

АНАЛИЗ ПРИЧИН УТВОРЕНИЯ НЕСПВВІСНОСТІ НА АВТОМАТИЗОВАНОМУ КУВАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСІ**Макшанцев В. Г., Чердніченко О. С.**

Проанализированы причины отклонения размеров поковок от номинальных, изготовленных на автоматизированном ковочном комплексе на базе гидравлического прессы усиленным 30 МН. Рассмотрены основные факторы, влияющие на отклонение размеров поковок, а именно: температура нагрева поковки, конструкция и состояние кузнечной машины, геометрия рабочей поверхности бойков, точность позиционирования поковки относительно поверхности бойков. Изучен механизм возникновения несоосности поковки как наиболее значимой погрешности. Разработана система контроля геометрических размеров поковки на базе оптических датчиков. Учтено влияние на точность контроля погрешность измерения и геометрические параметры ковочного комплекса.

Проаналізовано причини відхилення розмірів поковок від номінальних, виготовлених на автоматизованому кувальному комплексі на базі гідравлічного преса зусиллям 30 МН. Розглянуті основні чинники, що впливають на відхилення розмірів поковок, а саме: температура нагріву поковки; конструкція і стан ковальської машини; геометрія робочої поверхні бойків; точність позиціонування поковки щодо поверхні бойків. Вивчено механізм виникнення неспіввісності поковки як найбільш значимої погрішності. Розроблено систему контролю геометричних розмірів кування на базі оптичних датчиків. Враховано вплив на точність контролю погрішність виміру і геометричні параметри кувального комплексу.

The reasons for the deviations of forgings from the nominal manufactured on the automated forging complex on the basis of hydraulic press with force of 30 MN are analysed. The major factors influencing the deviation of the sizes of forgings, namely: the heating temperature of a forging, design and condition of the forging machine, geometry of the working surface of dies, the accuracy of positioning forgings on the surface of the dies are considered. The mechanism of misalignment of a forging as the most significant error is studied. The control system of the geometrical sizes of forgings on the basis of optical sensor is developed. The impotent on the accuracy of the control, deviation and geometrical parameters of a forging complex are taken into account.

Макшанцев В. Г.

канд. техн. наук, доц. кафедры АПП ДГМА
app@dgma.donetsk.ua

Чердніченко А. С.

инженер-конструктор ПАО «КЗТС»

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

ПАО «КЗТС» – Публичное акционерное общество «Краматорский завод тяжелого станкостроения», г. Краматорск

УДК 621.73

Макшанцев В. Г., Чердніченко О. С.

АНАЛІЗ ПРИЧИН УТВОРЕННЯ НЕСПІВВІСНОСТІ НА АВТОМАТИЗОВАНОМУ КУВАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСІ

Автоматизований кувальний комплекс на базі гідравлічного пресу зусиллям 30 МН (АКК 3000/30) встановлений у КПЦ № 2 ПАТ «НКМЗ» й призначений для вільного кування злитків та заготовок масою до 30 т. Автоматизований кувальний комплекс виробляє поковки гладких валів, штоків, гребних валів, бандажів, кубиків, шестерень з отворами та без них, циліндрів та плит. Вживані марки сталей: вуглецеві, леговані, спеціальні сталі.

До складу АКК входить гідравлічний кувальний прес зусиллям 30 МН, кувальний маніпулятор вантажопідйомністю 30 т фірми «Davy Loewy» із максимальним вантажним моментом відносно центра захвату 60 т·м.

Основним недоліком роботи кувального комплексу є незадовільна точність обробки заготовок, через наявність чинників, що впливають на відхилення розмірів виготовлених поковок від номінальних. Найбільш вагомою неточністю геометричної форми поковки, що виникає під час обробки, є неспіввісність різних частин однієї деталі (наприклад, ступінчастого валу). Неспіввісність є причиною встановлення завищених припусків на ковальські операції, що призводить до перевитрати матеріальних та енергетичних ресурсів

Розглянемо основні чинники, що впливають на відхилення розмірів виготовлених поковок від номінальних. До них відносяться: температура нагріву поковки; конструкція і стан ковальської машини; геометрія робочої поверхні бойків; точність позиціонування поковки щодо поверхні бойків.

