

титановый сплав Ti-0,25O-1,5Fe имеет механические свойства по своему уровню не уступающие существующим и разрабатываемым аналогичным титановым сплавам. Предел прочности (σ_B) 630 МПа, относительное удлинение (δ) 7 % и относительное сужение (ψ) 28 %. Твердость (НВ) составила в среднем 2000 МПа.

Использование в качестве сырья для производства экономнолегированных спеченных титанового сплава титана губчатого с заданным составом легирующих элементов, в комплексе с применением методов порошковой металлургии титановых сплавов, является экономически выгодным и рентабельным по причине исключения целого ряда технологических операций и низкой себестоимости, используемых сырья и материалов.

Литература

1. Kevin, J. Cain. Industrial Titanium Demand Forecast [Электронный ресурс] / Kevin J. Cain // ITA Conference 2009, USA, Hawaii, 13–16 September 2009. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. — Название с титул. экрана.
2. Александров, А. В. Развитие рынка титана в СНГ [Текст] : материалы конференции / А. В. Александров // Международная конференция Ti-2009 в СНГ. — К.: РИО ИМФ им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, 2009. — С. 7–10.
3. Александров, А. В. Разные грани титана и его сплавов (продолжение) [Текст] / А. В. Александров, Б. А. Прудковский // Титан. — 2004. — № 1. — С. 74–79.
4. Александров, А. В. Разные грани титана и его сплавов (продолжение) [Текст] / А. В. Александров, Б. А. Прудковский // Титан. — 2005. — № 1. — С. 64–70.
5. Ночовная, Н. А. Титановые сплавы серии «LOW-COST» и возможности их применения [Текст] / Н. А. Ночовная, В. Г. Анташев // Международная конференция Ti-2007 в СНГ. — Сборник трудов. — К.: РИО ИМФ им. Г. В. Курдюмова НАН Украины. — С. 191–192.
6. Ивасишин, О. М. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного применения [Текст] / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, К. А. Бондарев [и др.] // Наука та інновації. — 2005. — Т1. — № 2. — С. 44–57.
7. Ивасишин, О. М. Порошковая металлургия титановых сплавов с применением гидрированного титана [Текст] / О. М. Ива-

сишин, Д. Г. Саввакин, В. Моксон [и др.] // Международная конференция Ti-2006 в СНГ: Сборник трудов. — К.: Наукова думка, 2006. — С. 32–38.

8. Быков, И. О. Применение гидрированного титана с заданным содержанием кислорода для получения изделий методом порошковой металлургии [Текст] / И. О. Быков, А. В. Овчинников, С. И. Давыдов [и др.] // Теория и практика металлургии. — 2011. — № 1–2. — С. 65–69.
9. Пат. 46526 Україна, МПК51 C22B34/12. Спосіб отримання губчастого титану, легованого киснем / Яценко О. П., Дрозденко В. А., Щербань Р. А., Давидов С. І., Шварцман Л. Я., Феофанов К. Л.; заявник і патентовласник Яценко О. П. — № 200907021; заявл. 06.07.2009; опубл. 25.12.2009, бюл. № 24.
10. ГОСТ 17746-96. Титан губчатый. Технические условия [Текст] — Взамен ГОСТ 17746-79. — Введ. 1998-01-01. — К.: Держстандарт України, 1997. — 10 с.
11. Ивасишин, О. М. Апробация порошков гидрированного титана производства КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии [Текст] / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, М. В. Матвийчук [и др.] // Международная конференция Ti-2007 в СНГ: Сборник трудов. — К.: РИО ИМФ им. Г. В. Курдюмова НАН Украина, 2007. — С. 73–77.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМНОЛЕГОВАНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВУ З ЗАДАНИМ ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ

Виконано дослідження структури і механічних властивостей економнолегованого спеченого титанового сплаву з отриманням заданої кількості легуючих елементів О, Fe. Процес спікання зразків проводили при температурі 1310 °С. Отримано титан губчастий з заданим складом легуючих елементів (О — 0,25 % (мас.), Fe — 1,5 % (мас.)).

Ключові слова: титановий сплав, титан губчастий, легування, спікання, хімічний склад, домішки, мікроструктура.

Осіпенко Александр Викторович, аспірант, Запорозький національний технічний університет, Україна, e-mail: osipenko@ztmc.zp.ua.

