

УДК 621.88.084.1

**ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ВЕРСТАТІВ
ДЛЯ СКЛАДАННЯ З'ЄДНАНЬ З ТЕРМОДИЄЮ**

© А. С. Зенкін, д.т.н., професор, І. Л. Оборский, к.т.н.,
доцент, Ю. В. Остапук, Київський національний університет
технологій та дизайну, Київ, Україна

В статье рассмотрены вопросы, связанные с созданием станков для сборки соединений с термовоздействием. Установлены взаимосвязи между величиной термического сборочного зазора, точностью и силовыми характеристиками сборочного оборудования при горизонтальной и вертикальной сборке. Предложена методика расчета точностных характеристик сборочного станка исходя из величины сборочного зазора.

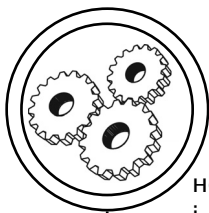
The article deals with issues related to the creation of tools to build connections with thermodynamics. Established the relationship between the magnitude of the thermal gap assembly, precision and power characteristics of the assembly equipment for horizontal and vertical assembly. The method of calculating the exact characteristics of the assembly of the machine based on the magnitude of the gap assembly.

Постановка проблеми

Одним із завдань сучасного складального виробництва в машинобудуванні є вдосконалення технології складання з'єднань з натягом, які отримали широке застосування в різних машинах і механізмах завдяки своїй простоті, технологічності виготовлення і економічності. Однак більша номенклатура матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей, різноманіття конструкційних рішень, технологічних прийомів і умов експлуатації створюють певні труднощі як при розрахунку з'єднань, так і при проектуванні технологічного процесу складання.

Ефективне вирішення завдань підвищення продуктивності складальних процесів і якості з'єднань з натягом, як показує продуктивний досвід і досягнення ряду передових машинобудівних заводів, полягає в більш широкому та раціональному використанні термічних методів складання, які дозволяють не тільки отримати високоміцні з'єднання, а й відкривають можливості для комплексної механізації та автоматизації цього трудомісткого процесу [1, 2].

У зв'язку з цим розробка і впровадження механізованих і автоматизованих верстатів для складання з'єднань з нагріванням, охолодженням або комбі-



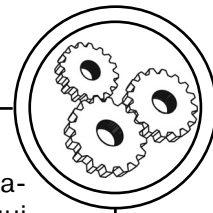
нованим методом (нагрівання і охолодження) є актуальною проблемою складального машинобудівного підприємства.

Аналіз попередніх досліджень

Конструктивні особливості з'єднання з натягом і серійність випуску обумовлюються конструкцію складального обладнання і ступінь його автоматизації. За призначенням верстатів та стенди для складання можуть бути розділені на дві групи: для з'єднань типу валик (втулка)—корпус, для з'єднань вал—охоплююча деталь (основна). Верстатів другої групи бувають одностороннього або двостороннього складання. При односторонній збірці використовується одна складальна головка, за допомогою якої на нерухомий або переміщуваний вал встановлюють охоплюють деталі. У верстатів двостороннього складання вал нерухомий і з обох його кінців розташовані головки [3].

Складання з'єднань вал—корпус виконують, як правило, в пристроях з вертикальним розташуванням осі посадочної поверхні, а з'єднань вал—охоплює деталь—з вертикальним, горизонтальним і похилим розташуванням осі. Верстатів для складання з нагріванням можуть бути забезпечені нагрівачами. При масовому і великосерійному виробництві ефективні верстатів двостороннього складання, мають вбудовані спеціальні нагрівачі. Для середньо- і дрібносерійного ви-

