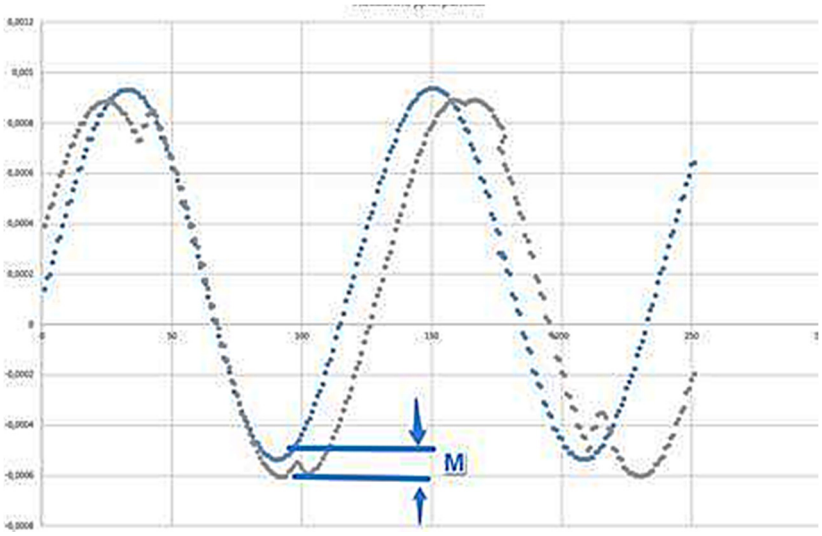

Рис. 6. Сигнал тензометрів

На рисунку 6 можна побачити що, при наявності крутного моменту сигнал тензометрів дещо зміщується відносно сигналу без навантаження. Це можна використовувати для реєстрації крутного моменту. Наступним етапом буде розробка програмно апаратного комплексу що дозволить відокремити синусоїдальний сигнал, який відповідає деформації хвильового редуктора від сигналу що дає крутний момент.

Список літератури:

1. *Y. Li B. Li J. Ruan X. Rong Research* of mammal bionic quadruped robots: A review Proc. CIS RAM pp. 166-171 Sep. 2011.
   S. Seok A. Wang D. Otten S. Kim Actuator design for high force proprioceptive control in fast legged locomotion Proc. IROS pp. 1970-1975 Oct. 2012.
2. *C. Ott A. Albu-Schaffer A. Kugi G. Hirzinger On the passivity*-based impedance control of flexible joint robots IEEE Trans. Robot. vol. 24 no. 2 pp. 416-429 Apr. 2008.
3. *N. G. Tsagarakis et al. iCub:* The design and realization of an open humanoid platform for cognitive and neuroscience research Adv. Robot. vol. 21 no. 10 pp. 1151-1175 2007. Geijtenbeek, T. Flexible Muscle-Based Locomotion for Bipedal Creatures / In *ACM Transactions on Graphics // T.* Geijtenbeek, M. van de Panne, A.F. Stappen, 2013. - Vol. 32, No. 6.
4. *P. M. Wensing A. Wang S. Seok D. Otten J. Lang S. Kim Proprioceptive actuator* design in the MIT cheetah: Impact mitigation and high-bandwidth physical interaction for dynamic legged robots IEEE Trans. Robot. vol. 33 no. 3 pp. 509-522 Jun. 2017.
5. *S. Seok A. Wang D. Otten S. Kim Actuator* design for high force proprioceptive control in fast legged locomotion Proc. IROS pp. 1970-1975 Oct. 2012.
6. *B.-H. Lee J.-W. Joo Design* of six-component F/T sensor with flexible fixed ends Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A vol. 34 no. 6 pp. 771-780 2010.

УДК 621.91.01:621.92

КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТІ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ КОНТУРІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Шуплєцов Д.К., Петраков Ю.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: *У роботі розглянуто функціональні можливості сучасних обробних центрів із ЧПК, що дозволяють виконувати обробку всієї деталі, навіть такої складної, як турбінна лопатка, за одну операцію. Визначено також, що при обробці поверхонь складної форми умови різання істотно змінюються уздовж формотворною траєкторії. Це призводить до появи помилки, природа якої залежить від багатьох факторів, значна частина з яких має стохастичний характер. Тому на етапі проектування керуючої програми важко передбачити можливі колізії, що виникають при обробці. У таких випадках рекомендується використовувати принцип управління по апріорної інформації. Визначено, що для забезпечення необхідної точності необхідно виконувати адаптацію керуючої програми до фактичних умов обробки з метою рівномірного розподілу припуску або (і) корекції траєкторії на останньому проході. Всі ці інновації вимагають виконання вимірювань безпосередньо на верстаті без зняття заготовки для вимірювань на контрольно-вимірювальних машинах (КІМ).*

