

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ТА МАШИН

САМЧУК РОМАН ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 621

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ФРЕЗАМИ
ІЗ АДАПТАЦІЄЮ ДО УДАРНОГО ПРОЦЕСУ**

133 «Галузеве машинобудування»

Автореферат
дипломної роботи магістра

Тернопіль 2018

Роботу виконано на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин
Зеленський Костянтин Васильович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри транспортних технологій
Попович Павло Васильович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться __ грудня 2018 р. о 9.⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії № __ у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №4, ауд. В1

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

а) Актуальність теми роботи.

Фрезерування є одним із найбільш продуктивних і широко вживаних методів обробки деталей в загальному машинобудуванні. Цим пояснюється підвищений інтерес з боку дослідників, учених, практиків до явищ, які відбуваються в процесі фрезерної обробки. Виявлення таких явищ, вивчення й дослідження їх впливу на оброблюючу систему є передумовою підвищення ефективності даного способу обробки.

В процесі торцевого фрезерування на лезо інструменту має місце імпульсивне прикладення сили, яке характеризується великою товщиною зрізу в момент дотику і малим часом дії, що приводить до пікових контактних навантажень на кромці інструменту.

Особливістю процесу фрезерування, яка виділяє його з-поміж інших видів обробки, є змінність товщини зрізуваного шару. Це є причиною змінності зусиль різання в процесі обробки. Накладання спектрів цих зусиль від окремих зрізів залежить від кількості одночасно працюючих зубів інструменту. Амплітудний спектр фрезерування включає впливи від усіх ріжучих кромek і дає таким чином середню величину. Увесь процес є суперпозицією великої кількості характеристичних зображень. Точка прикладання сили різання переміщується з кожним зубом майже по дузі кола. В той же час змінюється величина й напрям дії сили.

Підвищення ефективності будь-якого методу обробки металів різанням обмежується стій кісними характеристиками ріжучих елементів інструменту. Важкі умови роботи різців при торцевому фрезеруванні виносять питання про стійкість фрез в розряд ключових при підвищенні ефективності обробки.

На стійкість інструментів, у тому числі торцевих фрез, впливають такі фактори: режими обробки, матеріал оброблюваної деталі і різального інструменту; геометрія різальної частини леза інструменту; дорсткість системи ВПД; форма і розміри оброблюваної деталі; конструктивні особливості інструменту.

б) Мета і завдання.

Метою роботи є дослідження процесу торцевого фрезерування, підвищення його ефективності на основі створення прогресивних конструкцій збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами і аналіз явищ теплового та ударного навантаження на ріжучий клин в умовах перервного точіння.

Для досягнення цієї мети у роботі поставлено наступні задачі:

- провести аналіз теплофізичних явищ в процесі перервного різання;
- визначення температури різання та її вплив на контактні поверхні інструменту;
- дослідити та порівняти процеси перервного точіння, стругання і торцевого фрезерування;

- знайти способи раціонального управління тепловими та ударними процесами при перервному різанні;
- спроектувати інструмент для забезпечення оптимальних режимів різання.

Об'єктом дослідження є торцеве фрезерування з регульованим часом холостих ходів переміщень різців.

Предметом дослідження є ударні й теплові навантаження на ріжучий клин і умовах перервного різання.

Методи дослідження – системний аналіз, теорія теплофізичних та механічних явищ процесу перервного різання.

с) Наукова новизна отриманих результатів.

Досліджено процес торцевого фрезерування, та створення прогресивних конструкцій збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами і проведено аналіз явищ теплового та ударного навантаження на ріжучий клин в умовах перервного точіння.

д) Практичне значення отриманих результатів.

Результати проведених досліджень та інженерного розрахунку можна використати при проектуванні нових конструкцій збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами.

е) Апробація.

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались на VII міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 28-29 листопада 2018 р.) і опубліковані в збірнику:

1. Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Том I. – Тернопіль, 2018.– С.53.

2. **СТРУКТУРА РОБОТИ.** Робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку літератури (33 найменування), та додатків.

Загальний обсяг тестової частини – 135 сторінок, 43 рисунки, 12 таблиць.

3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

а) У Вступі відзначено актуальність теми магістерської роботи, сформульована мета виконання роботи, а також перелічено завдання, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети.

б) Перший «АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ» присвячений аналізу існуючих методів і способів підвищення динамічної якості процесу торцевого фрезерування, та динамічні явища в процесі фрезерування і шляхи їх зменшення.

