

УДК 621.313

**Квашнін В. О., Бабаш А. В., Яковлєв О. М.**

## **ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОГО МОМЕНТУ ТЕРТЯ ПРИ ПРЕСУВАННІ ЗРАЗКА З ОДНОЧАСНИМ КРУЧЕННЯМ**

Порошкова металургія – один з найбільш ефективних напрямків створення нових високоефективних виробництв деталей і перспективних матеріалів для сучасного машинобудування. Базовий варіант технології включає: формування заготовки, спікання та остаточну обробку (калібрування, чистову механічну обробку, термообробку і т. п.). Це дозволяє одержувати готові вироби необхідної міцності, точних розмірів і складної форми [1, 2].

За допомогою технології порошкової металургії виробляють матеріали і вироби, які або неможливо отримати традиційними методами металургії та обробки, або їх виготовлення цим методом обходиться дешевше. Методом порошкової металургії виробляються: композиційні матеріали технічного (підшипники ковзання, фрикційні диски і накладки), електротехнічного (контакти, магнітно-тверді і магнітно-м'які вироби) та інструментального (тверді сплави) призначення, конструкційні деталі (втулки, кільця, храповики, шестерні, кришки підшипників, кулачки і т. п.) та ін.

Для розрахунку та вибору асинхронного електродвигуна потрібної потужності, який повинен приводити до руху механізм кручення, необхідно визначити статичний момент тертя. Статичний момент фактично і є навантаженням двигуна. Але стандартних методик для визначення моменту тертя не існує. Таким чином виникає необхідність розробки власної методики визначення статичного моменту тертя.

Метою роботи є аналітичне визначення статичного моменту тертя при пресуванні зразка з одночасним крученням.

В рамках роботи була розроблена експериментальна установка з пресування заготовок, що дозволяє здійснювати технологію з інтенсивної пластичної деформації, а саме High-Pressure Torsion (НРТ).

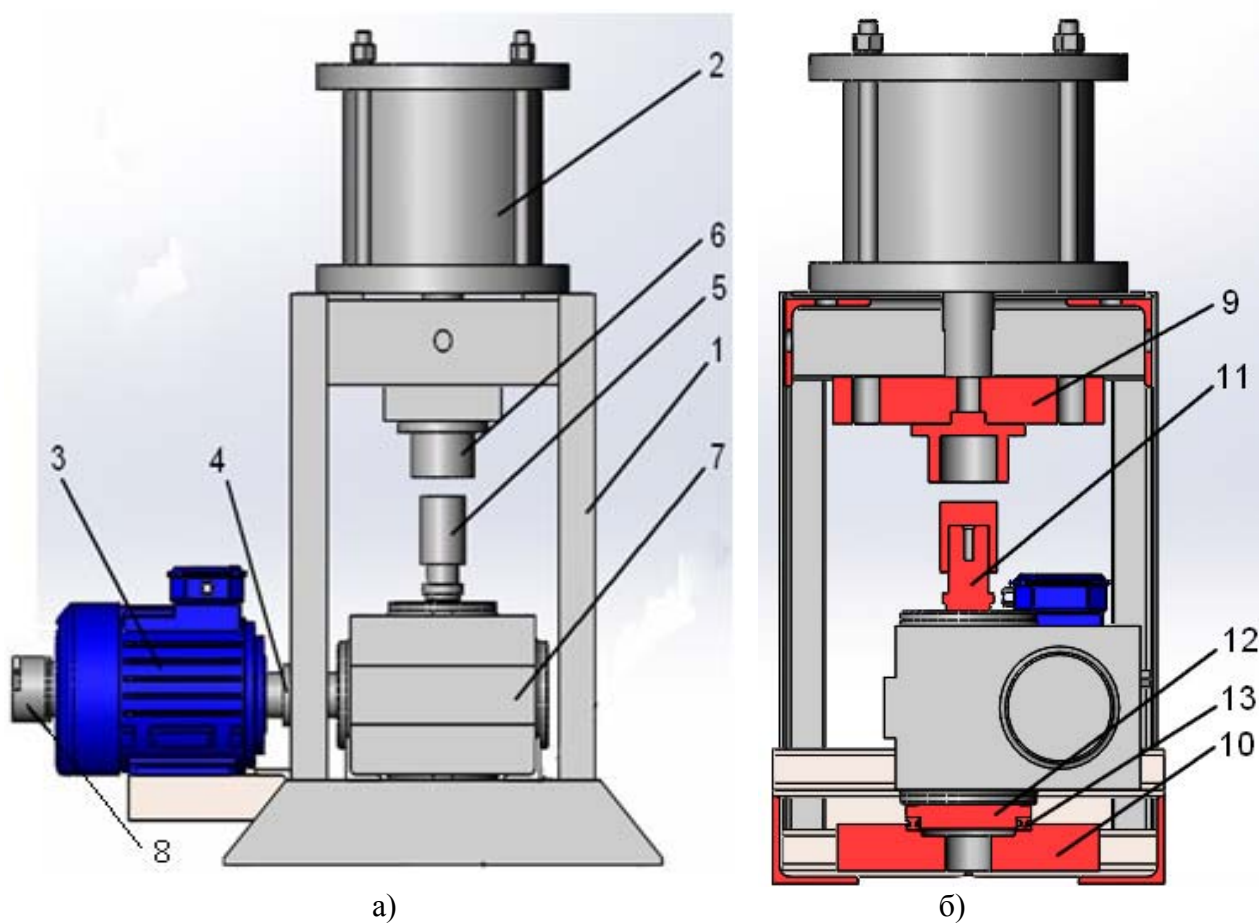
Остання полягає в пресуванні заготовки з одночасним її крученням. Експериментальна установка включає: зварну раму 1, натискний гідроциліндр 2 зусиллям 100 кН, асинхронний електродвигун з невідомими паспортними даними, зубчасту муфту 4, нижній 5 та верхній 6 пуансони, черв'ячний редуктор 7 2Ч-80 з передаточним числом 40, інкрементальний енкодер 8 Siemens 6FX2001-2DB02, верхню 9 та нижню 10 плити, шліцьового валу натискного 11, підп'ятник 12 та упорний шарикопідшипник 13 серії 8117.