Ключові слова: *вимірювання контуру деталі, верстат з ЧПК, трикоординатний щуп*

Вступ. Функціональні можливості сучасних обробних центрів із ЧПК дозволяють виконувати обробку всієї деталі, навіть такої складної, як турбінна лопатка, за одну операцію [1]. Відомо також, що при обробці поверхонь складної форми умови різання істотно змінюються уздовж формотворною траєкторії. Це призводить до появи помилки, природа якої залежить від багатьох факторів, значна частина з яких має стохастичний характер. Тому на етапі проектування керуючої програми важко передбачити можливі колізії, що виникають при

обробці. У таких випадках рекомендується використовувати принцип управління по апріорної інформації [2]. Для забезпечення необхідної точності виконується адаптація керуючої програми до фактичних умов обробки з метою рівномірного розподілу припуску або (і) корекції траєкторії на останньому проході. Всі ці інновації вимагають виконання вимірювань безпосередньо на верстаті без зняття заготовки для вимірювань на контрольно-вимірювальних машинах (КІМ).

Для виконання таких вимірювань використовують вимірювальні щупи, якими укомплектовуються верстати з ЧПУ. Наприклад, на фрезерних обробних центрах фірми HAAS встановлені датчики фірми Renishaw, які задовольняють вимогам по точності. Найчастіше це контактні трьох координатні щупи, які в основному використовуються для прив'язки керуючої програми до заготівлі і системі координат верстата і не можуть бути використані для зазначених вище завдань.

У той же час, для контролю складних 3D поверхонь широко використовуються датчики нового покоління від компаній Blum, Renishaw та інших [3]. Такі датчики мають нову систему перетворювачів на базі тензодатчиків. За рахунок цього вони можуть виконувати вимірювання при контакті з поверхнею в довільному напрямку, що необхідно при контролі складних 3D поверхонь. Для виконання таких вимірювань, крім датчиків, необхідні спеціальні програмні продукти, наприклад, PowerINSPECT компанії Delcam. Спочатку ця програма була розроблена для використання в КІМ, а потім спільно з компанією Renishaw була трансформована в новий програмний продукт - PowerINSPECT OMV (On-Machine Verification) [4]. Відзначається, що запропонована технологія OMV забезпечує значну економію часу, оскільки тепер точність обробки можна контролювати на всіх етапах технологічної операції, без зняття деталі (заготовки) з верстата.

Для використання PowerINSPECT OMV необхідно до системи ЧПУ верстата підключити комп'ютер, який буде приймати сигнали від вимірювального щупа, виконувати їх відповідну обробку і готувати протокол в заданому форматі. Таким чином, комп'ютера необхідно забезпечити постійний зв'язок з системою ЧПУ верстата, крім того, можна використовувати тільки такі сучасні системи як Siemens 840D, Mazatrol 640, Fanuc 16i, Heidenhain 426.

У той же час в промисловості України використовуються верстати з трикординатними вимірювальними щупами, можливості вимірювань яких обмежуються стандартними циклами, які «зашиті» в системі ЧПУ [5]. Таким чином, навіть при контурній обробці потенційні можливості існуючих на верстатах систем вимірювання не можуть бути використані. Для того, щоб дізнатися, який же контур був оброблений, доводиться знімати деталь з верстата, порушуючи розмірні технологічні ланцюжки для подальшої корекції. Тому розробка нової технології, спрямованої на розширення функціональних можливостей існуючої на верстаті вимірювальної системи є актуальною науково-технічною задачею.

Метою даного дослідження є розробка простої технології контролю точності і верифікації контурів деталей безпосередньо на фрезерному верстаті з ЧПУ, оснащеному трьохкоординатним контактним щупом. Для цього необхідно, по-перше розробити керуючу програму з автоматичним занесенням даних вимірювань в файл і по-друге створити прикладну програму, яка по завантаженої керуючої програмі обробки в G-кодах, буде демонструвати результати контролю і підготує файл для виконання корекції первинної керуючої програми.