Проведено теоретичні дослідження динаміки приводу, оснащеного пружною муфтою, показують, що пікові динамічні навантаження, котрі виникають в системі при ударному прикладанні до неї моменту M_0 без врахування демпфування, не перевищують подвоєного значення M_0 . Коли ж врахувати, що в будь-якій системі завжди присутні сили тертя, а якщо

додатково ввести в неї ще й демпфер, то можна добитися зменшення $M_{\max}$ до $(1,4 \dots 1,6)M_0$.

Проведено аналіз застосування пружних муфт у приводах фрезерних верстатів, що дозволило підвищити довговічність елементів приводу верстату, не виявило скільки небудь суттєвого покращення умов роботи інструменту, підвищення його стійкості. Це пояснюється тим, що сумарний приведений момент інерції елементів приводу від муфти до різця все ж залишається досить великим. Великим є також значення кінетичної енергії, що відповідає цій масі. А це, в свою чергу, приводить до появи великих імпульсних навантажень на перехідних етапах різання, котрі негативно діють на ріжучу кромку інструменту.

Проведено огляд існуючих досліджень і розробок по дослідженні процесу силової взаємодії інструменту і заготовки при неперервному точінні, яким присвячено багато робіт вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема роботи Юліков М.І., Катунін А.В., Шашков В.Д., Казмарек Й., Луців І.В., Нагорняк С.Г., Зеленський К.В. та ін. Значну увагу при цьому приділялося аналізу способів підвищення ефективності процесу торцевого фрезерування.

с) У другому розділі **«ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ»** проведено аналіз дотичної складової сили різання. Виходячи з технічного завдання сформулюємо умови дослідження кінематики фрезерування збірними торцевими фрезами з пружно-демпфуючими елементами. Досліджено вплив теплового навантаження на стійкість фрез що проявляється шляхом зміни та інтенсивності крихкого руйнування ріжучого інструменту у вигляді сколів і вифарбовування, так і параметрів шорсткості поверхні зносу поверхні зубів фрез.

д) У третьому розділі **«РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗБІРНИХ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ З ПРУЖНО-ДЕМФУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ»** розроблено алгоритм автоматизованого розрахунку раціональних конструктивних параметрів збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами. Згідно з розробленим алгоритмом складена FORTRAN-програма автоматизованого розрахунку конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ із секторами-державками. Розроблений алгоритм і програма автоматизованого розрахунку реалізовані таким чином, щоб в кінці процесу обчислень отримати раціональні конструктивні параметри ЗТФ з ПДЕ. Циклічність процесу обчислень дозволяє після завершення кожного етапу отримувати значення конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ.

Розроблена методологія синтезу ЗТФ, яка складається з поетапного проведення ССС, ВС, ГС, ТС, ДС, дозволяє отримати значну кількість різноманітних за конструкцією ЗТФ з ПДЕ, які здатні забезпечувати зменшення рівня динамічних навантажень при торцевому фрезеруванні. Однак, серед всієї кількості синтезованих ЗТФ з ПДЕ є фрези, які більш або менш ефективно забезпечують таке зменшення рівня динамічних навантажень і можуть вважатися раціональними або нераціональними при певних умовах експлуатації. Виявлення раціональних конструкцій ЗТФ з ПДЕ забезпечується розв'язком задач оптимізації.

У четвертому «**НАУКОВО-ДОСЛІДНОМУ РОЗДІЛІ**» приведено дослідження динамічних явищ в процесі фрезерування та шляхи їх зменшення, а також проведений аналіз способів підвищення ефективності процесу торцевого фрезерування. Показано, що в процесі торцевого фрезерування на лезо інструменту має місце імпульсивне прикладення сили, яке характеризується великою товщиною зрізу в момент дотику і малим часом дії, що приводить до пікових контактних навантажень на кромці інструменту.

Експериментальні дослідження, проведені за допомогою спеціальних інструментів, в які були вмонтовані динамометри і датчики, показують, що коефіцієнт динамічності, який визначається відношенням сумарних динамічних і статичних навантажень до статичних при швидкісному фрезеруванні зі швидкістю різання 220 м/хв. змінюється в межах 1,3-1,7 в залежності від кута траєкторії руху зуба і кромки деталі.

Руйнування різальної частини інструменту відбувається не тільки при перервних, а й при неперервних процесах обробки, яке викликається утворенням тріщин у контактній зоні внаслідок нестабільності процесу різання. Під дією сил різання, величина яких зростає по мірі того, як зношується інструмент, в контактній зоні існують тільки стискуючі напруження. Величина цих напружень і амплітуда коливань досягають великих значень і вагомо впливають на втомну міцність інструменту.