Осіпенко Олександр Вікторович, аспірант, Запорізький національний технічний університет, Україна.

Osipenko Oleksandr, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine, e-mail: osipenko@ztmc.zp.ua

УДК 921.91.678

Самчук В. В.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ БЕЗЦЕНТРОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ ІЗ ПКМ

У статті розглядається конструкція пристрою для безцентрової механічної обробки, при використанні якого можна підвищити ефективність виготовлення циліндричних виробів із ПКМ, особливо в плані продуктивності праці та отримання більш високої якості оброблюваної поверхні, що досягається урівноважуванням сил різання та крутних моментів, діючих на заготовку та великою кількістю ріжучих елементів, у яких різноспрямовані ріжучі кромки.

Ключові слова: циліндричні вироби, полімерний композитний матеріал, безцентрова механічна обробка.

1. Вступ

В останнє десятиліття великих обсягів досягло виробництво композитних матеріалів, серед яких особливе місце посідають композити на основі полімерних ма-

теріалів, тому як вироби із полімерних композитних матеріалів (ПКМ) знаходять більш широке застосування в галузях народного господарства у сфері матеріального виробництва а саме в таких галузях промисловості, як хімія, будівництво, транспорт (особливо авіаційний та

водний), також усе частіше виготовляються різний спортивний інвентар тощо. Це тому, що ПКМ (склопластик, склоорганопластик, вуглеорганопластик, майже усі органопластики тощо) володіють значною кількістю переваг в плані фізико-механічних властивостей, а саме високою питомою міцністю, твердістю і стійкістю до впливу навколишнього середовища у порівнянні з металами та їх сплавами [1–3]. На цій основі ПК починають витісняти їх як конструкторський матеріал. З цим зростає кількість маса виробів із ПКМ різного призначення, які мають циліндричну форму, до яких ставлять підвищені вимоги по якості їх елементів, відхилення яких виникає у процесі обробки.

Незважаючи на досить добре розроблену технологію обробки циліндричних поверхонь, питання, що стосуються забезпечення високої якості обробки при високій продуктивності, ще до кінця не вирішено. І це суттєво у значній мірі перейшло до механічної обробки циліндричних поверхонь із ПКМ.

2. Постановка проблеми

До різання ПКМ як технологічному способу обробки заготовок пред'являються наступні основні вимоги по досягненню високої ефективності: висока якість оброблюваної поверхні, що включає в себе ряд показників, які характеризуються як геометричними параметри (точність розмірів, форми його елементів та їх взаємне розташування, шорсткість поверхні, спучування кромок, розшарування, ворсистість, відколи, усадка поверхні тощо) так і фізико-хімічним станом поверхневого шару отвору (деструкція поверхневого шару, залишкові напруження); висока продуктивність праці, економічність.

Найважливіші кількісні показники геометричних та фізико-хімічних параметрів циліндричної форми досягаються протягом усього робочого процесу, здійснюваного за допомогою технологічної системи, що включає в себе засоби технологічного оснащення (верстат — пристосування — інструмент) та заготовку між якими плине динамічна і кінематична взаємодія.

З моменту початку механічної обробки, технологічна система діє, як багатофакторна автоматична система, яка знаходиться під впливом різних факторів. При цьому реакція технологічної системи призводить до порушення заданого режиму роботи процесу, і як наслідок, до відхилення геометричних та фізико-хімічних параметрів оброблюваної циліндричної поверхні.

До елементарних складових по відхиленню геометричних параметрів і якості поверхневого шару виробу із ПКМ при її механічній обробці впливає сукупність будь з яких вхідних параметрів цієї системи та збудовуючих впливів, які порушують початкові умови обробки можна виразити в найбільш загальному вигляді наступною залежністю:

$$\Delta_{\Sigma} = f(K, \varepsilon, \Delta Y, \Delta_{\Pi}, \Delta_i, \Delta_M, \Delta_{ГЛ}, \Delta t, \Delta S, \Delta_{ГН}, \Delta_{ЗН}, \Delta_K, \Sigma \Delta \Phi, \Delta A_{\text{кол}}, \Delta P_{\text{стр}}), \quad (1)$$

