

УДК 621.992.7
Д55

С.С. Добрянський, канд.техн.наук, доц., Д.Б. Товстуха, студ.
НТУ України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

НАКАТУВАННЯ КРУПНИХ ВНУТРІШНІХ РІЗЬБ РІЗЬБОНАКАТНИМИ ГОЛОВКАМИ

Представлена схема и описана конструкция головки. Приведены формулы для определения длины дуги контакта ролика с заготовкой, для расчета диаметра отверстия под накатывание и его допуска. Рекомендуется применять головки для резьбы 6H степени точности а также для калибрования предварительно нарезанных резьб. Даны рекомендации для резьб диаметрами 45-135 мм с шагом 1-3 мм. Рис.5, табл.1.

Showed the scheme and described the construction of the thread-rolling. Showed the formulas for finding the length of the roller contact ark with a stock for calculation the diameter for rolling and its tolerance. It is recommended to use heads for 6H degree of accuracy threads and also for calibration previously produced threads. Showed recommendations for 45-135 mm. diameter threads with 1-3 mm. pitch. Illustration 5, table 1.

Різьби виготовляють двома методами – нарізуванням і накатуванням. Накатування різьб, у порівнянні з нарізуванням, відрізняється більш високою продуктивністю, нижчою шорсткістю поверхонь витків, досить високою точністю і значно більшою стійкістю накатного інструмента. Крім того, тому що при накатуванні волокна металу не перерізаються, а вигинаються, то отримують міцніші різьби ніж при нарізуванні. Мікротвердість поверхонь накатаних різьб підвищується на 30–50%, а міцність втомлення – на 60–100%.

Разом з тим при накатуванні різьб виникає ряд труднощів: практично вигідно накатувати різьби на в'язких, м'яких і пластичних матеріалах з відносним видовженням $\delta \geq 8\%$; крок накатуваних різьб звичайно не перевищує 3 мм; при накатуванні виникають великі сили, що негативно впливає на точність; необхідна висока точність діаметра заготовки під накатування; виникають труднощі при накатуванні внутрішніх різьб.

Накатуванням виготовляють зовнішні різьби на спеціальних різьбонакатних верстатах з плоскими плашками або багатозахідними роликами, а також на універсальних верстатах за допомогою різьбонакатних головок, котрі працюють з осьовою або радіальною подачею. Дрібні внутрішні різьби можна виготовити за допомогою видавлюючих мітчиків.

Для накатування внутрішньої різьби M135×2 в КПП спроектована спеціальна різьбонакатна головка (рис.1). Головка складається з корпусу 7, в пазах котрого розміщені три обойми 4 з накатними роликами 2, що вільно обертаються на осях 5, нахилених до осі головки під кутом підйому накатуваної різьби ω . Обойми з торця закриваються кришкою 3, а від випадання утримуються двома розрізними пружними кільцями. Регулювання діаметра накатуваної різьби виконується осьовим переміщенням опорного конуса 6 за допомогою регулювального гвинта 1. Після налагодження на розмір положення опорного конуса фіксується стяжним болтом 8. Ролики головки мають кільцеві витки з різьбою повного профілю на заборному конусі і калібруючій

частині. У комплекті роликів забезпечується осьове зміщення витків на $1/3$ кроку, тобто вони утворюють гвинтову лінію. Матеріал роликів – сталь X12M, твердість –HRC 55...58.

