

Девіз
«Технологічна система»

**МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ
У ЗАМКНЕНІЙ ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ**

ЗМІСТ

	С.
ЗМІСТ	2
ВСТУП.....	3
1 РОЗРОБКА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ ВЕРСТАТА	
6P13Ф3	6
1.1 Основні елементи верстата.....	7
1.2 Властивості матеріалів.....	13
1.3 Граничні та початкові умови, навантаження	15
1.4 Висновки	17
2 СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ: ПОШУКОВІ	
ДОСЛІДЖЕННЯ	18
2.1 Фрезерування кінцевою фрезою в абсолютно жорсткій технологічній системі	18
2.2 Фрезерування кінцевою фрезою в податливій технологічній системі верстату 6P13Ф3	22
2.3 Висновки	29
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31

ВСТУП

Актуальність теми. Обробка різанням є найбільш поширеним процесом обробки матеріалів у сучасному машинобудуванні. Незважаючи на тенденції до скорочення виробничих відходів, застосування альтернативних методів отримання деталей, не пов'язаних з видаленням стружки, за прогнозами процеси різання будуть займати основне місце у машинобудівному виробництві ще кілька десятиліть. Часто немає жодної альтернативи отримання поверхні заданої форми, точності та якості, ніж шляхом видалення стружки.

Підвищення вартості енергоресурсів, яке спостерігається в останній час, висуває нову вимогу до реалізації механічної обробки – висока енергоефективність, тобто скорочення витрат енергії на одиницю продукції. Аналіз витрат енергії у процесі механічної обробки, проведений групою вчених із Хемніца (Німеччина), показав, що [1], споживання енергії при виготовленні продукції у машинобудівному виробництві, пов'язане з конструкцією деталі, ефективністю робочого процесу обробки різанням, якістю та надійністю технологічної оснастки, технологічними можливостями, точністю, якістю та рівнем автоматизації верстата, рівнем автоматизації виробничих ліній, енергетичних витрат у об'ємі виробничого підприємства у цілому.

Одним з основних факторів, які впливають на енергоефективність, є технологічна система, яка включає в себе верстат, оснастку, інструмент, заготовку. Технологічні можливості верстата прямо та опосередковано впливають на енергоефективність виробничого процесу. Прямий вплив виявляється через потужність приводів робочих органів верстата та часто менш важливий опосередкований вплив, пов'язаний зі зростанням витрат енергії на допоміжні технологічні операції, у тому числі, якщо у даній технологічній системі неможливо надійно досягти заданої якості обробки з економічно виправданою продуктивністю. Наприклад, точіння загартованих сталей набагато енергоефективніше шліфування, однак через низьку жорсткість обладнання часто неможливо відмовитися від шліфування.

У зв'язку з цим особливу важливість та актуальність набуває оптимізація конструкцій технологічних систем і металорізальних верстатів зокрема. Скорочення термінів проектних робіт у теперішній час можливо досягти шляхом застосування комп'ютерного моделювання.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає у доведенні можливості прогнозування показників процесу стружкоутворення процесу фрезерування у податливій технологічній системі на основі моделі процесу, що реалізована в єдиному програмному середовищі.

Для досягнення зазначеної мети поставлені такі задачі:

1. Розробити скінчено-елементні моделі вертикально-фрезерного верстата 6Р13Ф3 та процесу фрезерування.
2. Розробити модель замкненої технологічної системи.
3. Виконати пошукові розрахунки та дослідити вплив недосконалостей технологічної системи на процес стружкоутворення.

Об'єкт дослідження – технологічна система фрезерного верстата.

Предмет дослідження – модель технологічної системи.

Методи досліджень. Під час виконання роботи застосовувалися сучасні методи модельних та натурних досліджень. Для прогнозування виду, форми та розмірів стружки, сил різання в роботі використано метод скінченних елементів (МСЕ) за методологією, розробленою в роботі [2]. Визначення динамічних характеристик технологічної системи виконано шляхом створення імпульсного збудження з одночасним вимірюванням реакції системи динамометром з реєстрацією сигналів АЦП.

Реалізація числових моделей виконана з використанням ліцензійного програмного забезпечення LS-DYNA.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше розроблено методологію побудови раціональної з точки зору витрат ресурсів обчислювальної системи скінчено-елементної сітки складної технологічної системи, що включає елементи різної маси, жорсткості та розмірів, а також рухомі та нерухомі з'єднання зі скінченою величиною контактної жорсткості. Доведено, що поєднання в моделі просторових та балкових скінчених елементів для моделювання конструктивних елементів може суттєво зменшити витрати обчислювальних ресурсів.
2. Отримала подальший розвиток модель процесу різання за рахунок врахування недосконалостей технологічної системи та вперше показано можливість прогнозування на віртуальному рівні впливу зазорів та деформації конструктивних елементів технологічної системи призводить на товщину зрізу і форму стружки та інші показники технологічної системи.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі полягає у розробленні інструменту дослідження на стадії проектування верстатів та технологічних систем в цілому їх вихідних показників та створенні передумов для оптимізації процесів механічного оброблення і підвищення їх енергоефективності.

1 РОЗРОБКА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ ВЕРСТАТА 6P13Ф3

З розвитком обчислювальної техніки з'явилася можливість моделювання стружкоутворення у замкненій податливій технологічній системі. Окремі дослідження процесу були зроблені за допомогою методу скінченних елементів для процесів точіння [3], [4] і фрезерування [4], які лише показали можливість прогнозування стружкоутворення у податливій технологічній системі та дозволили підтвердити експериментально відомий факт впливу коливань на показники процесу стружкоутворення: кут зсуву, форму стружку, силу різання. Геометрія кінцевих фрез досить складна для того, щоб можна було застосувати аналітичні моделі. Числові моделі, а саме моделі, реалізовані методом скінчених елементів, у цьому випадку є єдиним засобом вирішення задачі. Відоме рішення Крижановського С.О. [5] про розрахунок напружень у робочій частині кінцевої фрези методом скінчених елементів шляхом прикладання до пружної моделі фрези навантажень на зубці, розрахованих за аналітичною моделлю. На наш погляд найбільш досконалою методологією моделювання процесу різання є методологія, яка розроблена у дисертації Криворучка Д. В.[6]. Разом з тим, у вказаних роботах заміна технологічної системи еквівалентними матрицями жорсткості та демпфування не дозволяють виявити вплив окремих деталей технологічної системи на деформацію усєї системи у процесі різання.

У даній роботі набула розвиток модель процесу фрезерування, шляхом її реалізації у технологічній системі фрезерного верстата. Для визначеності дослідження виконані на приладі вертикально-фрезерного верстата 6P13Ф3.

1.1 Основні елементи верстата

Загальний вигляд вертикально-фрезерного верстата представлений на рис. 1.1.

Основними корпусними деталями верстата є: основа (1), консоль (2), станина (3), головка шпindelна (4), повзун (5), шпindel (6), полозки поперечні (7), стіл (8), привод головного руху (9), привод вертикального переміщення повзуна (10), привод поздовжнього переміщення столу (11), привод переміщення поперечних полозків (12), привод вертикального переміщення консолі (13), двигун насоса подачі масла (14), двигун затиску інструмента (15), редуктор вертикального переміщення повзуна (16), редуктор прокольного переміщення столу (17), ходовий гвинт переміщення поперечних полозків (18), ходовий гвинт поздовжнього переміщення столу (19), механізм вертикального переміщення консолі (20), ходовий гвинт вертикального переміщення повзуна (21).

Для створення скінченно-елементної моделі верстата були зроблені деякі спрощення (рис. 1.2). Корпусні деталі, що увійшли до створюваної моделі станка, та матеріали їх виготовлення вказані в табл. 1.1. Для моделювання цих деталей використовувалися трьохмірні тетраедричні елементи другого порядку. Характеристика моделі кожної деталі подана у табл. 1.1.

З метою зменшення кількості елементів шпindel, гвинти, гайки та опори кулькової гвинтової передачі були дискретезовані ідеалізованими елементами типу «балка». Це дозволило створити реалістичну модель передачі з малим (до 200 шт) кількістю елементів.