Особливістю процесу фрезерування, яка виділяє його з-поміж інших видів обробки, є змінність товщини зрізуваного шару. Це є причиною змінності зусиль різання в процесі обробки. Накладання спектрів цих зусиль від окремих зрізів залежить від кількості одночасно працюючих зубів інструменту. Амплітудний спектр фрезерування включає впливи від усіх ріжучих кромки і дає таким чином середню величину. Увесь процес є суперпозицією великої кількості характеристичних зображень. Точка прикладання сили різання переміщується з кожним зубом майже по дузі кола. В той же час змінюється величина й напрям дії сили.

Щоб дослідити яким чином виникають динамічні навантаження у приводі головного руху верстату в як вони впливають на оброблювану систему та різальний елемент фрези, розглянемо випадок однозубого торцевого фрезерування і представимо модель дотичної складової сили різання P_z у вигляді:

$$P_z = k \cdot A, \quad (1)$$

де k – питомий тиск різання, який залежить від оброблюваного і ріжучого матеріалу, стану інструменту тощо;

A – миттєва площа поперечного перерізу зрізуваного шару.

Площа A знаходиться за формулою:

$$A = S_A = \frac{S_B}{\cos \lambda}, \quad (2)$$

де S_B – миттєва площа перерізу у площині, перпендикулярній до оброблюваної поверхні (в якій знаходиться вісь обертання фрези) (рис.4.1);

λ – кут нахилу ріжучої кромки леза.

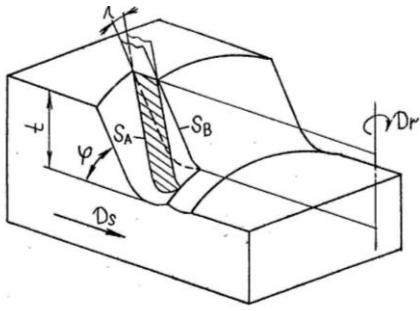


Рисунок 1 – Миттєва площа перерізу зрізуваного шару

поворот відрізка $|MB|$ на кут δ в положення $|CB|$ здійснюється навколо точки В. Якщо даного припущення не зробити, то розв'язок цієї задачі зводиться до розв'язку трансцендентного рівняння із застосуванням чисельних методів, що не дає можливості отримати аналітичні залежності.

Товщину зрізу визначимо:

$$|MD| = |MB| - |DB| = R - |KB|/\cos\theta = R - R\cos\theta. \quad (3)$$

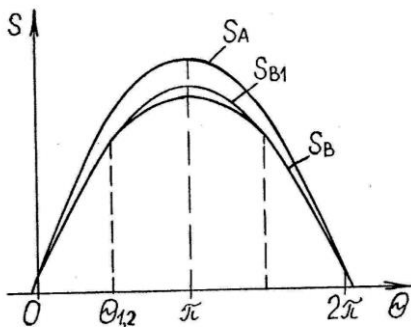


Рис. 2 – Залежність площ поперечного перерізу S_A , S_B , S_{B1} від кута повороту зуба фрези θ

Розглянемо як змінюється товщина зрізу $|MD|$ при наступному зрізі, але вже в залежності від кута θ , а не φ . При цьому зробимо таке припущення: при повороті фрези на кут $\delta = \varphi - \theta$ вісь обертання інструменту здійснює таке мале переміщення порівняно з її радіусом R , що цим переміщенням можна знехтувати. Практично це означає що

Силкові спектри сили різання P_z будуть подібні до залежностей (рис. 2) з урахуванням коефіцієнта k . Вони можуть бути подані в залежності як від кута повороту $P_z = f(\theta)$, так і від часу, коли $\theta(t) = \omega\tau$ ($P_z = f(\omega\tau)$).

Графічні залежності сили різання P_z з урахуванням коефіцієнта питомого тиску різання k будуть схожі на відповідні графіки миттєвих площ зрізу (рис. 3).

