

*НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”*

Бондарев Сергій Григорович

УДК 621.757

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДАННЯ
ШЛІЦЬОВИХ З’ЄДНАНЬ ШЛЯХОМ ВИБОРУ
РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦІЮВАННЯ
ЕЛЕМЕНТІВ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2005

Дисертація є рукописом

Робота виконана на кафедрі експлуатації і ремонту машин Сумського національного аграрного університету

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Захаров Микола Володимирович,
завідувач кафедри експлуатації і ремонту машин, Сумський національний аграрний університет, м. Суми.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Арпентьєв Борис Михайлович,
завідувач кафедри технологій та управління якістю в машинобудуванні, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків.

кандидат технічних наук, доцент
Хаустова Анжела Вікторівна,
доцент кафедри технології машинобудування, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Луганськ.

Провідна установа

Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування Міністерства промислової політики України, м. Харків

Захист відбудеться ” 2 “ червня 2005 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий “ 29 ” квітня 2005 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради



Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Однією з умов забезпечення якості при складанні шліцьових з'єднань (ШЗ) є надійність технологічного процесу. Цей процес залежить від багатьох взаємопов'язаних факторів, тому необхідний комплексний підхід, який дозволить виявити ступінь їх взаємовпливу. Специфіка процесу складання є такою, що для успішної реалізації ШЗ необхідно витримати дві надзвичайно важливі вимоги - забезпечити сполучення вісей симетрії деталей та обертання однієї з деталей до сполучення зубів із пазами в межах поля допуску на ширину зуба. Ситуація ще більш ускладнюється, якщо необхідно скласти ШЗ із базуванням по ширині зуба для перехідної посадки. Для складання такої групи сполучень необхідно максимально точно забезпечити дотримання перерахованих вище вимог і за допомогою осевого зусилля (під дією ваги деталі, що приєднується, чи запресовуючи на пресі) реалізувати ШЗ. Найменше відхилення від осі симетрії призведе до перекосу, що врешті-решт викличе заїдання або заклинення та спричинить відмову технологічного процесу. Дотепер підхід був диференційованим і не було можливості мати оптимальні режими складання. Застосування комп'ютерної техніки значно полегшить вирішення таких задач.

При складанні ШЗ з термовпливом мають місце нестационарні теплові процеси, які протікають не лише в деталях, що складаються, але й в контактуючих з ними елементах технологічного устаткування (захвати, що орієнтують та базують деталі, навколишнє середовище тощо). Зміна тепломісткості в елементах, а отже, і зміна деформацій та переміщень впливають на процес складання та його надійність. Тому необхідні дослідження температурних полів усіх елементів складальної системи. Як показав аналіз літературних джерел, дослідження теплових процесів засновані на аналітичних методах, які не охоплюють складання ШЗ з термовпливом.

Теплові процеси в елементах складального устаткування і ШЗ розглядалися окремо, і їх описання було аналітичним. На етапі проектування доцільне застосування системного підходу, який враховує максимальну кількість факторів, що впливають на процес складання, та який дозволить забезпечити надійність складання ШЗ з імовірністю не менш, ніж 0,98. Для реалізації домінуючих факторів складальної операції, що впливають на підвищення надійності ШЗ, запропоновано метод, який базується на запатентованому способі складання. Дотепер ці питання залишалися за рамками уваги дослідників і виробників.

Таким чином, вирішення комплексу задач, пов'язаних із підвищенням надійності складання шліцьових з'єднань, безумовно, є актуальним і може знайти застосування при складанні нових технічних виробів промислового комплексу країни.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі експлуатації і ремонту машин Сумського національного аграрного університету на базі держбюджетних тем:

«Розробка методики проектування високоефективних переналагоджуваних автоматизованих складальних систем» (ДР №0197U016597, план прикладної НДР МОН України) і «Розробка методів і методик створення технічних систем (операційних комплексів) для підвищення якості виробів у машинобудуванні» (ДР №0194U009734, план прикладної НДР МОН України), а також у межах тем «Розробка прогресивних технологій ремонту виробів загального машинобудування», за якою Сумським національним аграрним університетом були укладені господоговори, де здобувач був виконавцем окремих розділів (теми №20-99, №24-99, №27-99, №29-00, №11/01, №88/02 протягом 1999 - 2003 рр.).

Мета і задачі дослідження – розробка технології складання шліцьових пар, яка забезпечує отримання якісно зібраних шліцьових з'єднань з імовірністю не менш 0,98.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачі:

- виявлення факторів, що впливають на процес складання ШЗ;
- виявлення напрямків досліджень, що спрямовані на зменшення похибок позиціонування;
- розроблення способу відносного орієнтування, який дозволяє мінімізувати похибки позиціонування в робочому процесі технології складання;
- проведення досліджень конструкторських та технологічних факторів, які впливають на надійність процесу складання ШЗ;
- розроблення термодинамічної моделі складання, яка враховує теплові витрати шліцьової втулки з елементами технологічного устаткування, навколишнім середовищем і шліцьовим валом;
- розроблення методики проектування процесів складання, що дозволяють отримувати якісно зібрані ШЗ з імовірністю не менш 0,98;
- визначення конструкторських параметрів і технологічних режимів для складання ШЗ на основі термодинамічної моделі;
- розроблення алгоритмічного і програмного забезпечення при вирішенні задач, пов'язаних із підвищенням надійності складання ШЗ;
- здійснення промислової апробації отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – процеси складання шліцьових з'єднань.

Предмет дослідження – технологічні процеси складання шліцьових з'єднань із термовпливом.

Методи дослідження – методологічною основою роботи є системний підхід до розробки технологічних процесів із різнорідними операціями, який дозволить виконати складання ШЗ з максимальною надійністю. При дослідженнях використовувались положення теорії імовірності, теоретичної механіки, теплотехніки, фізики, вищої математики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі системного підходу відносно проектування процесів автоматизованого складання конструктивно складних з'єднань вперше розроблена технологія складання шлі-

цьових з'єднань з використанням різнорідних впливів, включаючи термовплив, які підвищують якість з'єднання і надійність процесу.