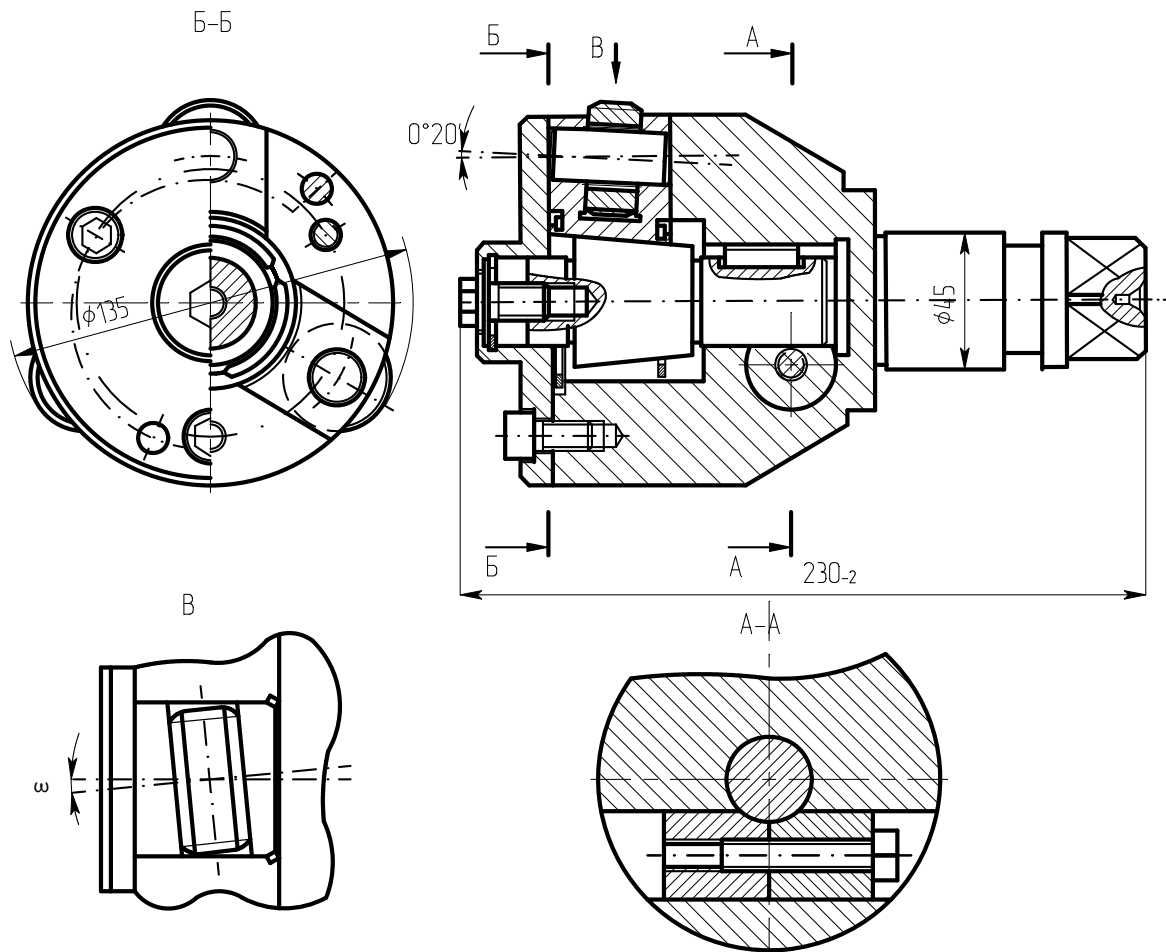


Рис.1. Регульована головка для накатування внутрішньої різьби M135×2

Безконсольне кріплення осей роликів і опора обойм на конус забезпечують високу жорсткість конструкції, що дуже важливо при накатуванні внутрішніх різьб, коли, завдяки збільшенню дуги контакту роликів з заготовкою, сили накатування набагато більші ніж при накатуванні зовнішніх різьб. Особливістю спроектованої головки є те, що вона розрахована на застосування роликів, котрі серійно випускаються заводом “Фрезер”. Для трьохроликкових головок залежність діаметра внутрішньої різьби D визначається за формулою:

$$D_{p \max} = 0,464D. \quad (1)$$

Виходячи з того, що завод “Фрезер” серійно випускає ролики з $D_{p \min} \geq 19,2$ мм [3], мінімальний діаметр внутрішніх накатуваних різьб – 42 мм. Застосування накатних роликів меншого діаметра обмежується конструкцією вузла “вісь–ролик” та міцністю осі ролика.

