

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.9.02 (075.8)

Є.В. Скочко, к.т.н., проф.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

АНАЛІЗ ДЕЯКИХ ПРИЧИН ОБМЕЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ РІЗАННЯМ ТА МЕХАНІЗМІВ ВИНІКАЮЧИХ ЯВИЩ

Аналізується вплив окремих складових технологічної оброблювальної системи на фізичні явища, що супроводжують процес різання, і механізми їх виникнення та підтримки. Пропонуються деякі шляхи боротьби з обмеженнями точності обробки деталей різанням.

Відомо [1], що системний аналіз таких складних об'єктів, якими є технологічні оброблювальні системи (ТОС) по обробці деталей різанням, вимагає детального вивчення і глибокого аналізу конструкції та функціонування окремих підсистем – металорізального верстата (МРВ), різального інструменту (РІ), допоміжного інструменту (ДІ), пристосувань та заготовки, – а також їх взаємовпливу.

Відомо, що при виготовленні деталей різанням мають місце:

- спотворення форми, яке є наслідком дії сил закріплення, а також їх сумісної дії зі змінними силами різання;
- спотворення форми, пов'язане зі зміною жорсткості в рухомій точці обробки;
- спотворення форми, пов'язане з плинним перерозподілом внутрішнього напруження в ході процесу знімання припуску;
- спотворення форми, пов'язане з нерівномірним нагріванням, що виникає при різанні;
- явище копіювання (поверхні заготовки);
- різні коливання, вібрації тощо.

Дослідження механізмів впливу на процес різання окремих характеристик і явищ доцільно проводити в такій послідовності:

- аналіз геометричних і фізичних характеристик окремої заготовки;
- дослідження похибок локального базування та протиріч, які виникають при одночасному базуванні на декількох конкретних базових елементах пристроїв;
- дослідження специфіки закріплення заготовки на верстаті та її окремих похибок;
- вивчення похибок локального закріплення заготовки і протиріч невірноваженого багатоточкового закріплення;
- аналіз напруженого та деформованого стану заготовки, який виникає і існує в ній при обробці внаслідок сумісної дії сил закріплення та різання й сил інерції;
- дослідження кінцевих характеристик обробленої деталі.

Відомо, що заготовки характеризуються значним розкидом розмірів та різними геометричними похибками:

- макро- та мікровідхиленнями від правильної геометричної форми поверхонь (некруглість, непрямолінійність твірної, неплосинність тощо);
- відхиленнями відносного положення окремих з них (непаралельність, неперпендикулярність, нерівностінність тощо);
- локальними відхиленнями від правильної геометричної форми та розмірів базових поверхонь заготовки;
- протиріччями розташування оброблених відносно оброблюваних поверхонь;
- нетехнологічною формою заготовки, яка часто є наслідком складної форми деталі або бажанням спростити заготівельну фазу виробництва.

Іншими визначниками заготовок є їх початкові фізичні характеристики:

- змінні характеристики твердості поверхневого шару, структури, хімічного складу та напруженого стану;
- обмежена величина жорсткості заготовки (часто найнижча серед всіх елементів технологічної системи).

Зрозуміло, що для окремо взятої заготовки існує зв'язок між деякими початковими геометричними та фізичними характеристиками (наприклад, зв'язок початкової прямолінійності чи площинності заготовки) з відповідним балансом напруженого стану чи розподілом структури за окремими перерізами.

Похибки форм локальних базових поверхонь заготовок (некруглість, нециліндричність, неплосинність тощо), обмежених довжиною контакту з відповідними базовими поверхнями елементів пристосувань, викликають такі вади в базуванні:

- зміщення та перекося відносно загальних оброблюваних поверхонь заготовки;
- неоднозначність установки при кожному базуванні, тобто при виникаючій зміні контактних плям;
- зменшення загальної та окремих площ контакту.

