

Список літератури: 1. ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення і позначення. — Введ. 01.01.95. — К.: Держстандарт України, 1994. 2. Фреза відрізна: Пат. 55717 А, Україна, МКИ В23С5/08. / Н.С. Равська, Р.П. Родін, Б.В. Лупкін, В.Ю. Петренко — № 2002054191; Заявлено 22.05.2002; Опубл. 15.04.2003, Бюл. № 4. — 2 с. 3. Фреза відрізна: Пат. 62099 А, Україна, МКИ В23С5/08. / Б.В. Лупкін, О.В. Мамлюк, Н.С. Равська, Р.П. Родін — № 2002118707; Заявлено 01.11.2002; Опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12. — 2 с. 4. Равская Н.С., Панчук В.Г., Майданюк С.В. Геометрические параметры режущей части дисковых отрезных фрез // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. наук. праць. — Краматорськ: ДДМА, 2005. — Вип. №18. — С. 73–82. 5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1970. — 720 с.

Сдано в редакцію 24.05.07

МАГНІТНЕ КЕРУВАННЯ В ПРОЦЕСАХ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І КОНСТРУКЦІЙ

Пашенко В.М., Кузнецов В.Д. (НТУУ „КПІ”, м. Київ, Україна)

The results of electromagnetic actions in surface engineering by weld surfacing and thermal spraying are represented. Their high efficiency is shown.

До робочих поверхонь деталей машин і конструкцій, залежно від умов експлуатації, висуваються певні вимоги щодо функціональних властивостей (зносоустійкості, жаростійкості, корозійної стійкості та ін.). Саме властивості поверхонь і визначають експлуатаційну надійність деталей машин і конструкцій.

Зазвичай, механічна міцність деталей і конструкцій забезпечується застосуванням базового, більш доступного і дешевого матеріалу, а спеціальні властивості – за рахунок іншого, тобто за рахунок матеріалу покриття або нового структурного чи хімічного стану приповерхневих шарів матеріалу деталі. Такі задачі вирішуються *методами інженерії поверхні*. Важливим моментом є також можливість використання покриттів для відновлення зношених деталей, що також обумовило швидкий розвиток методів та їх застосування у багатьох галузях виробництва.

Поширеними методами нанесення захисних покриттів є наплавлення та газотермічне напилення. Існують певні вимоги щодо ефективного застосування кожного з них. Наприклад, при дугових способах наплавлення основною вимогою є мінімізація частки основного металу в наплавленому, що дає можливість отримувати задану композицію металу і, відповідно, потрібні властивості поверхні вже у перших наплавлених шарах. При газотермічному, зокрема плазмовому напиленні, ефективність процесу визначається багатьма факторами і, в першу чергу, умовами роботи дугових пристроїв – плазмотронів та ступенем використання у покритті вихідного матеріалу порошку.

Вирішення задач підвищення ефективності процесів наплавлення та напилення в інженерії поверхні відомими технологічними прийомами практично вичерпані і саме це обумовлює необхідність і доцільність застосування фізичних методів керування умовами наплавлення та напилення, зокрема, за допомогою електромагнітних дій.

Аналіз робіт з даного напрямку [1] дозволяє виділити головні ознаки, за якими якісно відрізняються електромагнітні дії. Основною є напрямок вектора керуючого магнітного поля (КМП) по відношенню до об'єкту дії. За цією ознакою КМП поділяють на аксіальні (повздовжні) і радіальні (поперечні). У перших вектор індукції

паралельний, у других – перпендикулярний осі електрода. Додатковими, не менш важливими відмінними ознаками вказаних двох груп КМП, є їх частотні і амплітудні характеристики.

Аналіз досвіду використання повздовжніх КМП вказує на їх переважне застосування при зварюванні з метою управління процесом кристалізації, формування структури і, відповідно, властивостей зварних швів. Але у багатьох випадках завдяки переходу дуги в інший стан повздовжні магнітні поля застосовують і в процесах відновлення поверхонь деталей і конструкцій машин дуговим наплавленням. Обертання дуги і перехід в конусоподібну форму супроводжуються розосередженням анодної плями нагріву з відповідним зменшенням струму та підвищенням напруги дуги, що і призводить до зменшення глибини проплавлення до 30...40 %.