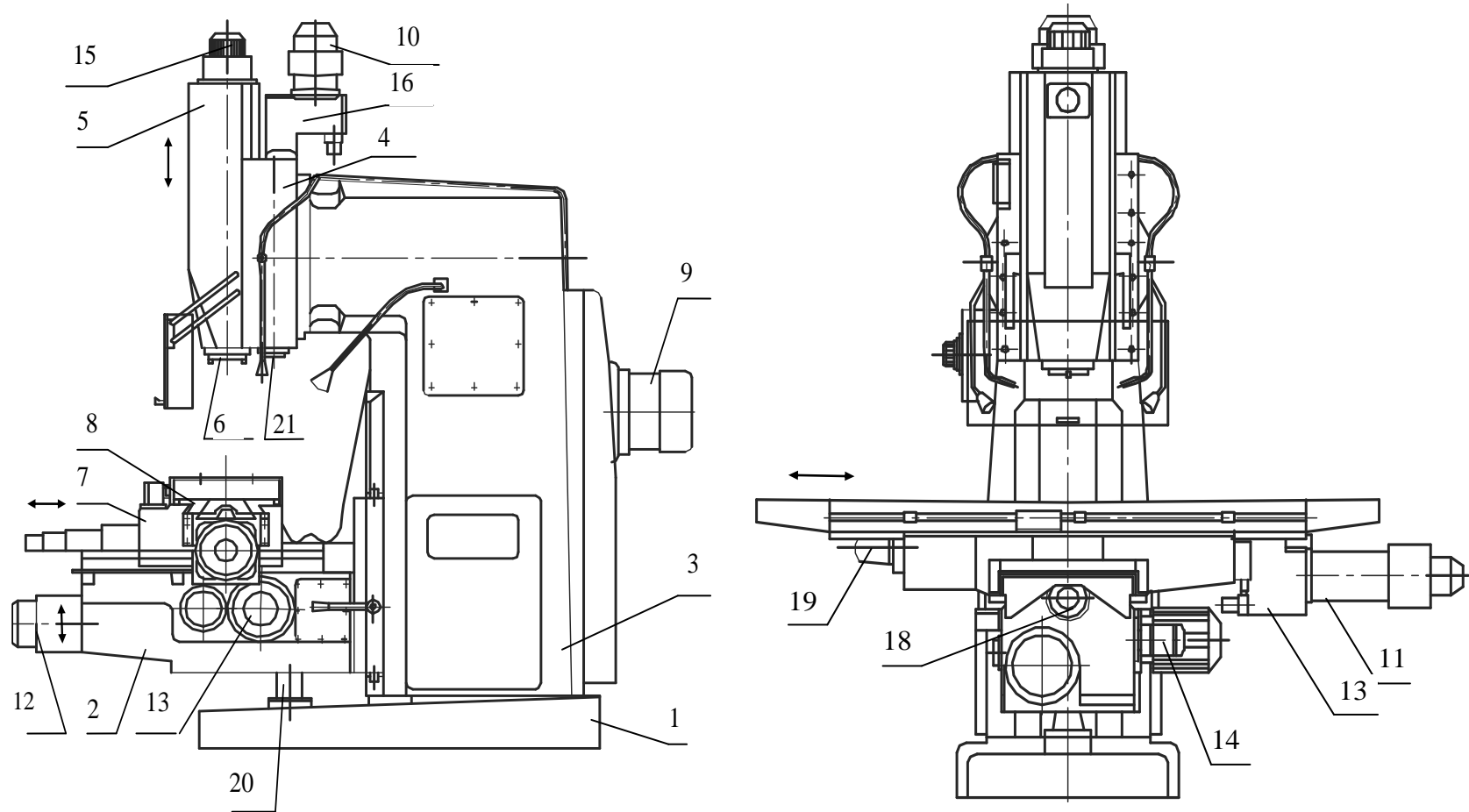
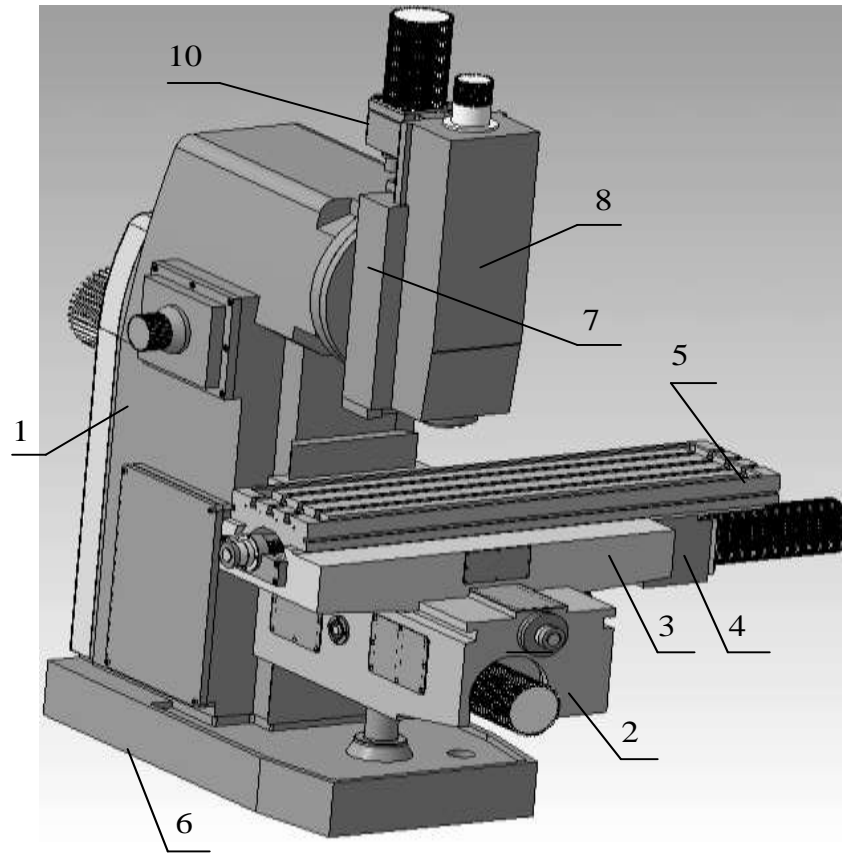
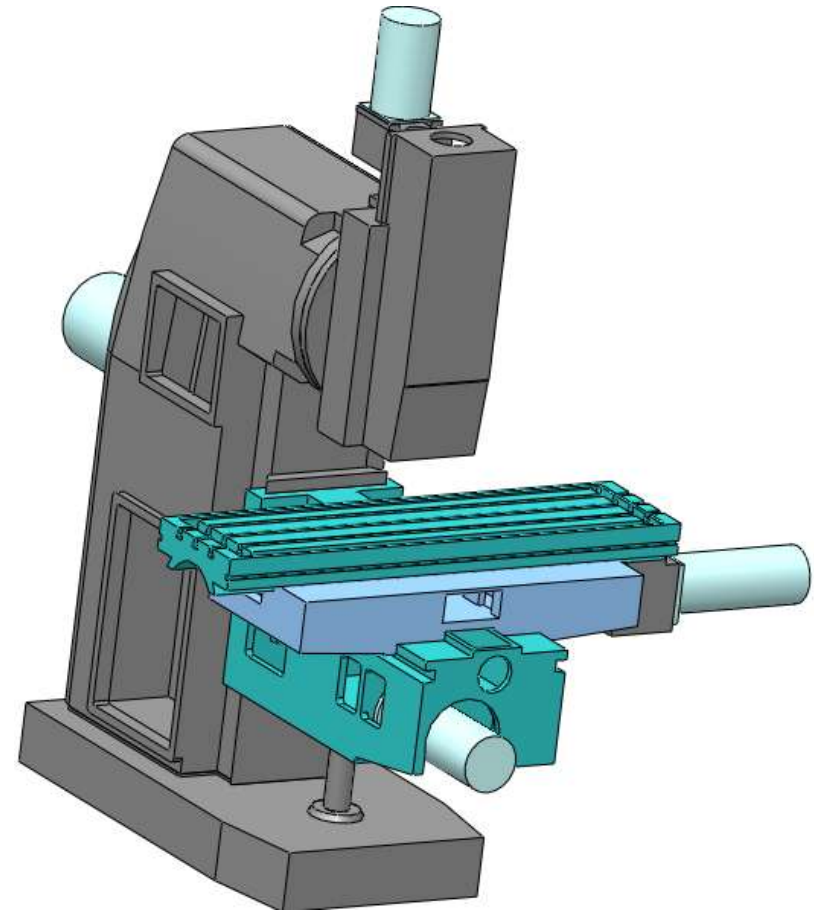