При одночасному використанні декількох базуючих пристроїв (патрона, цанги, центрів, люнета тощо) виникає проблема їх непротирічного поєднання. Ця проблема є наслідком як похибок форми і розмірів окремих локальних базових поверхонь заготовки та їх взаємного розташування, так і відповідного розташування базуючих поверхонь верстата та пристроїв на загальній осі. Відповідне зменшення вказаних похибок може бути досить обмеженим, практично складним, і призводить до подовження підготовки та технологічного процесу обробки, збільшення витрат. Хоча фаза базування не є останньою в установці заготовки на верстаті, однак вона визначає подальший перебіг і якість результатів процесу її закріплення.

Зрозуміло, що метою закріплення заготовки на верстаті за допомогою пристроїв є:

- можливість надання заготовці при обробці відносно сталого положення та руху відносно РІ при підведенні до зони різання необхідної потужності;
- збільшення технологічної жорсткості (на період обробки) окремо взятої заготовки.

Але практичне виконання цих складових дуже часто супроводжується динамічним складанням окремих зусиль закріплення і миттєвих значень сили різання, створення миттєвого напруженого стану, виникнення як стабільних, так і миттєвих деформацій, як локальних за об'ємом, так і просторово об'ємних.

В зв'язку з похибками форми окремих локальних контактних дільниць, особливо заготовок обмеженої жорсткості, обмеженням кількості та площі контакту базових поверхонь пристроїв, при закріпленні спостерігається локальне "самовстановлення" заготовки з новим перерозподілом внутрішніх напружень, зміщенням і перекосом осей, що супроводжується пластичним і пружним деформуванням заготовки, зануренням в її поверхню рифлів кулачків тощо. При одночасному закріпленні заготовки в декількох елементах пристроїв, навіть при їх узгодженій настройці, через існуючі похибки взаємного відносного положення її окремих локальних базових поверхонь створюється новий перерозподіл внутрішніх напружень, який супроводжується вимушеним змінним деформуванням заготовки.

Перехід пружних деформацій зрізаних шарів заготовки в пластичні, в першу чергу, визначається величиною напружень, в другу – температурою та відносною швидкістю навантаження, яке визначається співвідношенням швидкостей: різання – розповсюдження хвиль пластичної деформації – розповсюдження звуку (тобто пружної деформації). Як відомо [2], таке співвідношення має порядок:

$$U_P : U_{пл} : U_{пр} = 1 : 10 : 100.$$

В зв'язку з переміщенням зони різання по оброблюваній поверхні деталі як в напрямку швидкості, так і в напрямку подачі створюється змінна динамічна взаємодія сил різання з нерухомими відносно заготовки силами закріплення, яка викликає перемінне її навантаження та деформування, коли заготовка виявляє різну, плинну в часі і просторі жорсткість. Відомо, що найбільш відчутним результатом цього явища є макропохибки форми і розмірів виготовленої деталі.

В процесі знімання припуску заготовка, втрачаючи послідовні шари, разом з ними губить і відповідні напруження, котрі були в них. Це порушує попередній баланс напружень і призводить до створення нового плинного балансу напружень, наслідком якого є відповідне плинне просторове деформування заготовки.

Нерівномірні величина припуску, структура, хімічний склад, твердість, наклеп поверхневого шару заготовки викликають зміну сил різання і тертя по передній та задній поверхнях лез РІ, що викликає зміну кількості теплоти, яка передається різним бокам деталі. Розмірне і просторове деформування деталі, яке виникає в цьому випадку, залежить також і від характеристик матеріалу деталі – його теплоємності, теплопровідності, значень лінійного та об'ємного коефіцієнтів теплового розширення. Цей процес деформування деталі досить інерційний – з затримкою порядку 1,0...10 с.

Відоме явище часткового копіювання форми поверхні заготовки на поверхню деталі є наслідком, з одного боку, взаємодії активних змінних сил різання, реактивних сил приводу, сил інерції та сил закріплення, а з іншого – змінної жорсткості заготовки при переміщенні відносно неї зони різання в процесі обробки. Це явище носить також інерційний характер і залежить, крім вказаних факторів, ще й від швидкості різання. Затримка протікаючих процесів копіювання має порядок $t_k \approx 10^{-1}$ с.