Рішення завдання. Для виконання першого завдання можна скористатися шаблонами, які містяться в більшості стійок верстатів з ЧПУ, оснащених простими контактними щупами. Однак, як показує практика, для більшості схем вимірювання контурів і поверхонь деталей з метою подальшого використання результатів при проектуванні корекції таких шаблонів недостатньо. Тому була розроблена спеціальна керуюча програма з використанням стандартних кодів руху вимірювального щупа. Програма записується в G-кодах, подібно керуючої програмою для фрезерування контуру деталі. Такий підхід був використаний при контролі обробленого контуру деталі, який складається з двох прямих і дуги кола (рис.1).

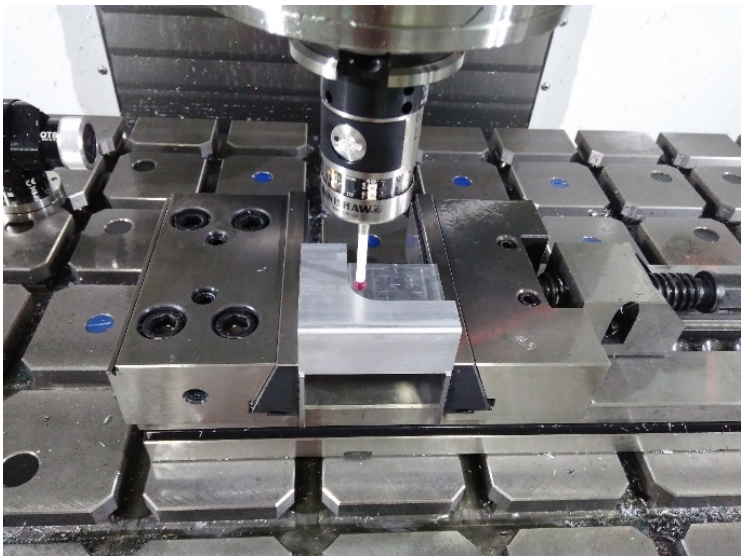

Рис.1. Контроль контуру на верстаті HAAS VM3

Крім того, для оцінювання точності необхідні дані координат теоретичного контуру. Виконання таких операцій передбачено при вирішенні другого завдання дослідження. Оскільки всі необхідні дані містяться в керуючій програмі обробки контуру, саме вона була покладена в основу спеціально розробленої прикладної програми. Розпізнавання текстів кодів керуючої програми і формування масивів координат еквідістанти, координат оброблюваного контуру, кутів нахилу виконується в рамках розробленого алгоритму.

Розрахунок масиву точок еквідістанти фрези виконується з заданим кроком, а масив точок контуру деталі обчислюється по відомим [3] формулами з використанням попередньо визначеного масиву кутів нахилу еквідістанти. Всі ці розрахунки виконуються чисельними методами. Нарешті, розраховується масив кутів нахилу контуру деталі і в програмі створюються всі необхідні масиви даних для контролю точності обробленого контуру.

Інтерфейс програми в стані верифікації результатів по завантажених файлів G-кодів і вимірювань в форматі * .txt представлений на рис.2. Після зрозумілих з написів послідовних маніпуляцій кнопками на інтерфейсі в його графічному вікні з'являються траєкторії (еквідистанта) руху центру фрези (лінія 1) і теоретичний контур деталі (лінія 2).