При цьому:

- розроблений принцип самоорієнтування деталей при складанні, в основі якого лежить підвищення технологічності деталі, використання мінімальних температурних деформацій та ефекту осциляції відносно деталі, яка охоплює;
- розроблена термодинамічна модель теплообміну шліцьової втулки в процесі складання, що враховує її конструктивні властивості та теплові витрати на технологічних переходах складальної операції;
- отримана аналітична залежність для визначення мінімального технологічного зазору між поверхнями базування, який забезпечує складання прямобічних ШЗ з імовірністю не менш, ніж 0,98.

Практичне значення одержаних результатів і їх реалізація у промисловості. Розроблена інженерна методика складання шліцьових з'єднань, яка включає до себе:

- вдосконалену конструкцію деталей ШЗ;
- розрахунки раціональних технологічних режимів і параметрів, при яких можливе надійне складання для кожного типорозміру ШЗ із посадками, за ГОСТ 1139-80;
- конструктивне вирішення задачі позиціонування деталей перед складанням;
- розрахунки технологічних параметрів складання, при яких забезпечується імовірність отримання якісного з'єднання не менш, ніж 0,98;
- отримання значення мінімального термічного зазору для складання без передчасного скріплення;
- розробку загального алгоритму складання ШЗ усього спектру типорозмірів зазначеного стандарту.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджено на ТОВ «ТРИЗ» (м. Суми) з прогнозованим економічним ефектом 14 тис. грн. на рік, ВАТ «Сумсьільмаш» - близько 8 тис. грн. на рік, ВАТ «СМНВО ім. Фрунзе» - 11 тис. грн. на рік.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, винесені на захист дисертації, здобувачем отримані самостійно. Серед них: раціональні технологічні та геометричні параметри елементів шліцьової пари; методика розрахунку технологічних параметрів складання ШЗ для перехідних посадок по поверхнях базування; фактори, що впливають на безвідмовність складання шліцьових з'єднань; математична модель теплообміну, завдяки якій можливо визначити кількість теплових втрат шліцьової втулки, що приєднується, при контактуванні з елементами технологічного обладнання, оточуючим середовищем та шліцьовим валом; ідея способу складання шліцьових з'єднань, яка лежить в основі патенту України.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи були повідомлені на міжнародній науково - технічній конференції "Автоматизація конструювання виробів і проектування

технологічних процесів у машинобудуванні” (м. Суми, 1994 р.), міжнародній науково - технічній конференції “Автоматизація проектування і виробництво виробів у машинобудуванні ” (м. Київ, 1995 р.), міжнародній науково - технічній конференції “Автоматизація, проектування і виробництво виробів у машинобудуванні” (м. Брянськ, 2001 р.), 7^й, 8^й міжнародних науково-методичних конференціях "Сучасні технології, економіка й екологія в промисловості, на транспорті і в сільському господарстві" (м. Алушта, в 2000, 2001 рр.), 9^й, 10^й міжнародних науково-методичних конференціях "Технології XXI сторіччя" (м. Алушта, в 2002, 2003 рр.), науково-методичній конференції викладачів Сумського державного університету (м. Суми, 1993 р.), науково-методичних конференціях викладачів Сумського національного аграрного університету (м. Суми, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 рр.).

У повному обсязі дисертація була докладена та схвалена на розширеному засіданні кафедри технологій та управління якістю в машинобудуванні в Українській інженерно - педагогічній академії (м. Харків, 2004 р.), на розширеному засіданні кафедри технологій машинобудування та металорізальних верстатів у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків, 2004 р.).

Публікації. В рамках теми дисертаційної роботи опубліковано 5 статей у фахових виданнях, отримано патент України та 4 статті у збірниках наукових праць.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків та 4 додатків. Повний обсяг дисертації - 162 сторінки, 54 ілюстрації на 46 сторінках, 8 таблиць на 8 сторінках, 4 додатки на 38 сторінках, 112 найменувань використаних літературних джерел на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, визначено мету і задачі дослідження, розкрито наукову новизну та окреслено практичне значення отриманих результатів, подано відомості про структуру дисертації, апробацію і опубліковані матеріали.

У першому розділі розглянута проблема забезпечення надійності процесів складання конструктивно складних з'єднань з використанням різнорідних впливів. При цьому розглянуто основоположні праці видатних учених: Б.С. Балакшина, М.П. Новікова, В.С. Корсакова, А.И. Федотова, А.А. Гусева, Б.М. Арпентьева, А.П. Гавриша, М.В. Захарова, А.С. Зенкіна, Ю.В. Тимофієва, М.І. Чорновіла та інших. Представлено аналіз літературних джерел, присвячених складанню з'єднань з мінімальними зазорами, - цією проблемою займалися видатні вчені: А.М. Дальський, Л.С. Ямпольський, Е.В. Пашков, М.Н. Поліщук, А.И. Федотов. Особливості складання з'єднань з натягом при використанні термовпливу зумовили спеціальні дослідження. Вони відбиті в роботах Б.М. Арпентьева, Г.Я. Андрес-

ва, Г.А. Бобровникова, Л.И. Жабина, М.П. Новикова, В.С. Корсакова та інших. Наголошено, що існуючі математичні моделі теплообміну в процесі скріплення не враховують геометричну конфігурацію поверхонь спряження. Це призводить до того, що результати розрахунків добре узгоджуються з експериментальними тільки в області технологічних зазорів понад 0,1 мм. Для поліпшення погодженості в області мінімальних технологічних зазорів (менших за 0,05 мм) коефіцієнт теплообміну між деталями визначається експериментально, після чого використовуються таблиці чи номограми. Це складно та незручно для практичного використання. Розрахунок параметрів процесу теплообміну для з'єднань з різноманітних матеріалів недостатньо розроблений. Емпіричні залежності не висвітлюють сутності процесу, тому аналіз впливу різноманітних факторів утруднено. У той же час реалізація задачі чисельними методами вимагає розробки спеціальних алгоритмів та ЕОМ високого рівня. Розглянуто існуючі складальні системи та виявлені основні позитивні і негативні сторони відносно складання ними шліцьових з'єднань. Ставляться задачі для подальшого вивчення складального процесу ШЗ.