Для вимірювання сили пресування було застосовано месдозу кільцевого типу, деформації заготовки – датчик лінійних переміщень BALLUFF BTL5-A11-MO200-P-S32, куту кручення заготовки – енкодер Siemens 6FX2001-2DB02.

На вихідному валу електродвигуна встановлювали зубчасту муфту для передачі моменту на редуктор. Для підвищення моменту та зменшення швидкості був використаний черв'ячний редуктор 2Ч-80 з передаточним числом 40, що дозволило отримати малі швидкості. Для створення зусилля пресування використовували гідравлічний циліндр подвійної дії.

Гідроциліндр був розташований в верхній частині рами та закріплений за допомогою 4 болтів М14, а також був підключений до гідравлічної станції. При проведенні експериментальних досліджень, зокрема процесу НРТ, заготовку розміщували між нижнім та верхнім пуансонами. При подачі масла під тиском шток гідроциліндру переміщався вниз для пресування заготовки. При пуску електродвигуна через редуктор натискний вал починав обертатися і за допомогою шпонкового з'єднання починалось обертання нижнього пуансону. Зусилля від гідроциліндру замикалось через натискний вал та підп'ятник на раму.

Натискний вал тільки обертався, а верхній пуансон, що був жорстко зафіксований на верхній плиті, тільки переміщався в вертикальній площині (рис. 1).



1 – рама; 2 – гідроциліндр; 3 – електродвигун; 4 – муфта; 5 – нижній пуансон; 6 – верхній пуансон; 7 – редуктор; 8 – інкрементальний енкодер Siemens 6FX2001-2DB02; 9 – плита верхня; 10 – плита нижня; 11 – вал натискний шліцьовий; 12 – підп’ятник; 13 – підшипник упорний

Рис. 1. Види установки для реалізації процесу пресування крученням:

а – вид спереду; б – перетин збоку

Всі вимірювальні пристрої були підключені до АЦП. Для створення крутного моменту був використаний асинхронний електродвигун з можливістю регулювання обертальної швидкості за допомогою частотного перетворювача Altivar 31 [3].