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд вертикально-фрезерного верстата з ЧПК 6P13Ф3



a)



б)

Рисунок 1.2 – 3-D моделі вертикально-фрезерного верстата:
 а – 3-D модель реалізована; б – спрощена 3-D модель вертикально-фрезерного верстата

Таблиця 1.1 – Характеристика моделей деталей

Назва деталі	Позиція	Матеріал виготовлення	Середній розмір SE, мм	Кількість вузлів	Кількість елементів
Двигун вертикальної подачі	13	абс. жорський		1720	1000
Редуктор вертикальний	10	СЧ 30		2312	1076
Гвинт	11	Сталь 45		374	171
Основа	6	СЧ 30		18456	9665
Двигун головного руху	14	абс. жорський		4613	2845
Станина	1	СЧ 30		41987	21866
Полозки поперечні	3	СЧ 30		9922	5008
Стіл	5	СЧ 30		19975	11132
Двигун поздовжньої подачі	15	абс. жорський		2081	1192
Корпус редуктора приводу поздовжньої подачі столу	4	СЧ 30		1936	928
Головка шпindelьна	8	СЧ 30		5382	2560
Повзун	7	СЧ 30		633	3205
Коробка передач двигуна	–			2419	1151
Консоль	2	СЧ 30		16515	8364
Електродвигун поперечної подачі	12	Алюміній		1554	864
Електродвигун консолі	–	Алюміній		1112	610
		Всього:			
Верстат			49	135230	73107
Інструмент			3,95	30368	18907
Лещата			10	68848	42668

Виконаний аналіз показав, що розрахункову модель верстата (рис. 1.3) можна поділити на такі принципові структурні елементи: станина (рис. 1.4), консоль (рис. 1.5), поперечний стіл (рис. 1.6), поздовжній стіл (рис. 1.7), повзун (рис. 1.8).

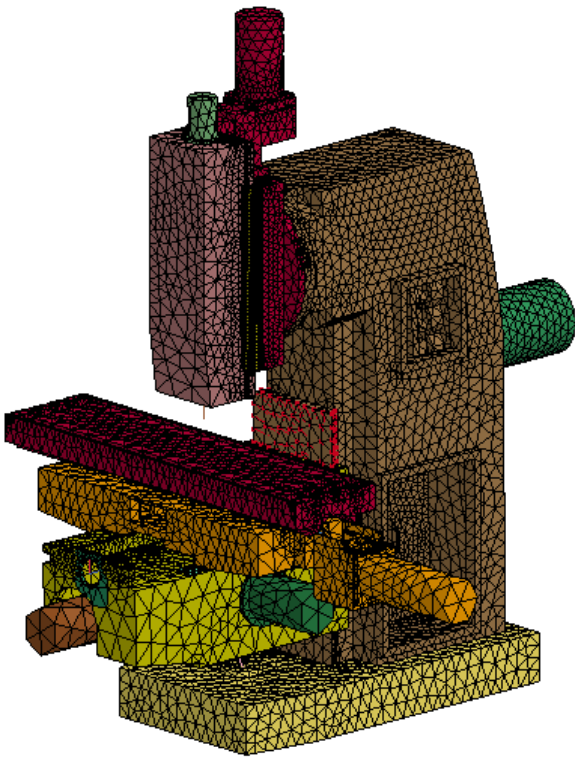


Рисунок 1.3 – Розрахункова 3D-модель верстата зі скінчено-елементної сіткою

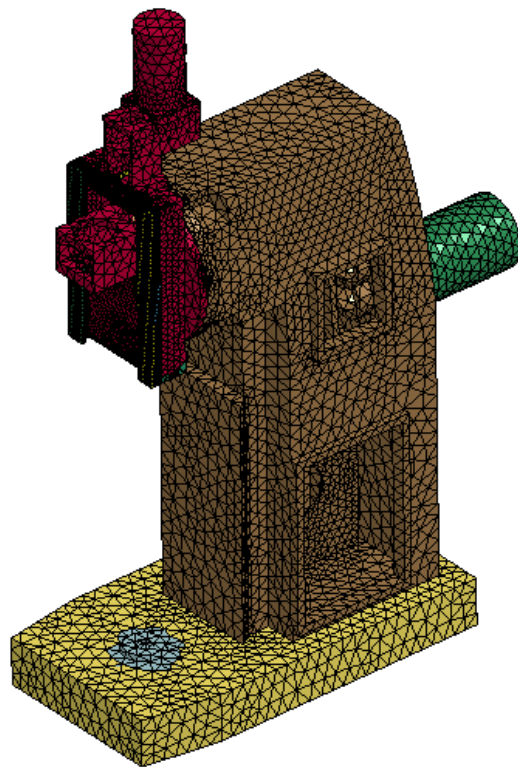


Рисунок 1.4 – Скінчено-елементна модель станини

Кожний структурний елемент розрахункової моделі верстата (за виключенням поздовжнього стола) включає до свого складу кілька деталей, які є абсолютно жорсткими тілами, тому при дослідженні конструкції вони розглядаються як єдине ціле. Кількість скінченних елементів для зазначених структурних елементів наведено у табл. 1.2.

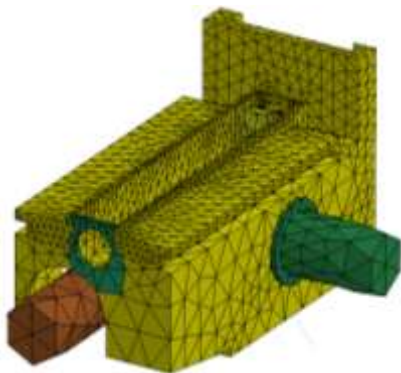


Рисунок 1.5 – Скінчено-елементна модель консолі

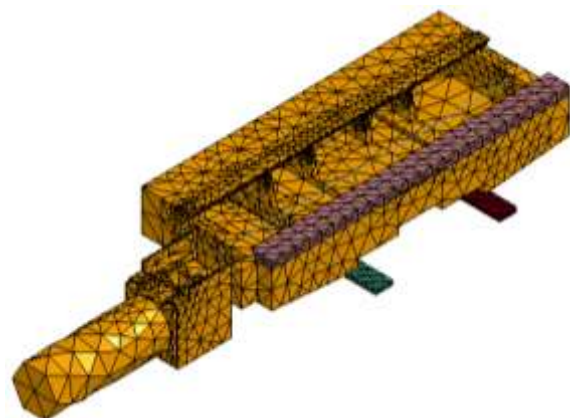


Рисунок 1.6 – Скінчено-елементна модель поперечного стола верстата

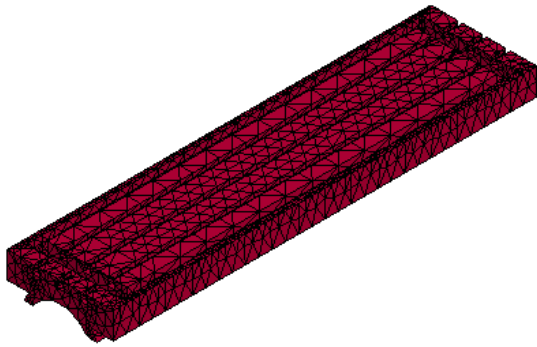


Рисунок 1.7 – Скінчено-елементна модель поздовжнього стола верстата

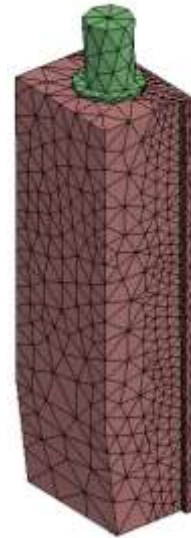


Рисунок 1.8 – Скінчено-елементна модель повзуна

Таблиця 1.2 – Характеристика розрахункової моделі верстата

Назва структурного елемента	Кількість вузлів	Кількість елементів	Назви деталей, що входять до структурного елемента	Кількість
Станина	30524	89461	Станина	1
			Основа	1
			Коробок	1
			Редуктор_2	1
			Головка шпиндельна	1
			Електродвигун_5	1
			Електродвигун_6	1
			Планка притискна_1	2
			Планка притискна_2	2
Консоль	8017	33627	Консоль	1
			Електродвигун_1	1
			Електродвигун_2	1
Поперечний стіл	7423	15563	Стіл поперечний	1
			Планка рухома	1
			Редуктор_1	1
			Електродвигун_3	1
Поздовжній стіл	6602	29499	Стіл поздовжній	1
Повзун	5238	23113	Повзун	1
			Електродвигун_4	1
Загальна кількість	57804	191263		21

1.2 Властивості матеріалів

В роботі [6] встановлено, що найбільш ефективним при моделюванні стружкоутворення з точки зору співвідношення «похибка»/«швидкість розрахунку» є визначальне рівняння у формі Джонсона-Кука:

$$\sigma_s = \left(A + B(\bar{\varepsilon}^p)^n \right) \left(1 + C \ln(\dot{\varepsilon}^p / \dot{\varepsilon}_0^p) \right) (1 - T^{*m}), \quad (1.1)$$

де константи матеріалу відображають його здатність: A , B , n - до деформаційного зміцнення; C - до швидкісного зміцнення; m - до температурного зменшення.