де K — принципова кінематична схема різання; ε — відхилення із-за погрішності установки заготовки; ΔY — відхилення через пружні деформації елементів технологічної системи ВПД; Δ_{Π} — погрішність налагодження на розмір; Δ_i — відхилення, викликана зносом ріжучого інструмента; Δ_M — відхилення, викликані від фізико-

механічних властивостей матеріалу (анізотропія матеріалу тощо); $\Delta_{ГЛ}$ — відхилення, викликані від не раціонально призначених геометричних параметрів ріжучого інструмента; Δt — відхилення, викликані тепловими деформаціями елементів технологічної системи ВПД; ΔS — відхилення, від призначених не раціонального режиму різання; $\Delta_{ГН}$ — відхилення, викликані геометричними неточностями устаткування; $\Delta_{ЗН}$ — відхилення, викликані залишковими внутрішніми напруженнями; Δ_K — погрішність поточного й остаточного контролю (вимірів); $\Sigma \Delta \Phi$ — сумарна погрішність форми; $\Delta A_{\text{кол}}$ — погрішності, обумовлені амплітудою коливань елементів у технологічній системі ВПД; $\Delta P_{\text{стр}}$ — погрішність, викликана порушеннями нормального плину процесу різання.

Дві останні складові $\Delta A_{\text{кол}}$ і $\Delta P_{\text{стр}}$ визначають не тільки величину погрішності, але і взагалі можливість реалізації процесу різання з запроєктованими технологічними параметрами.

Для зменшення результуючої погрішності формотворення отвору звичайно досить цілеспрямовано змінювати, у першу чергу, будь-який один із вхідних або збудовуючих параметрів, вплив яких на точність у конкретній ситуації виявляється переважаючою [4].

Так великі технологічні проблеми виникають при обробці відносно довгих циліндричних виробів, які володіють дуже низькою жорсткістю. В такому разі процес формотворення методами лезв'їної обробки неможливий або викликає істотних труднощів.

3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

У науковій літературі дослідження щодо рекомендацій по можливому уникненню (зменшенню) найпоширеніших дефектів, які виникають у процесі механічної обробки циліндричних виробів різанням, в більшості спрямовані до розробки та створення оптимальної форми інструменту та його геометричних параметрів [2, 5], призначенню раціональних режимів різання з використанням різноманітних мастильних охолоджувальних засобів (МОТЗ), особливо широко використовують газоподібні охолоджувальні засоби.

Був запропонований метод обробки різанням з технологічним заповнювачем, який полягає в збільшенні жорсткості виробу за рахунок її просочення рідким технологічним середовищем з наступним його отвердінням і механічною обробкою. Після завершення механічної обробки технологічний заповнювач видаляється [6].

Прагнення зменшення пружні переміщень виробу в процесі обробки, призвело до створення кінематичних методів, що полягає у створенні відповідної кінематички руху інструмента, при якій ріжуча кромка, переміщується відносно поверхонь різання, через що окремі ділянки ріжучої кромки, то входять, то виходять із зони обробки [7, 8].

Найбільш близькою є конструкція пристрою для безцентрової обробки циліндричних деталей, який складається з корпусу, у якому на підшипниках установлені дві різцьові головки, у внутрішніх отворах, яких рівномірно по усій окружності розташовані ріжучі елементи (різці), що найменш по чотири у кожній головці, а по зовнішньому діаметру мають конічні зубчасті вінці, що знаходяться в зачепленні з приводним конічним колесом [9]. Недоліком цієї конструкції є низька продуктивність із-за наявності лише двох різцьових головок.

4. Постановка задачі

Розглядаючи класичну обробку виробів із ПКМ на верстатах токарної групи (рис. 1, а), можемо спостерігати позacentровий стиск, викликаний силою P_x , та косий згин від сил P_y та P_z .

При складанні шести рівнянь рівноваги просторової системи сил (технологічної системи) (рис. 1, а):

$$\sum_{k=1}^n P_{kx} = 0, \quad \sum_{k=1}^n P_{ky} = 0, \quad \sum_{k=1}^n P_{kz} = 0, \quad \sum_{k=1}^n M_x(\bar{P}_k) = 0, \\ \sum_{k=1}^n M_y(\bar{P}_k) = 0, \quad \sum_{k=1}^n M_z(\bar{P}_k) = 0. \quad (2)$$

За умови, що крутний момент верстата $M_{вп}$, буде дорівнювати моменту опору різанню M_x , отримаємо: $X_A = P_x$; $Y_A = P_y$; $Z_A = P_z$; $M_{вп} = P_z \cdot d/2 = M_x$; $M_y = P_z \cdot L$; $M_z = P_y \cdot L + P_x \cdot d/2$.