Найбільш складним і найменш вивченим є явище вібрацій (коливань), які мають місце при обробці різанням. Відомі такі головні види коливань: вимушені, автоколивання, параметричні та релаксаційні. Практично всі вони (хоча і в різній мірі та в різний час) мають місце при обробці різанням. Явним джерелом вимушених коливань та початковим збудником інших є динамічний збудник – змінний припуск (чи твердість, структура тощо) при обробці, або кінематичний збудник – биття коліс тощо. Джерелом параметричних коливань є реакція – вібраційний слід на поверхні різання заготовки, створений на попередніх проходах лез (одного чи різних). Але ні будь-яка заготовка, ні зона різання традиційними РІ не можуть створити достатнього опору для подолання власних автоколивань, для їх розвитку та переродження в параметричні коливання, а також для

подолання вібраційних хвиль, які надходять до зони різання від всіх зовнішніх відносно неї джерел [3]. За-тримка зміни деформацій технологічної системи порівняно зі зміною сил різання при автоколиваннях загото-вки, як одного з найбільш енергонакопичувальних її елементів, залежить від власної частоти закріпленої заго-товки і сягає значень порядку $t_a \approx 10^{-2} \dots 10^{-4}$ с.

До технологічних характеристик обробленої деталі відносять розміри, макро- та мікроформу її пове-рхонь, шорсткість і хвилястість поверхонь, наклеп та напружений стан її поверхневого шару. Всі ці ха-рактеристики в великій мірі визначаються силою прояву вказаних фізичних явищ та значень діючих сило-вих факторів.

Загальними напрямками удосконалення процесу обробки, пов'язаними з заготовкою, доцільно вва-жати:

- розробку жорстких, малодеформованих конструкцій деталей;
- підвищення точності виконання заготовки, мінімізація та стабілізація розмірів і стану припуску;
- поліпшення узгодження форми і відносного положення окремих локальних базових поверхонь заготовки з можливістю реального збільшення кількості базових плям;
- зменшення негативного впливу внутрішніх початкових напружень заготовки за рахунок попере-днього її відпалювання.

Вимогами до зовнішніх умов для покращення технології обробки заданої деталі можуть бути:

- підвищення точності, жорсткості конструкції та стабільності рухів МРВ і підсилення його зв'язку з оброблюваною заготовкою без додаткового її деформування, а також зменшення підводу енергії вібраційних джерел до зони різання;
- максимально можливе штучне підвищення жорсткості заготовки і жорсткості з'єднання з приво-дом верстата при мінімальному деформуванні заготовки за допомогою удосконалення пристосу-вань та способів їх з'єднання з заготовками;
- досягнення мінімально можливої величини результуючої сили різання при обробці, або нормаль-ної до поверхні різання її складової, а також досягнення зменшення чутливості зміни величини цієї складової до різних нестабільностей припуску.

Як відомо [3], під механічним ланцюгом будь-якого механізму, пристрою, верстата та ін., тобто ме-ханічної системи, можна вважати поєднану сукупність активних і пасивних елементів, які складають за-мкнуту динамічну систему для певного перетворення механічної енергії та підведення її від двигуна до споживача (для МРВ це – зона різання).

Всі складові механічних ланцюгів – це елементи, котрі можна поділити на дві групи: активні і пасив-ні. Активні – це ті, які є джерелом сили (моменту) та джерелом швидкості (поділ умовний), тобто є двома типами джерел енергії. Наприклад, швидкообертотий газотурбінний двигун – це характерне джерело швидкості, а двигун внутрішнього згорання – це типове джерело сили (моменту). Пасивні елементи – це ті, які не мають незалежних джерел сили (крутного моменту) або лінійної (кутової) швидкості.

Реакція системи, тобто зміна та взаємовідношення сили і швидкості, визначаються параметрами систе-ми. Як сила, так і швидкість, як два визначника механічної роботи, можуть бути причиною або наслід-ком в системі, в залежності від того, що є визначальною причиною руху. Якщо причиною руху є зміна швидкості, то в системі, як наслідок, виникає зміна величини сили і навпаки. Все це підкреслює оберне-ність другого закону Ньютона.

Всі пасивні елементи можна поділити на три групи:

- пасивно-накопичувальні;
- пасивно-розсіювальні;
- активно-генеруючі або перетворюючі.