Частотний перетворювач Altivar 31 ATV31HU15N4 потужністю 1,5 кВт забезпечує необхідний закон керування асинхронного двигуна та механізму кручення в цілому. Частотний перетворювач має дискретні LI1 – LI6 та аналогові AI1 – AI3 входи. Дискретні входи призначені для запуску/зупинки частотного перетворювача. За допомогою аналогових входів можливе плавне керування швидкістю обертання асинхронного двигуна, під’єданого до частотного перетворювача. Налаштування перетворювача здійснюється за допомогою параметрування. Певні параметри можна змінювати за допомогою клавіш на передній панелі. Індикація значень параметрів відбувається за допомогою вбудованого дисплея. Перетворювач містить головне меню, яке складається з підменю. Тут міститься багато різних параметрів за допомогою яких можна налаштувати функції аналогових та дискретних входів, вибрати потрібний закон керування, задати значення параметрів регуляторів швидкості, вибрати рівень теплового захисту. Програмування перетворювача частоти (тобто пристосування його до конкретної прикладної задачі) здійснюють шляхом зміни його параметрів (таких, як частота комутації, тривалість розгону, номінальна частота живлення двигуна, закон управління двигуном, призначення логічного входу і т. п.). Кожен з таких параметрів має код і ряд значень.

Код складається з декількох символів (до 4 латинські літери та цифри, наприклад, AC2, CHCF). Присвоєння параметру потрібного значення являє собою програмування. Значення параметрів можуть бути різного типу:

- цифровими (як, наприклад, значення максимальної частоти HSP = 60 Гц);
- текстовими (Cd1 = tEr або LOC, tUS = tAb, FAIL або dOnE).

Існують три типи параметрів:

- параметри відображення, лише відображуються, але не підлягають зміні;
- параметри налаштування, доступні для зміни при роботі і зупинці;
- параметри конфігурації, що змінюються тільки при зупинці і лише відображуються в процесі роботи ПЧ;
- текстовими (Cd1 = tEr або LOC, tUS = tAb, FAIL або dOnE).

Параметри для зручності доступу впорядковані в тематичні меню і підменю (вкладені меню). Деякі параметри для зручності одночасно присутні в декількох меню.

Сукупність декількох тематично близьких параметрів, які реалізують певну задачу (наприклад, управління електромагнітним гальмом, пропуск частотного вікна, перемикання темпів і т.п.) називають функцією. Найчастіше параметри, які реалізують одну прикладну функцію, розміщуються в загальному підменю і стають доступними тільки після її активізації. Тепловий захист перетворювача реалізований через термістор, який встановлений на радіаторі або в силовому модулі. Зовнішній вигляд частотного перетворювача наведений на рис. 2.



Рис. 2. Частотний перетворювач Altivar 31 ATV31HU15N4

Структура меню налаштувань параметрів частотного перетворювача типу Altivar 31 представлена на рис. 3.