Проаналізуємо детальніше наведені вище чинники.

По-перше, температура нагріву. В умовах звичного неконтрольованого полум'яного нагріву в партії заготовок досягти однакової температури практично неможливо. З іншого боку, при нагріві заготовок до однакової температури початку ковальської обробки температура закінчення обробки (деформації) може коливатися залежно від коливань ритму обробки. Різна температура металу в кінці деформації викликає різні пружні деформації пресового устаткування, що призводить до відхилень поковки від номінального розміру [1]. Зміна температури у процесі обробки, крім того, є причиною різної теплової усадки при охолодженні поковки.

Друге, конструкція і стан ковальської машини. Допуски на розміри поковок і зокрема стабільність полів розсіювання знаходяться в тісній залежності від конструкції ковальської машини. Якщо пружна деформація пресу змінюється закономірно залежно від зусилля, що розвивається пресом в процесі деформації металу, то зміна «люфтів» (зазорів між деталями) певної залежності не підкоряється. Віддача особливо наростає в перший момент навантаження пресу, коли ліквідується «люфт», після чого починається пружна деформація пресу [2].

Третє, геометрія робочої поверхні бойків. Якість поковок і продуктивність процесу кування багато в чому залежать від геометрії робочої поверхні бойків і механічного режиму кування. Оптимальну форму робочих поверхонь бойків і механічного режиму кування можна визначити на основі аналізу даних про інтенсивність кування в поєднанні з даними про проковування, структуру і механічні властивості металу [2]. Для проведення операції протяжки, як правило, використовуються універсальні бойки в наступних поєднаннях: верхній і нижній – плоскі; по такій схемі кують заготовки прямокутного і іноді круглого перетину; верхній – плоский, нижній – ромбічний або радіусний (вирізний); такі комбіновані бойки мають на-

йширше застосування; верхній і нижній – ромбічні або радіуси (вирізні); застосовуються в основному для кування спеціальних, високолегованих сталей і сплавів.

Четверте, точність позиціонування поковки щодо робочої поверхні бойків. Значні погрішності при позиціонуванні поковки призводять до зменшення точності процесу обробки, що позначається на якості готової деталі, а також призводить до збільшення розмірів заготовки унаслідок вимушеного збільшення припусків.

Крім того, на утворення неспіввісності поковки у значній мірі впливають особливості технологічного процесу кувального комплексу. У процесі обробки заготовки циліндричної форми, оброблювана частина заготовки виходить неспіввісною відносно іншої частини валу. Це виникає через наявність кількох причин. Основними із них можна вважати наступні.

1) Нерівномірність нагріву злитка та пов'язана із цим нерівномірність механічних властивостей металу по перетину. Через нерівномірність температури нагріву заготовки відбуваються різні пружні деформації інструменту та заготовки безпосередньо. Якщо один із бойків деформує область заготовки з більшою температурою, то через менше зусилля деформування метал отримує більшу витяжку [1].

2) Охолодження заготовки у процесі кування [3]. Температура початку кування на 200–350 °С вища за температуру закінчення кування, що призводить до змінення зусиль деформації металу у продовж процесу.

3) Наявність вільних від інструмента поверхонь заготовки. У цих зонах деформації проходять неконтрольовано і мають негативний характер.

4) Через нерівномірність сил тертя. Така різниця у розподіленні сил виникає через різні площі контакту верхнього та нижнього бойків із заготовкою, відповідно чому виникає різниця у величинах деформацій.

5) Через те, що верхній бойок рухомий, а нижній стаціонарний. Це призводить до значно більших деформацій заготовки під верхнім бойком.

6) Через нерівність рейок, по яких рухається маніпулятор. Така похибка виникає через нерівномірність зносу рейок у процесі експлуатації. Може складати біля 1,5 мм. До того ж, ця причина є однією із багатьох, які призводять до викривлення поверхні циліндричної поковки відносно вісі.

7) Через неточність позиціонування заготовки маніпулятором (при лінійному переміщенні заготовки похибка складає біля $\pm 1,5$ мм; при обертанні радіальне биття складає біля $\pm 2,5$ мм (з урахуванням затисненої у захват маніпулятора заготовки)).