Якщо перші – це елементи-тіла (тобто деталі), то другі та треті – це переважно контактні стики між окремими елементами або спеціальні дисипативні елементи.

Всі деталі в перетворювачах і передавачах руху в механічних системах виготовляються з металів та інших матеріалів, які мають масу і деформуються при виконанні своїх функцій. Ці інерційні (масові) і пружні елементи головних кінематичних ланцюгів, а також спеціальні елементи з акцентованими вказа-ними характеристиками, відносяться до пасивно-накопичувальних елементів. Маса – це пасивний еле-мент механічної системи, який, в наслідок інерційних властивостей, перешкоджає зміні швидкості пря-молінійного руху, спочатку накопичує, а потім віддає кінетичну енергію в систему. В обертотому русі аналогічну характеристику має момент інерції, який перешкоджає зміні кутової швидкості обертотого руху і спочатку накопичує, а потім віддає в систему кінетичну енергію обертотого руху. Маса на кожній деталі поступотого чи обертотого руху може бути більш або менш сконцентротованою, зосередженою – в одному випадку, або більш розподіле-ною (тобто розтягнутою в просторі) – в іншому. Так прикладами зосереджених мас можуть бути: токар-ний патрон, револьверна голівка, різцетримач, а прикладами розподілених мас – довгі вали, ходові гвин-ти, маховики з поєднанням цапфи з ободом за допомогою спиць. Якщо перші мають лінійну характерис-тику, то другі – переважно нелінійну. Нелінійну характеристику можна пояснити, спираючись на схему,

в якій розподілена маса (наприклад, довгий вал) буде представлена безліччю послідовно з'єднаних уявних зосереджених мас за допомогою пружних зв'язків. В цьому випадку як процес накопичення, так і процес віддачі кінетичної енергії відбувається з затримкою (тобто розтягнуто) в часі.

Іншими пасивно-накопичувальними елементами є пружні. Вони мають два різновиди: пружність в поступовому і пружність в обертовому рухах. Пружний – це пасивно-накопичувальний елемент механічної системи, який перешкоджає зміні навантаження сили чи моменту, в якому спочатку накопичується, а потім віддається в систему потенційна енергія.

Розрізняють пружні елементи з як незмінною, так і змінною при деформуванні жорсткістю – параметром, рівним відношенню сили до визваної нею величини пружної деформації. В залежності від конструкції будь-якого пружного елемента, точки прикладення робочого зусилля та направлення дії відносно осі його найбільшої жорсткості буде спостерігатись або пряма реакція, коли найбільша деформація співпадає з напрямком дії сили, чи, в більшості випадків, небажана і погано передбачувана просторова реакція з відхиленням від сили напрямку найбільшої складової деформації. В останньому випадку, навіть при статичному навантаженні, спостерігається порушення розрахункових режимів роботи пружного елемента, коли на статичний відносний рух "накладаються" динамічні просторові траєкторії відносного руху елементів, підсилення параметричних та автоколивань тощо [4].

При конструюванні МРВ для виконання потрібних функцій деталі складають, згідно з кінематичною схемою, у вигляді з'єднань (нерухомих і рухомих) декілька окремих елементів – інерційних (масових) чи пружних. Розрізняють з'єднання з однакових елементів: паралельні, послідовні та змішані, а також з'єднання з різнорідних елементів. Фізичною моделлю з'єднання з різнорідних елементів може бути наведений раніше приклад довгого вала, що має характеристики розподіленої маси, поєднаної з окремими пружною, крутильною або згинальною характеристиками. Більшість деталей МРВ, які передають енергію до зони різання, мають одночасно як інерційні, так і пружні характеристики. Окремі елементи системи можуть складатися з декількох деталей, поєднаних між собою нерухомо (пресуванням, зварюванням, за допомогою гвинтів, шпонок, шліців, штифтів, склеюванням тощо). Поясненням такого конструювання можуть бути:

- бажання підвищити технологічність окремих деталей елементів;
- необхідність виконання різних частин будь-якого елемента з різних матеріалів (наприклад, бронзові втулки, запресовані в сталевий повзун, загартовані накладинки на пелюстки цанг тощо);
- бажання спростити конструкції механізму методом суміщення подібних форм навіть різнорідних елементів (наприклад, втулка-повзун, яка частково перетворена в пружний елемент шляхом прорізання пазів та ін.).

