

УДК 658.52.011.56: 621.783.223

Л.М. Акулович, д.т.н.*Конструкторсько-технологічний інститут засобів механізації та автоматизації
(м. Мінськ, Білорусь)***В.С. Ольшевський, дир.***Бердичівський політехнічний коледж (Житомирська обл.)***Л.Г. Полонський, к.т.н., доц.***Житомирський інженерно технологічний інститут***М.Л. Хейфець, д.т.н., проф.***Полоцький державний університет (м. Новополоцьк Вітебської обл., Білорусь)*

РОЗРОБКА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

Розглянуто комбіновані процеси термомеханічної обробки в електромагнітному полі. Запропоновано способи адаптивного керування тепловими і деформаційними впливами. Розроблено гнучкий виробничий модуль термомеханічного зміцнення і відновлення деталей машин в електромагнітному полі.

Введення. Упровадження нових матеріалів і технологій, які зберігають ресурси, енергію і гнучке виробниче устаткування, що реалізує їх з максимальною ефективністю при мінімальних витратах, – сучасна тенденція розвитку машинобудування. Підвищення ефективності обробки і якості деталей машин досягається використанням концентрованих джерел енергії і високопродуктивних інструментів, а також їхнім сполученням у комбінованих методах обробки.

Створення умов самоорганізації комбінованих впливів для забезпечення тривалої структурної стійкості в технологічних процесах зажадало розробки методів оптимізації, керування й обмеження технологічних впливів [1, 2].

Метод оптимізації заснований на виявленні самого хитливого параметра – визначального ступеня волі технологічної системи. Умови самоорганізації в процесах формування поверхневих шарів забезпечуються при оптимізації за термодинамічними факторами, відповідно до критеріїв переносу.

Метод керування будується на пошуку ведучих, сполучених параметрів – впливів потоками енергії і речовини. Керування фізико-хімічними процесами при комбінованих впливах здійснюється організацією зворотних зв'язків між параметрами ефективності і якості обробки, через додаткові ступені волі системи.

Метод обмеження полягає в скороченні числа ступенів волі, через які здійснюється керування технологічною системою. Обмеження кількості потоків енергії і речовини, їхньої інтенсивності і складу визначається числом контрольованих параметрів якості обробки.

Самоорганізація поверхневих явищ. Для розробки гнучкого виробничого устаткування у виді модуля (ГПМ), що реалізує високоінтенсивні комбіновані процеси, розглядали всю гаму технологічних операцій [2, 3]: нанесення покриттів, термообробку, різання, деформування поверхневого шару та їхні основні комбінації. Спочатку досліджували самоорганізацію рухів з додатковими ступенями волі інструмента, часток і потоків технологічного середовища, а потім вивчали керування процесами формування поверхневого шару й обмеження кількості потужності додаткових впливів.

Для нанесення поверхневого шару на ГПМ використовували метод електромагнітного наплавлення (ЕМН) [3, 4], при якому частки феромагнітного порошку вибудовуються в постійному магнітному полі в електроді – ланцюжка і в результаті електродугових розрядів наплавляються на поверхню заготовки. ЕМН дозволяє наносити покриття визначеної товщини, після чого формований шар утрачає стійкість, а на поверхні утворюється піки, які при наступних розрядах перетворюються в кратери. Процесами формування поверхні при ЕМН керують електромагнітні потоки, які регулюють товщину наплавленого шару, змінюючи електричну провідність у робочому зазорі.

Видалення дефектного поверхневого шару на ГПМ здійснюють лезвильною і абразивною обробкою. При порушенні рівноваги інтенсивності температурного знеміцнення і деформаційного зміцнення в процесі різання звичайним інструментом зона стружкоутворення втрачає термодинамічну стійкість [2, 5]. Це призводить до періодичного формування наростів на лезі, що різє, або утворення східчастих стружок. Керувати процесом стружкоутворення у

цих випадках можна шляхом додаткових переміщень ротацийного інструмента, що не дозволяє застійним об'ємам металу закріпитися на лезі, оновлює робочі частки різальної кромки і не дає різкого росту температури в зоні різання.