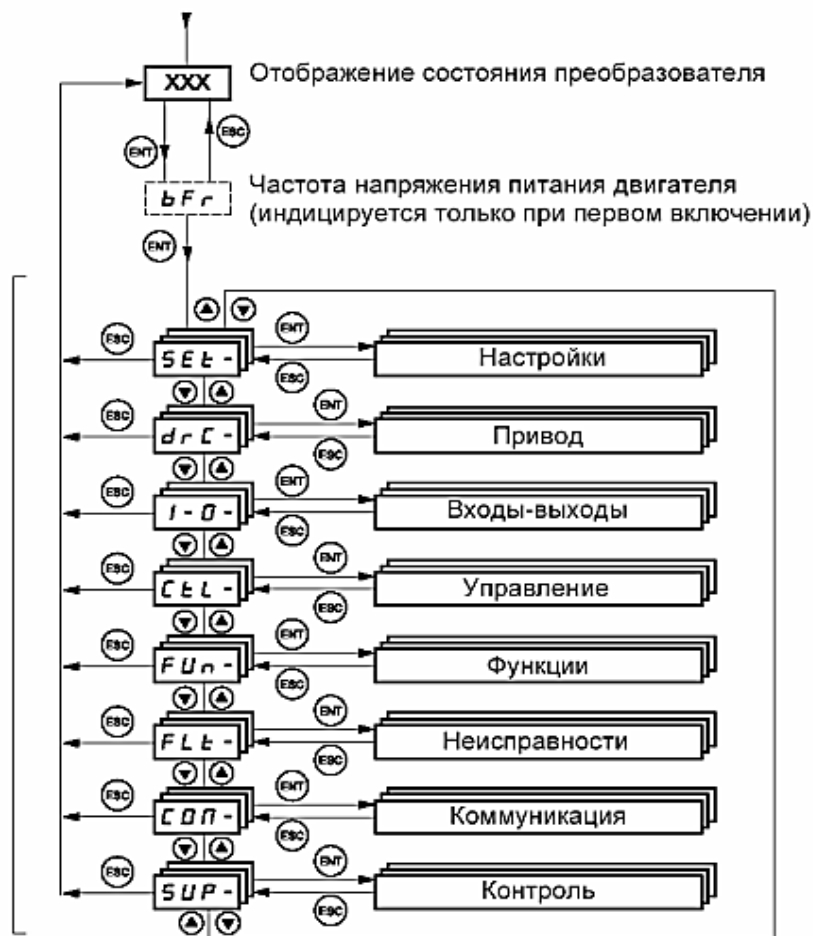


Рис. 3. Меню налаштувань частотного перетворювача Altivar 31

Основним статичним навантаженням є опір тертя при крученні різноманітних порошків під наростаючим статичним навантаженням пресу від 1 до 100 кН. У зв'язку з цим виникає вязке тертя, момент чи діючу силу якого необхідно визначити.

Для різноманітних матеріалів існують визначені коефіцієнти тертя або абсолютні його значення, які наведені у довідкових матеріалах з фізики [4].

Основний матеріал для пресування з крученням – порошок титану.

Сила тертя ковзання може бути визначена з використанням наступного розрахункового співвідношення (1):

$$F_m = k_m \cdot F_n = 0,15 \cdot 100000 = 15000 \text{ Н.} \tag{1}$$

де  $k_m$  – коефіцієнт тертя ковзання матеріалу,

$F_n$  – натискна сила.

За довідковими даними літератури [5] було визначено коефіцієнт тертя порошку титану. Таким чином, коефіцієнт тертя порошку титану дорівнює  $k_m = 0,15$ . Натискною силою виступає зусилля пресу 10 т. Вона дорівнює  $F_n = 100 \text{ кН}$ .

Силу тертя порошку титану при його пресуванні одночасно з крученням може бути визначено наступним чином (2):

$$F_m = k_m \cdot F_n = 0,15 \cdot 100000 = 15000 \text{ Н.} \tag{2}$$

Для перевірного розрахунку асинхронного електродвигуна необхідно визначити

момент опору тертя при пресуванні та одночасному крученні порошку титану. Момент опору можна визначити, використовуючи наступне розрахункове співвідношення (3):

$$M_{o.m.} = F_m \cdot \frac{d}{2} = 15000 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-3}}{2} = 150 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3)$$

де  $d$  – діаметр основи конусу пуансона, для здійснення процесу пресування, мм.

Для перевірки асинхронного електродвигуна, який використовується в експериментальній установці, за його обертальним моментом необхідно визначити наведений момент статичного опору  $M_c$ . Спрощена кінематична схема механізму наведена на рис. 4.

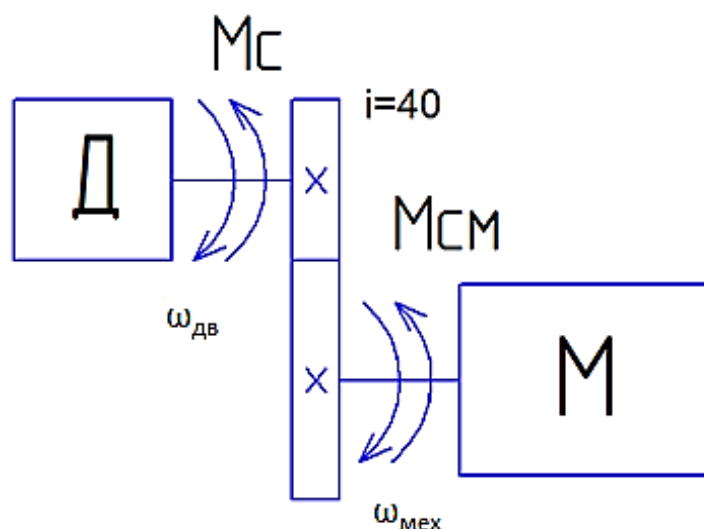


Рис. 4. Спрощена кінематична схема механізму

Статичний момент опору може бути визначений за допомогою наступного розрахункового співвідношення (4):

$$M_c = \frac{M_{o.m.}}{i_{mex} \cdot \eta_{ред}} = \frac{150}{40 \cdot 0,72} = 5,21 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (4)$$