Нормальними умовами накатування різьб вважається накатування відкритим профілем, тобто коли в процесі накатування вершина витка різьби не торкається внутрішнього діаметра витка ролика. Гранично допустимим є процес накатування закритим

профілем, коли вершини витків накатуваної різьби торкаються дна западин витків роликів.

Недопустимим є процес накатування різьби закритим профілем роликів, коли об'єм металу западин перевищує об'єм металу вершин. При цьому, внаслідок нестисливості металу, спостерігається видовження заготовки, надлишкова хвиля металу перед роликами, різко зростають сили накатування, що може привести до поломки головки.

Різьбонакатні ролики мають повнопрофільну різьбу на заборному конусі, розміщену під кутом φ , і на калібруючій частині. Заборний конус передбачений з двох торців ролика і після зносу з одного боку ролики переустановлюють, що підвищує строк служби роликів. Практика експлуатації різьбонакатних головок і плашок показує, що найдоцільніше приймати кут заборного конуса роликів $\varphi=10^\circ$. Тоді розрахункова довжина заборного конуса

$$l_{з.к}=1,842S, \quad (2)$$

де S - крок накатуваної різьби.

Для доброго захвату і центрування головки в отворі заготовки необхідно, щоб зовнішній діаметр перших витків роликів був дещо меншим від діаметра отвору в заготовці, тобто $l_{з.к} \geq 2S$. Тоді на заборному конусі кожного ролика передбачаємо по три деформуючі (робочі) витки, а всього в комплекті роликів - не менше дев'яти деформуючих витків. При цьому в активній деформації металу приймають участь тільки деформуючі витки заборного конуса, а не калібруючі, для чого вісь ролика і вісь заготовки повинні схрещуватися у площині, що розміщена зразу ж за довжиною заборного конуса. Це дуже важливо при накатуванні внутрішніх різьб, коли загальна довжина ролика обмежується можливістю його розміщення під кутом ω в отворі заготовки. Щоб позбутися цього недоліку необхідно обмежувати довжину калібруючої частини роликів і виконувати її зі зворотнім конусом. У зв'язку з тим, що в даній головці застосовуються ролики з циліндричною калібруючою частиною, то їх установлюють з розходженням $0^\circ 20'$ (рис.1).

Розрахунки показують, що з урахуванням піднімання матеріалу в процесі деформації, кожен виток заборного конуса роликів послідовно заглиблюється на $\Delta h \approx h/9$, де $h=0,54125S$ - робоча висота профілю різьби. Але в найважчих умовах буде працювати останній деформуючий виток, який буде контактувати з заготовкою повним профілем.

Таблиця 1.

Значення робочої висоти профілю h і величини заглиблення витка ролика Δh

S , мм	h , мм	$\Delta h = h/9$, мм
1	0,541	0,060
1,5	0,819	0,090
2	1,082	0,120
3	1,624	0,180

Крім того, що послідовно збільшується лінія контакту ролика з заготовкою по профілю витка, постійно збільшується і дуга контакту, сягаючи максимального значення для останнього деформуючого витка.

При визначенні довжини дуги контакту витка ролика з заготовкою

$l_k = \overset{\frown}{AC}$ для спрощення розрахунків приймаємо (рис.2) $AB = \Delta h \approx AK$. Можна показати [2], що

$$CL = 2\sqrt{2\Delta h D_P / 2 - \Delta h^2} = D_P \sin \alpha, \quad (3)$$

$$l_k = \overset{\frown}{AC} = \frac{1}{2}\sqrt{CL^2 + \frac{16}{3}\Delta h^2}. \quad (4)$$