Обробка пористих і грузлих матеріалів покриття призводить до засолювання абразивних зерен, що перешкоджає їхньому самозагострюванню. Керувати абразивною обробкою у цьому випадку дозволяють електромагнітні потоки реалізованого на ГПМ методу магнітно-абразивної обробки (МАО). При МАО механо-хімічні знімання металу при подачі змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) здійснюються незакріпленими зернами абразивного порошку з феромагнітним покриттям під впливом постійного магнітного поля [4, 5].

Для деформаційного зміцнення і формозміни поверхневих шарів на ГПМ використовують кулькові обкатники. Без додаткового нагрівання ступінь деформації невеликий, а траєкторія кульки поєднує петлеподібний характер. При нагріванні оброблюваний матеріал переходить у пластичний стан, внаслідок чого ступінь деформації і коефіцієнт тертя ковзання збільшуються. Це перешкоджає обертанню і зменшує довжину спочатку шпильастої, а потім і синусоїдальної траєкторії кульки, що призводить до зниження інтенсивності пластичної деформації. Отже, керувати процесом поверхнево-пластичного деформування (ППД) дозволяють термічний вплив і додаткове обертання кульки.

Результати досліджень самоорганізації в процесах нанесення, термообробки, різання і деформування поверхневого шару, а також при їхньому сполученні довели, що технологічна система може тривалий час працювати стійко в автоматичному режимі і не вимагає зовнішніх керуючих впливів. Це вказує на доцільність використання універсальної технологічної системи у вигляді автономного ГВМ, що реалізує комбіновані процеси електромагнітної і термомеханічної обробки [6, 7].

Гнучка високонадійна виробнича система підрозділяється на виконавчі пристрої (об'єкт керування і приводи), інформаційні пристрої (датчики як внутрішнього стану системи, так і зовнішнього стану середовища), системи керування.

Гнучкий виробничий модуль (ГВМ). Розглянемо структуру ГВМ термомеханічної обробки деталей в електромагнітному полі. Відповідно до використовуваних електромагнітних і термомеханічних потоків ГВМ конструктивно підрозділяється на три структурні складові: електричні, механічну і системи керування (рис. 1). ГВМ складається з основних вузлів: механізм кріплення і рухів заготовки, механізм кріплення і відносного переміщення інструмента, механізм подачі феропорошку і робочої рідини, механізм кріплення і відносного переміщення електромагнітного живильника струму.

Механічна частина установки включає: механізми зміни і кріплення заготовки, механізм відносного переміщення електромагнітного живильника, що складається з бушера-дозатора з механізмом вібрації; електромагнітну систему, що складається з електромагнітної котушки і магнітопровода з полюсним наконечником; механізми подачі порошку і робочої рідини в зону обробки; механізми кріплення і відносного переміщення різальних і деформувальних інструментів, що кріпляться у пристосуваннях, установлених на повздовжньо-поперечному супорті; механізми руху заготовки.

Електрична частина установки містить: джерело розрядного струму, магнітну систему, що створює постійне магнітне поле в робочій зоні і блок керування роботою електромагнітів, блоки відносного переміщення електромагнітного живильника, блоки керування подачею феропорошку і робочої рідини, блок відносного переміщення інструмента, блок автоматичного регулювання режимів обробки, блок головного руху заготовки, датчики зворотного зв'язку (ДЗЗ).

Сполучення блоків електричної частини з вузлами механічної частини і мікропроцесорною системою керування показані на узагальненій схемі ГВМ (рис. 1).

Узагальнена схема ГВМ містить усі необхідні складові мехатронної системи: об'єкти керування, приводи, датчики, керуючі пристрої, сполучені між собою, і систему програмного забезпечення. Отже, узагальнена схема будь-якого ГВМ для термомеханічної обробки в електромагнітному полі завжди має розглянуті елементи, що дозволяє модулю тривалий час стійко працювати в автоматичному режимі.

Для конкретних умов виробництва можуть бути рекомендовані різні схеми компоновки блоків і вузлів ГВМ, але при цьому основа структурної схеми модуля зберігається [7].

При електромагнітному наплавленні з поверхневим пластичним деформуванням найбільш сильний вплив на геометрію (шорсткість R_a), фізико-механічні (мікротвердість H_v) параметри

якості мають сила струму I електричних розрядів і сила тиску F деформуючого елемента.