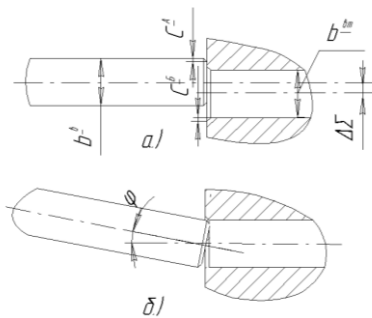


Рис. 1. Причини відмови при складанні ШЗ (1 – зуб шліцьового вала; 2 – паз шліцьової втулки): а – упирання зубів торцями; б – перекіс та заклинювання.

технологічного обладнання.

Структура сумарної похибки $\Delta\Sigma$ має вигляд:

$$\Delta\Sigma = f(\epsilon, \epsilon'; \Delta H),$$

де ϵ – похибка положення осі симетрії шліцьового вала на складальній позиції; ϵ' – похибка положення осі симетрії шліцьової втулки в захваті гнучкого виробничого модуля (ГВМ);

ΔH – похибка настройки технологічного обладнання.

Можливість складання ШЗ описується системою:

$$\begin{cases} \Delta\Sigma \geq \sqrt{\epsilon'^2 + \epsilon^2}, \\ \pm\Delta\phi = \arctg(b_{вт} + \delta_{вт} + 2\epsilon')/D - \arctg(b + \delta_v + 2\epsilon)/D, \end{cases} \quad (1)$$

У *другому розділі* йдеться про дослідження факторів, які найбільшим чином впливають на надійність складання ШЗ. Такими є похибки позиціонування шліцьової втулки відносно вала, які у свою чергу складаються з похибок на співвісність вісей симетрії $\Delta\Sigma$ та $\Delta\phi$ - кута суміщення шліцьових контурів (рис. 1).

Приводиться структурний аналіз похибок, які мають місце не тільки на рівні деталей шліцьової пари, а й беруться до уваги похибки

де δ_b – найбільше значення поля допуску для зубів шліцьового вала; $\delta_{вт}$ – найбільше значення поля допуску для пазів шліцьової втулки; D – зовнішній діаметр шліцьової поверхні.

З метою мінімізування похибки позиціонування до величини, при якій можливе складання, на поверхнях деталей запропоновано введення елементів, що мають на меті поелементне відносне позиціонування і які надалі використовуватимуться в ролі конструкторських базових поверхонь. Приведена структура зазначених елементів та послідовність відносного позиціонування деталей на кожному з них.

На рис. 2 зображено розташування елементів, які призначені для поетапного орієнтування шліцьової втулки відносно вала. При такому способі складання ШЗ параметром ΔH можна знехтувати при умові, якщо $\Delta H < A_1$.

Структура елементів позиціонування така. Шліцьовий вал з боку втулки, яка приєднується, має елемент, що орієнтує та складається з двох ділянок - конічної та циліндричної. Торці зубів мають ухили φ_1 під кутами, більшими за кут тертя. Спосіб складання реалізується таким чином. Шліцьовий вал знаходиться у вертикальному положенні, а шліцьова втулка утримується захватом ГВМ над шліцьовим валом. Після того, як замок захвата розчиняється, втулка під дією власної ваги падає та своєю внутрішньою шліцьовою поверхнею попередньо орієнтується спочатку по конічній, а потім по циліндричній ділянці. Циліндрична ділянка вирівнює осі симетрії деталей з необхідною точністю. Далі деталі стикаються своїми торцями, ковзаючи по поверхнях один одного із силою $F_{кр}$, яка діє на плече, що дорівнює:

$$r_{ср.} = 1/2 (d + (D-d)/2), \quad (2)$$

де d і D , відповідно, - внутрішній і зовнішній діаметри шліцьової поверхні, спричиняє крутний момент:

$$M_{кр.} = F_{кр.} \cdot r_{ср.} = 1/2 F_{кр.} \cdot (d + (D-d)/2). \quad (3)$$

Крутний момент $M_{кр.}$ буде діяти доти, доки не припиниться відносне ковзання торців зубів. Це відбудеться, коли шліцьові виступи однієї деталі не співпадуть зі шліцьовими западинами іншої, що є виконанням другої необхідної умови сполучення. Після цього відбудеться остаточна реалізація сполучення. Працездатність даного способу можлива лише за умови, що всі елементи контактують один з одним у межах пружної деформації.

Розглянуто методи, які раціонально застосовувати для складання ШЗ, зокрема метод самоорієнтації та осциляції.

Метод самоорієнтації. Оснований на способі складання [9] з використанням ваги деталі, що приєднується. В основі метода покладено ідею самоорієнтації деталі, що приєднується, за рахунок введення додаткових орієнтуючих еле-

ментів, які завдяки геометричним параметрам та силі тяжіння мають можливість надати деталі необхідне відносне положення і тим самим виконати головні умови для реалізації ШЗ. Такий метод є найбільш раціональним з точки зору енерговитрат на орієнтування, оскільки їх не потребує.

Метод осциляції. При складанні ШЗ важливу роль відіграє тертя між поверхнями контактування в процесі руху однієї деталі відносно другої. Величина сили тертя може викликати заїдання або заклинювання, які є одним із видів відмови при складанні. Суттєво зменшити сили тертя можна, якщо застосувати вібраційний, або, як його ще називають, осциляційний, метод спряження деталей пари. По суті розглянутий метод являє собою пасивне орієнтування під час складання. Він дозволяє реалізувати процес складання навіть при похибках, у 7-8 разів перевищуючих допустимі; зокрема, це похибки куткового розташування шліцьового контура та відносного розташування осей симетрії шліцьової пари. В розглянутій роботі підібрано схему вібратора, який найбільшим чином сприяє складанню ШЗ.

У третьому розділі розглянуто параметричний синтез елементів базування та технологічного процесу. Виявлено, що для ефективного складання ШЗ необхідно виявити та досліджувати параметри, які найбільшим чином впливають на технологічний процес, з метою вибору раціональної технології складання.