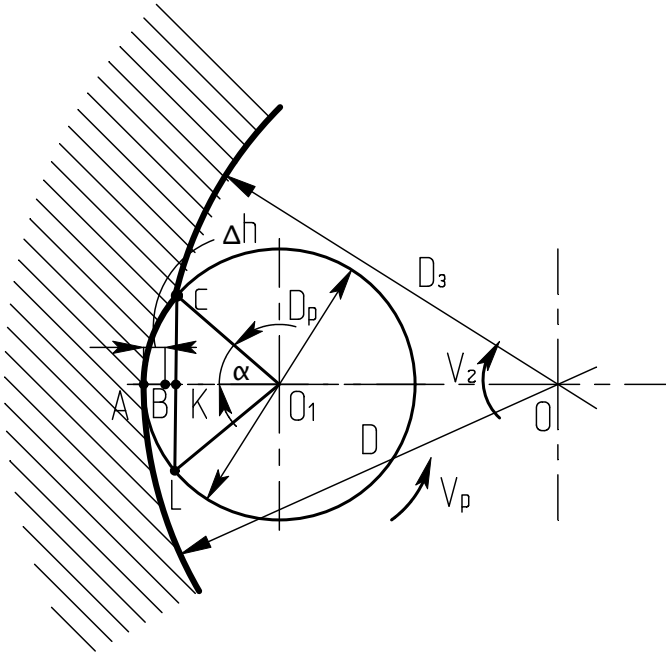


Рис.2. Схема для визначення довжини дуги контакту витка ролика з заготовкою

За цими формулами виконані розрахунки для різьб діаметрами від 45 до 135мм з кроком від 1 до 3мм [1]. Розрахунки проводилися для найменш навантаженого першого робочого витка роликів, коли $\Delta h \approx h/9$, і останнього витка, який остаточно формує профіль різьби висотою h . Розрахунки проводилися для максимально можливих діаметрів роликів. Отримані залежності показані на рис.3 і на рис.4. Аналіз цих результатів показує, що зі збільшенням кроку накатуваної різьби від 1 до 3 мм для певного діаметра ролика l_k зростає

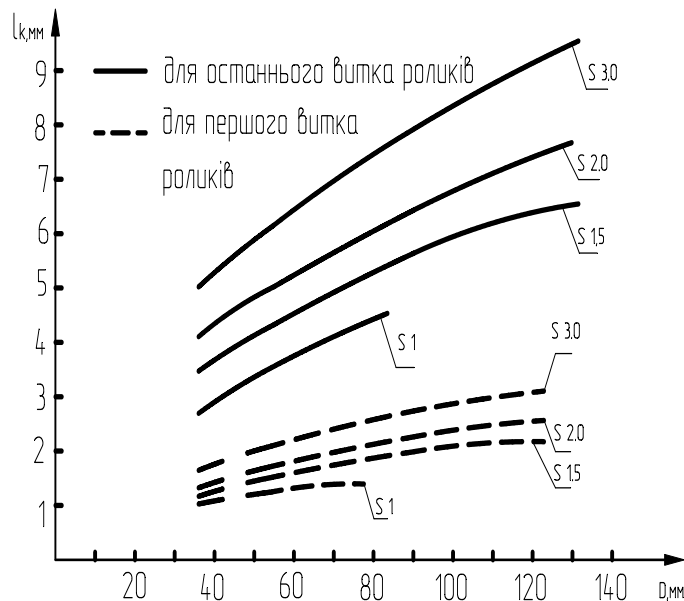


Рис.3. Залежність довжини дуги контакту l_k ролика з заготовкою від діаметра і кроку накатуваної різьби