Термодинамічні нестійкості, що виникають при наплавленні і деформуванні поверхні, і зміни структури наплавлених шарів (мікротвердість, геометричні показники) ліквідуються за допомогою регулювання і стабілізації параметрів I і F .

Сучасним напрямком підвищення стійкості технологічних систем є оснащення їхніми засобами адаптації. Для технологічних процесів термомеханічного зміцнення і відновлення таке рішення дозволяє стабілізувати температурні і силові параметри, тобто здійснювати керування термічними і механічними впливами. За керовані технологічні параметри прийнята величина струму I , що визначає тепловий стан зони зміцнення, і зусилля пластичного деформування F , що визначає напружений стан поверхневого шару [3].

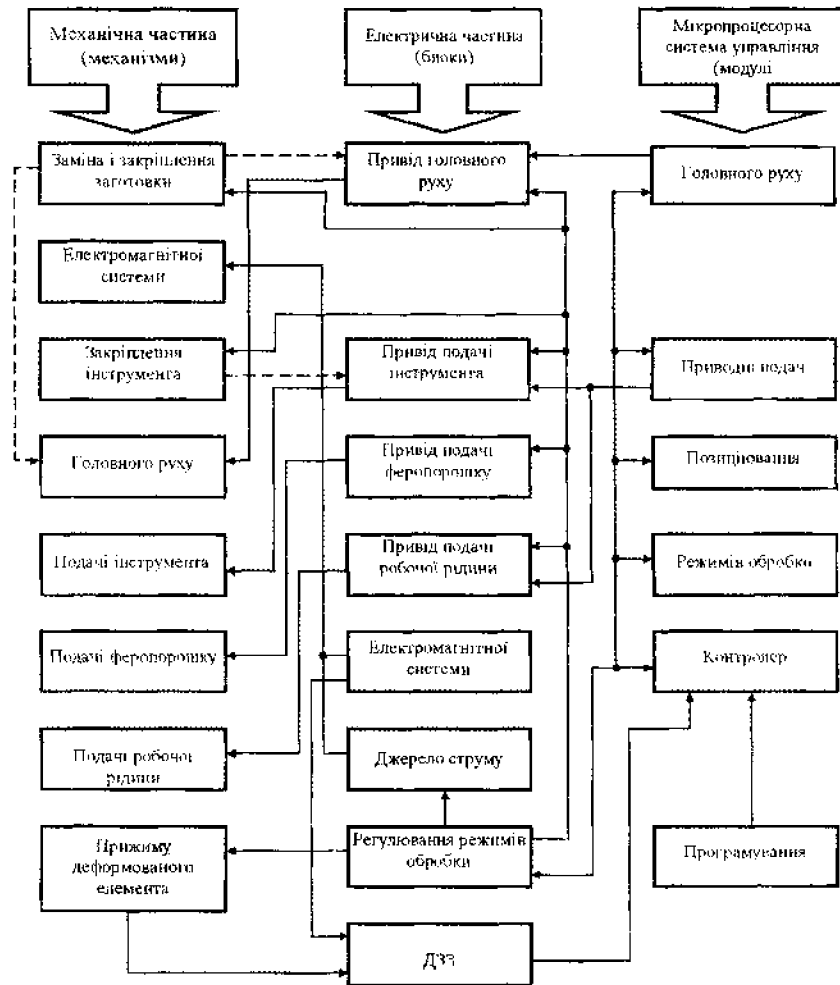


Рис. 1. Узагальнена схема ручного виробничого модуля термомеханічної обробки в електромагнітному полі

Застосування для контролю сили струму вимірювальних систем з використанням електромагнітних датчиків утруднене тим, що нестійкість процесів в електричній дузі створює могутні електромагнітні перешкоди, які доповнюються наявністю спарованих металів, тепловим і світловим випромінюваннями. Тому схема адаптивного керування (рис. 2, а) використовує як датчик параметри електричної дуги, сигнал від якої надходять у блок порівняння (БП), порівнюється із сигналом від блоку розрахунку (БР). Різниця цих значень перетворюється підсилювачами напруги (ПН) та струму (Т) і обробляється кінцевим каскадом (ОК), далі інтегроване значення струму подається на перетворювач напруги (ПН) в обмотках електромагнітної системи. При цьому ОК забезпечує заданий рівень потужності, порівнює поточний стан з попереднім, не реагуючи на імпульсний характер струму електричного розряду. При коротких замиканнях система захисту (тепловий елемент (ТЕ) – адаптер (А) – КЛЮЧ) відключає зовнішнє магнітне поле, і процес наплавлення переривається до усунення

короткого замикання. Сполучення крапки виміру безпосередньо з зоною термічного впливу підвищує точність і надійність системи керування.