При дослідженні процесу складання введемо обмеження і будемо вважати, що: розглянуті ШЗ є прямобічними з базуванням по ширині зуба “ b ”; деталь, яка приєднується, симетрична, і її центр ваги лежить на осі симетрії; зовнішня поверхня шліцьової втулки має циліндричну форму без елементів, які спроможні відвести тепло (ребра жорсткості, асиметричні поверхні, спиці, балансири та т. і.).

При складанні ШЗ найбільш важливими параметрами є: величина технологічного зазору по базових поверхнях; співвісність осей симетрії двох деталей; кут суміщення контурів шліцьових поверхонь деталей ШЗ.

Посадки для прямобічних ШЗ з базуванням по ширині зуба “ b ” існують як із гарантованим зазором, так і перехідні, що допускають натяг. Об’єктивне уявлення про посадку дають вірогідні значення граничних та середніх зазорів або натягів і допуски посадки, визначені з урахуванням характеристик розсіювання розмірів деталей. При проектних розрахунках, коли заздалегідь не відомі параметри розподілу похибок розмірів пазів та зубів ШЗ, достатнім є наближений метод отримання імовірності зазору у сполученні.

Вірогідні граничні зазори і натяги визначаємо з системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{\max}^B = S_c + 3\sigma_S = S_c + \frac{T_S^B}{2}, \\ S_{\min}^B = S_c - 3\sigma_S = S_c - \frac{T_S^B}{2}, \\ N_{\max}^B = N_c + 3\sigma_N = N_c + \frac{T_N^B}{2}, \\ N_{\min}^B = N_c - 3\sigma_N = N_c - \frac{T_N^B}{2}, \end{array} \right.$$

де S_c —середнє арифметичне між найбільшим та найменшим зазорами; N_c —середній натяг для перехідної посадки.

Ретельно проаналізувавши вплив зазору (натягу) на надійність складання ШЗ, запропоновано технологічні зазори по поверхнях базування поділити на три інтервальні групи (рис. 3):

- інтервал 100 - 150, з гарантованим мінімальним технологічним зазором між поверхнями базування - $\Delta b_{\min} \geq 0,02 \sqrt{b}$, де b - ширина шліцьового зуба, при якому вірогідність складання ШЗ становить не менш 0,98;
- інтервал 50 - 100, припускає утворення тимчасового технологічного зазору - Δb_t , який можна одержати шляхом термічного впливу на шліцьову втулку. При цьому після закінчення операції упродовж визначеного часу повинна виконуватись умова $\Delta b_t \geq \Delta b_{\min}$;
- інтервал 0 - 50, складає посадки з зазором (включаючи перехідні), для яких неможливо одержати мінімальний зазор, що дорівнює Δb_{\min} .

Рис. 3. Три групи ШЗ в залежності від типорозміру та посадки

Залежність імовірності надійності складання ШЗ від зазору між поверхнями базування представлена на рис. 3, де посадка першої групи відображена інтервалом 2 - 3, посадка другої—інтервалом 1 - 2, а перехідна посадка третьої групи - 0 - 1.

Рис. 4. Залежність імовірності надійності складального процесу $P(t)$ відносно мінімального технологічного зазору ШЗ

До першої групи слід віднести посадки ШЗ із зазором між поверхнями базування:

$$\Delta b_{\min} \geq 0,02 \sqrt{b}. \quad (4)$$

До другої групи відносяться ШЗ із посадками, які мають мінімальний технологічний зазор. Для одержання мінімального технологічного зазору необхідно розігріти шліцьову втулку до певної температури, причому треба враховувати теплообмін між деталями та технологічним устаткуванням, аби мати

уяву, до якої температури треба розігріти деталь, щоб по закінченні технологічної операції складання ШЗ час, за який зазор між поверхнями спряжиння наблизиться до мінімального зазору в посадці, становитиме 5-7 с.

Процес сполучення найбільше впливає на надійність складання ШЗ. Крім того, на цей технологічний перехід витрачається певний час, на протязі якого шліцева втулка, що приєднується, розповсюджує тепло, що спричиняє зменшення технологічного зазору по поверхнях базування. Розглянемо більш детально призначення та дію кожного з елементів (рис. 5).

Конічна ділянка – виконана під кутом α , утвореним між віссю симетрії та твірною у межах $\alpha = 10^\circ - 15^\circ$.

Експерименти на натурних зразках складання ШЗ виявили, що довжину конічної ділянки H_1 найбільш доцільно виконувати довжиною, яка лежить у межах 0,7...0,9 відносно внутрішнього діаметру ШЗ:

$$H_1 = (0,7 - 0,9) d.$$

Конічна ділянка попередньо спроможна орієнтувати деталь, що приєднується, в інтервалі декількох мм. Це дає змогу використання складального устаткування з більш низькою точністю позиціонування. Шорсткість поверхні повинна бути не вище за шорсткість внутрішньої дискретної циліндричної поверхні.

Циліндрична ділянка - виконує забезпечення необхідної співвісності двох деталей. По циліндричній ділянці деталь, що приєднується, повинна ковзати без заклинювання чи заїдання. Водночас повинна виконуватись умова:

$$\Delta > \Delta b,$$

де Δ - зазор між циліндричною ділянкою вала і внутрішньою шліцевою поверхнею втулки.

Вільне ковзання по циліндричній ділянці шліцевої втулки можливе при $\Delta = (0,96 - 0,98)d$ і шорсткості поверхні у межах $R_a = 1,25 \dots 2,5$ мкм.

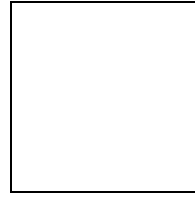
Шліцева ділянка - після орієнтації шліцевої втулки, що приєднується, по циліндричній поверхні відбувається контакт торців зубів шліцевої пари площинами зрізу. Внаслідок відносного ковзання шліцевої пари під дією $M_{кр}$ відбувається оберт однієї з деталей на необхідний кут. Для отримання найбільшого моменту, що крутить втулку, яка приєднується, кути зрізу φ_1 необхідно виконати під кутом, більшим за кут тертя:

$$\arctg f < \varphi_1 \leq 45^\circ, \quad (5)$$

де f - коефіцієнт тертя матеріалів втулки та вала; φ_1 - кут зрізу торців зубів шліцевого вала і втулки.