За рівняння пластичності, яке зумовлює критерій в'язкого руйнування за умовою накопичення пошкоджень, взято рівняння у формі В. Л. Колмогорова з поправками Джонсона-Кука на швидкість та температуру деформації:

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}_f^p &= (D_1 + D_2 \exp(D_3 \sigma^*)) (1 + D_4 \ln \dot{\varepsilon}) (1 + D_5 T^*), \\ \sigma^* &= p / \sigma_s, T^* = (T - T_0) / (T_{i\bar{\varepsilon}} - T_0), \end{aligned} \quad (1.2)$$

де константи D_1 , D_2 , D_3 матеріалу відображають вплив напруженого стану на граничні пластичні деформації до руйнування; D_4 - вплив швидкості деформації; D_5 - вплив температури деформації.

Таблиця 1.3 – Механічні властивості матеріалів технологічної системи

Матеріал	Модуль пружності E , ГПа	Коефіцієнт Пуассона μ	Модуль зсуву G , ГПа	Густина ρ , кг/м ³	Границя міцності при розтягуванні $\sigma_{раст}$, ГПа	Границя міцності при стисненні $\sigma_{ск}$, ГПа	Границя текучості σ_T , ГПа	Коефіцієнт теплопровідності, К ⁻¹	Теплопровідність K , Вт/м·К	Питома теплоємність c , Дж/кг·К
Сталь 20	200	0,29	77	7900	0,420	–	0,350	$1,5 \cdot 10^{-5}$	47	420
Сталь 45	205	0,29	80	7850	0,625	–	0,530	$1,15 \cdot 10^{-5}$	49,5	486
Сталь 40Х	214	0,29	81	7850	0,630	–	0,530	$1,19 \cdot 10^{-5}$	50	482
СЧ 30	662	0,27	50	7200	0,152	0,572	–	$1,2 \cdot 10^{-2}$	45	510

Основні пластичні властивості оброблюваних матеріалів, що застосовувалися в дослідженні наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Зведена таблиця коефіцієнтів визначального рівняння і рівняння пластичності

Матеріал	A, МПа	B, МПа	n	C	m	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅
Сталь 45 (HB 140)	410	280	0,47	0,003 7	1,1	0	1,3	-0,17	0,063	2,8
Сталь 12X18H10T(HB160)	280	1215	0,43	0,031 0	1,0	0	1,15	-0,1	-0,015	-0,5
Сплав ВТ22 (HRC41)	845	660	0,08	-0,024	1,20	0	0,1	-0,53	0,134	22,9
Сплав ВТ1-0 (HB160)	120	895	0,39	0,006 6	0,85	0	2,5	-0,4	0	4,5

В рухомих з'єднаннях враховувалося тертя за законом Кулона-Амонтона. Коефіцієнт тертя приймався рівним 0.15.

При моделюванні процесу різання тертя на контактній ділянці враховувалося за методикою роботи [6], де доведено, що комплекс трибологічних властивостей матеріалів, що перебувають у процесі різання у контактній взаємодії, складається з рівнянь, що зв'язують температуру і нормальні напруження на контактній поверхні з дотичними напруженнями. Виходячи з прийнятої згідно з молекулярно-механічною теорією, моделі тертя, співвідношення між дотичними напруженнями τ_i та показниками термомеханічного стану використані у вигляді:

$$\tau_i = \tau_a + \tau_d, \quad \tau_d = \mu_d \sigma_n, \quad \tau_a = \tau_0 + (\beta_0 - k_b \cdot \max(0; T - T_k)) \cdot \sigma_{nr}, \quad (1.3)$$

де τ_a – дотичні напруження адгезійного опору ковзанню; τ_d - дотичні напруження деформаційного опору ковзанню; σ_n , σ_{nr} – номінальні та фактичні нормальні напруження. Константи τ_0 (міцність адгезійних зв'язків), β_0 (коефіцієнт зміцнення адгезійних зв'язків), k_b , T_k є властивостями пари «оброблюваний-інструментальний» матеріал та відображають вплив температури та нормальних напружень на адгезійну складову сил

тертя, а константа μ_d – деформаційний коефіцієнт тертя – мікрорельєфу поверхні інструмента, пружних властивостей матеріалів системи та деформованого стану оброблюваного матеріалу на деформаційну складову сил тертя.

У загальному випадку моделювання процесу різання на рівні деталізації «Лезо» повинні бути додатково визначені 5 констант (τ_0 , β_0 , k_b , T_k , μ_d), що відображають трибологічні властивості контактуючої пари. У першому наближенні константи k_b і T_k впливу температури в роботі запропоновано визначати за наближеними формулами $T_k=700^\circ\text{C}$, $k_b = \beta_0 / 300$. Результати досліджень Шустера Л. Ш. [7], Коротченка В. Л. для різних металів свідчать про незначну зміну τ_0 (20-50 МПа) та β_0 (0,02-0,05) до температури 700°C . Ці коливання, швидше за все, пов'язані з похибкою вимірювань.

Числові значення констант τ_0 , β_0 рівняння (1.3), що використані в роботі, наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Параметри моделі адгезійної складової сили тертя ковзання різних матеріалів з індентором ВК8

Коефіцієнт	Матеріал			
	сталь 45	сталь 12X18H10T	ВТ22	ВТ1-0
$\bar{\sigma}_s$, МПа	800	600	805	620
τ_0 , МПа	5	0	20	30
β_0	0,46	0,47	0,32	0,13

1.3 Граничні та початкові умови, навантаження

Граничні умови моделі технологічної системи наближені до реальності та задавалися жорстке закріплення по нижній поверхні основи верстата, що еквівалентно встановленню верстата на рівну жорстку підлогу з закріпленням анкерними болтами.

Усі елементи верстата, крім рухомих, жорстко зв'язані між собою шляхом об'єднання вузлів.

Рухомі елементи зв'язані контактними елементами, що дозволяють рухи в площині елемента, та унеможливають рухи перпендикулярно цій площині. Можливі

переміщення елементів верстата вказане на рис. 1.1. Отже в моделі реалізовано три групи з'єднань з прямолінійним рухом (рис. 1.9):

- «повздовжній стіл – полозки поперечні»;
- «полозки поперечні - консоль»;
- «головка шпіндельна - повзун»,

та одну групу з'єднань з обертальним рухом «головка шпіндельна - шпіндель».

У місцях контактів на поверхнях деталей, що контактують, застосовано дрібну сітку з метою отримання більш коректних результатів.