робництва доцільніше застосувати переналажувальні складальні агрегати, в яких передбачені пристрої, що забезпечують нагрів або охолодження широкої номенклатури деталей. Знімання деталі з нагрівача або витяг з охолоджувального пристрою, орієнтування деталі і установка її на базовий пристрій складального верстата можуть здійснюватися маніпулятором. В одиничному виробництві перевагу слід віддавати механізованим стендам в комплексі з універсальними пристроями для термодії призначеними для складання декількох типів з'єднань з натягом. Орієнтований пристрій та механізми верстатів і стендів для складання з'єднань з термодії повинні бути прості по виконанню і тривалий тепловий вплив не повинно відображатися на надійності їх роботи. Тому практичне застосування знаходять орієнтують пристрої, що працюють за принципом центрування (по фаскам, на оправах, по кулачкам та іншим елементам) і на основі безконтактного автопошуку в магнітному полі або повітряному потоці. Одна з деталей, що з'єднуються в таких пристроях може зміщуватися і повертатися в просторі перед сполученням на базується устрій і на початку його в межах допуску на їх відносно розташування. Якщо центрування виконується механізмом, то час контактування його робочого органу з деталлю, підданої термодії повинно бути мінімальним [4].



Мета роботи

Встановлення взаємозв'язку між величиною термічного складального зазору, точністю і силовими характеристиками складального обладнання при горизонтальному та вертикальному складанні.

Результати проведених досліджень

Конструкторське виконання верстата для складання з термодією робить значний вплив на основний технологічний параметр — термічний складальний зазор, від якого залежить температура охолодження (нагрівання) деталей. Температура ж визначає не тільки енерговитрати і тривалість скріплення деталей в поєднанні внаслідок перерозподілу тепла, але і впливає на ступінь зміни фізико-механічних властивостей матеріалу. Крім того, надлишкові теплові потоки знижують довговічність і надійність роботи обладнання. У той же час вимога зменшення складального зазору тягне за собою по підвищення точності верстата [1].

Для виявлення зв'язків між величиною термічного складального зазору, чіткими та силовими характеристиками складального обладнання розглянемо процес сполучення деталей по циліндричним посадочних поверхонь. Слід зазначити, що в загальному випадку ця задача досить складна. Однак її можна спростити, якщо виходити з представлених про ідеалізованому процесі, який може бути реалізований при

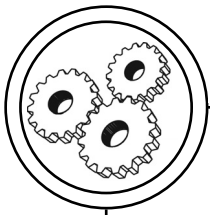
відсутності похибки форм деталей. Також ввести наступні припущення: 1) контакт поверхонь відбувається в математичних точках; 2) сили тертя підкоряються закону Амонтон-Кулона і їх вектори являються стабільними; 3) не враховується вплив маси робочого органу додаткового механізму.

Виключення з розгляду похибок форм посадочних поверхонь деталей ґрунтується на тому, що ці похибки достатньо малі (їх сумарна величина менше термічного зазору в кожен момент часу). Останнє припущення також правомірно і суттєво не зіпсує результат рішення, оскільки маси деталей з'єднань з натягом звичайно значно більше рухливих частин складальних механізмів. Очевидно, що необхідною умовою нормального протікання процесу сполучення є можливість переміщення рухомий деталей в радіальному напрямку — її вільний поворот [3].

Розглядаючи процес як квазістатичний, визначимо термічний складальний зазор і силовим розрахунком на не заклинювання (рис. 1).

Зазор для складання установкою валу в закріплену втулку (рис. 1, а) визначається із залежності:

$$\begin{aligned}
 & S \cdot h \cdot \sin \alpha + \frac{d}{2} \cos(\alpha + \beta) + \\
 & + \frac{h}{2} \sin(\alpha + \beta) + F \cdot d \cdot \\
 i \geq & \frac{(\operatorname{ctg} \alpha - f) + S_1 \cdot h \cdot \cos \alpha}{F \cdot \cos \alpha} - d; \quad (1)
 \end{aligned}$$



тут $S = \frac{P}{G}$; $S_1 = \frac{T}{G}$;

$$F = \frac{S + f \cdot \sin\beta + \cos\beta + S_1}{(1 - f^2)\sin\alpha + 2f\cos\alpha}$$

$$S_e = \frac{T \cdot f}{G}$$

де G — маса приєднуваної деталі; P — складальне зусилля; T — сила опору кутового повороту; f — коефіцієнт тертя; α — кут початкового перенесення осей сполучених поверхонь деталей; β — кут положення осі нерухомої (базової) деталі (зміюється від 0 до 180° в напрямку проти годинникової стрілки); d — діаметр посадочної по поверхні; h — довжина рухомої (з'єднувальної) деталі.