При створенні будь-якої механічної системи, верстата тощо для досягнення певного керованого виконання кожним елементом своїх функцій обмежується рухомість кожного, тобто обмежується кількість відносних ступеней свободи до однієї чи, рідше, двох. Таке обмеження створюється за рахунок спеціальних рухомих з'єднань окремих елементів (деталей). Такі з'єднання (стики деталей) більш-менш якісно обмежують заборонені ступені свободи, тобто непотрібні макрорухи, але незадовільно обмежують різні дрібні рухи, мікродеформації та коливання, які часто є наслідком:

- похибок виконання контактних поверхонь рухомого з'єднання;
- неузгодженого напряму чи точки прикладання робочого або реакційного (навантажувального) зусиль з віссю найбільшої жорсткості деталі та напряму її макроруху;
- коливального характеру робочого чи реакційного зусиль;
- відхилення від лінії дії робочого та реакційного зусиль положення центра інерції (центра мас) рухомого елемента при його прямолінійному русі;
- порушення поздовжньої стійкості навантаженого елемента;
- відхилення положення центра мас від осі обертання тощо.

Вказані обмежувачі ступеней свободи, що виконані у вигляді рухомих з'єднань, з динамічної точки зору можуть розглядатись як пасивно-розсіювальні або активно-генеруючі контактні стики між окремими елементами. Перша група – ідеальні пасивно-розсіювальні елементи, які керовано розсіюють механічну енергію та перетворюють її в тепло. Ефективність перетворення визначається типом рухомого контакту і видом змащування, тобто коефіцієнтом тертя. Особливо це необхідно для дисипації шкідливої коливальної енергії, яка виникає при обробці деталей різанням. Іноді для виконання цієї функції в системі встановлюються спеціальні дисипативні елементи. В зв'язку з неможливістю (в більшості випадків) задовільнення вказаним вимогам, реальні обмежувачі ступеней свободи, що виконані у вигляді контактних стиків елементів або спеціальних елементів – підшипників ковзання чи кочення для обертового руху, або напрямних ковзання чи кочення, або гвинтових пар ковзання чи кочення, стають елементами другої групи, тобто активно-генеруючими або перетворюючими елементами. Відносне переміщення елементів в напрямку залишеної ступені свободи призводить до створення нестабільності, різноманітних мікрорухів, виникнення поперечних і крутильних коливань тощо. Основною причиною цих явищ є некрутлість, хвилястість та шорсткість контактних поверхонь роликів і кульок підшипників, а також динамічна нерівноваженість діючих і реактивних сил [4].

Врахуюючи явища, які виникають при передачі механічної енергії від двигуна до зони різання через вказані елементи, можна побудувати різноманітні структурні механічні ланцюги металорізальних верстатів.

Динамічна поведінка елементів верстата дуже складна. Будь-яка нестабільність, удар чи поштовх, миттєво розповсюджується від активного чи пасивного джерела, тобто від коливань діючої сили чи реакції, по обидва його боки у вигляді поздовжніх або, частіше, поперечних чи крутильних хвиль. Іноді при проходженні хвилі по елементу певної конструкції відбувається перетворення одного виду хвилі в інший. Взаємодія хвиль від різних джерел створює інтерференцію, в результаті якої спостерігається явище биття, тобто місцеве підсилення або згасання амплітуди хвилі. У випадку наближення частоти створених коливальних хвиль до власної частоти коливань будь-якого вузла спостерігається підсилення амплітуди коливань, а при неспівпаданні, навпаки, – її загасання. Багато з таких коливальних хвиль досягають зони різання, що негативно впливає на стабільність процесу обробки деталей. Але найбільш потужним джерелом створення коливальних хвиль є сама зона різання.