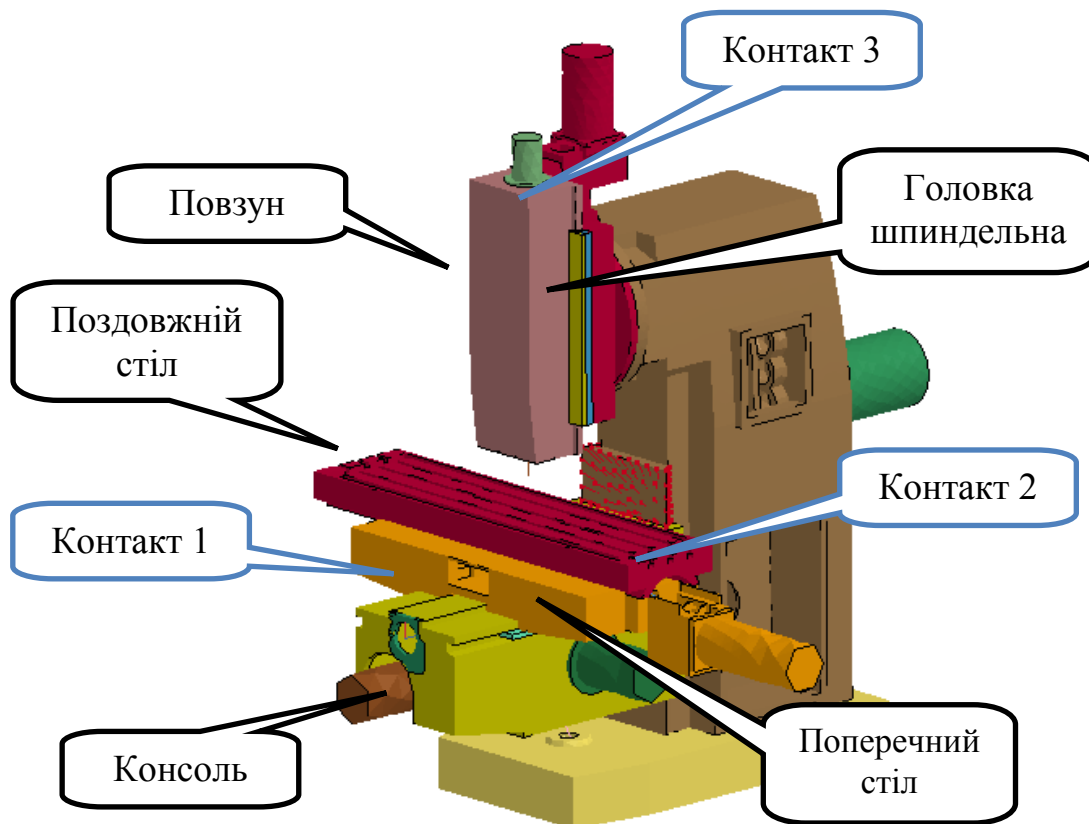


Рисунок 1.9 – Контакти між структурними елементами розрахункової моделі верстата

Рухи задавались шляхом додавання рухомих елементів типа «двигун».

Механічні граничні умови для задачі стружкоутворення задані жорстким закріпленням декількох границь заготовки (рис. 1.10). Заготовка жорстко закріплена по всій поверхні, протилежній оброблюваній, до поздовжнього столу. Для інструмента задаються обмеження переміщень його базових поверхонь шляхом приєднання до шпинделя. Граничні умови на вільних поверхнях при вирішенні теплової задачі задаються як умова тепло обміну з навколишнім середовищем у відповідності до закону Ньютона–Ріхмана [8].

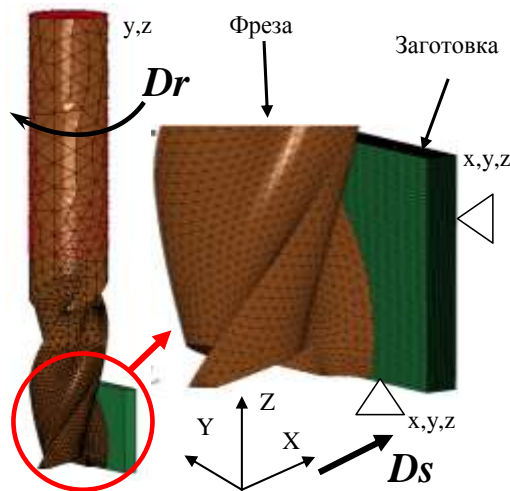


Рисунок 1.10 – Розрахункова схема 3D-моделі скінченого фрезерування

Початкові умови для кінцевої фрези задаються обертанням навколо її вісі та переміщенням у напрямку руху подачі D_s .

Механічні навантаження задаються по «жорсткій» схемі переміщення заготовки разом з повздовжнім столом з заданою швидкістю, яка дорівнює швидкості хвилинної подачі фрези, та обертанням фрези разом зі шпинделем навколо своєї осі з частотою, яка дорівнює частоті обертання шпинделю.

1.4 Висновки

1. Розроблено методологію побудови раціональної з точки зору витрат ресурсів обчислювальної системи скінчено-елементної сітки складної технологічної системи, що включає елементи різної маси, жорсткості та розмірів, а також рухомі та нерухомі з'єднання зі скінченою величиною контактної жорсткості.

2. За для зменшення часу розрахунків СЕ-модель технологічної системи повинна будуватися з якомога меншої кількості деформованих елементів. Зменшення кількості елементів можливо за рахунок використання балкових та оболонкових СЕ, згущення СЕ сітки лише в місцях геометричних особливостей, заміни деформованих елементів на абсолютно жорсткі елементи в тілах, деформація яких не важлива.

3. Оптимальним розміром СЕ прийнято такий, що забезпечує похибку розрахунку не більше 1%. При такому розмірі СЕ модель технологічної системи верстата 6P13Ф3 побудована була в системі LS-DYNA з 73107 тетраедричних та балкових елементів.

2 СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ: ПОШУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Фрезерування кінцевою фрезою в абсолютно жорсткій технологічній системі

Задача симуляції: визначення напружень у різальній частині фрези 3677 GUEHRING, а також мінімальної товщини стінки, що забезпечує стійке стружкоутворення, при фрезеруванні тонкої стінки зі сталі 45. Ця задача відповідає задачам з цільовим ефектом групи 4-го рівня деталізації «Інструмент» за класифікацією табл. 1.1 [2].

Розрахункова схема й вихідні дані наведені в таблиці 2.3. Фреза, виконуючи обертальний головний рух із частотою 6000 об/хв, переміщається по нормалі до оброблюваної поверхні заготовки, що являє собою стінку товщиною 4 мм.

У розглянутому випадку можуть бути взяті припущення відповідно до додатка В: фреза закріплена по всій циліндричній частині хвостовика; радіус округлення лез фрези дорівнює 0; адіабатичні умови стружкоутворення.

СЕ-сітка фрези сформована за допомогою COSMOSWORKS for SOLIDWORKS 2003. Застосування опції згущення СЕ-сітки в областях нерівномірної геометрії дозволило одержати найбільш густу сітку біля різальних кромek. СЕ-сітка заготовки була побудована за допомогою LS-PREPOST. Співвідношення сторін скінченних елементів заготовки обране $h:l:b=1:6:6$, що забезпечує їхню мінімальну кількість.

Граничні умови задані жорстким закріпленням заготовки за трьома її бічними поверхнями. Фреза обмежена в переміщенні й обертанні в напрямку всіх осей, крім переміщення уздовж осі x і обертання навколо осі z . Навантаження задавалися у вигляді обертання навколо осі z з кутовою швидкістю $2\pi n$ і переміщення уздовж осі x зі швидкістю подачі.

У результаті реалізації моделі процесу фрезерування кінцевою фрезою GUEHRING 3677 стінки товщиною 4 мм зі сталі 45 було встановлено, що, напри-

клад, при ширині фрезерування 16 мм мінімальна залишкова товщина стінки, що забезпечує надійне стружкоутворення становить 3,1 мм (рис.4.1).

Розподіл напружень у фрези наведено на рис. 4.2. Максимальні напруження мають місце в момент часу $\tau=3,1$ мс. Якщо врахувати, що для твердого сплаву DF 460UF границя міцності дорівнює 3700 МПа^1 , то з великою ймовірністю можна стверджувати, що при дослідженому режимі різання відбудеться поломка фрези шляхом відколу зуба у верхині й руйнування зуба в області кінця стружкової канавки.