При вирішенні проблем інженерії поверхні наплавленням більш ефективні поперечні магнітні поля. Залежно від схеми розташування полюсів електромагніта контролюється відхилення дуги вздовж чи поперек напрямку наплавлення з відповідною заданою частотою. Відхилення дуги поперек осі валика супроводжується зміною у кожний проміжок часу місця тепловкладення в основний метал і, як наслідок, зменшенням глибини проплавлення і, відповідно, частки основного металу в наплавленому.

Електромагнітні поля у процесах газотермічного нанесення покриттів і створення поверхневих шарів, можуть застосовуватися: по-перше, для забезпечення ефективної роботи дугових пристроїв – інструментів для обробки матеріалів, а, по-друге, для керування процесами обміну енергією та речовиною між субстанціями, що беруть участь у процесі.

Станом на сьогодні, магнітне керування електричною дугою шляхом накладання зовнішнього поперечного, поздовжнього або обертального полів широко застосовується для стабілізації положення дуги в межах дугового каналу плазових розпилювачів та організації переміщення плям прив'язування дуги по поверхні електродів для зниження рівня теплових потоків у елементи конструкції плазмотрона і, значно рідше, для впливу на напруженість електричного поля дуги [2, 3].

Магнітне обертання дуги для підвищення ефективності нагрівання порошку пропонується застосувати у роботі [4]. При накладанні на дугову камеру розпилювача поздовжнього магнітного поля, виникає обертальний рух радіальної ділянки дуги. Рух заряджених частинок передається нейтральній компоненті, що викликає обертальний рух струменя. Обертання плазми в соплі плазмотрона супроводжується двома важливими для технології наплення ефектами: переміщенням активної плями в соплі та вихровим рухом плазми струменя. Переміщення плями дозволяє знизити температуру робочої поверхні сопла і зменшити спрацювання останнього, а вихровий рух плазми струменя інтенсифікує теплообмін з порошком.

Пряме керування потоком низькотемпературної плазми при атмосферному тиску шляхом накладання зовнішнього магнітного поля в загальному випадку є проблематичним. Плазма вважається квазінейтральною субстанцією (наприклад, при атмосферному тиску для аргонової плазми характерне значення дебаївського радіуса, що визначає просторовий масштаб розподілу зарядів, становить менше 10^{-5} см). Тому рух потоку такої плазми як цілого не супроводжується виникненням електричного струму, здатного взаємодіяти із зовнішнім магнітним полем.

Між тим, посереднє керування просторовим положенням плазового потоку (в тому числі і шляхом застосування зовнішнього магнітного поля) через вплив на умови формування струменя плазми, можливе. Наприклад, у роботі [5] досліджений вплив положення анодної плями на положення профілів температур і швидкостей струменя

плазми розпилювача із самовстановлювальною дугою. Із зміною орієнтації анодної плями відносно осей поперечного перерізу дугового каналу змінюється просторовий розподіл параметрів плазмового струменя, що візуально фіксується як відхилення напрямку витікання струменя відносно осі дугового каналу.

Магнітне керування струменем низькотемпературної плазми є новим, поки мало дослідженим способом керування енергетичними параметрами потоку високотемпературного газу та його траєкторією руху.

Мета роботи – дослідження ефективності КМП при відновленні наплавленням поверхонь тонкостінних деталей і деталей лезового типу та експериментальне підтвердження принципової можливості магнітного керування просторовим положенням високотемпературного газопорошкового потоку та ступенем використання у покритті вихідного матеріалу порошку.

Досліджували технологічні схеми аргонодугового наплавлення з присадним дротом, що забезпечували зміну у широкому діапазоні форму валиків при мінімальному проплавленні. Схеми передбачали застосування КМП з відхиленням дуги кутом вперед у напрямку присадного дроту. Відхилення дуги забезпечували електромагнітом з полюсами, конструктивно розташованими поперек осі наплавлення в зоні горіння дуги.

Випробування проводили на зразках з вуглецевого матеріалу товщиною 2 мм з присадним дротом із аустенітної сталі 12Х18Н10Т, що дозволяло імітувати умови корозійностійкого наплавлення.

За результатами досліджень встановлено, що зменшення глибини проплавлення одночасно із стабільним горінням дуги спостерігається при куті відхилення не більше 30° . Подальше збільшення кута відхилення супроводжується нестабільним горінням дуги.