Запропонований спосіб складання має місце лише для ШЗ першої групи. Складання ШЗ другої групи можливе за умови термовпливу на шліцеву втулку. Технологія такого складання передбачає нагрівання шліцевої втулки до температури $t = +220^\circ\text{C}$ для загартованих деталей та до $t = +280^\circ\text{C}$ - для незагартованих деталей.

Тимчасовий технологічний зазор Δb , між поверхнями базування, утворений завдяки термовпливу, становить:



(6)

де Δb_{em} - збільшення ширини шліцьової западини втулки під дією термовпливу, Δb_e - збільшення ширини зубів вала під дією термовпливу, T_e - температура вала, T_{em} - температура втулки, T_0 - температура навколишнього середовища, α_{em} та α_e - коефіцієнти лінійного розширення шліцьової втулки та вала.

Загальний час технологічної операції:

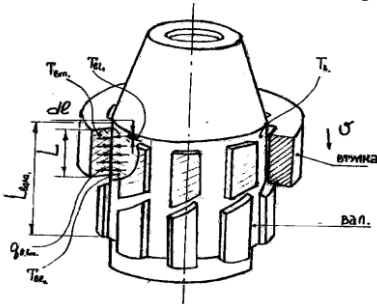


Рис. 5. Схема передачі тепла в спряженні під час складання

шення процесу складання (рис. 6).

$$\tau = \tau_{\text{возд.}} + \tau_{\text{вв}},$$

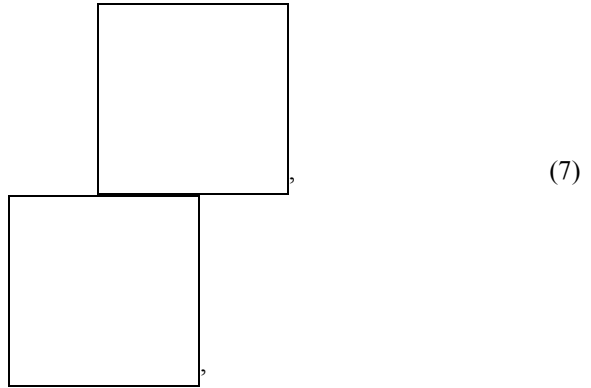
де $\tau_{\text{возд.}}$ - час транспортування деталей від джерела термовпливу на складальну позицію;

$$\tau_{\text{вв}} = \tau_1 + \tau_2,$$

де $\tau_{\text{вв}}$ - загальний час переміщення шліцьової втулки, на протязі якого реалізуються три технологічні переходи, τ_1 - час орієнтування при русі шліцьової втулки по конічній та циліндричній ділянці, τ_2 - час руху деталі, що приєднується, по шліцьовій ділянці вала до завершення процесу складання (рис. 6).

Рис. 6. Часовий ланцюг складальної операції

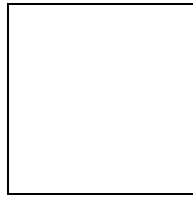
Нестационарний теплообмін з навколишнім середовищем описується двома рівняннями, складеними на підставі закону Ньютона - Ріхмана:



(7)

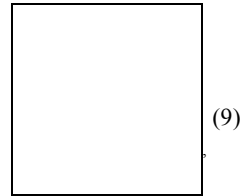
де C_B, C_{em} - питома теплоємність шліцьового вала та втулки; m_{em}, m_e - маса втулки і вала; α_0 - коефіцієнт, що враховує теплообмін шліцьового вала і втулки з елементами складального пристроя; S_{em} - загальна площа поверхні втулки; S_e - загальна площа поверхонь шліцьового вала.

Еквівалентний коефіцієнт теплового обміну між шліцьовим валом та втулкою:



(8)

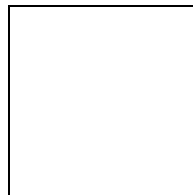
Математична модель теплових процесів у технологічній системі описана системою рівнянь:



(9)

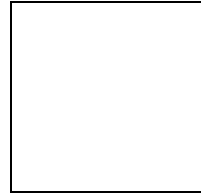
де S_3 - загальна площа поверхонь базування втулки; S_{sev} - площа перетину вала; l - довжина шліцьової втулки.

Температура шліцьової втулки - T_{eml} , наприкінці конічної - початку циліндричної ділянок:



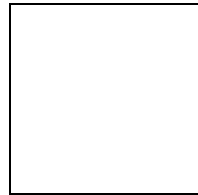
(10)

Температура шліцьової втулки - $T_{вт2}$ наприкінці циліндричної - початку шліцьової ділянок:



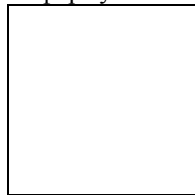
(11)

Температура шліцьової втулки- $T_{ем3}$ наприкінці шліцьової ділянки (завершення складальної операції):



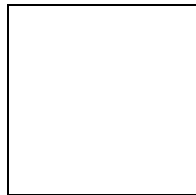
(12)

До третьої групи слід віднести ШЗ із зазорами та перехідними посадками між поверхнями базування. Для запобігання відмовлень при складанні та зменшення осьової сили при повздовжно-пресовому запресовуванні, крім основних фасок, формують додаткові технологічні, розташовані під кутом σ , який менший за кут тертя відносно вісі симетрії деталі. Зусилля, необхідне для запресовки шліцьових поверхонь, розраховується по формулі:



(13)

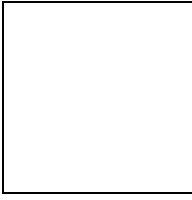
де f_n - коефіцієнт тертя при запресовуванні металевих деталей; l - довжина поверхні запресовування; z - кількість зубів на шліцьовій поверхні; p_{max} - питомий тиск при максимальному натязі N_{max} в посадці (при певних допущеннях та обмеженнях), який визначається за формулою:



(14)

де E_1 і E_2 - модулі пружності шліцьового валу та втулки, кгс /мм²; C_1 і C_2 - коефіцієнти Ляме; $\gamma_{ш}$ - виправлення, що враховує змінання нерівностей контактних поверхонь деталей при утворенні з'єднання:

$$N = N_{min} + \gamma_{ш}, \quad (15)$$



де; R_{ad} , R_{ad} - шорсткість поверхонь базування шліцьової втулки; R_{zd} , R_{zd} - шорсткість поверхонь базування шліцьового вала.