У випадку, коли здійснюється складання з'єднання установкою втулки на закріпленій вал (рис. 1, б) значення і дорівнює:

$$i = \frac{h[2 \cdot S \cdot \sin\alpha + \sin(\alpha + \beta)] - S \cdot D_1 \cdot \cos\beta + 2F \cdot d + S \cdot \cos\alpha + \cos(\alpha + \beta) + 2 \cdot F(\text{ctg}\alpha - f) - S_1 \cdot \sin\alpha + S \cdot \cos\alpha + \cos(\alpha + \beta) + 2F(\text{ctg} - f) - S_1 \cdot \sin\alpha}{S \cdot \cos\alpha + \cos(\alpha + \beta) + 2 \cdot F(\text{ctg}\alpha - f) - S_1 \cdot \sin\alpha} \cdot d, \quad (2)$$

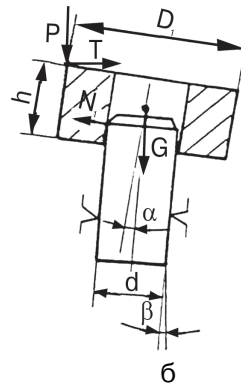
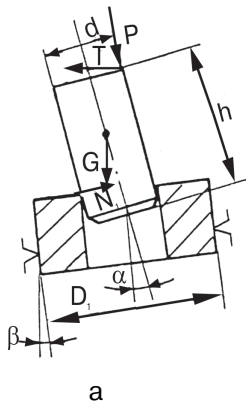


Рис. 1. Схема складання з'єднань з установкою валу (а) в закріпленій втулці і втулки (б) на закріпленій вал

де, D_1 — зовнішній діаметр втулки.

Складальні зусилля P розраховуються:

$$P = N_1[(1 - f^2)\sin\alpha + 2f\cos\alpha] - G(f\sin\beta + \cos\beta), \quad (3)$$

де N_1 — найбільше контактний тиск.

Довжина приєднуваної деталі і найбільшою мірою буде позначатися при горизонтальному складанні (рис. 2, крива 3). Складальне зусилля P і точна характеристика верстата (кут α) знаходяться в складній взаємодії зв'язку. Якщо збільшення α завжди приводить до збільшення і (рис. 3), то для P така закономірність простежується тільки при відносно довжини ($h/d > 3$) приєднуваної деталі (рис. 4, крива 1).

Останнє пояснюється тим, що підвищення P в цьому випадку збільшує силу T і виникає момент, що перешкоджає повороту приєднувальної деталі щодо базової в процесі її поступального руху. Ступінь впливу різних факторів для різних варіантів складання різні. При горизонтальному складанні установкою

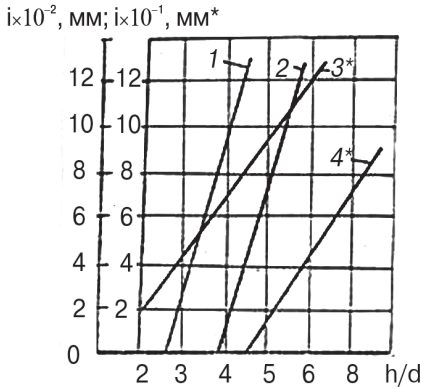
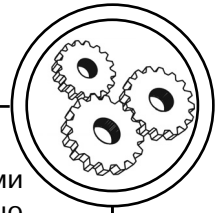


Рис. 2. Вплив відносної довжини приєднуваної деталі h/d на величину складального зазору i для $d = 2^\circ$; $S = 1,5$; $f = 0,15$.