Перші три причини мають більш вагомий ступінь впливу на форму поковки у процесі кування: сумарна похибка у формоутворенні від них набагато більша ніж похибка від усіх інших причин.

Метою даної роботи є підвищення точності обробки поковок. Для цього необхідно вивчити механізм утворення неспіввісності на автоматизованому кувальному комплексі та розробити систему контролю співвісності поковок.

Механізм утворення неспіввісності показаний на рис. 1, а (зображено обробку деталі комбінованими валками). Точками A_1 та A_2 показані вісі заготовки до початку процесу обробки та після здійснення одиничного обтиснення заготовки робочими бойками пресу відповідно. Після повного циклу обробки заготовки вісь може зміститися у будь-якому напрямі. Через існування такої похибки отримуємо кінцеву деталь із неспіввісними частинами (приклад наведений на рис. 1, б). При цьому, якщо вісь одного з циліндрів зміститься на відстань Δ_i більшу за критичну $\Delta_{кр}$, то така деталь буде бракованою.

Для встановлення впливу параметрів деформування на неспіввісність поковки вченими ДДМА свого часу були проведені експериментальні дослідження на свинцевих і нагрітих сталевих зразках [2]. Кути кантувань зразків приймалися такими, щоб в результаті деформації поперечний перетин прийняв форму, близьку до рівностороннього багатокутника.

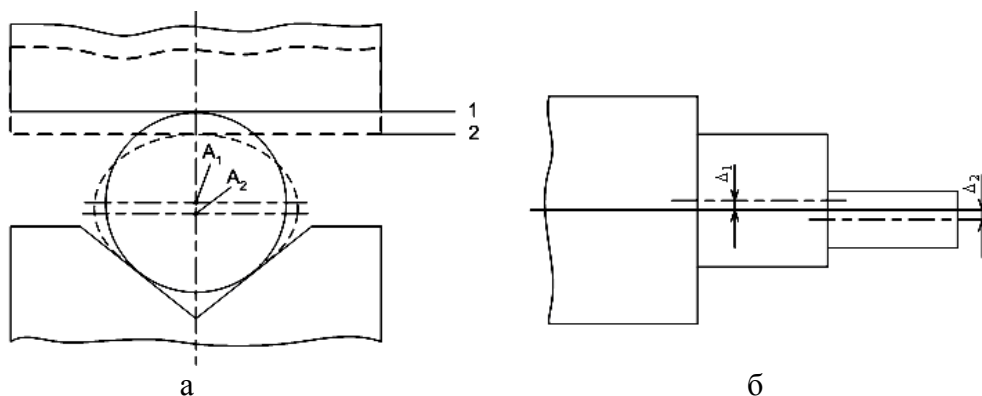


Рис. 1. Ілюстрація до механізму утворення неспіввісності:
 а – схема зміщення осі заготовки; б – приклад деталі із неспіввісними частинами

При виборі кута і числа кантувань для отримання перетину, близького до того, що вимагається, використовують закономірності, що визначають утворення багатокутників в процесі обжимань і кантувань суцільних заготовок. У основі закономірностей лежать зв'язки між кутом вирізу бойка α , кутом кантування γ , варіантами накладення контурів поковки, які формуються гранями верхнього і нижнього бойків:

$$\gamma = \frac{(180 - \alpha)}{m'}; \quad \alpha = \pi \cdot \frac{(2 \cdot n' - m')}{2 \cdot n' + m'}, \quad (1)$$

де m' і n' – число граней, яке залежить від варіанта накладання контурів.

По формулах розраховані різні поєднання кутів γ і α , за допомогою яких одержують правильні багатокутники.

Основними чинниками, що впливають на неспіввісність, є деформація, відносна подача ψ , кут кантування γ , кут вирізу бойка α . Деформацію у проходах зручно вимірювати відношним обжиманням:

$$\xi = \frac{D_{i-1}}{D_i}, \quad (2)$$

де D_i – діаметр кола, вписаного в зовнішній контур багатокутника, одержаного після i -го проходу.