З метою запобігання заїдання або заклинювання при відносному запресуванні шліцьової пари на торцях зубів нарівні з головними ухилами формують додаткові з шириною фаски, відповідно, "а" та "а'" (рис. 7).

У четвертому розділі вивчаються результати експериментальних досліджень, які складаються з: перевірки теоретичних розрахунків для складання шліцьових з'єднань з гарантованим зазором (в тому числі і для термодії), теоретичних розрахунків при складанні шліцьових з'єднань для перехідних посадок, а також дії осциляційного ефекту для перших двох випадків.

Перш за все перевірявся вплив параметрів, які найбільшим чином впливають на надійність складання ШЗ. Такими є похибка співпадання осей симетрії «А» ШЗ (рис. 8) та кут відносного оберту шліцьових контурів $\Delta\varphi$ (рис. 9).

При експериментальних випробуваннях було перевірено, що завдяки ухилам близько 45° на торцях зубів приєднувана деталь обов'язково займала необхідний кут $\Delta\varphi$ контурів шліцьових поверхонь, який був достатнім для складання ШЗ з надійністю не менш, ніж 0.98, у всьому інтервалі типорозмірів (рис. 9).

Рис. 7. Схема розташування технологічних фасок на торцях зубів базової деталі та на тій, що приєднується

Рис. 8. Імовірність надійності складання ШЗ, $P(t)$ від співвісності «А», для посадки $D9/d8$, при $\Delta\varphi = 0$: 1- базовий варіант; 2- запропонований, при $A = 0 \dots 2$ мм

Рис. 9. Залежність імовірності надійності складання $P(t)$ ШЗ від кута повороту $\Delta\varphi$ контурів шліцьових поверхонь деталей, посадки $D9/d8$, при $A=0$: 1- базовий варіант; 2- запропонований

Метою експериментальної частини стосовно термовпливу було підтвердження теоретичних розрахунків теплообміну між шліцьовою парою та елементами технологічного обладнання під час складальної операції (рис. 10). В результаті випробування було зафіксовано максимальний коефіцієнт кореляції не більше, ніж 10%.

Рис. 10. Порівняння розрахункових даних: лінія 1-з даними, отриманими експериментальним шляхом, лінія 2-теоретичних температурних параметрів в кінці кожного технологічного переходу, під час складальної операції

Проводились випробування, пов'язані з терміном скріплення ШЗ, адже передчасне скріплення може привести до зависання деталі, що приєднується, та відмови складального процесу. Час скріплення шліцьових пар, тобто час, за який зазор між поверхнями базування наближається до мінімального, лежить у межах від 4 до 5 с.

Разом із тим проводились випробування, пов'язані з впливом осциляційного ефекту на надійність складальної операції (рисунки 10 та 11). Порівняння технологічної собівартості по двох варіантах.

Рис. 11. Імовірність надійності складання ШЗ $P(t)$, в залежності від похибки позиціонування, для технологій: 1 - існуючої; 2 - запропонованої без використання осциляційного ефекту; 3 - запропонованої з використанням осциляційного ефекту

Розроблено загальний алгоритм складання та програмне забезпечення, яке дає змогу достатньо точно розрахувати технологічні параметри та отримати рекомендації відносно застосування тієї чи іншої технології складання.

У п'ятому розділі запропоновано методика розрахунку собівартості технологічної операції складання ШЗ.

Порівняння собівартості базового та запропонованого варіантів виявляє умовну ефективність проектування технології складання по запропонованій методиці. З метою кінцевого прийняття рішення відносно раціональності запропонованої технології приведено порівняльний аналіз за двома технологіями: запропонованою, поз. 1 та тією, що існує, поз. 2. (рис. 12).

Як було зазначено у другому розділі, надійність складання ШЗ залежить від точності позиціонування ГВМ, яка прямо пропорційно залежить від його

вартості. Для існуючого способу складання ШЗ із посадкою F10/k7 необхідно використання ГВМ із похибкою позиціювання не більш, ніж поле допуску з'єднання, тобто її величина може досягати 0 мкм. Вартість ГВМ, який має потрібні характеристики, може досягати значної суми. Вартість складальної операції, включаючи вартість на формування додаткових поверхонь і матеріалу, по запропонованій технології залежно від посадки складає до 12 - 15% від існуючої.

ВИСНОВКИ

У дисертації запропонований перспективний напрямок рішення науково-практичної задачі, - підвищення ефективності складання шліцьових з'єднань за рахунок розробки технології з використанням термовпливу і самоорієнтації, що дозволило підвищити надійність складання.

За результатами досліджень зроблені наступні висновки.