Як ми бачимо, складові сили різання прямо діють на елементи технологічної системи в якій виникають пружні переміщення, що впливають на періодичну зміну товщину зрізу, що спричиняє до вище зазначених погрешностей обробки. Раніше щоб уникнути цих пружних переміщень інженери-конструктори при проектуванні аналогового устаткування підсилювали складові частини системи, що в більшості випадків супроводжується збільшенням загальних габаритів устаткування.

Розглянемо дію сили різання на циліндричний виріб із ПКМ (рис. 1, б). При введених до осі виробу зовнішні силові фактори в точці O будуть такими: P_x — сила, що стискає деталь; сила P_y разом із моментом $M_z = 0,5P_x d$ згинає заготовку у горизонтальній площині; P_z — сила, що згинає деталь у вертикальній площині; $M_x = 0,5P_z d$ — момент, що скручує заготовку.

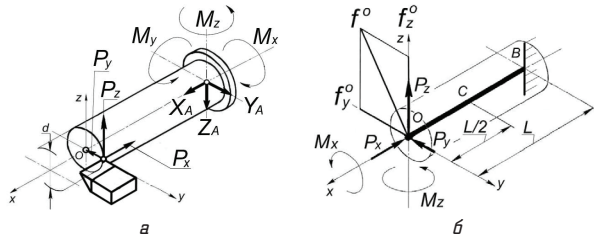


Рис. 1. Обробка циліндричного виробу: а — обробка одним різцем на верстаті токарної групи; б — розрахункова схема дії складових сили різання

Визначимо лінійні переміщення точок O і C , а також кути закручування. Переміщення перерізу O у напрямі опори B дорівнюватиме деформації стиску виробу:

$$\Delta L_O = \frac{P_x L}{EA} = \frac{4P_x L}{\pi E d^2}, \quad (3)$$

де P_x — складова сили різання; L — довжина виробу; A — площа поперечного перетину виробу; d — діаметр виробу; E — модуль поздовжньої пружності ПКМ.

Очевидно, що переміщення точки C буде у два рази меншим, тобто

$$\Delta L_C = \frac{2P_x L}{\pi E d^2}. \quad (4)$$

Кути закручення перерізів O і C відносно жорсткого затиснення B :

$$\varphi_O = \frac{xL}{GI_p} = \frac{0,5P_x \cdot d \cdot L}{G \pi d^4/32} = \frac{16P_x L}{\pi G d^3},$$

$$\varphi_C = \frac{0,5 xL}{GI_p} = \frac{0,5P_x \cdot d \cdot 0,5L}{G \pi d^4/32} = \frac{8P_x L}{\pi G d^3}, \quad (5)$$

де $I_p = \pi d^4/32$ — полярний момент інерції перерізу виробу; G — модуль зсуву ПКМ.

Лінійне переміщення точок O та C знайдемо як геометричну суму прогинів від згину шпинделя у горизонтальній та вертикальній площинах. Для цього скористаємось методом початкових параметрів.

Визначаємо переміщення перерізу O :

а) в горизонтальній площині — f_y^0 :

$$EI\theta_y(x) = EI\theta_y^0 + \sum M_e a + \sum \frac{Pb^2}{2} + \sum \frac{qc^3}{6},$$

$$EI f_y(z) = EI f_y^0 + EI\theta_y^0 x + \sum M_e \frac{a^2}{2} + \sum \frac{Pb^3}{6} + \sum \frac{qc^4}{24},$$

де q — рівномірно розподілене навантаження; a та b — віддалі від точки, де визначаються переміщення до відповідно зовнішнього моменту M_e ; P — сила; c — віддаль від точки, де визначаються переміщення, до початку та кінця розподіленого навантаження q ; x — віддаль від початку координат до точки балки, де визначається необхідне переміщення.