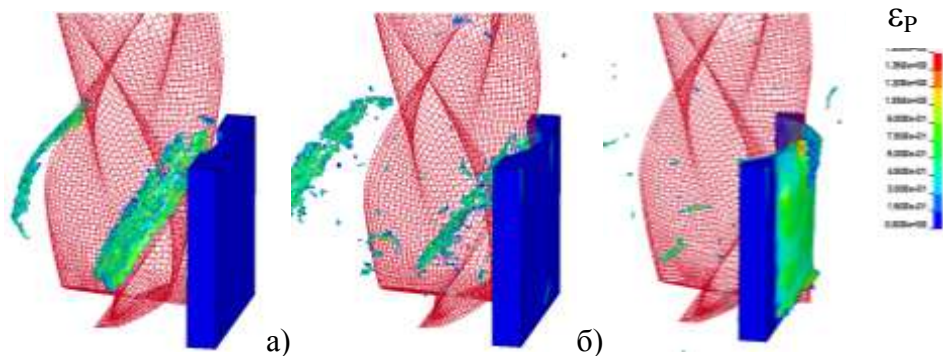


Рисунок 4.1 - Фрезерування стінки товщиною 4 мм з радіальною подачею. Фреза GUEHRING 3677, ширина фрезерування - 16 мм: а) поглиблення фрези – 0,8 мм; б) поглиблення фрези 2,5 мм; в) поглиблення фрези 5 мм

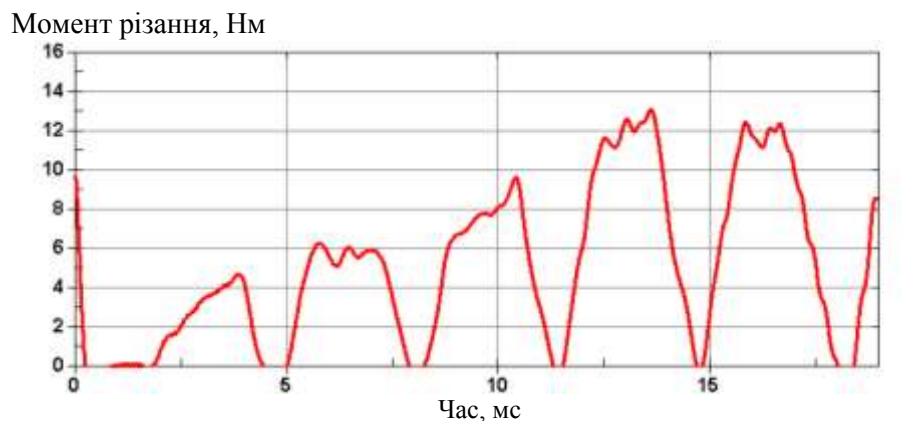


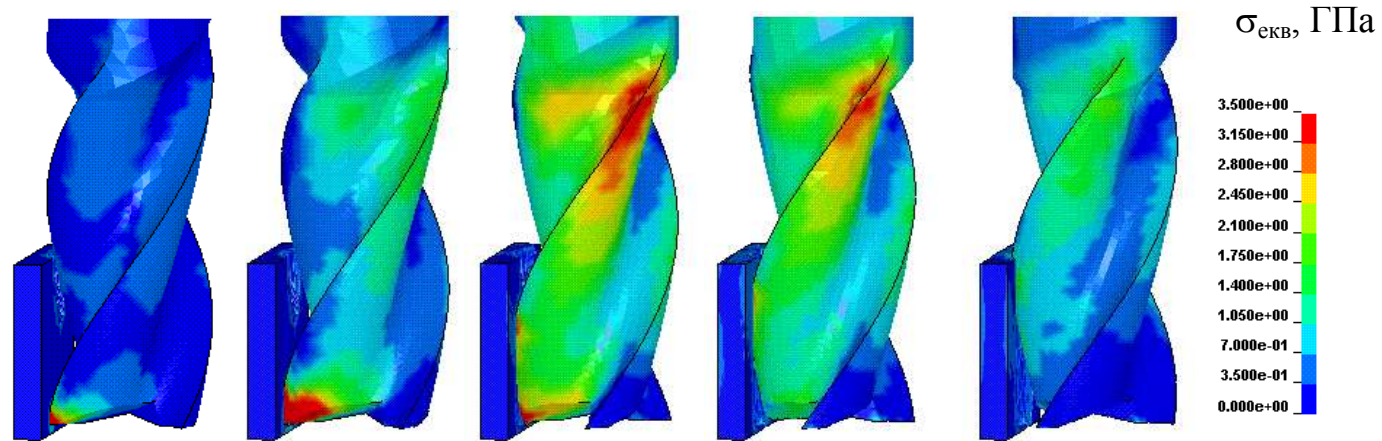
Рисунок 4.2 - Зміна моменту різання в процесі фрезерування

¹⁾ www.ultracarbide.com

Таблиця 4.1 - Зведена таблиця вихідних даних 3D-моделі фрезерування

ПРОЦЕС		Кінцеве фрезерування 3677 16,0 GUEHRING						Розрахункова схема						
Розмірність моделі		3D												
Геометричні параметри заготовки														
L _з , мм		B _з , мм		H _з , мм										
20,0		4,0		20,0										
Геометричні параметри інструмента														
Назва інструмента				Лезо										
L _л , мм	H _л , мм	B _л (d), мм	γ, °	α, °	ρ, мм	h _з , мм								
3677 10,0 GUEHRING						0	0							
Скінченно-елементна сітка														
	Тип SE	Кіл-ть вузлів	Кіл-ть ел-тів	Хар. розмір	Прапор. рівном.	ihq/ qm								
I	Solid16	61499	42049	200мкм	град.	-								
3	Solid1	184680	175112	50мкм	рівном.	5/0,01								
Моделі матеріалів														
Інструмент						Заготовка								
Марка основн. матеріалу			Тв. сплав DK 460UF			Марка матеріалу			Сталь 45					
Номер у БД	HRA	E, ГПа	μ	α _т · 10 ⁶ , 1/°C	ρ ₂₀ , кг/м ³	C _м , Дж/(кг · °C)	λ, Вт/(м · °C)	Номер у БД	НВ	E, ГПа	μ	ρ ₂₀ , кг/м ³	C _м , Дж/(кг · °C)	λ, Вт/(м · °C)
DK460UF	92,0	580	0,24	6,8	14450	242,0	83,7	Ст. 45-1	196	205	0,29	7826	642,0	40,2
Хар-ка зміцнення		Абсолютно пружне тіло						Хар-ка зміцнення		Пружно-пластичне середовище за Джонсоном-Куком				
Марка покриття		-		Тов-на, мкм		-		Парам. геометрич. МР		Парам. фізичної МР				
Метод моделюв.	HV	E, ГПа	μ	ρ ₂₀ , кг/м ³	C _м , Дж/(кг · °C)	λ, Вт/(м · °C)	R _θ , °C/Вт	Алгоритм	Критерій	Алгоритм	Критерій	Алгоритм	Критерій	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	вид. елем.	ε _p =2,5-	
Контактна взаємодія														
Заготовка-Інструмент						Заготовка-Стружка								
Алгоритм	sc1fac	Модель тертя	Параметри моделі КАШ							Алгоритм	sc1fac	Модель тертя	f	
			m, ГПа	f	τ _д , ГПа	τ ₀ , ГПа	β ₀ , 1/°C	B, °C ⁻¹	θ _b , °C					
N2S	1,0	КАО	0,2	0,28	-	-	-	-	-	SS	1,0	КА	0,28	
Зовнішнє середовище														
Характеристика			Спосіб підведення			Середній коефіцієнт тепловідведення, Вт/(м ² · °C)								
-			-			-								
Параметри вирішувача														
Механічна задача						Задача теплопровідності								
LS-DYNA explicit із розрахунком адиабат. температури						-								
Δt ₀ , мкс		Δt, мкс		Коеф. глоб. масового демпфування, рад/мс		Прапорець Δt=const		max Δθ/Δt		Вирішувач лінійної системи рівнянь				
7,0 · 10 ⁻³		1,0 · 10 ⁻²		10		-		-		-				
Базовий режим різання														
n, об/хв	6000	S, мм/об(а, мм)		0,3	t, мм	16,0	B, мм	16,0						

Розподіл еквівалентних напружень в тілі фрези



Розподіл ефективних пластичних деформацій у заготовці і стружці

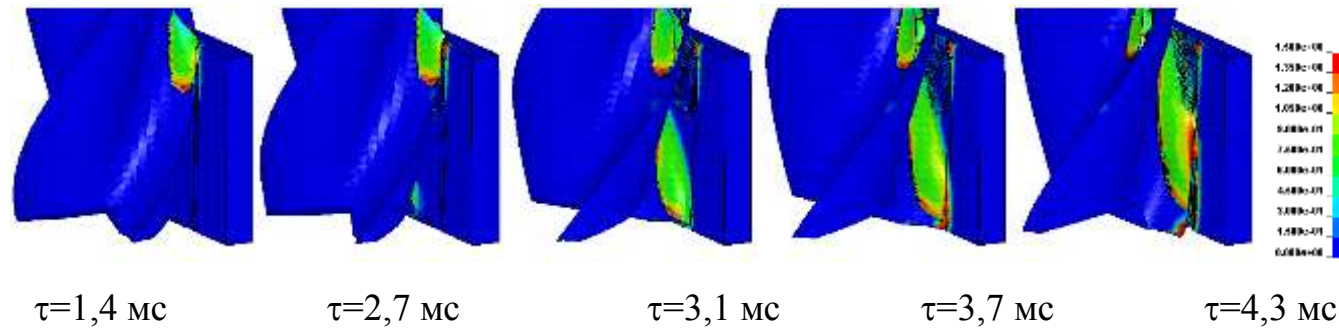


Рисунок 4.3 - Анімація зміння еквівалентних напружень у тілі фрези і ефективних пластичних деформацій в одному циклі навантаження леза