1. Виявлені фактори, що впливають на процес складання шліцьових з'єднань, серед яких: зазори між поверхнями базування шліцьової пари Δb ; кут суміщення шліцьових контурів між внутрішньою шліцьовою поверхнею втулки та зовнішньою шліцьовою поверхнею вала – φ ; коефіцієнт тертя між поверхнями контактування шліцьових деталей під час складання; похибка відносно вісей симетрії базової, та деталі, що приєднується.
2. Виявлені та реалізовані напрямки досліджень, спрямовані на зменшення похибок позиціювання, серед яких головними є: ефект самоорієнтування деталі шліцьової пари, що приєднується; осциляційний ефект щодо базової деталі шліцьової пари; мінімальні температурні деформації під час термовпливу відносно деталі шліцьової пари, що приєднується.
3. На основі теоретичних розрахунків розроблено спосіб самоорієнтації деталі, що приєднується, який лежить в основі забезпечення безвідмовності складання шліцьових з'єднань з імовірністю не менш 0,98 і захищений патентом України №23365А.
4. На основі експериментальних досліджень відносно конструкторських та технологічних факторів, які були проведені на унікальному обладнанні, визначено, що складання шліцьових з'єднань під дією власної ваги деталі, що приєднується, з вище зазначеною імовірністю може здійснюватись тільки при зазорах між поверхнями базування більшими за $0,02\sqrt{b}$. Виявлено, що похибки взаємного орієнтування можуть досягати $(0,1 - 0,2)d$.
5. Розроблена термодинамічна модель складання враховує теплові витрати шліцьової втулки в навколишнє середовище і елементи технологічного устаткування. При її використанні можна визначити початкову температуру нагрівання шліцьової втулки для того, щоб виконати складання з термічним зазором, гарантованим на протязі 4 – 5 с. Перевірена коректність розробленої математичної моделі. Виявлено, що різниця температур шліцьової втулки

- наприкінці складальної операції між розрахунковими даними і даними, отриманими експериментально, не перевищує 10%. Запропонований спосіб складання дозволить зменшити час сполучення шліцьової пари до 20%, а також зменшити тепловіддачу нагрітої втулки в навколишнє середовище і елементи технологічного устаткування, що в остаточному підсумку дозволило використовувати менш точне і більш дешеве складальне устаткування.
6. Створена методика проектування процесів складання деталей, яка дозволяє зменшити похибки позиціонування до величин, при яких можливе складання прямобічних шліцьових з'єднань із заданою імовірністю. В основі розглянутої методики лежить системний підхід, що дозволяє раціонально вибрати технологічний процес складання з трьох різновидів: технологія складання шліцьових з'єднань із зазорами по поверхнях базування, більшими за Δb_{\min} . Складання таких з'єднань здійснюється під дією сили ваги деталі, що приєднується, або за допомогою пневмо- чи гідроподавачів; технологія складання шліцьових з'єднань із зазорами, меншими Δb_{\min} , котрі можна одержати шляхом нагрівання шліцьової втулки; технологія складання шліцьових з'єднань, при яких зазори між поверхнями базування менші Δb_{\min} навіть після нагрівання шліцьової втулки. Складання таких з'єднань реалізується шляхом запресовування деталей в межах пружної деформації матеріалу. При цьому для зменшення зусилля запресовування на торцях зубців сформовані додаткові фаски a й a' . Застосування як сухих, так і рідких речовин, що змащують поверхні базування, дозволило зменшити зусилля запресовування до 30%.
 7. Визначені конструкторські параметри і технологічні режими для складання ШЗ, серед яких: шорсткість конічної, циліндричної поверхонь, і торців зубців базової, та деталі що приєднується, по IT 9 – 10; кут α , між віссю симетрії та утворюючою конуса - 10 - 15°; кут зрізу - φ_1 , більший за кут тертя, і менший 45°, - $\arctg f < \varphi_1 \leq 45^\circ$; діаметр циліндричної ділянки d_1 - (0,94...0,96)d; температура нагріву шліцьової втулки не повинна перевищувати для загартованої втулки +220°C, для незагартованої втулки +280°C; швидкість запресовування шліцьової втулки не повинна перевищувати 2 м/хв.
 8. Розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення, яке дозволяє зі ступенем точності до 0,98 визначати можливість складання розглянутого з'єднання на етапі проектування вузла.
 9. Результати дисертаційної роботи пройшли промислову апробацію: на ТОВ „ТРИЗ” (м. Суми), ВАТ „Сумсьільмаш”, ВАТ „СМНВО ім. Фрунзе”, з очікуваним економічним ефектом 33 тис. грн. на рік, за розрахунками замовників.

1. Бондарев С.Г. Автоматизація складання шліцевих з'єднань // Вісник Сумського державного університету. – Суми: СумДУ. - 1995. – Вип. 3. - С. 42-45.
2. Бондарев С.Г. Підвищення безвідмовності складання шліцевих спряжень у автоматичному режимі // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ. – 2000. - Вип. 110. – С. 17-22.
3. Бондарев С.Г. Визначення параметрів процесу складання шліцевих з'єднань // Вісник Сумського державного аграрного університету. – Суми: СДАУ. - 2001. - Вип. 6. - С. 166-168.
4. Бондарев С.Г. Визначення температурних параметрів при складанні шліцевих з'єднань для перехідних посадок // Вісник Сумського національного аграрного університету. – Суми: СНАУ. - 2002. - Вип. 8. - С. 134-140.
5. Бондарев С.Г. Складання шліцевих з'єднань шляхом запресовування // Вісник Сумського національного аграрного університету. - Суми: СНАУ. - 2002. - Вип. 9. - С. 185-189.
6. Пат. 23365А Україна, МКИ F 16 D 1/06. Шліцеві з'єднання та спосіб їх складання: Пат. 23365А. Україна, МКИ F 16 D 1/06 / Заявник (Україна); Сумський державний університет - №95010099; Заявл. 05.01.95; Опубл. 31.08.1998, Бюл. № 4 – 7 с.
7. Бондарев С.Г. Сборка шлицевых соединений в автоматическом режиме //Труды Междунар. научно-методической конф. „Автоматизация проектирование и производство изделий в машиностроении”. - К. – 1995. - Вип.7. - С. 31-39
8. Бондарев С.Г. Алгоритм складання шліцевих з'єднань для перехідних посадок // Збірник статей за матеріалами 8-ї Міжнар. науково-методичної конф. “Сучасні технології, економіка й екологія в промисловості, на транспорті й у сільському господарстві”. - Том 2. - Суми: СНАУ. - 2001. – С. 82-90
9. Бондарев С.Г. Сборка шлицевых соединений // Труды Междунар. научно - методической конф. “Автоматизация, проектирования и производство изделий в машиностроении”. Брянск: БГПУ. – 2001. - Вип. 4. - С. 31-33.
10. Бондарев С.Г. Безвідмовність складання шліцевих з'єднань // Збірник статей за матеріалами 10-ї Міжнар. науково-методичної конф. ”Технології XXI сторіччя” в 3-х томах. - Том 2. – Суми: СНАУ. - 2003. - С. 63-69.