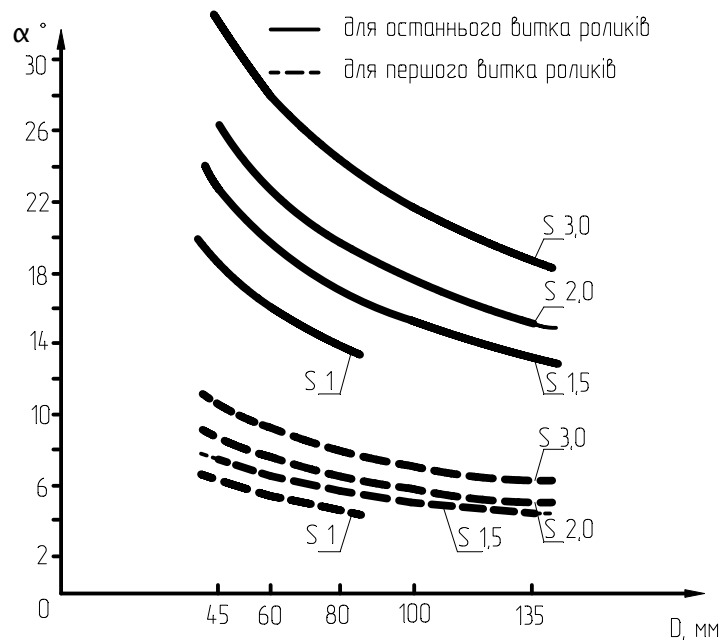


Рис.4. Залежність кута α контакту ролика з заготовкою від діаметра і кроку накатуваної різьби

практично прямо пропорційно діаметрові різьби як для першого, так і для останнього витка, а α збільшується в $\sim 1,73$ рази. При збільшенні діаметра накатуваної різьби від 45 до 135 мм l_k зростає \sim в 1,73 для усіх витків і різьб з різним кроком, а α , в наслідок зміни D_p і D , зменшується в 1,6-1,8 рази для всіх витків. Довжина дуги контакту від першого до останнього робочого витка роликів для різьб з різним кроком і діаметрами зростає в ~ 3 рази.

Крім дуги контакту суттєво зростає і довжина контакту за профілем різьби. Неважко показати, що для першого витка $l_{\text{проф.1}}=0,2639S$, а для дев'ятого, який працює повним профілем, $l_{\text{проф.9}}=1,625S$. Тобто площа контакту дев'ятого витка з заготовкою приблизно у 18–20 разів більша від площі контакту першого витка. Якщо врахувати, що перший виток деформує відносно м'який матеріал, а останній – наклепаний твердий, то загальне навантаження на останній виток у десятки разів перевищує навантаження на перший виток. Але останні витки роликів працюють в умовах все-стороннього гідростатичного стискання і часто їх стійкість перевищує стійкість перших малонавантажених витків.

Практика експлуатації різьбонакатних головок типу ВНГН та інших, що працюють з осьовою подачею, показує, що найчастіше викришуються перші витки роликів. Це пояснюється тим, що в момент вкатування головки в заготовку на вершини перших витків діють великі згинальні навантаження, що приводять до їх швидкого руйнування. Для підвищення стійкості роликів необхідно забезпечити рівність кутів заборного конуса роликів і фасок на заготовці та плавну осьову примусову подачу головки на крок різьби за один оберт. Ще важчими є умови вкатування головки в отвір заготовки для внутрішніх різьб, особливо для крупних різьб малого кроку, коли витки

роликів майже паралельні до торця заготовки. Для полегшення вкатування головки кут нахилу роликів ω виконують дещо більшим ніж розрахунковий.

При виготовленні внутрішніх різьб сили накатування значно більші ніж при накатуванні зовнішніх різьб. Крім того, часто недостатня жорсткість тонкостінної заготовки не дозволяє отримати різьбу повного профілю. Тому внутрішні різьби доцільно нарізувати різьбонарізними головками або різцями і калібрувати різьбонакатними головками. При цьому головка легко вкатується в різьбу заготовки, отримують різьбу високої якості, до 4Н ступеня точності із шорсткістю поверхонь до R_a 1,25-0,32 мкм, багаторазово підвищується стійкість накатних роликів.

Одним з недоліків накатування різьб є необхідність підготовки більш точного діаметра заготовки, ніж при нарізуванні. Багато джерел рекомендують приймати діаметр отвору в заготовці D_3 приблизно рівним середньому діаметрові різьби D_2 і уточнювати його експериментально. Такі рекомендації некоректні в зв'язку з асиметричністю профілю різьби відносно D_2 . Для визначення мінімального номінального діаметра отвору в заготовці $D_{3 \min}$ під накатування внутрішньої різьби виходимо з того, що однозахідна різьба накатується закритим профілем і довжина заготовки в процесі накатування не змінюється. Виходячи з цих умов отримаємо:

$$D_{3 \min} = \sqrt{D^2 - 0,19385[\pi^2(D + D_1)^2 + 4S^2]}^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

де D і D_1 відповідно зовнішній і внутрішній діаметри різьби.