Перерозподіл теплової потужності дуги між основою і присадним дротом дозволяє регулювати кількість тепла, що витрачається на плавлення основи та присадного дроту. Технологічна схема перерозподілу тепла дуги реалізується змінами співвідношень величин струмів, що встановлюються між електродом і основою та електродом і присадним дротом. При цьому, керуюче відхилення дуги здійснюється кутом вперед з розміщенням анодної плями на присадному дроті. Встановлено: якщо відношення струму між електродом і основою та електродом і присадним дротом менше одиниці, доля участі основного металу в наплавленому наближається до 1%, а глибина проплавлення не перевищує 0,2 мм.

Суттєво зменшується глибина проплавлення при імпульсному аргонодуговому наплавленні. Встановлено, що найбільший ефект проявляється в умовах, коли імпульс подачі дроту співпадає в часі з імпульсом зварювального струму та імпульсом КМП.

Регульований підігрів присадного дроту також дозволяє ефективно впливати на форму валиків. Розроблена спеціальна конструкція струмопідвіду, яка забезпечує подачу електричного потенціалу на певних відстанях по довжині присадного дроту. У цих умовах валики формуються при значно меншій тепловій потужності дуги і, відповідно, з меншою глибиною проплавлення.

Незалежно від технологічних схем наплавлення зменшення глибини проплавлення з відхиленням дуги кутом вперед пояснюється тим, що значна частина теплової енергії дуги витрачається на плавлення безпосередньо присадного дроту, оскільки у цьому випадку анодна пляма дуги переміщується з головної частини ванни у бік дроту. Тепло дуги, що передається на основу через прошарок розплавленого присадного металу, значно зменшується, що приводить до додаткового зменшення глибини проплавлення в 2...5 разів.

Як приклад, на рис.1 наведені зразки валиків, що наплавлені на кромку (рис.1,*a*) та на тонку пластину (рис.1,*б*).

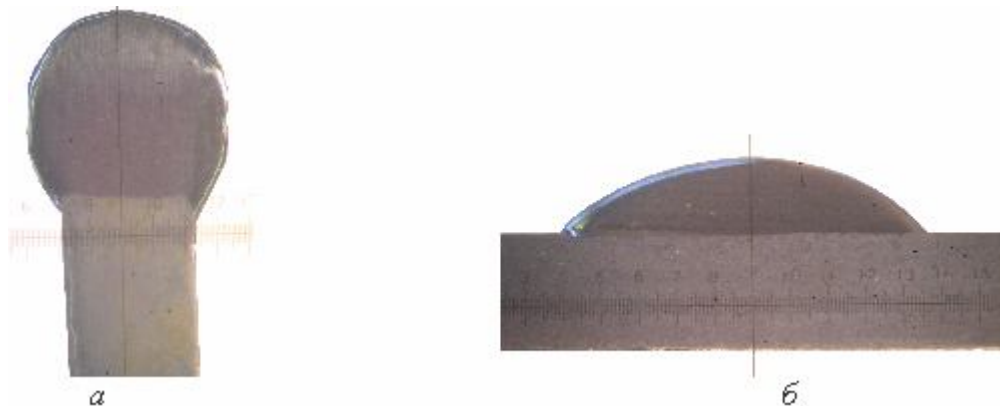


Рис.1. Форми валиків, що наплавлені на кромку (*a*) та на пластину (*б*)

Валики наплавлені за схемою перерозподілу теплової потужності дуги між основою та присадним дротом з одночасним відхиленням дуги кутом вперед і свідчать про практичну відсутність зони проплавлення. Таким чином, проведені дослідження підтверджують доцільність і ефективність застосування КМП у процесах відновлення поверхонь деталей і конструкцій аргондуговим наплавленням, особливо, з тонким перерізом та деталей лезового типу.

В процесах плазмового нанесення покриття актуальною є проблема узгодження взаємного положення твердої та газової фаз у гетерогенному потоці шляхом дослідження і використання залежності просторового положення плазмового струменя від положення анодної плями в межах дугового каналу. Експериментально доведено, що принципово можлива зміна і стабільне підтримання зміненого напрямку витікання плазмового струменя при накладанні на вихідну ділянку дугового каналу поперечного магнітного поля [6]. В результаті взаємодії із зовнішнім магнітним полем зона прив'язування дуги примусово зміщується у певному напрямку і фіксується на достатньо обмеженій ділянці дугового каналу. Напрямок переміщення зони прив'язування дуги визначається напрямком магнітної індукції зовнішнього поля в області взаємодії, напрямком струму на ділянках дуги, що взаємодіють із зовнішнім магнітним полем, витратою і напрямком вихідного закручування плазмоутворювального газу.