Тут f_y^0 і θ_y^0 — початкові параметри, тобто прогин та кут повороту перерізу O в горизонтальній площині. Знаходимо ці величини з початкових умов: $f_y(x=L) = 0$, $\theta_y(x=L) = 0$.

$$EI\theta_y(x=L) = EI\theta_y^0 - M_z L + \frac{P_y L^2}{2} = 0,$$

звідки маємо:

$$EI\theta_y^0 = 0,5(P_x d - P_y L) \cdot L; \quad (6)$$

$$EI f_y(x=L) = EI f_y^0 + EI\theta_y^0 L - M_z \frac{L^2}{2} + \frac{P_y L^3}{6} = 0,$$

звідки:

$$EI f_y^0 = (1/3 P_y L - 1/4 P_x d) \cdot L^2, \quad \text{або}$$

$$f_y^0 = \frac{L^3}{EI} (1/3 P_y L - 1/4 P_x d). \quad (7)$$

б) у вертикальній площині — f_z^0 :

$$EI\theta_z(x) = EI\theta_z^0 + \sum M_e a + \sum \frac{Pb^2}{2} + \sum \frac{qc^3}{6};$$

$$EI f_z(z) = EI f_z^0 + EI\theta_z^0 x + \sum M_e \frac{a^2}{2} + \sum \frac{Pb^3}{6} + \sum \frac{qc^4}{24}.$$

Знаходимо початкові параметри при $x=L$:

$$EI\theta_z(x=L) = EI\theta_z^0 + \frac{P_z L^2}{2} = 0;$$

$$EI f_z(x=L) = EI f_z^0 + EI\theta_z^0 L + \frac{P_z L^3}{6} = 0.$$

Із цих рівнянь маємо:

$$EI\theta_z^0 = -0,5P_z L^2; \quad EI f_z^0 = \frac{1}{3} P_z L^3. \quad (8)$$

Прогин у вертикальній площині точки O дорівнює:

$$f_z^o = \frac{P_z L^3}{3EI}. \quad (9)$$

в) сумарний прогин точки O :

$$f^o = \sqrt{(f_y^o)^2 + (f_z^o)^2} = \frac{L^2}{EI} \sqrt{(1/3 P_y L - 1/4 P_x d)^2 + (1/3 P_y L)^2}. \quad (10)$$

Аналогічно визначимо переміщення точки C . Усі початкові параметри вже відомі, отже рівняння методу застосуємо відразу, беручи $x = 0,5L$:

а) в горизонтальній площині — f_y^c :

$$EI f_y^c = EI f_y(x=0,5L) = EI f_y^o + EI \theta_y^o 0,5L - \frac{M_z(0,5L)^2}{2} + \frac{P_y(0,5L)^3}{6};$$

після підстановки значень $EI f_y^o$ та $EI \theta_y^o$ за формулами (8) і (9), одержуємо:

$$f_y^c = \frac{L^2}{EI} (0,104 P_y L - 0,0625 P_x d), \quad (11)$$

б) у вертикальній площині — f_z^c :

$$EI f_z^c = EI f_z(x=0,5L) = EI f_z^o + EI \theta_z^o 0,5L + \frac{P_z(0,5L)^3}{6};$$

маючи на увазі вираз (8), знаходимо:

$$EI f_z^c = 0,604 P_z L^3, \text{ або } f_z^c = \frac{0,604}{EI} P_z L^3. \quad (12)$$

в) сумарне переміщення точки C :

$$f^c = \sqrt{(f_y^c)^2 + (f_z^c)^2} = \frac{L^2}{EI} \sqrt{(0,104 P_y L - 0,604 P_x d)^2 + (0,604 P_z L)^2}. \quad (13)$$

При обертанні виробу ці переміщення дають їй амплітуду коливань. У результаті чого виникає періодична зміна товщини зрізу і відповідно цього нестабільну силу різання, що призводить до вже вищезазначених характеристик неякісної обробки [4].

Тому ставимо перед собою задачу розробити пристрій для безцентрової обробки виробів із ПКМ, який би дозволив урівноважити силу різання та крутний момент, діючих на вирів з боку ріжучих елементів.