Аналіз розрахунків, виконаних за (5) показує, що значення $D_{3 \min}$ дещо більші від D_2 . При цьому ця різниця не залежить від діаметра різьби, але суттєво зростає зі збільшенням кроку різьби. Розрахункові значення $D_{3 \min}$ визначені з деякими допущеннями і потребують уточнення при налагодженні головок.

Визначимо, в яких межах може змінюватися D_3 під накатування різьби. Якщо накатувати різьби попередньо налагодженою головкою високої жорсткості, то можна вважати, що коливання розмірів D_3 можна компенсувати тільки за рахунок коливань допуску на D_1 . Можна показати, що при накатуванні різьб за ковзною посадкою H :

$$\Delta D_3 = \frac{(D_1 + b)(0,25S + 0,5774b)b \sqrt{1 + \frac{S^2}{\pi^2(D_1 + b)^2}}}{SD_3}, \quad (6)$$

де ΔD_3 - допуск на діаметр отвору заготовки, b – половина допуску на внутрішній діаметр різьби D_1 . Результати розрахунків для різьб 4Н і 6Н ступеня точності показані на рис.5. З рис.5 виходить, що ΔD_3 залежить від кроку S і ступеня точності різьби і не залежить від її діаметра. Особливо точні повинні бути отвори для різьб з малим кроком. Навіть якщо не враховувати величину допуску на налагодження головки, то для накатування різьб 4Н ступеня точності з кроком 1 і 1,5 мм необхідно оброблювати отвори по Н7. Для різьб з кроком 2 і 3 мм 4Н ступеня точності необхідно оброблювати отвори за Н8 квалітетом. Якщо врахувати поле допуску на регулювання головки а також деформації заготовки і головки в процесі накатування, то внутрішні різьби 4Н ступеня точності такими головками отримати неможливо.

При накатуванні різьб 6Н ступеня точності необхідно обробити отвори за 8Н-9Н квалітетом точності відповідно для різьб з кроком 1–3 мм і діаметрами 45–135 мм. Таку точність різьби можна забезпечити при старанному налагодженні головки і високій жорсткості заготовки. Тобто, при накатуванні різьб точність отворів значно вища ніж при нарізуванні. Такі точні отвори можна отримати чистовим розточуванням на верстатах з ЧПК, або обробкою мірним інструментом. Для остаточної обробки отворів розточуванням можна застосовувати різьбонарізні головки типу КБ з гладкими гребінками замість різьбових.