Результатом цілеспрямованої орієнтації частини стовпа і вихідної ділянки дуги є перебудова профілю температур і швидкостей плазмового струменя, що формується у сопловій частині дугового каналу. У свою чергу, така перебудова призводить до відхилення плазмового потоку, що витікає із дугового каналу плазмотрона на певний кут відносно поздовжньої осі каналу ($5...6^\circ$ в один бік у дослідженому діапазоні зміни параметрів взаємодіючих об'єктів). Кут відхилення плазмового потоку залежить від витрати плазмоутворювального газу, величини струму дуги і значення індукції магнітного поля в області взаємодії.

Досліджувались два варіанти застосування поперечного магнітного поля для коригування напрямку витікання потоку плазми. При першому варіанті, зміщення газової складової гетерогенного потоку здійснюється магнітним полем постійного напрямку з метою нівелювання неузгодженості взаємної просторової орієнтації газової і порошкової складових двофазного потоку (напрямок дії магнітного поля при цьому узгоджується із напрямком радіального подавання порошку).

При другому варіанті, напрямок магнітного поля знакозмінний, із визначеною частотою цієї зміни. Це просторово збільшує інтегральну область ефективного нагрівання порошку, усуває проблему спеціального узгодження напрямку магнітного поля із системою подавання дисперсного матеріалу і інтенсифікує теплообмін між газом і порошком при їх взаємному циклічному переміщенні.

Накладання поперечного магнітного поля на двофазний потік змінює форму і площу плями наплення – як при використанні феромагнітних металевих дисперсних матеріалів, так і немагнітних. У випадку немагнітних матеріалів ця зміна викликається в основному зміною взаємної просторової орієнтації газової та дисперсної складової газопорошкового потоку, а практичним результатом покращання умов нагрівання всього ансамблю порошку є збільшення розмірів плями наплення та її симетризація (рис.2).

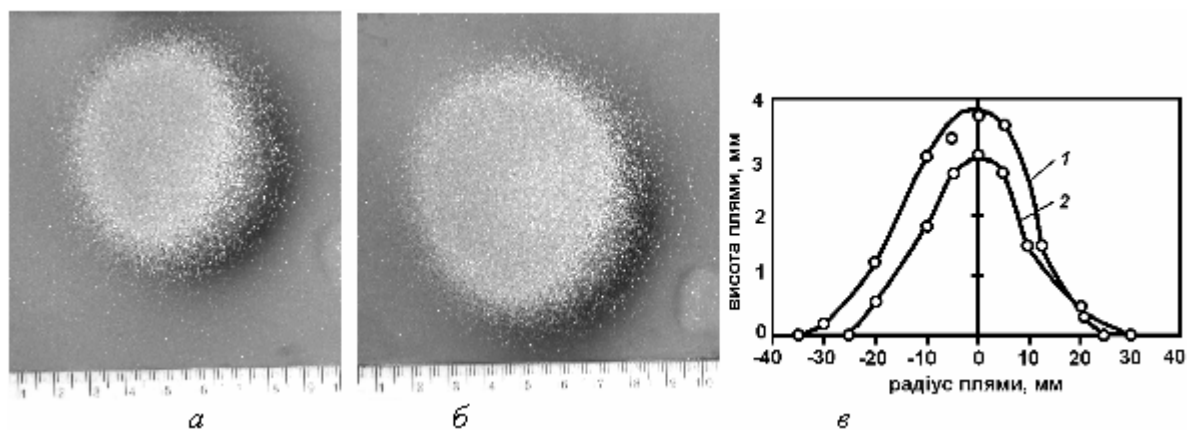
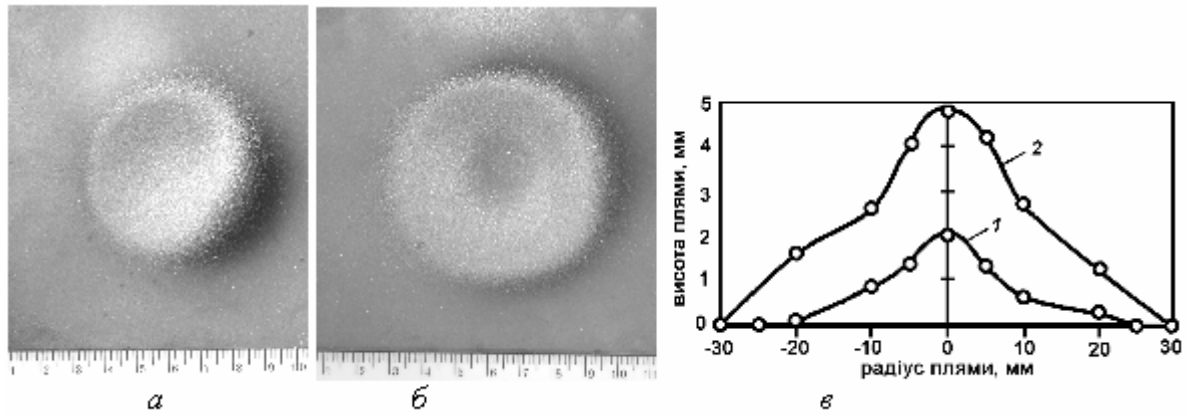