Номінальний момент наявного асинхронного електродвигуна 4А71В4У3 [6] дорівнює  $M_n = 5,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Таким чином, існуючий асинхронний електродвигун задовольняє умовам технологічного процесу, тому що виконується умова (5):

$$\begin{aligned} M_c &< M_n, \\ 5,21 &< 5,23 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким чином, існуючий асинхронний електродвигун здатен витримати навантаження технологічного процесу пресування з одночасним крученням.

Загальний вигляд приводу для приведення зразку до руху при його пресуванні з одночасним крученням наведено на рис. 5.

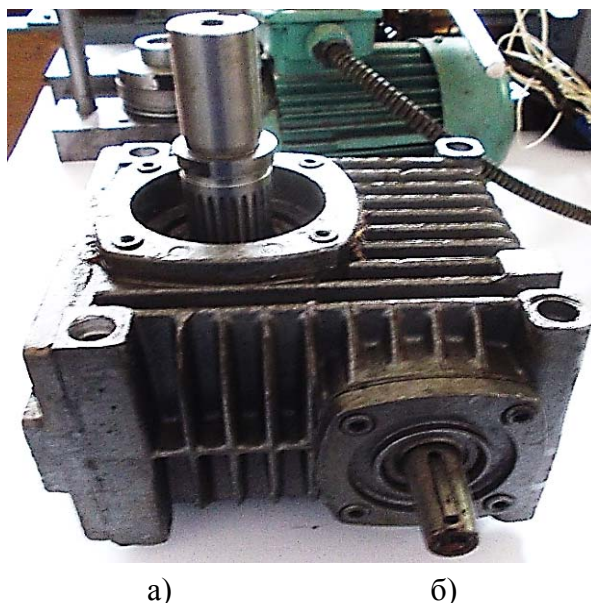


Рис. 5. Загальний вид приводу для обертання заготовки:  
а – вид спереду; б – вид збоку

### ВИСНОВКИ

В результаті досліджень була запропонована методика визначення статичного моменту опору при пресуванні та одночасному крученню зразка.

З використанням даних реальної експериментальної установки було розраховано статичну силу та момент опору. Далі на основі паспортних даних наявного асинхронного двигуна було визначено його номінальний момент та здійснена перевірка за перевантажувальною спроможністю. Таким чином, асинхронний двигун 4А71В4У3 експериментальної установки здатний витримати навантаження, яке створюється під час пресування зразка з одночасним його крученням.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kaveh Edalati, Zenji Horita, *A review on high-pressure torsion (HPT) from 1935 to 1988*, In *Materials Science and Engineering: A*, Volume 652, 2016, Pages 325–352, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.11.074>
2. Реалізація процесу інтенсивної пластичної деформації з використанням сучасного комплектного електропривода / Бабаиш А. В., Квашинін В. О., Тарасов А. Ф., Грибков Е. П. // *Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: Тези доповідей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (03–05 жовтня 2018 р., м. Запоріжжя)*. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – С. 168–170.
- 3 Казачковський, Н. Н. Программирование преобразователя частоты Altivar 31 / Н. Н. Казачковський, Д. В. Якупов // *Методические материалы для слушателей курсов повышения квалификации и студентов специальности 7.092203 «Электромеханические системы автоматизации и электропривод»*. – Днепропетровск 2006. – 45 с.
4. Кошкин Н. И. *Справочник по элементарной физике* / Н. И. Кошкин, М. Г. Ширевич. – М.: Наука 1972. – 256 с.
- 5 Чуев А. С. *О противоречивости определений физических величин динамическая и кинематическая вязкость* / А. С. Чуев. – *ЗиПМ № 1*, 2012. – С. 54–58.
6. *Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник* / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 380 с.

Стаття надійшла до редакції 12.05.2019 р.