Система автоматичного керування зусиллям деформування F (рис. 2, б) складається з датчика положення (ДП), блоку завдання положення (ЗП), контролера з аналого-цифровим (АЦП) і цифро-аналоговим (ЦАП) перетворювачами, пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора (ПІД), підсилювача потужності (РОЗУМ) і реверсивного крокового двигуна (РКД).

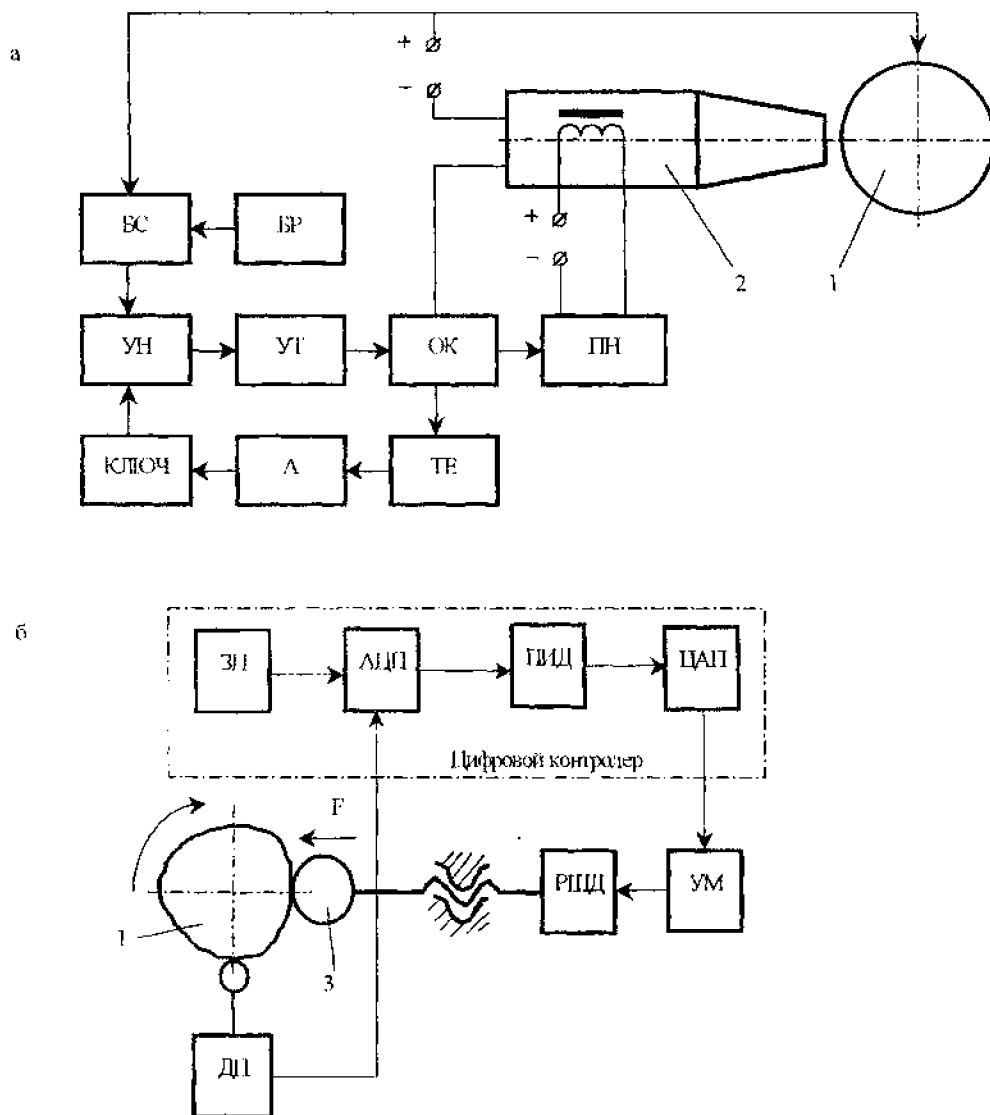


Рис. 2. Структурні схеми систем керування величиною розрядного струму (а) і зусиллям деформування (б): 1 – деталь; 2 – електромагніт; 3 – накатник