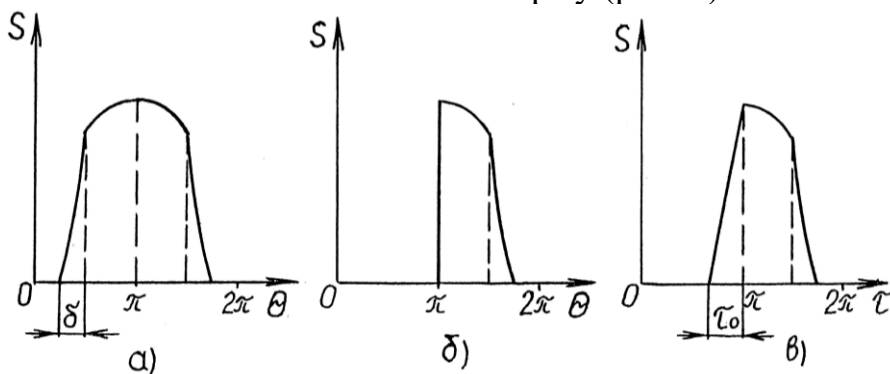


Рис. 3– Залежності площі поперечного перерізу від кута повороту зуба фрези θ та часу τ

Збільшення жорсткості C_Σ за рахунок жорсткості пружного елемента фрези $C_{фр}$ і часу врізання зуба у заготовку τ_0 приводить до зменшення величини коливань швидкості $\Delta\omega_2$. Графічно дані залежності описуються гіперболічним законом і показані на рис. 4.

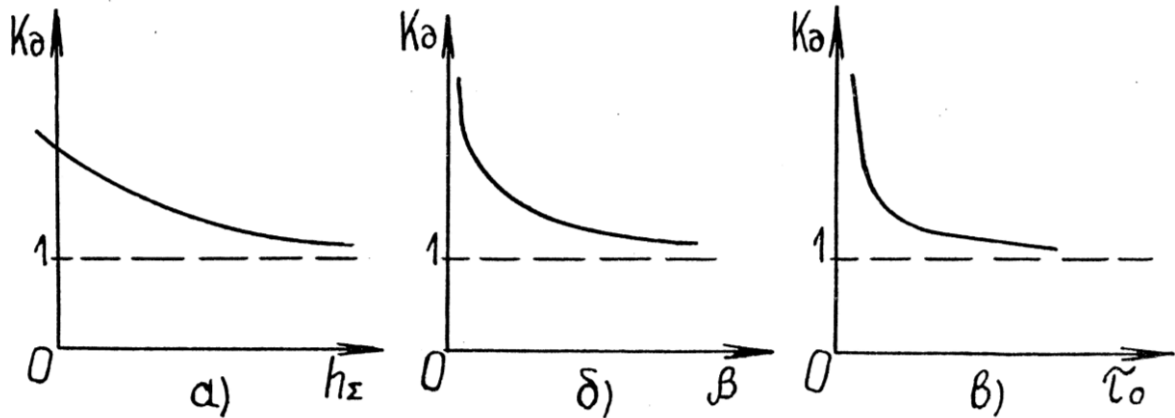


Рис. 4. – Залежність стійкості Т сплаву Т15К6 від кутової швидкості ω

Теоретичні дослідження динаміки і кінематики процесу торцевого фрезерування із застосуванням ЗТФ із ПДЕ та отримані висновки підтверджують доцільність введення ПДЕ безпосередньо в корпус ЗТФ. Крім того, ця обставина обґрунтовує необхідність розробки методики синтезу ЗТФ з ПДЕ, яка б дозволила підвищити ефективність проектування і розрахунку раціональних конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ.

е) П'ятий розділ «ОБґРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ» містить комплекс необхідних економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних рішень.

ф) Шостий розділ «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» присвячений висвітленню питань, щодо забезпечення безпечних умов праці на верстаті та аналізу дій адміністративного та виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

г) Сьомий розділ «ЕКОЛОГІЯ» містить опис негативних факторів, які можуть впливати на екологічний стан навколишнього середовища та шляхи зменшення цього впливу у процесі виробничої діяльності.

4. ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз теплофізичних явищ в процесі перервного різання.
2. Визначено температури різання та її вплив на контактні поверхні інструменту.
3. Досліджено та порівняно процеси перервного точіння, стругання і торцевого фрезерування.

4. Знайдено способи раціонального управління тепловими та ударними процесами при перервному різанні.

5. Спроектовано інструмент для забезпечення оптимальних режимів різання.

6. Проведено техніко-економічне обґрунтування технічних рішень. Запропоновані заходи по охороні праці, безпеці життєдіяльності та по зменшенню забруднення навколишнього середовища.

1. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Зеленський К.В. Вибір раціональних параметрів пружно-демпфуючих елементів збірних торцевих фрез// Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні/ Тези доп. І наук.-техн. конф. ТП. – м. Тернопіль, 1992. – С.150.