- 1 — установка вала під втулку, $\beta = 0^\circ$;
- 2 — установка втулки на вал, $\beta = 0^\circ$;
- 3 — установка втулки на вал, $\beta = 90^\circ$;
- 4 — установка втулки на вал, $\beta = 180^\circ$

втулки на вал, наприклад, побудована номограма свідчить про переважний вплив кута перекосу α (рис. 5).

Збільшення i при збільшенні R для випадку складання з дов-

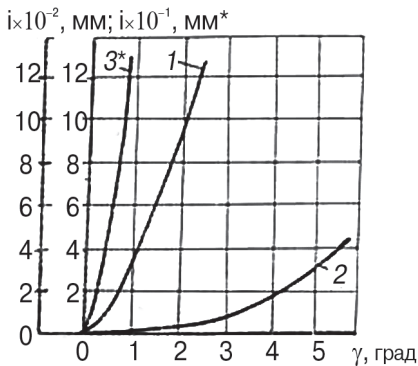


Рис. 3. Вплив точної характеристики складального верстата a на величину складального зазору $f = 0,15$; $h/d = 4$, $S = 1,5$. 1 — установка вала під втулку, $\beta = 0^\circ$; 2 — установка втулки на вал, $\beta = 0^\circ$; 3 — установка втулки на вал, $\beta = 90^\circ$

гими з'єднувальними деталями спростовує поширену думку, що наявність зусилля завжди сприятливо. Р поряд з G_1 визначає так само і N_1 .

При складанні реальних сполук заклинювання відбувається, якщо матеріал деталей в місці контакту пластично деформується і утворюється мікрозадір. В цей момент коефіцієнт тертя f підвищується, а його значення стає змінним. Тому навіть при складанні з підігрівом посадочні поверхні слід змащувати і, хоча мастило вигорає, наявність її в початковий момент з'єднання деталей полегшує процес складання.

При цьому необхідно приймати усереднюється коефіцієнти тертя [2]. Так, при складанні вала, змащеного машинним маслом, з рухомою втулкою масою від 25 до 200 кг слід приймати $f = 0,1 \dots 0,12$. При

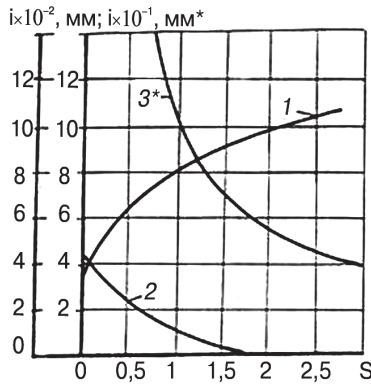


Рис. 4. Вплив відносного зусилля складання S на величину складального зазору ($\alpha = 2^\circ$, $f = 0,15$ і $h/d = 4$). 1 — установка вала під втулку, $\beta = 0^\circ$; 2 — установка втулки на вал, $\beta = 0^\circ$; 3 — установка втулки на вал, $\beta = 90^\circ$

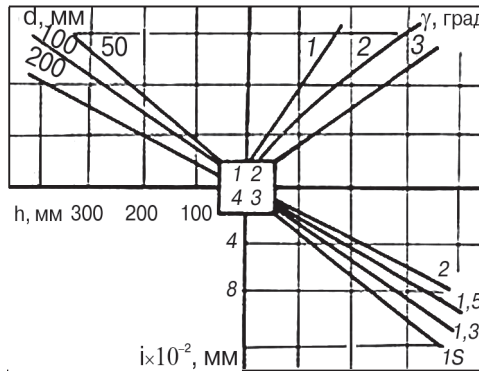
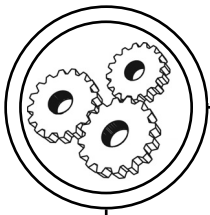


Рис. 5. Номограма для визначення складального зазору при горизонтальній установці втулки на вал, для $f = 0,15$

складанні без мастильного матеріалу коефіцієнт тертя становить 0,2.