При керуванні виробничими процесами широко використовується пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання. Аналогова форма алгоритму має вигляд:

$$y(t) = kx(t) + \frac{k}{T_1} \int_0^t x(t)dt + kT_2 \frac{dx}{dt}, \quad x(t) = u(t) - c(t),$$

де $y(t)$ – керуючий вплив, що подається з регулятора на об'єкт керування; $u(t)$ – необхідний вихідний сигнал об'єкта; $c(t)$ – дійсний вихідний сигнал об'єкта; k – коефіцієнт підсилення; T_1 – постійна часу інтегрального регулювання; T_2 – постійна часу диференціального регулювання.

Використовуючи в рівнянні спрощені вирази

$$\frac{dx(t)}{dt} \approx \frac{x_n - x_{n-1}}{\Delta t};$$

$$\int_0^t x(t) dt \approx \int_0^{t-\Delta t} x(t) dt + \frac{x_n + x_{n-1}}{2} \Delta t$$

і співвідношення

$$\int_0^{t-\Delta t} x(t) dt = \frac{T_1}{k} \left[y_{n-1} - kx_{n-1} - kT_2 \frac{x_{n-1} - x_{n-2}}{\Delta t} \right],$$

одержуємо пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання в різницевій формі:

$$y_n = y_{n-1} + k_1 x_n - k_2 x_{n-2} + k_3 x_{n-2};$$

де

$$k_1 = k \left(1 + \frac{\Delta t}{2T_1} + \frac{T_2}{\Delta t} \right); \quad k_2 = k \left(1 - \frac{\Delta t}{2T_1} + \frac{2T_2}{\Delta t} \right); \quad k_3 = k \frac{T_2}{\Delta t}.$$

Масштабування вхідного і вихідного сигналів регулятора зроблено таким чином, що x_n і y_n можуть приймати значення в діапазоні 0 – 1023.

Це відповідає десятирозрядним аналого-цифровому і цифро-аналоговому перетворювачам, тобто точності 0,1 % від максимальної величини сигналу.

Введення значення x_n здійснюється мікропроцесором з аналого-цифрового перетворювача побайтно. Після введення кожного нового значення необхідно записати його в запам'ятовуючий пристрій, обчислити керуючий вплив y_n і видати його на цифро-аналоговий перетворювач, перемістити величину x_n на місце x_{n-1} , а x_{n-1} на місце x_{n-2} . Величина y_n міститься на місці y_{n-1} . Після цього мікропроцесор готовий до введення нового значення x_n .

При обертанні зміщеної деталі датчик положення, потрапляючи на нерівність, видає аналоговий сигнал, амплітуда якого знаходиться в пропорційній залежності від висоти нерівності. Цей сигнал перетворюється в цифрову форму у вигляді різниці значень поточного і попереднього опитування, порівнюється із сигналом блоку завдання положення і надходить у регулятор. Реакцією регулятора на вхідний вплив є кут повороту вала крокового двигуна, що перетворюється через гвинтову пару в лінійне переміщення деформуючого елемента. При цьому диференціальна складова забезпечує моментальну вибірку всіх люфтів і зазорів у системі привода, а інтегральна – плавна зміна величини зусилля піджима деформуючого елемента. За допомогою коефіцієнтів мається можливість точно набудувати регулятор на поточний технологічний процес. Вихідна величина з регулятора перетворюється в аналоговий вигляд. Підсилювач струму перетворить змінну вхідну напругу в силовий сигнал, достатній для повороту вала крокового двигуна на розрахований кут.

Висновок. Результати проведених досліджень та іспитів устаткування розкривають раціональні області застосування процесів термомеханічного зміцнення в електромагнітному полі.

Електромагнітне наплавлення в сполученні з поверхневим пластичним деформуванням, алмазним шліфуванням і магнітно-абразивною обробкою відносяться до числа прогресивних ресурсо- і енергозберігаючих методів зміцнення і відновлення деталей. Змінюючи хімічний склад зміцнюючого феромагнітного порошку і режими термомеханічного зміцнення, можна за допомогою цих способів одержувати у поверхневому шарі деталей хімічні сполуки і структури з різною кристалічною будовою.