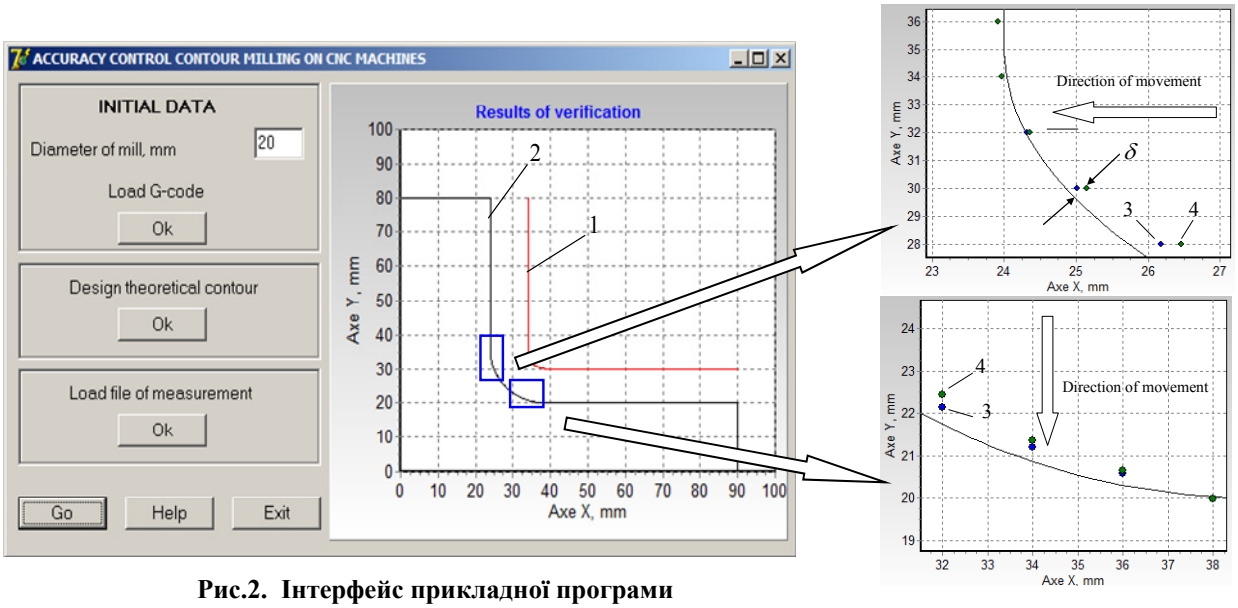

Рис.2. Інтерфейс прикладної програми

Будь-яка ділянка контуру в графічному вікні може бути збільшений до бажаного масштабу. Наприклад, збільшення ділянок, виділених прямокутниками, дозволяє спостерігати розташування координат файлу вимірювань (точки 3) і обчислених по ним координат фактичного контуру (точки 4). Зауважимо, що координати точок контуру розраховуються в

програмі за формулами (1) і (2). За результатами, які представляються в графічному вікні, можна також оцінити точність обробленого контуру за величиною, яка визначає відстань від теоретичного контуру до розрахованої точки контролю і вимірюється по нормалі до теоретичного контуру деталі як показано на рис.2.

Висновок. Теоретично обґрунтовано та практично доведено можливість контролю обробленого контуру деталі безпосередньо на фрезерному верстаті з ЧПУ при використанні простого трьохкоординатної контактного щупа і стандартних циклів G-кодів з автоматичним створенням файлу даних вимірювань.

Список літератури:

1. *Обработки* лопатки турбины и других деталей авиации на обрабатывающих центрах CHIRON // https://www.youtube.com/watch?v=k7JJv8T19io
2. *Петраков Ю.В., Шуплєцов Д.К. Корекція* траєкторії формоутворення за апостериорною информацією, ЖДТУ. Серія технічні науки , №1(72), Житомир 2015 С.37-40.
3. *Blum* focus on productivity www.blum-novotest.com
4. *Веретнов А. Контроль* точности обработки изделий на станках с ЧПУ при помощи PowerINSPECT OMV // ж. САПР и графика. – 2012. – №. 6. – С. 76-79.
5. *PowerINSPECT* – World-leading hardware-independent inspection software ftp://arrow.delcam.com/pdf/powerinspect/en/PowerINSPECT-OMV.pdf

---

УДК 621.375.826:621

РОЗРОБКА НОВОГО ПІДХОДУ ДО ВИГОТОВЛЕННЯ ГНУТИХ БІМЕТАЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДЛЯ З'ЄДНАННЯ ПЛАСТИН ПОТУЖНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Головко Л.Ф., Романенко В.В., Блощицин М.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: *Вдосконалено спосіб виготовлення біметалевих виробів кутового типу, при якому забезпечується достатньо високий рівень міцності зчеплення шарів біметалу при отриманні виробів із біметалу кутового типу та унеможливлює відокремлення робочого шару в процесі подальшого використання біметалічних виробів. На поверхні двох основ, що підлягають заливці робочим шаром, заздалегідь наносять рельєф потрібної структури та глибини, основи зварюють під прямим кутом так, щоб нанесений рельєф виявився на внутрішній поверхні кутового виробу, а розплавлений робочий матеріал перегрівають по відношенню до температури плавлення основи в залежності від виду та розмірів нанесеного рельєфу. Після цього кутовий виріб встановлюють в виливницю та заливають робочим шаром з внутрішньої сторони спочатку одну пластину основи, а потім кутовий виріб повертають на 90° та заливають другу пластину основи. Спосіб придатний для забезпечення необхідної глибини перехідного шару між шарами біметалу в кутовому виробі та, як результат, потрібної міцності їх зчеплення.*