Неспіввісність зразка δ , яка визначається величиною $100 \cdot \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2 \cdot D_i}$, в кінці першого проходу, дорівнює 1 %, в кінці другого проходу неспіввісність вже дорівнює 1,5 %.

При нерівномірному нагріві і механічних властивостях злитків по перетину положення зон ступенів з меншими уступами щодо зони, що обжимається верхнім бойком в проході останнього, може бути різним. Щоб одержати поковки з мінімальною неспіввісністю, оператор візуально вже на перших ходах повинен визначити кут кантування між проходами для обтиску верхнім бойком зон з меншими уступами.

У результаті проведеного аналізу механізму утворення неспіввісності можна сформулювати основні засоби підвищення точності обробки поковок на кувальних комплексах:

- підвищення точності позиціонування траверси пресу при робочому ході. Для досягнення цієї мети необхідно вдосконалювати конструкцію пресу;
- підвищення якості обладнання (усунення люфтів, зменшення пружних деформацій частин пресу та маніпулятора, вирівнювання рейок, по яких рухається маніпулятор);
- усунення проблеми неспіввісності. Неспіввісність є однією із найвагоміших причин значного зниження якості продукції автоматизованого кувального комплексу. Усунення цієї проблеми дозволить значно підвищити якість продукції при одночасному зменшенні припусків поковок.

На сучасному виробництві існує кілька методів зменшення похибки неспіввісності циліндричних поковок. До основних із них можна віднести наступні: використання вирізних (радіусних) бойків [5]; контроль співвісності візуально; зменшення різниці температур на початку процесу кування та під час закінчення цього процесу. [2]; кування одного кінця заготовки із одночасним газовим підігрівом другого її кінця, затисненого у кліщі маніпулятору [2]; використання теплоізолюючих обмазок для злитків [2]; формування ступенів заготовки починають з кінця поковки у напрямленні до підсічки (при цьому величина подачі не повинна перевищувати 2/3 ширини бойка, а степінь деформації не більше 15 %, при таких параметрах кування метал не витікає за границі бойків) [3].

При куванні на автоматизованому кувальному комплексі використовують спосіб, суть якого показана на рис. 2 [3]. Точкою *A* позначена зона поковки з відмінними від інших зон термомеханічними властивостями, тобто яка має більшу температуру. Потрапляння зони *A* на площину верхнього 1 або нижнього 2 бойків призводить до різного втиснення бойків у поковку через неоднакові зусилля деформування. Чим більше зона *A* потрапляє на площини бойків, тим більше різниця у втисненні бойків у поковку.

Щоб отримати симетричні поковки відносно вісі, необхідно усунути або зменшити кількість потраплянь зон *A* на площини бойків. Дія бойків тільки на зони поковки з однаковими термомеханічними властивостями знижує неспіввісність. На цю кількість потраплянь впливають кути вирізу бойків α_1 та α_2 , кут кантування γ , положення зони *A* у момент першого обтиснення.

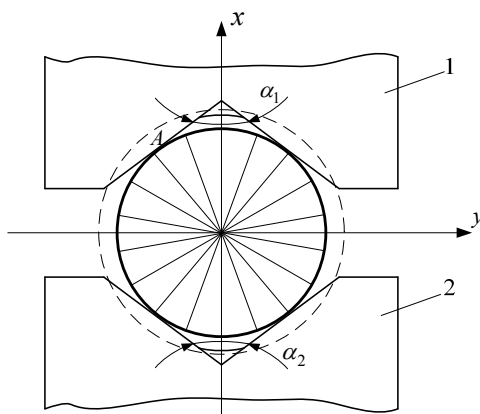


Рис. 2. Схема кування заготовки вирізними ромбічними бойками

Вірогідність загальної кількості положень, початок кування з яких не призводить до потрапляння зони *A* на площини бойків, та вірогідність загальної кількості потраплянь при початку кування з інших положень визначені для різних поєднань кутів кантування з кутами вирізу бойків для 72 положень (тобто через кожні п'ять градусів). Загальна кількість потраплянь зони *A* на площини бойків визначають для десяти обертів поковки навколо власної вісі. Початок відліку співпадає із віссю *x*. Розрахунки виконують за допомогою ЕОМ. Отримані дані свідчать про те, що значення кількості потраплянь зони *A* на площини бойків неоднакове для різних поєднань кутів вирізу бойків із кутами кантувань [3].