До верстатних пристосувань, як відомо, відносять всі ті пристрої на МРВ, які забезпечують установку і закріплення на них заготовок. До них відносять: патрони і оправки, лещата і стійки, столи і кондуктори, люнети і центри, ділильні механізми і затискні пристрої тощо. Головними функціями пристосувань є:

- відповідне лінійне й кутове розташування заготовки відносно осі обертання шпинделя верстата, площини стола, поздовжньої та поперечної напрямних тощо, котрі забезпечують геометричні умови отримання наперед заданих форми, розмірів і макрогеометрії оброблених поверхонь деталей;
- точне базування та жорстке закріплення заготовки в базуючих елементах пристосувань верстата, з метою передачі їй відносного руху чи незмінного положення при обробці, а також передачі від двигуна потрібного силового фактора – сили чи крутного моменту – або створення умов виникнення достатнього опору зрушенню заготовки з початкового положення чи недопустимому її деформуванню від дії реактивного фактора (сили чи крутного моменту).

Допоміжними, але не менш важливими, функціями верстатних (технологічних) пристосувань слід вважати:

- підвищення початкової жорсткості заготовки при її установці на верстаті, що дає можливість виконати обробку деталі зі зменшеними статичними деформаціями (наприклад, люнети, центри, опори тощо);
- створення допоміжних спеціальних каркасних пристосувань для досягнення чіткого, однозначного, непротирічного, точного та жорсткого базування і закріплення заготовки з додатковими встановлювальними і затискними поверхнями, та з прозорими вікнами для доступу РІ, з метою обробки деталей (наприклад, пристосування-супутники).

Відомо, що всі похибки форми, розмірів та мікрогеометрії поверхонь деталей, які виникають при обробці різанням та пов'язані з пристосуваннями, можна поділити на декілька груп:

- похибки самих пристосувань при експлуатації (кінематичні та динамічні);
- похибки базування заготовки, котрі є наслідком випадкових форм і положень контактів певних базуючих поверхонь пристроїв з її локальними полями неправильної поверхні, які призводять до виникнення явищ недостатньої або надлишкової кількості реалізованих базових точок пристрою (тобто невизначеності або суперечності положення заготовки), або їх некрашого відносного розташування;
- похибки закріплення заготовки, котрі є наслідком початкового і плинного зсувів та деформування окремими взаємодіючими силами закріплення, пластичний та пружний стан якої визначається як на локальних затискних полях, внаслідок обмеженості площ контакту, так і на всьому об'ємі заготовки, внаслідок неузгодженості положення окремих локальних базових полів заготовки,
- похибки утримання заготовки, котрі є наслідком початкового і плинного зсувів та деформування заготовки взаємодіючими силами закріплення та різання.

На основі виконаного аналізу можна запропонувати деякі шляхи вдосконалення конструкцій технологічних пристроїв (ТП):

1. Вибирати схеми базування та закріплення конкретної заготовки, виходячи із загальних принципів достатності, непротиріччя і узгодженості за окремими локальними полями та здійснювати компромісний вибір між похибками положення відносно баз МРВ, початковим і робочим деформуванням заготовки.

2 Вибирати кількість, призначати розміри та відносне розташування контактних базуючих і затискних елементів ТП, виходячи з принципів:

- цілеспрямованої зміни форми і розмірів базових полів, з метою збільшення площі найбільш важливих з них;
- збільшення кількості та зменшення площ контакту за окремими базовими плямами;
- вирівнювання контурного навантаження за окремими базовими полями;

- збільшення сили чи моменту сил затиску заготовки при обмеженні її локальних та загальної деформацій;
- досягнення непротиріччя взаємного впливу зусиль затиску за окремими базовими полями.

3. Використовувати принципи самовстановлення базових і затискних елементів ТП при умові попереднього орієнтування заготовки та самовирівнювання затискних зусиль за окремими контактними плямами (або створення закону розподілу зусиль, пропорційних локальним жорсткостям в контактах).

4. Передачу робочого зусилля на обертові заготовки виконувати чистим обертовим моментом (тобто без поперечної сили), а на заготовки з прямолінійним рухом – з мінімальним згинальним моментом як від сил затиску, так і від сил різання.

5. Потрібно підвищувати стабільність динамічного напруженого стану різних заготовок і зменшувати ступінь об'ємності при затиску та обробці.