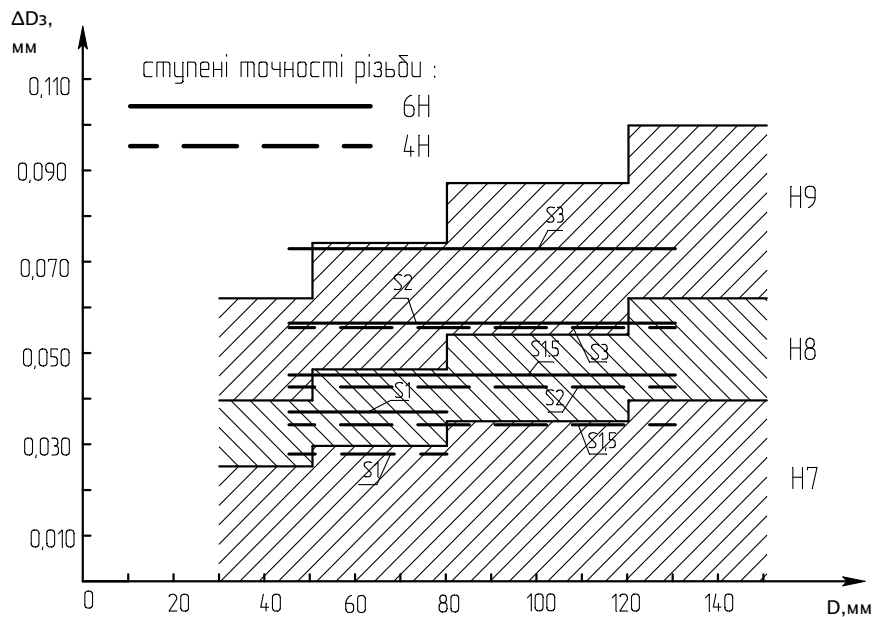


Рис.5. Залежність допуску ΔD_z на розмір отвору під накатування різьби від точності, кроку і діаметра різьби та його розміщення відносно полів допусків на виготовлення отворів

Обробка високоточних отворів підвищує трудомісткість виготовлення різьб. Тому доцільніше попередньо нарізувати різьби головками КБ з припуском по середньому діаметру D_2 в межах 0,1–0,2 мм і після калібрувати їх обкатуванням. При цьому можна забезпечити точність різьб до 4Н ступеня з шорсткістю поверхонь R_a 0,32–1,25 мкм, а стійкість роликів підвищується в декілька разів.

Висновки

1. Розроблена регульована різьбонакатна головка для внутрішньої різьби M135×2.
2. Досліджені умови роботи заборного конуса роликів і наведені формули для визначення довжини дуги і кута контакту витка ролика з заготовкою, що впливає на сили і точність накатуваних різьб.
3. Отримані формули для розрахунку діаметра отвору під накатування і допусків на його розміри для різьб різних ступенів точності.
4. Показано, що в кращому випадку такими головками можна отримати різьби 6Н ступеня точності при підготовці отвору за Н8 квалітетом. Рекомендується точні різьби нарізувати головками типу КБ і калібрувати розробленими, що суттєво підвищить якість різьби і стійкість роликів.

Список використаної літератури

1. Справочник металлиста. Под ред. С.А. Чернавского, В.Ф. Решикова. Т1. М. Машиностроение, 1976.-768с.
 2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М. ГИТТЛ, 1956.-608с.
- Завод режущих инструментов “Фрезер”. Резьбонакатные головки НГН. М. ЦБТИ, 1961.-5с.

УДК 539.3

А.Е.Бабенко д-р.техн.наук, проф., Б. Солтанниа
НТУ Украины “Киевский политехнический институт”, г.Киев, Украина

РЕШЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ О ДЕФОРМИРОВАНИИ ВИНТОВОЙ ПРУЖИНЫ ВАРИАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

У статті розв'язується задача про розтяг – стиск гвинтової пружини при великих переміщеннях, коли необхідно враховувати зміну її геометричних параметрів. Запропонований розв'язок оснований на використанні варіаційних методів набагато простіший розв'язку оснований на використанні диференціальних рівнянь і є точним.

In the article the task about a tension-compression of a helical spring is solved at greater transition at which it is necessary to consider a modification of its geometrical parameters. The offered solution based on use of variational methods is much easier than a solution based on use of the differential equations and is exact.

Рассматривается геометрически нелинейная задача. Так как стержень в этом случае является гибким то влияние осевых сил N и поперечных сил Q незначительно по сравнению с изгибающим момент M_u и крутящим моментом M_k , то осевая сила N и поперечная сила Q не учитываются.

Осевая линия представляет винтовую линию и ее радиус- вектор в декартовой системе координат описывается уравнением

$$\vec{R} = \rho[i_1 \cos(\phi) + i_2 \sin(\phi)] + i_3 b\phi, \quad (1)$$

где ϕ - параметр представляющий собой угол, ρ - радиус цилиндра, $2\pi b$ - шаг пружины. С другой стороны винтовая линия как любая кривая определяется заданием кривизны k и кручения χ , которые связаны с ρ и b соотношениями

$$k = \frac{\rho}{\rho^2 + b^2}, \quad \chi = \frac{b}{\rho^2 + b^2}, \quad (2)$$

обратные зависимости имеют вид