Розглянуті методи усунення причин утворення неспіввісності мають наступні недоліки.

Використання вирізних (радіусних) бойків неможливе у одиничному виробництві. Це пояснюється тим, що велика і різноманітна номенклатура поковок вимагає значної кількості пар вирізних (радіусних) бойків, отже необхідна часта зміна бойків, що знижує продуктивність пресового агрегату; крім того, часта зміна бойків потрібна тому що до оброблення можливий малий діапазон діаметрів заготовок в одній парі вирізних бойків.

Контроль співвісності візуально значно зменшує продуктивність ковальського комплексу, так як присутній людський фактор, швидкодія та точність якого дуже незначна.

До того ж людина схильна до помилок у результаті втрати та дії зл�акїсних факторїв оточуючого середовища. Тому треба намагатися як змога бїльше лїквїдувати наявнїсть людського фактору у технологїчному процесї.

Використання теплоїзолюючих обмазок для злиткїв та пїдїгрїв заготовки у процесї кування значно пїдвищують собївартїсть та зменшують конкурентоспроможнїсть готової продукцїї. Іншї методи вимагають змїнення технологїчного процесу.

На основї проведеного аналізу запропонована ефективна система контролю спїввїсностї поковки на автоматизованому комплексї 3000. До фїзичної моделї системи для контролю неспїввїсностї входять чотири оптичні датчики вїдстанї.

Вимїрювання вїдстанї проводиться тодї, коли поковка обковується на 360 ° (тобто пїсля кожного її повного обертї навколо власної вїсї).

Схема установки оптичних датчикїв представлена на рис. 3.