2.2 Фрезерування кінцевою фрезою в податливій технологічній системі верстату 6P13Ф3

Задача симуляції: визначення впливу зазорів в технологічній системі та жорсткості кулькових гвинтових передач на процес стружкоутворення при фрезеруванні цільною фрезою 3677 GUEHRING тонкої стінки зі сталі 45. Ця задача відповідає задачам з цільовим ефектом групи 4-го рівня деталізації «Інструмент» за класифікацією табл. 1.1 [2]. При розв'язанні задачі використовувалася модель верстата, що побудована за методикою, яка описана в розд. 1. Параметри жорсткості гвинтових передач визначені за методикою розд. 2. Модель процесу фрезерування еквівалентна моделі, що використана у п.4.1.

Для реалізації 3D-моделі була використана така обчислювальна система: матриця: Intel S5000PSL; процесор (2 шт.): cpu1: Intel(R) Xeon(R) CPU E5405 (4 cores); cpu2: Intel(R) Xeon(R) CPU E5405 (4 cores); оперативна пам'ять 16ГБ: 16Gb (2Gb+2Gb+2Gb+2Gb+4Gb+4Gb); вінчестери: HDD1: Seagate ST31000340AS - 1Tb; HDD2: Western Digital WDC WD800AAJS-00 - 80Gb. Операційна система: Fedora Core 10 x64 (kernel - 2.6.27.41-170.2.117.fc10.x86_64). Розрахунок одного варіанту займав білизько 24 годин.

Результати розрахунків показують, що форма стружки в податливій технологічній системі суттєво відрізняється від форми стружки в абсолютно жорсткій технологічній системі (порівняйте рис. 4.3 з рис. 4.4). Видно, що завдяки деформації технологічної системи врізання зубів у заготовку відбувається з запізненням, що призводить до додаткового тертя зубів о заготовку. Сумарні переміщення в технологічній системі складаються з переміщень зубів фрези відносно шпинделя, переміщення шпинделя в опорах, деформації станини, переміщень у з'єднаннях «поперечний стіл-консоль», «повздовжній стіл-поперечний стіл», «станина-повзун». Поведінка кожного зі з'єднань представлена на рисунках 4.4-4.9. Аналіз показує, що найбільші відносні переміщення у розглянутій технологічній системі виникають за рахунок деформації фрези та шпинделя (рис. 4.10, 4.11).

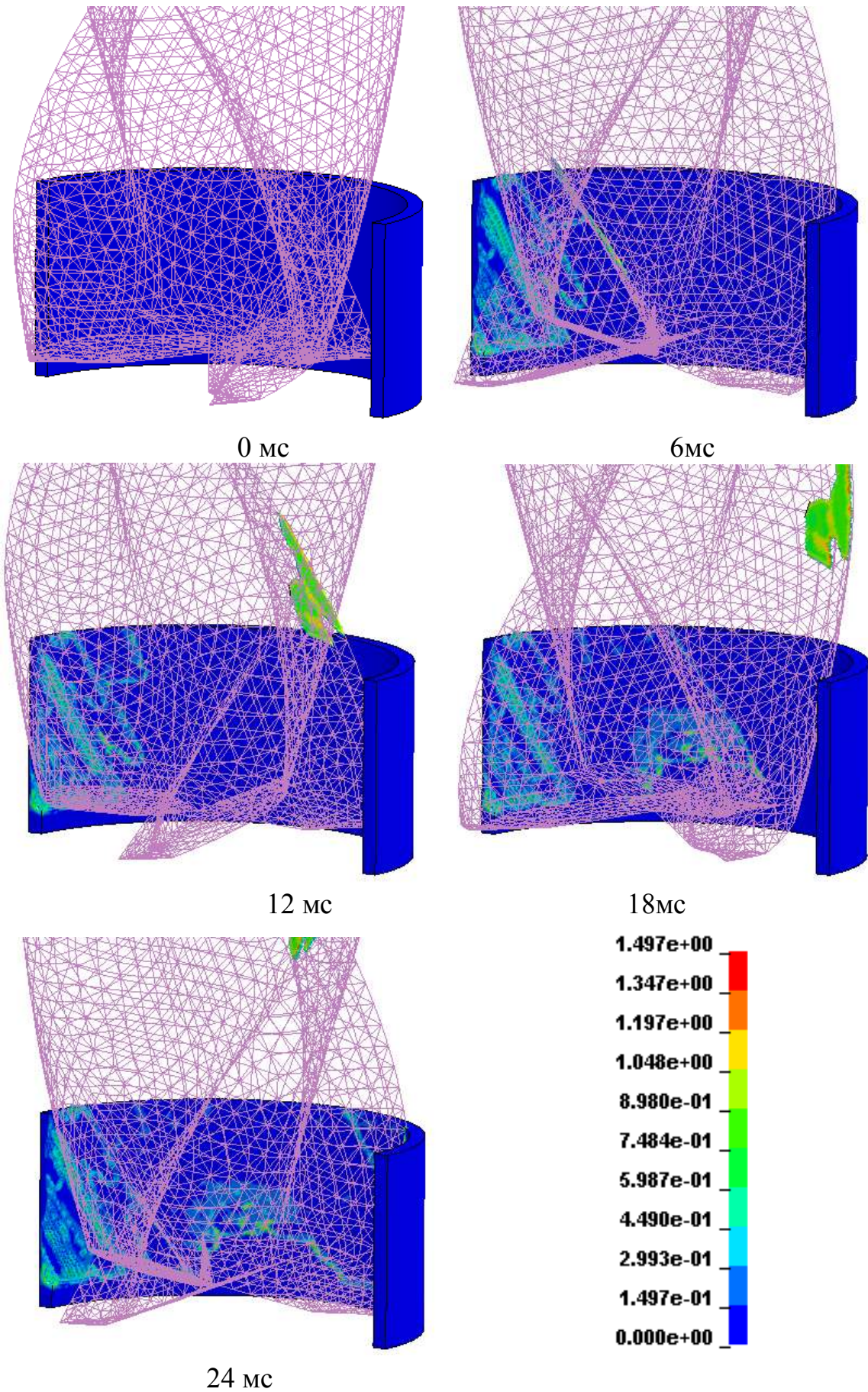


Рисунок 4.4 – Стружкоутворення в податливій технологічній системі протягом одного оберту врізання

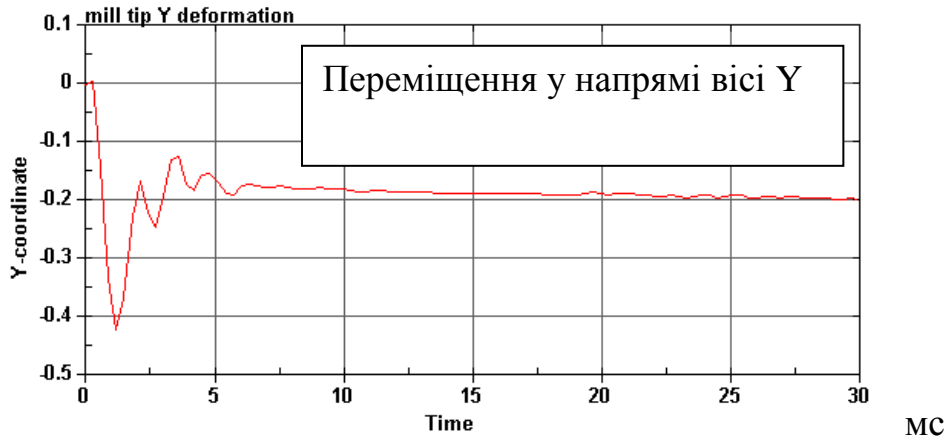
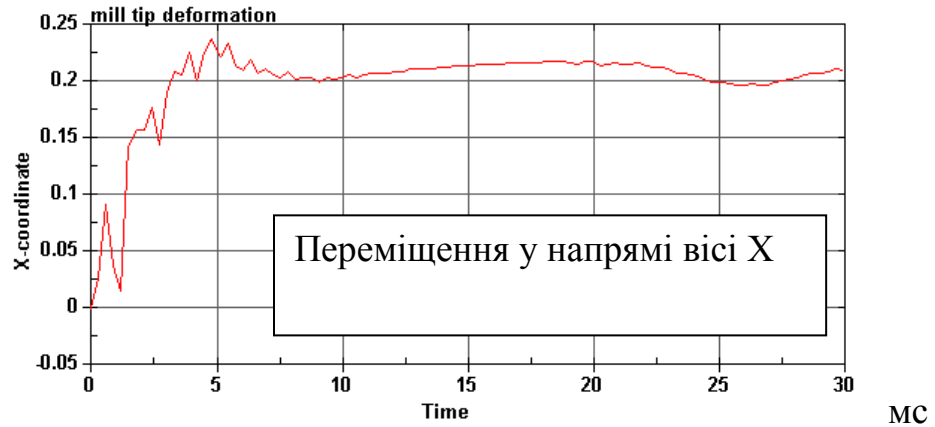