З технологічної точки зору термомеханічне зміцнення і відновлення деталей, що включає операції електромагнітного наплавлення, поверхневого деформування, шліфування і полірування, має ряд достоїнств: не потрібно спеціальної підготовки поверхні деталі перед зміцненням; застосовуються простої в обслуговуванні устаткування і з'являється можливість комплексної автоматизації технологічного процесу. Електромагнітне наплавлення, сполучене з деформуванням, і наступна механічна обробка можуть бути використані для відновлення до 0,3 мм і зміцнення деталей, нерухомих сполучень з гарантованим натягом, а також деталей, що працюють у парах тертя ковзання з антифрикційними матеріалами в умовах змащення при питомому тиску до 5 Мпа.

Зазначені достоїнства дозволяють реалізувати способи термомеханічного зміцнення в електромагнітному полі практично в будь-яких виробничих умовах. Результати проведених досліджень показують, що розглянуті процеси доцільно застосовувати для зміцнення і

відновлення деталей, що контактують із зовнішнім абразивним середовищем і експлуатуються в умовах абразивного забруднення (буровий інструмент, робочі органи землеробних і сільськогосподарських машин, вузли й агрегати, що використовуються для оброблення матеріалів, посадкові місця під підшипники і т. д.).

Використання широкоуніверсального ГВМ у дрібносерійному виробництві дозволяє здійснити практично всі операції з формування і зміцнення поверхні, організувати виготовлення, відновлення і ремонт виробів широкої номенклатури. У крупносерійному виробництві доцільна автоматизація з використанням широкоуніверсальних ГВМ, що здійснює гнучкий перехід від технологічного до предметного принципу організації роботи виробничої ділянки. Впровадження широкоуніверсальних ГВМ дозволяє побудувати виробництво на нових принципах самоорганізації технологічних об'єктів і процесів, що зберігають матеріали, енергію і трудові ресурси.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Сипергетические аспекты физико-химических методов обработки / А.И. Гордиенко, М.Л. Хейфец, Л.М. Кожуро, Э.Д. Эйдельман, И.А. Сенчило. – Минск: ФТИ; Полоцк: ПГУ, 2000. – 172 с.
2. Хейфец М.Л., Кожуро Л.М., Мрочек Ж.А. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. – Гомель: ИММС НАНБ, 1999. – 276 с.
3. Акулович Л.М. Термомеханическое укрепление деталей в электромагнитном поле. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
4. Кожуро Л.М. Чемисов Б.П. Обработка деталей машин в магнитном поле. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232 с.
5. Обработка износостойких покрытий / Под общей ред. Ж.А. Мрочека. – Минск: Дизайн ПРО, 1997, – 208 с.
6. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Хейфец М.Л., Чемисов Б.П. Проектирование технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий на основе многофакторной оптимизации // Доклад АН Беларуси. 1997. Т. 41, № 3. – С. 121–127.
7. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Хейфец М.Л. Гибкий производственный модуль для комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки изделий // Вестник машиностроения. – 1996. – № 3. – С. 33–36.

АКУЛОВИЧ Леонід Михайлович – доктор технічних наук, заступник директора Конструкторсько-технологічного інституту засобів механізації та автоматизації (м. Мінськ, Білорусь).

Наукові інтереси:

– прогресивні методи обробки матеріалів.

ОЛЬШЕВСЬКИЙ Володимир Станіславович – директор Бердичівського політехнічного коледжу. (м. Бердичів, Житомирської обл.)

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування;

– механічна обробка матеріалів.

ПОЛОЦЬСЬКИЙ Леонід Григорович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– нанесення та механічна обробка газотермічних нашарених покриттів;

– історія розвитку техніки газотермічного нашарення покриттів.

ХЕЙФЕЦЬ Михайло Львович – доктор технічних наук, професор кафедри “Технологія машинобудування” Полоцького державного університету (м. Новополоцьк Вітебської області, Білорусь).

Наукові інтереси:

– процеси комбінованої обробки матеріалів;

– автоматизація технологічної підготовки виробництва;

– організація та управління машинобудівними підприємствами.