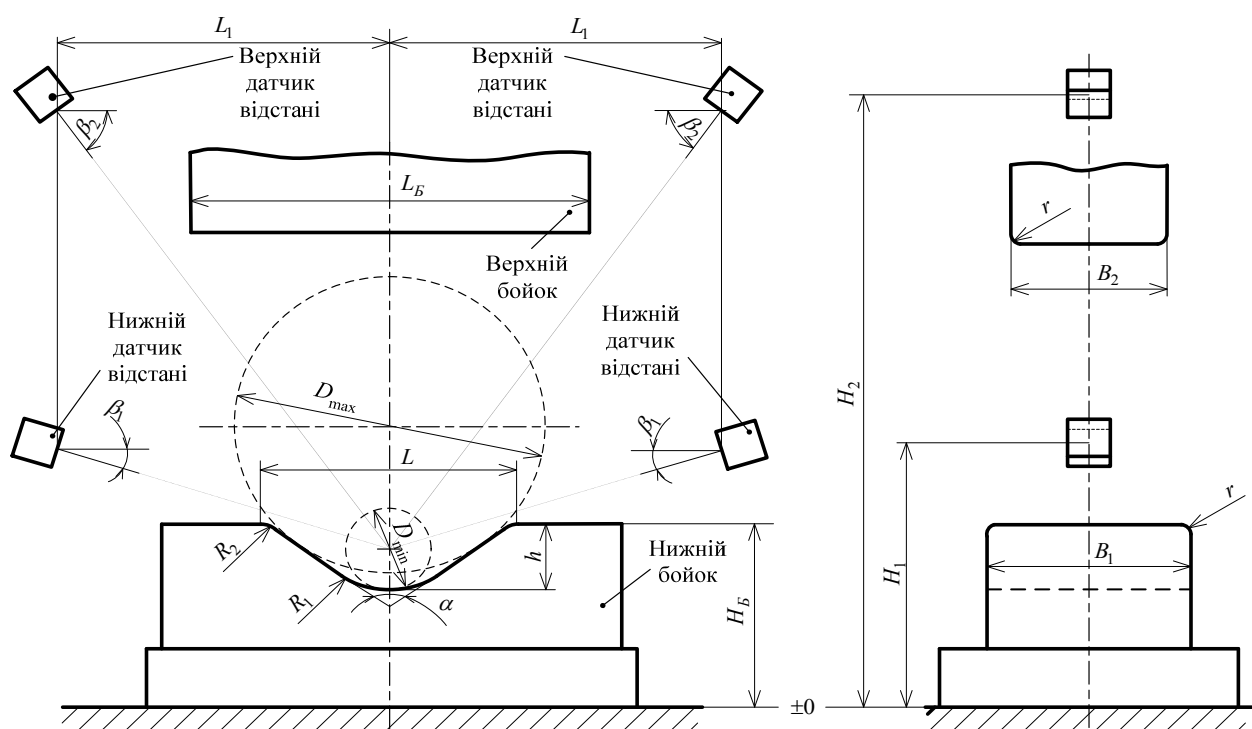


Рис. 3. Схема установки оптичних датчикїв на АКК 3000

Датчики розмїщуються таким чином, щоб забезпечувати роботу системи при всїй номенклатурї поковок без перенастроювання. Виходячи з цїєї умови, можна сказати, що найбїльш рацїональним буде розташування датчикїв вїдстанї таким чином, щоб свїтлові промїні були напрямленї до центру поковки найменшого дїаметру. Висота встановлення датчикїв повинна розраховуватися з умови, щоб бойки не перекривали промїні та не перешкоджали роботї системи. При цьому слїд зазначити, що використовуються комбїнованї бойки: верхнїй – вирїзний радїусний, та нижнїй – плоский.

Усї чотири оптичні датчики вїдстанї розмїщуються у однїй площинї перпендикулярнїй оброблюванїй заготовцї. Це є обов'язковою умовою для бїльш точного визначення положення перетину поковки та, як наслїдок, визначення величини неспїввїсностї, на базї якої будуть формуватися управлїючї сигнали системою орієнтування поковки для кувального комплексу по усуненню даної похибки.

Розташування оптичних датчикїв вїдстанї у просторї повинно бути таким, щоб давати достовїрну інформацїю про положення поковки та не заважати роботї інших систем автоматизованого комплексу. Для цього необхідно знати геометричнї параметри АКК.

Із технічних параметрів автоматизованого кувалального комплексу на базі гідравлічного пресу зусиллям 3000 тс відомі наступні параметри поковок: мінімальний діаметр оброблюваного валу $D_{\min} = 300$ мм; максимальний діаметр оброблюваного валу $D_{\max} = 1600$ мм; відстань між колонами $H = 3500$ мм.

При умові використання нижнього бойка із кутом вирізу $\alpha = 120^\circ$ та забезпеченні при протягуванні відносної подачі $\psi = 0,6$ можна розрахувати ширину нижнього B_1 та верхнього бойків B_2 [3]:

$$B_1 = D_{\max} \cdot \left(\cos \frac{\alpha}{2} + 0,1 \right) =$$

$$= 1600 \cdot \left(\cos \frac{120}{2} + 0,1 \right) = 960 \text{ мм}; \quad (3)$$

$$B_2 = 0,7 \cdot B_1 = 0,7 \cdot 960 = 672 \text{ мм}. \quad (4)$$

Глибина вирізу нижнього бойка знаходиться з умови [3]:

$$h = D_{\min} - 60 \text{ мм} = 300 - 60 = 240 \text{ мм}, \quad (5)$$

де 60 – безпечна відстань для усунення можливості контакту верхнього та нижнього бойків. При цьому $R_1 = h = 240$ мм [3].

Інші параметри бойків розраховуються за формулами:

$$R_2 = 0,5 \cdot R_1 = 0,5 \cdot 240 = 120 \text{ мм}; \quad (6)$$

$$r = (0,1 \dots 0,12) \cdot B_2 = 0,1 \cdot 672 = 67,2 \text{ мм}. \quad (7)$$

Загальна висота встановлення нижнього бойка приблизно дорівнює:

$$H_B = 5 \cdot h = 5 \cdot 240 = 1200 \text{ мм}. \quad (8)$$

Загальна довжина вирізу розраховується за формулою:

$$L = (0,8 \dots 0,85) \cdot D_{\max} = 0,8 \cdot 1600 = 1280 \text{ мм}. \quad (9)$$

Мінімальна довжина верхнього плоского бойка дорівнює:

$$L_B = 1,1 \cdot D_{\max} = 1,1 \cdot 1600 = 1760 \text{ мм}. \quad (10)$$

Використовуючи розраховані параметри та інші відомі габаритні параметри гідравлічного пресу можна визначити таке розташування складових системи контролю співвідносі поковки, при якому деталі кувалального комплексу не будуть перешкоджати її нормальній роботі.