Рис. 2. Плями наплення, отримані плазмовим повітряним нанесенням порошку марки ПГ-19М-01 (діамагнітний матеріал на основі міді): *а* – без застосування зовнішнього магнітного поля; *б* – із застосуванням знакозмінного магнітного поля; *в* – поперечний переріз плям наплення: 1 – без магнітного впливу; 2 – із магнітним впливом на умови формування плями

Фактор нерівності плями наплення (відношення максимального і мінімального розмірів, які визначаються на вигляді плями “зверху”) змінюється від 0,73 для випадку відсутності магнітного поля, до 0,83 у випадку його застосування. При цьому площа плями наплення збільшується у 1,4...1,5 рази.

У поперечному перерізі фігура наплення набуває осової симетрії (ступінь симетричності підвищується від 0,5...0,66 до 1) із одночасним незначним збільшенням наповненості профілю (рис.2, *в*).

У випадку феромагнітного матеріалу до факторів, що впливають на формування плями наплення, додається вплив поперечного магнітного поля на феромагнітні частинки вихідного матеріалу (за умови їх перебування у тепловому стані нижче точки Кюрі). Сила притягання до полюсів електромагніта розпушує вихідний потік дисперсного матеріалу, сприяє його рівномірному розміщенню в межах високотемпературного газового потоку. Разом із просторовим переміщенням ядра газового струменя при знакозмінному поперечному магнітному полі це гармонізує умови нагрівання дисперсного матеріалу, що виражається у значному збільшенні розмірів плями наплення і наближенні її форми до правильного кола (рис.3).



Р

Рис.3. Плями напилення, отримані плазмовим повітряним нанесенням порошку марки ПГ-12Н-02 (феромагнітний матеріал на основі нікелю): *а* – без застосування зовнішнього магнітного поля; *б* – із застосуванням магнітного поля; *в* – Поперечний переріз плям напилення феромагнітного матеріалу: *1* – без магнітного впливу; *2* – із магнітним впливом на умови формування плями

Фактор нерівності плями напилення феромагнітного матеріалу при застосування магнітного поля сягає одиниці. При цьому площа плями напилення збільшується у 1,8...2 рази.

У поперечному перерізі значно (у 2,5...3 рази) зростає максимальна товщина плями напилення при збереженні, у цілому, ступеня зосередженості профілю (рис.3, *в*).

Результатом магнітного впливу на гетерогенний потік при плазмовому нанесенні покриття є зафіксоване значне підвищення ефективності процесу обробки виробів – коефіцієнт використання матеріалу вдається збільшити в 1,4...1,7 рази. Це позитивно впливає на продуктивність процесу (вона пропорційно збільшується) та показники якості отриманих покриттів і їх розподіл по перерізу покриття (міцність зчеплення зростає на 20...30 % із одночасним зниженням пористості).

Висновки:

1. Показано, що магнітне керування в процесах відновлення поверхонь деталей машин і конструкцій аргонодуговим наплавленням є ефективним засобом мінімізації глибини проплавлення та зменшення частки основного металу в наплавленому.