Ключові слова: *біметали, рельєф, температура, виливниця, міцність*

Біметали знаходять все більше застосування в промисловості. Ці матеріали поєднують можливості звичайних сталей основи та необхідних експлуатаційних параметрів робочого матеріалу покриття. При цьому біметали частіше всього виготовляються в вигляді листових матеріалів різних розмірів. Однак дуже багато виробів із біметалів мають конструкцію замкнутого контуру. Такі вироби легше отримувати при використанні гнутих біметалів.

При виготовленні біметалів широко застосовують технології з'єднання їх пластин різноманітними способами. При цьому широко застосовується зчеплення пластин біметалів

потужним джерелом енергії. В якості такого джерела можливе використання, наприклад, енергії зварювальної дуги або лазерного випромінювання [1 - 6].

Нами запропонований оригінальний спосіб виготовлення гнутих біметалів при з'єднанні їх пластин потужним джерелом енергії, при якому забезпечується достатньо високий рівень міцності зчеплення цих пластин та значне здешевлення технології отримання цих біметалів.

В нашому випадку при виготовленні гнутих біметалів з'єднання пластини основи та робочої пластини біметалу відбувається за рахунок енергії електричної дуги. Для потрапляння енергії дуги в місце контакту пластин заздалегідь в пластині основи 1 в потрібних місцях виконують наскрізні технологічні отвори 2 (Рис. 1, а). При використанні в якості джерела енергії електродугової сварки діаметр отвору 2 підбирають декілька більшим діаметра зварювального електрода так, щоб останній вільно заходив в цей отвір. З іншої сторони, діаметр отвору 2 не повинен бути дуже великим, щоб не надмірно витрачати електроди. Як правило, діаметр технологічного отвору на 50…75 % виконують більшим діаметра електрода. Кількість та спосіб розміщення отворів 2 на пластині основи 1 можуть бути обрані, виходячи із потреб міцності з'єднання пластин біметалу, що можна визначити експериментально. Технологічні отвори 2 розміщують по можливості симетрично відносно лінії згинання 3 біметалу. В подальшому пластину основи 1 встановлюють на робочу пластину 4 біметалу. При цьому робоча пластина 4 в напрямку перпендикулярному лінії згинання 3 повинна бути дещо довшою пластини основи 1 з урахуванням різного діаметру заокруглення цих пластин при спільному їх згинанні. Різниця в довжині цих пластин може бути легко розрахована. Пластини 1 та 4 тимчасово скріплюють між собою, використовуючи, наприклад, механічні затискачі або спеціально розроблене пристосування.

Для здійснення зварювання електрод 5 встановлюють в черговий технологічний отвір 2 до контакту з робочою пластиною 4. Відбувається утворення електричного розряду між електродом 5 та пластиною 4. В результаті ливарного процесу створюється ванна 6 рідкого металу, яка частково підплавляє поверхню робочої пластини 4 та бокових поверхонь технологічного отвору 2. Після заплавлення всього отвору 2 та затвердіння рідкого металу отримуємо зварний шов 7, який надійно скріплює пластини біметалу 1 та 4 (див. Рис. 1, а). Таке з'єднання пластин біметалу виконують тільки з одного краю пластин біметалу, лише до лінії його згинання. Це забезпечить при подальшому процесі згинання переміщення робочої пластини 4 відносно пластини основи 1 за рахунок різних радіусів заокруглення цих пластин при згинанні. Якщо ж пластини біметалу були б скріплені повністю, то при згинанні це призвело б до руйнування місць скріплення.

При необхідності згинання може бути виконане, коли потрібно, щоб пластина основи розташовувалась би ззовні зігнутого біметалу. При цьому треба враховувати, що довжина вже цієї пластини повинні бути більшою довжини робочої пластини.

Процес згинання пластин біметалу при їх скріпленні по одній стороні на згинальному пресі представлений на рис. 1, б. Показано, що переміщення робочої пластини 4 відносно пластини основи 1 відбувається лише по другій (незакріпленій) стороні біметалу (по стрілці 8). Після завершення згинання на потрібний кут пластини біметалу знову тимчасово скріплюються між собою механічними затискачами, і виконується з'єднання другої сторони біметалу за допомогою електродугового зварювання (Рис. 1, в). В кінці бажано поверхню зварних швів 7 прошліфувати урівень з поверхнею пластини основи 1.