5. Основний матеріал

Запропонований пристрій для безцентрової обробки циліндричних виробів із ПКМ (рис. 2) складається з корпусу 1 у якому на підшипниках 2 та 3 встановлена втулка 4 та планшайба 5, які мають центрові наскрізні отвори 6 та 7 і зовнішні циліндричні зубчасті вінці 8 та 9, а рівномірно по усій окружності планшайби 5 жорстко прикріплені вісім осей 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 на яких встановлено на підшипниках 18 ріжучі головки 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 які мають зовнішні циліндричні зубчасті вінці 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 причому перші дві пари циліндричних зубчастих вінців 27, 28, та 29, 30 ріжучих головок 19, 20, та 21, 22, які розташовані один на проти одного, зчеплені з внутрішнім циліндричними зубчастим вінцем 35, вико-

наного у втулці 4, а друга пара циліндричних зубчастих вінців 31, 32 та 33, 34 ріжучих головок 23, 24 та 25, 26, одночасно зчеплені з циліндричними зубчастими вінцями 27, 28, 29, 30, двох сусідніх ріжучих головок 19, 20, 21, 22.

Циліндрична заготовка 36 подається у наскрізні центрові отвори 6 та 7, втулки 4 та планшайби 5. У той же час обертання надається втулці 4 через зовнішній циліндричний зубчастий вінць 8 окремим приводом (на рис. 2 не вказано), а вона у свою чергу передає крутний момент через внутрішній циліндричний зубчастий вінць 35 з яким зчеплені зовнішні циліндричні зубчасті вінці 27, 28 та 29, 30 ріжучим головкам 19, 20 та 21, 22. Так як циліндричні зубчасті вінці 31, 32 та 33, 34 ріжучих головок 23, 24 та 25, 26 одночасно зчеплені з циліндричними зубчастими вінцями 27, 28 та 29, 30 двох сусідніх розточувальних головок 19, 20 та 21, 22, то вони обертаються відносно їх в протилежну сторону. У той же час обертання надається планшайбі 5 через зовнішній циліндричний зубчастий вінць 9 окремим приводом і вона надає діаметральне обертання усім ріжучим головкам 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, навколо головної вісі 37, чим супроводжується обробка заготовки 32 при її постійній осевій подачі [10].

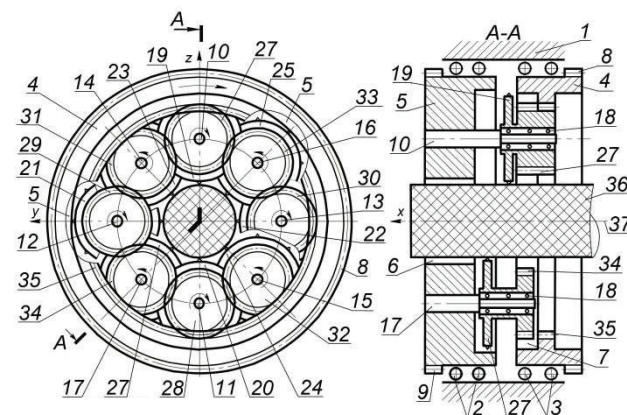


Рис. 2. Пристрій для безцентрової обробки циліндричних виробів із ПКМ

Розглядаючи рівнодіючу реакцію сили різання P (рис. 3, а, б), яку можна розкласти на три складові P_x , P_n та P_y , де P_x — направлені по дотичній до окружності по напрямку обертання фрези (прагне скрутити та зігнути виріб 36), P_n — по нормалі до неї (прагне відштовхнути виріб 36) і P_y вздовж осі y пристрою. Так і складову P_n можна розкласти на вертикальну P_x (відштовхнути по вісі x) і на горизонтальну P_z сили (прагне відштовхнути або підняти виріб 36 по вісі z).

Для розуміння дії зрівноважування сил, які діють на виріб 36 з боку ріжучих головок, необхідно склавши шість рівнянь рівноваги (2) відносно усієї конструкції, за умовою, що крутні моменти M (Нм), момент інерції I (кг · м²), кутова швидкість ω (рад/с), маса m (кг), подача S (мм/об), швидкість різання V (м/хв) ріжучих головок однакові і постійні на протязі усього процесу обробки, то отримуємо, що реакції та крутні моменти в опорах пристрою урівноважуються (дорівнюють нулю).

Результати практичних експериментів показали, що при використанні цього пристрою, значно підвищується