2. Встановлено, що незалежно від технологічних схем відновлення поверхонь аргонодуговим наплавленням додатковий ефект електромагнітної дії проявляється у зменшенні глибини проплавлення у 2- 5 разів.

3. Доведена принципова можливість керування просторовим положенням високотемпературного газового потоку магнітним впливом на частину стовпа і зону прив'язування дуги в плазмотроні лінійної схеми посередньої дії.

4. Гармонізація взаємного положення окремих фаз гетерогенного потоку при плазмовому нанесенні покриття дозволяє у 1,4...1,7 рази підвищити коефіцієнт використання дисперсного матеріалу, що впливає на продуктивність процесу нанесення покриття і його якісні характеристики.

5. Ефективне застосування запропонованих принципових технічних рішень потребує подальшого дослідження впливу магнітних полів на хімічні та структурні перетворення в поверхневому шарі металу виробу, адаптації методів магнітного керування до потреб конкретних технологічних процесів та дослідження ресурсних характеристик дугових пристроїв з магнітним керуванням в процесах плазмового нанесення покриття.

Перелік літератури: 1. Рыжов Р.Н., Кузнецов В.Д. Внешние электромагнитные воздействия в процессах дуговой сварки и наплавки (обзор) // Автомат. сварка. – 2006. – №10. – С. 36-44. 2. Сергеев П.В., Локша Б.К., Шепель Г.А., Ибраев Ш.Ш. Магнитное управление электрическими дугами в высокотемпературных установках для нагрева газа // Тез. докл. V Всесоюзной конференции по генераторам низкотемпературной плазмы. – Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1972. – Т I. – С. 131–132. 3. Юревич Ф.Б., Куликов В.С. Электродуговой нагрев газа. Минск: Наука и техника, 1973. – 192 с. 4. Рыкалин Н.Н., Николаев А.В., Кудинов В.В., Кулагин И.Д., Синолицын Э.К. Нагрев порошка в стабилизированной магнитным полем струе при плазменном напылении // Автоматическая сварка. – 1968. – №8. – С.29 – 33.– С. 161 – 163. 5. Пузряков А.Ф. Проблемы и перспективы создания высокостабильного оборудования для плазменного напыления // Тез. докл. VII Совещания «Теория и практика газотермического нанесения покрытий». – Дмитров: НИИ проблем машиностроения МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1978. – С. 15 – 23. 6. Пашенко В. М., Солодкий С.П. Магнитное управление потоками низкотемпературной плазмы в процессах нанесения газотермических покрытий // Автоматическая сварка. – 2006 р. – №6 (638). – С.53-55.

Сдано в редакцию 14.05.07

КОНТАКТНАЯ ПРОЧНОСТЬ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ПЕРЕКОСА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Попов А.П., Каиров А.С. (НУК, г. Николаев, Украина)

The space contact problem of point scheme tooth transmissions has been solved. It is shown that point tooth contact differs from linear contact because it increases evolvent tooth loading ability.

Постановка проблемы. Исследование контактной прочности зубчатых передач с учетом влияния на их работоспособность конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов является актуальной проблемой, успешное решение которой предопределяет развитие редукторостроения. В наибольшей степени актуальность данной проблемы сказывается при создании тяжелонагруженных зубчатых передач практически для всех отраслей машиностроения, выпускающих зубчатые передачи редукторов.

Анализ последних исследований. Проблема исследования передач редукторов с учетом перекоса зубчатых колес до последнего времени оставалась нерешенной. По мнению отдельных авторов передачи редукторов при наличии перекоса зубчатых колес являются неработоспособными. Основные расчетные зависимости и анализ нагрузочной способности по контактным напряжениям передач с точечной системой зацепления эвольвентных зубьев приведены в [1-3]. Эти результаты указывают на то, что при углах перекоса $\psi = (0,1...1)10^{-3}$ рад зубьев относительно друг друга, обусловленных перекосом зубчатых колес, нагрузочная способность передач редукторов снижается в 2...15 раз, что является недопустимым.

Целью работы является решение пространственной контактной задачи применительно к зубьям, зубчатые колеса которых перекошены относительно друг друга на угол Ψ , и разработка практического метода расчета нагрузочной способности зубчатых передач по контактным напряжениям.