Виходячи із того, що відстань між колонами гідравлічного преса зусиллям 3000 тс дорівнює $H = 3500$ мм, відстань L_1 приймаємо:

$$L_1 = \frac{H}{2} = \frac{3500}{2} = 1750 \text{ мм}. \quad (11)$$

Для того щоб нижній боек не знаходився на шляху випромінювання, яке напрямлене до центру поковки із мінімально можливим діаметром D_{\min} , необхідне виконання наступної умови:

$$\text{tg } \beta_1 \geq \frac{0,5 \cdot D_{\min}}{0,5 \cdot L} \geq \frac{0,5 \cdot 300}{0,5 \cdot 1280} \geq 0,234; \quad (12)$$

$$\beta_1 = \text{arctg } 0,234 \approx 13^\circ. \quad (13)$$

Мінімальна висота встановлення нижніх оптичних датчиків відстані буде дорівнювати:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= L_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1 + \left(H_B - h + \frac{D_{\min}}{2} \right) = \\
 &= 1750 \cdot 0,234 + \left(1200 - 240 + \frac{300}{2} \right) = 1519,5 \text{ мм.}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Висоту встановлення верхніх оптичних датчиків знаходимо з умови, що верхній бойок при куванні деталі із максимально можливим діаметром D_{\max} не буде заважати джерелу випромінювання (бойок знаходиться на 200 мм вище поковки – відстань безпеки).

$$\operatorname{tg} \beta_2 \geq \frac{D_{\max} + 150 - D_{\min}/2 + 200}{L_A + 100} \geq \frac{1600 + 150 - 300/2 + 200}{1760} \geq 1,023; \tag{15}$$

$$\beta_2 = \operatorname{arctg} 2,813 \approx 46^\circ. \tag{16}$$

Максимальна висота встановлення верхніх оптичних датчиків відстані буде дорівнювати:

$$\begin{aligned}
 H_2 &= L_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_2 + \left(H_B - h + \frac{D_{\min}}{2} \right) = \\
 &= 1750 \cdot 1,023 + \left(1200 - 240 + \frac{300}{2} \right) = 2900 \text{ мм.}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Знайдемо максимальні та мінімальні відстані, які необхідно буде міряти за допомогою датчиків.

Для оптичних датчиків максимальна відстань вимірювання становитиме:

$$\begin{aligned}
 L_{\max} &= \sqrt{L_1^2 + \left(H_2 - H_B + h - \frac{D_{\min}}{2} \right)^2} - 150 = \\
 &= \sqrt{1750^2 + \left(2900 - 1200 + 240 - \frac{300}{2} \right)^2} - 150 \approx 2355 \text{ мм.}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Мінімальна відстань вимірювання дорівнює:

$$\begin{aligned}
 L_{\min} &= \sqrt{L_1^2 + \left(H_1 - H_B + h - \frac{D_{\min}}{2} \right)^2} - \frac{L}{2} = \\
 &= \sqrt{1750^2 + \left(1519,5 - 1200 + 240 - \frac{300}{2} \right)^2} - \frac{1280}{2} \approx 1158 \text{ мм.}
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Для вимірювання відстаней від кількох сантиметрів до кількох метрів при температурі об'єкту до 1600 °С та неідеальній його поверхні найбільш підходять фазові лазерні далекоміри – оптичні датчики, які працюють за принципом оптичної триангуляції. Фазові лазерні далекоміри знаходять широке застосування у сучасних системах автоматизації та при контролі параметрів технологічних процесів у різних галузях промисловості.