6. Потрібно вибрати оптимальні схеми затиску і утримання заготовки, які б забезпечили найменше як початкове, так і плинне її деформування в процесі обробки, а також нормувати зусилля затиску та зменшувати сили різання.

До допоміжних інструментів відносять ті інструментальні пристосування, які зв'язують РІ з МРВ, забезпечують функцію швидкозмінності РІ, надають РІ різноманітні положення, розміри, допоміжні рухи тощо. Їх головними функціями є:

- певне однозначне лінійне та кутове розташування РІ відносно баз МРВ – осі обертання шпинделя, площини стола чи напрямних, напрямків подач тощо;
- передача від верстата до РІ потрібного робочого руху і силового фактора – сили чи обертового моменту або ж обмеження відносних рухомості та деформацій від дії реакції – сили чи крутного моменту.

Всі ДІ можуть бути поділені, в залежності від головних робочих рухів і видів навантажень для роботи на відповідних типах верстатів, на три групи:

- ДІ для мірних неоднорізних осевих РІ, що встановлюються на свердильних і токарних верстатах, які мають осьову подачу та навантажені обертовим (крутним) моментом і осьовою силою, основною умовою якісної роботи яких є суміщення осей: обертання, РІ та осі (отвору чи заданої) заготовки. Це: цангові патрони, перехідні втулки, свердильні трикулачкові патрони, оправки для насадних зенкерів і розверток, розточні двозубі оправки, різнарізні патрони тощо.
- ДІ для настроюваних одноузубих РІ, що встановлюються на розточувальних і токарних верстатах, які мають осьову подачу, навантажених, крім тангенційної та осьової, ще й радіальною силою. Це розточувальні оправки, оправки для підрізних пластин, розточувальні патрони тощо. Їх основними проблемами є суттєве обмеження точності обробки і велика можливість виникнення вібрацій при обробці, котрі є наслідком обмеженої загальної жорсткості інструментального блока ДІ–РІ при деформуванні на вигин та невірноваженість (навіть статичну) відносно дії радіальної та тангенціального зусиль.
- ДІ для обертових багатозубих РІ, що встановлюються на фрезерних і розточувальних верстатах, які, в більшості випадків, мають подачу, перпендикулярну осі обертання РІ, що навантажені, крім тангенційної та осьової, ще й поперечною силою, основною умовою якісної роботи яких є досягнення малого биття лез та створення протидії виникненню вібрацій. Це: оправки, перехідні втулки, подовжувачі, цангові патрони тощо.
- ДІ для необертових одноузубих РІ (різців), що встановлюються на токарних верстатах, які навантажені, крім тангенційної та осьової, ще й поперечною силою. Це: різні конструкції різцетримачів, інструментальні голівки, різцеві блоки тощо.

Для глибокого дослідження існуючих механізмів створення похибок форми, розмірів, макро- та мікрогеометрії й стану оброблених поверхонь заготовки та розробки шляхів удосконалення процесів обробки деталей різанням потрібно детально виконати як статичний, так і динамічний аналізи явищ, які супроводжують весь технологічний процес обробки деталі.

Необхідність введення в ТОС ще двох елементів – технологічних пристосувань і допоміжних інструментів – викликає обов'язковість виконання наведеного аналізу. Зрозуміло, що введення будь-яких додаткових елементів в ТОС призводить до зниження точності та жорсткості механічних ланцюгів верстата, збільшення статичних та динамічних деформацій і, в кінцевому рахунку, зниження продуктивності та якості обробки, зменшення надійності і довговічності всієї ТОС.

Подовження кінематичного ланцюга верстата з двох його країв на довжини ланок ТП та ДІ викликає погіршення теоретичної точності настройки, неспівпадання осей, несиметричне навантаження лез тощо пропорційно не тільки їх довжині, а й загальній довжині разом з заготовкою та з РІ. Реальне збільшення неточностей всієї ТОС пояснюється похибками з'єднань верстат – ТП – заготовка та верстат – ДІ – РІ, які породжуються не тільки відносними зміщеннями, а й, ще більше, перекосами. Причиною цього є не тільки обмежена точність виготовлення контактних поверхонь, а і досить обмежена (відносно довжини са-

мих елементів) довжина вказаних з'єднань, а також недостатня деформація попереднього контактного напруження в з'єднанні.