АНОТАЦІЇ

Бондарев Сергій Григорович. “Підвищення надійності складання шліцевих з'єднань шляхом вибору раціональної системи позиціонування елементів». - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2005.

Дисертація присвячена технологічному методу підвищення надійності складання шліцевих з'єднань з базуванням по ширині зубів. Розроблено технології, завдяки яким можна призначити раціональні технологічні режими для складальної

операції та отримати надійність складання ШЗ не менш, ніж 0,98. Це дозволить підвищити якість складання шлицьової пари, водночас використовуючи менш точне та більш дешеве технологічне обладнання. Достовірність отриманих даних підтверджена експериментально.

Ключові слова: шлицьове з'єднання, вибір технології складання, мінімальний технологічний зазор, складання з термовпливом.

Бондарев Сергей Григорьевич. “Повышение надёжности сборки шлицевых соединений путём выбора рациональной системы позиционирования элементов”.- Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2005.

Диссертация посвящена повышению надёжности сборки шлицевых соединений с базированием по ширине зубьев на основе выбора рационального технологического процесса.

В первом разделе проведён анализ современных технологий сборки соединений (включая шлицевые), методов оптимизации, контроля, ориентирования присоединяемой детали относительно базовой. Проведён анализ положительных и отрицательных аспектов основных сборочных систем, указывается на необходимость выполнения дальнейших теоретических и практических исследований.

Во втором разделе выявлены погрешности, которые имеют место при сборке шлицевых соединений. Установлено, что их надёжная сборка возможна при условии совпадения осей симметрии базовой и присоединяемой деталей и угла поворота шлицевых контуров деталей (внутреннего и наружного). Предложена структура поэлементного позиционирования базовой и присоединяемой детали. Рассмотрены способы компенсации суммарной погрешности смещения осей сопрягаемых поверхностей.

В третьем разделе установлено, что при уменьшении зазоров вероятность сборки шлицевых соединений резко уменьшается. Для получения вероятности сборки не менее 0.98 количественно учитывают минимальную вероятностную величину посадки между поверхностями базирования. Рассматриваемые посадки разделены на три группы. Для каждой из трёх групп предусмотрена своя технология сборки: сборка под действием веса присоединяемой детали; сборка с термовоздействием на шлицевую втулку; сборка при помощи запрессовки.

При сборке с термовоздействием образуется временный температурный зазор, который уменьшается при теплоотдаче в окружающую среду, при контактировании с элементами технологического оборудования и базовой деталью. Для формализованного решения поставленной задачи разработана математическая модель рассмотренных тепловых потерь, предложен рациональный путь выбора технологического процесса

В четвертом разделе рассмотрены вопросы, связанные с проверкой корректности результатов теоретических исследований. Максимальная величина рас-

хождения теоретических и практических результатов при сборке с термовоздействием составляет не более 10%. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, благодаря которому (с учетом физико-химических свойств металла) имеется возможность выбора технологии сборки для всех типоразмеров ШС.

В пятом разделе приведена методика расчёта технологической себестоимости операции сборки ШС, а также экономического эффекта от внедрения технологии сборки шлицевых соединений.

Ключевые слова: шлицевое соединение, выбор технологии сборки, минимальный технологический зазор, сборка с термовоздействием.

Bondarev S.G. "Increase of reliability of assembly of splines by selection of a rational station-keeping equipment of units".- The manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.02.08 - technology of engineering. National technical university "the Kharkov polytechnic institute", Kharkov, 2005.

The thesis is dedicated to increase of reliability of assembly of splines with basing on width of cogs on the basis of selection of a rational manufacturing process.

In the first section the analysis of modern technologies of connections assembly, methods of optimization, control, orientation of a detail is conducted, which one joins to base. The analysis of positive and negative aspects of the main assembly systems is conducted, it is underlined on necessity of fulfilment of further theoretical and practical researches.

In the second section the errors are detected, which one take place at assembly of splines. Is established, that their reliable assembly is possible under condition of concurrence of symmetry axes of a base detail, detail, which one joins also of turn angle of splined contours connection. The structure of item positioning of a base detail, concerning a detail is offered, which one joins. The ways of indemnification of an aggregate error of displacement of axes of mating surfaces surveyed.

In the third section is established, that at reduction backlashes the probability of assembly of splines decreases sharply. For obtaining probability of assembly not less than 0.98 quantitatively allow for minimum probabilistic value of landing between surfaces of basing. The considered landings are divided into three groups. For each of three groups the technology of assembly is stipulated: the assembly under operation of weight of a detail, which one joins; assembly with thermal effect on the splined bush; assembly through pressing-in.

At assembly with thermal effect, the temporary temperature backlash will be derivated, which one decreases at heat rejection in an environment, at a contact to units of a production equipment and base detail. For the formalized solution of a put problem the mathematical model of surveyed calorific losses is designed, the rational path of selection of a manufacturing process is offered.

In the fourth section the problems, bound with check of a correctness of results of analytical investigations surveyed. The maximum value of a theoretical divergence and practical results for assembly with thermal effect makes no more than 10 %. Is designed algorithmic and software, due to which one (in view of physicochemical properties of metal) there is a capability of selection of the assembly technology for all type sizes splines-bush.

In the fifth section the technique of calculation of the technological cost price of assembly operation splines-bush, and also economic benefit of implantation of the technology of assembly of splines is adduced.

Keywords: a splines-bush, selection of the assembly technology, minimum technological backlash, assembly with thermal effect.

Підписано до друку 20.04. 2005 р. Формат паперу 60х90/21
Ум. Друк. Арк.0,9. Обл. – вид. Арк. 0,9
Наклад. 289 Зам. № 125 Тираж 100 прим.
Суми, РІВВ Сумського Національного аграрного
університету, вул. Кірова, 160