З урахуванням умов роботи датчиків (температура об'єкту 1300 °С, температура навколишнього середовища може досягати 90 °С, підвищений рівень вібрації, вимірювані відстані від 1 м до 2,5 м, точність вимірювання ± 2 мм) обираємо безконтактний лазерний датчик вимірювання відстані із високою роздільною здатністю – DILAS FT2000 компанії DELTA.

Для підвищення точності вимірів необхідно урахувати похибку вимірювання. Під час знаходження центру перетину поковки припускається, що вона має ідеально круглу форму. Але форма перетину реальної поковки має відхилення від круглості. Через те, що положення перетину поковки у просторі (відповідно і всієї частини валу) визначається за допомогою

знаходження координат лише чотирьох точок на її поверхні, по яких далі знаходиться центр перетину ідеальної форми, а не по усіх точках даної області, може виникнути похибка у визначенні координат шуканого центру.

Відхилення перетину поковки від ідеально круглої форми виникає через неточність зупинки траверси, що у свою чергу виникає через неідеальність системи управління її позиціонуванням та через наявність люфтів обладнання. На гідравлічному пресі зусиллям 30 МН, який входить до складу автоматизованого кувалного комплексу, максимальна неточність позиціонування траверси складає ± 5 мм. Виходячи із цього можна сказати, що і максимальне зміщення знайденого центру поковки буде відрізнятися від дійсного на $\delta'_1 \approx 5$ мм. Це було б так, якби центр перетину поковки визначався по трьох точках на її поверхні. Але знаходиться чотири контрольні точки, використовуючи які будується три можливі перетини та знаходиться, відповідно, три можливі центри поковки. Значення знайдених координат усіх трьох центрів усереднюється і потім приймається остаточно як шукана величина. Таким чином, при використанні чотирьох контрольних точок на поверхні поковки, одержуємо похибку меншу, ніж за умови використання лише трьох точок ($\delta_1 \approx 3,5$ мм).

Дана похибка доповнюється похибкою вимірювання самих оптичних датчиків відстані. Виділяється ряд особливостей експлуатації світлодалекомірів, які впливають на точність вимірювання: вимірювання відстані виконується в умовах перешкод, які обмовлені потужним тепловим випромінюванням поковки; неможливість використання спеціальних відбивачів; підвищений рівень вібрації; температура оточуючого середовища (до 90 °С); температура контрольованого об'єкту до 1300 °С. Сучасні лазерні далекоміри забезпечують при цих умовах похибку вимірювання на рівні $\delta_2 = 1,5 \dots 2$ мм.

Таким чином, сумарна похибка вимірювання складатиметься із похибок δ_1 та δ_2 і дорівнюватиме:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 5,5 \text{ мм.} \quad (20)$$

Цей показник повністю задовольняє поставленим вимогам до системи позиціонування поковки на автоматизованому кувалному комплексі.

ВИСНОВКИ

У даній роботі були вирішені наступні задачі:

- проведений аналіз особливостей процесу кування на автоматизованих кувальних комплексах;
- досліджені виробничі умови роботи автоматичного кувалного комплексу та їх вплив на вимірювану апаратуру;
- досліджені методи зменшення похибки утворення неспіввісності поковки;
- проаналізовані методи отримання інформації про положення поковки та обґрунтований вибір оптичних датчиків відстані;
- розроблена система контролю неспіввісності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Охрименко Я. М. *Технология кузнечно-штамповочного производства. Учебник для вузов* / Я. М. Охрименко. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с.
2. *Теория и технологияковки* / Л. Н. Соколов, Н. К. Голубятников, В. Н. Ефимов, И. П. Шелаев; под ред. Л. Н. Соколова. – К. : Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 317 с.
3. *Ковка слитков на прессах* / Л. Н. Соколов, Н. М. Золотухин, В. Н. Ефимов и др.; под ред. Л. Н. Соколова. – К. : Техніка, 1984. – 127.
4. *Ключников С. И. Повышение точностипоковок* / С. И. Ключников. – М. : Машигиз, 1959. – 436 с.
5. *Камнев П. В. Совершенствованиековки крупныхпоковок* / П. В. Камнев. – Л. : Машиностроение, 1975. – 344 с.

Стаття надійшла до редакції 19.10.2011 р.