2. Зеленський К.В. Експериментальні дослідження збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами// Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні/ Тези доп. II наук.-техн. конф. ТП. – м. Тернопіль, 1993. – С.31.

2. АНОТАЦІЇ

Самчук Р.Л. «Дослідження обробки плоских поверхонь фрезами із адаптацією до ударного процесу». 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2018 р.

У дипломній роботі розглянуті питання, які пов'язані з аналізом і розробкою процесу торцевого фрезерування, підвищення його ефективності на основі створення прогресивних конструкцій збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами і аналіз явищ теплового та ударного навантаження на різучий клин в умовах перервного точіння.

Виходячи з технічного завдання сформульовано умови дослідження кінематики фрезерування збірними торцевими фрезами з пружно-демпфуючими елементами. Досліджено вплив теплового навантаження на стійкість фрез що проявляється шляхом зміни та інтенсивності крихкого руйнування різучого інструменту у вигляді сколів і вифарбовування, так і параметрів шорсткості поверхні зносу поверхні зубів фрез. Розроблено алгоритм автоматизованого розрахунку раціональних конструктивних параметрів збірних торцевих фрез з пружно-демпфуючими елементами. Згідно з розробленим алгоритмом складена FORTRAN-програма автоматизованого розрахунку конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ із секторами-державками. Розроблений алгоритм і програма автоматизованого розрахунку реалізовані таким чином, щоб в кінці процесу обчислень отримати раціональні конструктивні параметри ЗТФ з ПДЕ. Циклічність процесу обчислень дозволяє після завершення кожного етапу отримувати значення конструктивних параметрів ЗТФ з ПДЕ. Приведено дослідження динамічних явищ в процесі фрезерування та шляхи їх зменшення, а також проведений аналіз способів підвищення ефективності процесу торцевого фрезерування. Показано, що в процесі торцевого фрезерування на лезо інструменту має місце імпульсивне прикладення сили, яке характеризується

великою товщиною зрізу в момент дотику і малим часом дії, що приводить до пікових контактних навантажень на кромці інструменту.

Експериментальні дослідження, проведені за допомогою спеціальних інструментів, в які були вмонтовані динамометри і датчики, показують, що коефіцієнт динамічності, який визначається відношенням сумарних динамічних і статичних навантажень до статичних при швидкісному фрезеруванні зі швидкістю різання 220 м/хв. змінюється в межах 1,3-1,7 в залежності від кута траєкторії руху зуба і кромки деталі.

Ключові слова: торцеве фрезерування, пружно-демпфуючі елементи, ріжучий клин, перервне точіння.

Samchuk P.; «Surface treatment of flat surfaces machined with milling cutters with adaptation to impact process». 133 - Mechanical engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2018.

The thesis deals with the issues regarded to the analysis and development of the end milling process in order to increase its efficiency on the basis of the creation of progressive structures of prefabricated end mills with elastic damping elements. The analysis of the phenomena of thermal and shock loading on the cutting edge in the conditions of a continuous cutting is also performed.

An analysis of the use of elastic couplings in the drives of milling machines was carried out. It allows increasing the durability of the elements of the machine drive as well as the significant improvement of the working conditions of the tool and increasing of its stability. The analysis of the tangential component of the cutting force is carried out. According to the specification of the technical requirements the studying conditions of the kinematics of milling with assembled end mills with elastic damping elements are formulated. The influence of the thermal load on the stability of mills is investigated. It is discussed by the change and the intensity of the fragile destruction of the cutting tool in the form of chips and dyeing, as well as the roughness parameters of the surface of the surface wear of the teeth of mills. The algorithm of automated calculation of rational structural parameters of assembled end mills with elastic damping elements is developed. According to the developed algorithm FORTRAN-program of automated calculation of constructive parameters of ZTF with PDE with sectors-holders is compiled. The developed algorithm and the program of automated calculation are implemented in such a way that at the end of the computation process, to obtain rational design parameters of the ZTF with the PDE. The study of dynamic phenomena in the process of milling and ways of their reduction are given, as well as an analysis of ways to improve the efficiency of the end milling process. It is shown that in the process of end milling on the toll edge there is an impulsive force effort which is characterized by a large thickness of the cut at the moment of contact and a short operating time, which leads to peak contact loads on the edge of the tool.

Experimental studies conducted with the help of special tools show that the dynamic coefficient, which is determined by the ratio of total dynamic and static loads at a high speed milling with a cutting speed of 220 m / min. varies within 1.3-1.7.

Key words: end milling process, elastic damping elements, cutting wedge, also performed.