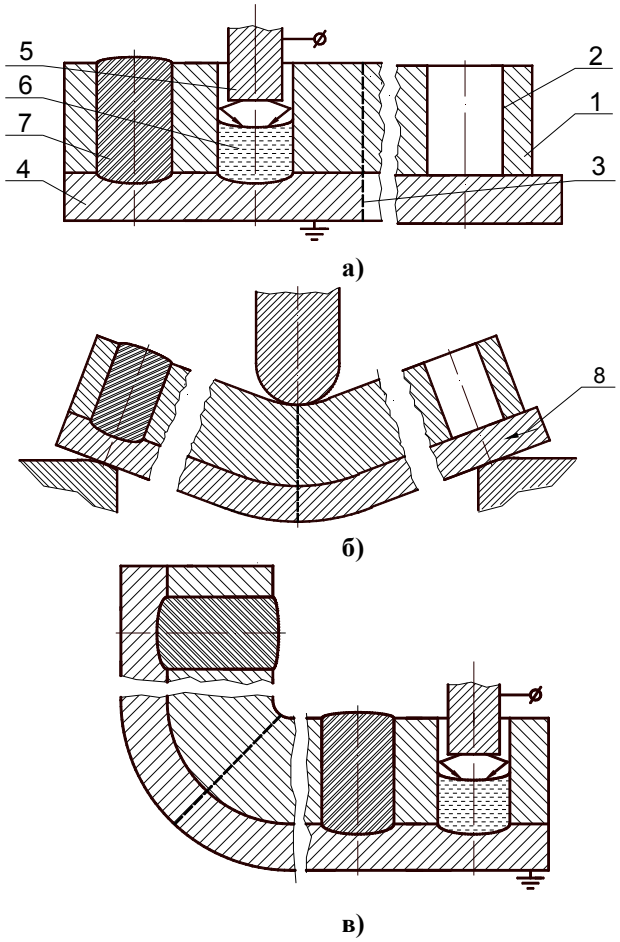

Рис. 1. Зчеплення пластин біметалу на одному з його країв (до лінії згинання) за рахунок запалення електричної дуги (а), процес згинання біметалу по лінії згинання при зміщенні робочої платини відносно пластини основи на не скріпленому краї біметалу (б) та зчеплення пластин зігнутої заготовки з біметалу на другому його краї (в) [2]

В якості потужного джерела енергії можливе також використання іншого виду енергії, наприклад, лазерного випромінювання. Подача випромінювання в місце контакту пластин біметалу при цьому буде здійснюватися через технологічні отвори в пластині основи, а концентруватися випромінювання буде на поверхні робочої пластини.

Пропонований спосіб виготовлення гнутих біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії істотно розширює можливості свого застосування за рахунок спрощення і здешевлення технології отримання таких біметалу, забезпечує надійне з'єднання його пластин.

Список літератури:

1. *Патент* України на корисну модель № u2018 03318, Спосіб виготовлення алюмо-сталевих біметалів при з'єднанні пластин потужним джерелом енергії /В.В. Романенко. – Заявл. 29.03.2018.
2. *Патент* України на корисну модель № u2018 03319, Спосіб виготовлення гнутих біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії /В.В. Романенко. – Заявл. 29.03.2018..
3. *Голованенко С.А.*, Меандров Л.В., «*Производство* биметаллов», «Метталургия»,М. 1966р.
4. *Nazari J.*, M. Yousefi та інші, «*Production* of Copper-Aluminum Bimetal by Using Centrifugal Casting and Evaluation of Metal Interface», Іран, 2015р.
5. *Reisgen U.*, Stein L., M. Steiners et al. //// *Oscillation* behavior of modified MSG short-arc process steel-aluminum mixed joints / *U. Reisgen*, L. Stein, M. Steiners et al. // Welding and Cutting. — 2010. — 62, № 7/8. — S. 396–399.
6. *Щицын Ю. Д.*, Неулыбин С. Д., Кучев П. С., Гилев И. А. // *Плазменная* наплавка высоколегированной стали 10Х18Н8Т на низколегированную сталь 09Г2С / ВЕСТНИК ПНИПУ Машиностроение, материаловедение. – 2014. – С. с.5–13.