На основі виконаного аналізу можна запропонувати деякі шляхи вдосконалення конструкцій ДІ:

1. Консольні ДІ виконувати, по можливості, короткими, збільшеного діаметра, переважно порожнистими (трубчастими), зі сталі 40 X; термообробка – загартовування та відпущення з попереднім азотуванням.

2. Циліндричні форми хвостовиків та локальних затискних полів заготовок тощо можуть закріплюватись тільки в двохточковому вздовж осі самовстановлюваному цанговому чи трикулачковому патроні. З'єднання з глухим циліндричним отвором і поперечним затиском рифленим пальцем через значну неточність потрібно заборонити (крім чорнової обробки).

3. Найкращі з'єднання – конічні, попередньо нормовано напружені, з двома базовими поясками (розточку між поясками бажано виконувати в отворі). Відстань між поясками потрібно виконувати рівною 70...80 % загальної довжини з'єднань, а загальну довжину з'єднань збільшити на 20...30 %, також потрібно підвищити точність виконання конусів до ступені АТ5 або АТ4. Подальше підвищення жорсткості з'єднання можна досягти за рахунок зменшення контурної радіальної жорсткості одного з контактних поясків. Вибір величини кута конуса α треба виконувати в залежності від співвідношення величин осьового та тангенційного зусиль: від $2\alpha = 1^\circ 55'$ та $2\alpha = 2^\circ 52'$ (з'єднання насадних розверток та з'єднання свердел по конусам Морзе чи метричним конусам) до $\alpha = 16^\circ$ (тобто з конусністю 7:24 за ГОСТом 836-84 для хвостовиків чи оправок фрез тощо). Вказані зміни розмірів з'єднань потребують відповідної зміни стандартів, що разом зі складнощами нормування зусилля затиску викликає сумнів у перспективності цього шляху.

4. Дуже перспективним здається нове пресове циліндроторцеве байонетне з'єднання з обмеженою загальною площею контакту (три або чотири контактні смужки). Це точне з'єднання не потребує попереднього натягу, досить легко збирається і розбирається в автоматичному режимі за допомогою маніпуляторів.

5. При конструюванні треба виконувати чіткий однозначний розподіл базових функцій для контактних поверхонь з'єднань, віддаючи перевагу головним базам з більшими розмірами, для того, щоб уникнути явища протиріччя при базуванні. Передачу обертового моменту двома торцевими шпонками (сухарями) потрібно замінити тільки однією шпонкою.

6. Не використовувати конструкцій ДІ, які створюють позитивний зворотний зв'язок при деформуванні за окремими координатами, або, по можливості, зменшувати його величину.

7. Зменшувати масу та довжину консолей та збільшувати жорсткість окремих елементів кінематичного ланцюга та їх з'єднань.

8. Для виключення явища гістерезису в малорухомих з'єднаннях (наприклад, самовстановлюваних патронах) не використовувати конструкцій з декількома окремими взаємнорухомими деталями, а тільки деформовані пружні елементи з можливо меншою кількістю деталей та стиків між ними.

9. В ДІ для осьових РІ, по можливості, збільшувати крутильну та зменшувати поперечну жорсткість (але без ризику підвищення перекосу осей).

10. Зусилля закріплення повинно бути рівномірно розподіленим і створювати однаковий тиск в усіх базових точках.

Вирішення вказаних проблем конструювання та експлуатації описаних елементів ТОС дозволить зосередитись на удосконаленні найбільш відповідальної, не самої складної, але, маємо надію, найбільш результативної її частини – РІ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Системний аналіз: Навч. посібник /О.Д. Шарапов, Л.Л. Терехов, С.П. Сіднев. – К.: Вища шк., 1993. – 303 с.
2. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Высш. шк., 1974. – 590 с.
3. Дружинский И.А. Механические цепи. – Л.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
4. Скочко Є.В. Причини виникнення та розвитку коливань при обробці деталей різанням //Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 8. – С. 31–34.

СКОЧКО Євгеній Вікторович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- різальні інструменти та верстати;
- теорія різання.

Подано 25.09.2000