Для запобігання мікрозацеплень, контактна тиск N_1 не повинно перевищувати значень, визначених формулою:

$$N_1 = \tau_{cv} \frac{\pi \cdot a \cdot b}{6}, \quad (4)$$

де τ_{cv} — напруга зминання найбільш пластичного матеріалу, яке слід брати з урахуванням зміни пластичних властивостей в результаті термодії; a і b — довжина і ширина зони контакту. Значення параметрів a і b можна вибрати, знаючи контактний тиск.

В табл. представлені чисельні залежності значень a і b плями контакту в з'єднанні деталей, виготовлених зі сталі 45, отримані Лактіоновим Н. М. і

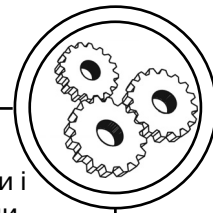
Андрєєвим Г. Я. Наприклад, для з'єднань деталей, виготовлених зі сталі 45, контактний тиск можна вибрати з даної таблиці, отриманої після аналізу результатів досліджень.

Допустимі значення N_1 , таким чином, також обмежує величину P . Враховуючи перераховані вище фактори, а також конструктивні особливості і точність основних розмірних характеристик деталей, можна дати рекомендації для використання тих чи інших схем збирання при створенні складального обладнання [4].

Так, при вертикальній схемі складання може здійснюватися з мінімальним зусиллям, або навіть під дією сили тяжіння приєднання деталі, але при масивних і довгих валах ($h/d \geq 4$), коли виникає великий

Параметри a і b плями контакту деталей при сполученні, мм

Параметр	Контактний тиск, N_1 , МПа							
	100	200	300	400	500	600	700	800
a	58	65	71	75	78	80	82	84
b	0,1	0,2	0,26	0,3	0,34	0,37	0,4	0,42



контактний тиск, якості з'єднувальної деталі краще мати втулку, встановлену на вал знизу. Вплив маси деталі на процес сполучення при цьому виключається і, значить, контактний тиск визначається тільки величиною складального зусилля.

При горизонтальній схемі спрощується базування деталей, але величина необхідного складального зазору більш значна. Тому складання насадкою втулки на вал з горизонтальним розташуванням осі сполучення можна рекомендувати для спо-

лук з довгими гладкими валами і грубообробленими втулками, але які можна базуватися по посадковій поверхні великого діаметру.

Висновки

Запропонована методика розрахунку характеристик точності верстатів для складання з'єднань з натягом з величин складального зазору дозволяє максимально врахувати конструктивно-технічні параметри складових деталей, а також особливості термічного складання.

1. Зенкин А. С. Технологічні основи складання з'єднань з натягом / А. С. Зенкин. — М. : Машинобудування, 1982. — 48 с. 2. Зенкин А. С. Збірка нерухомих з'єднань термічними методами / А. С. Зенкин, Б. М. Арпентьев. — М. : Машинобудування, 1987. — 128 с. 3. Зенкин А. С. Технологія машинобудування / А. С. Зенкин, В. Д. Каразей, Є. О. Гобатюк, М. П. Мазур. — Львів : Новий світ-2000, 2009. — 358 с. 4. Зенкин А. С. Технологія автоматической сборки / А. С. Зенкин, А. Г. Холодкова, М. Г. Кришталь. — М. : Машиностроение, 2010. — 560 с.

1. Zenkin A. S. Tehnologichni osnovi skladannja z'jednan' z natjahom / A. S. Zenkin. — M. : Mashinobuduvannja, 1982. — 48 s. 2. Zenkin A. S. Zbirka neruhoмиh z'jednan' termichnimi metodami / A. S. Zenkin, B. M. Arpent'jev. — M. : Mashinobuduvannja, 1987. — 128 s. 3. Zenkin A. S. Tehnologija mashinobuduvannja / A. S. Zenkin, V. D. Karazej, Je. O. Hobatjuk, M. P. Mazur. — L'viv : Novij svit-2000, 2009. — 358 s. 4. Zenkin A. S. Tehnologija avtomaticheskoi sborki / A. S. Zenkin, A. H. Holodkova, M. H. Krishtal'. — M. : Mashinostroenije, 2010. — 560 s.

Рецензент — П. О. Киричок, д.т.н.,
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 26.04.12