Рисунок 4.2 – Сумарні переміщення (мм) вісі фрези

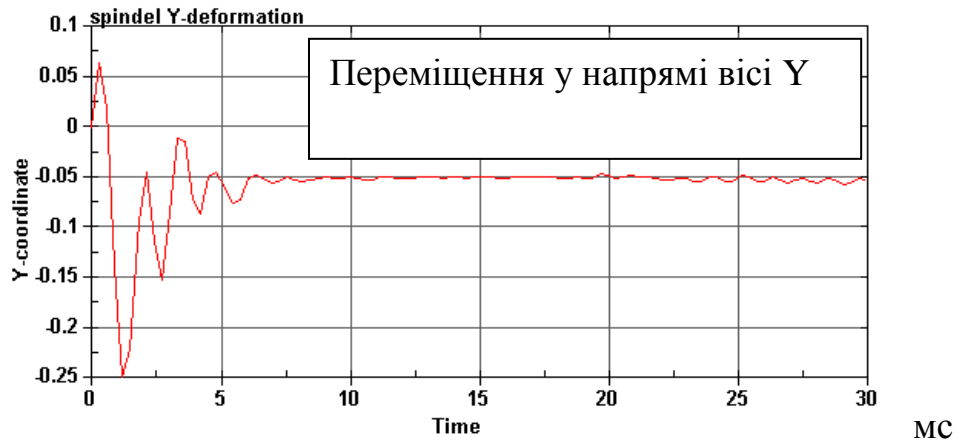
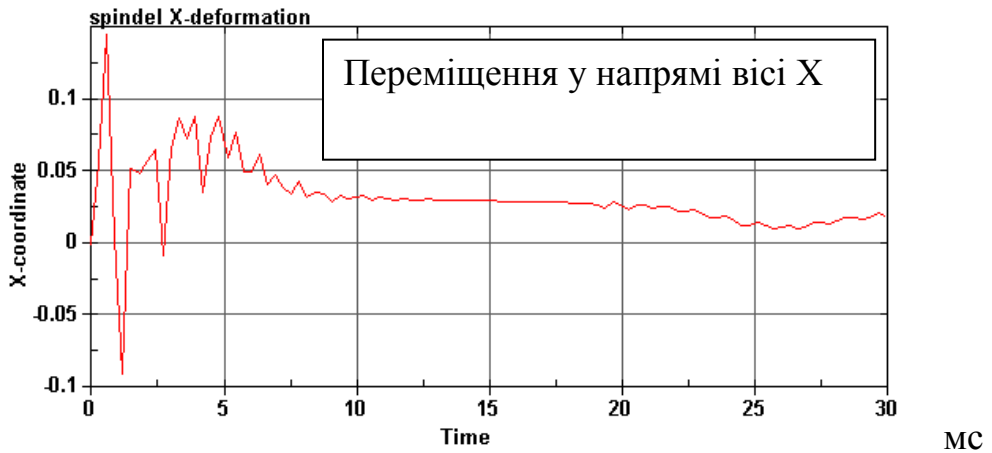


Рисунок 4.5 – Переміщення (мм) шпинделя в опорах

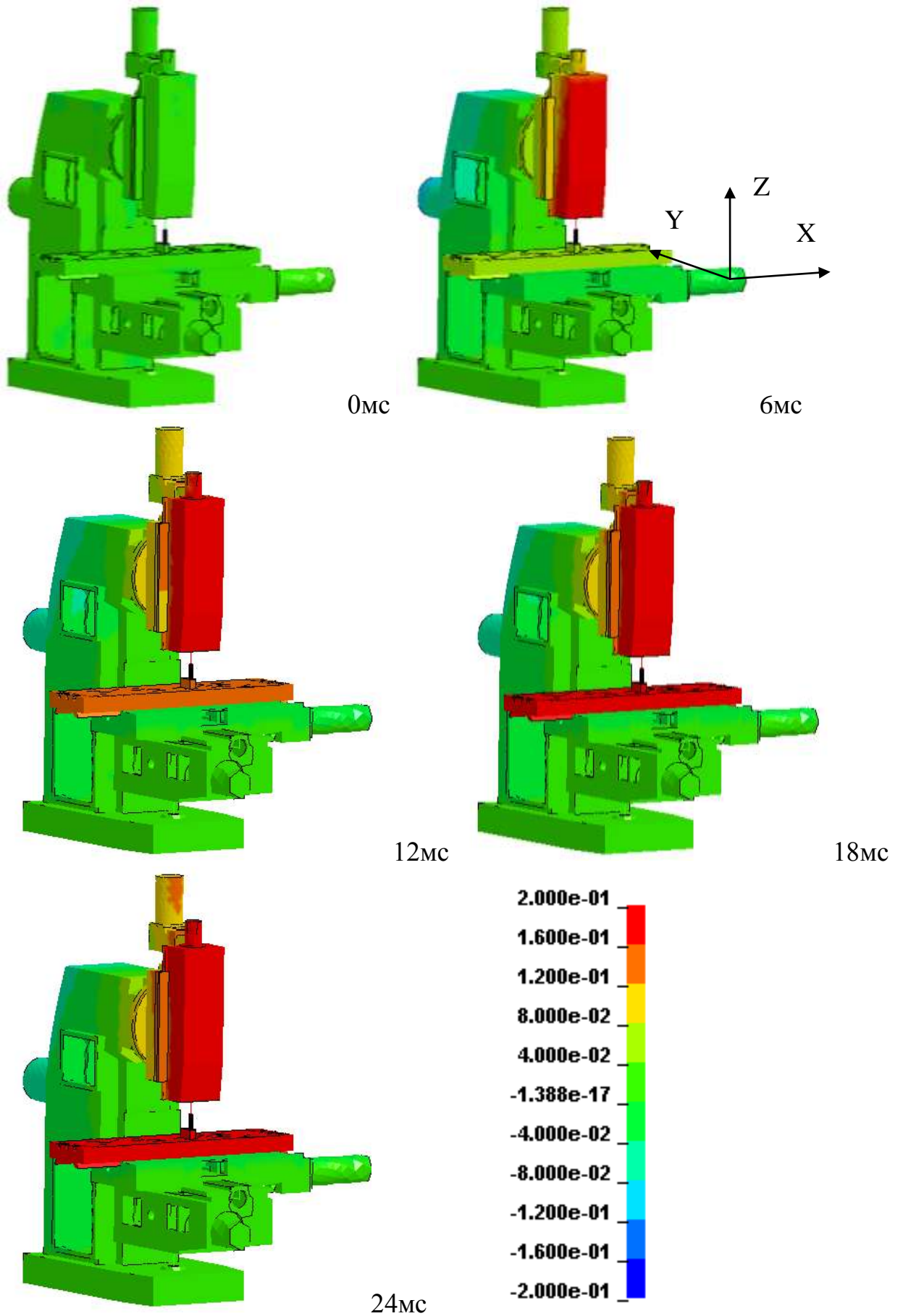


Рисунок 4.6 – Переміщення у напрямі X (мм) станини верстата та елементів технологічної системи

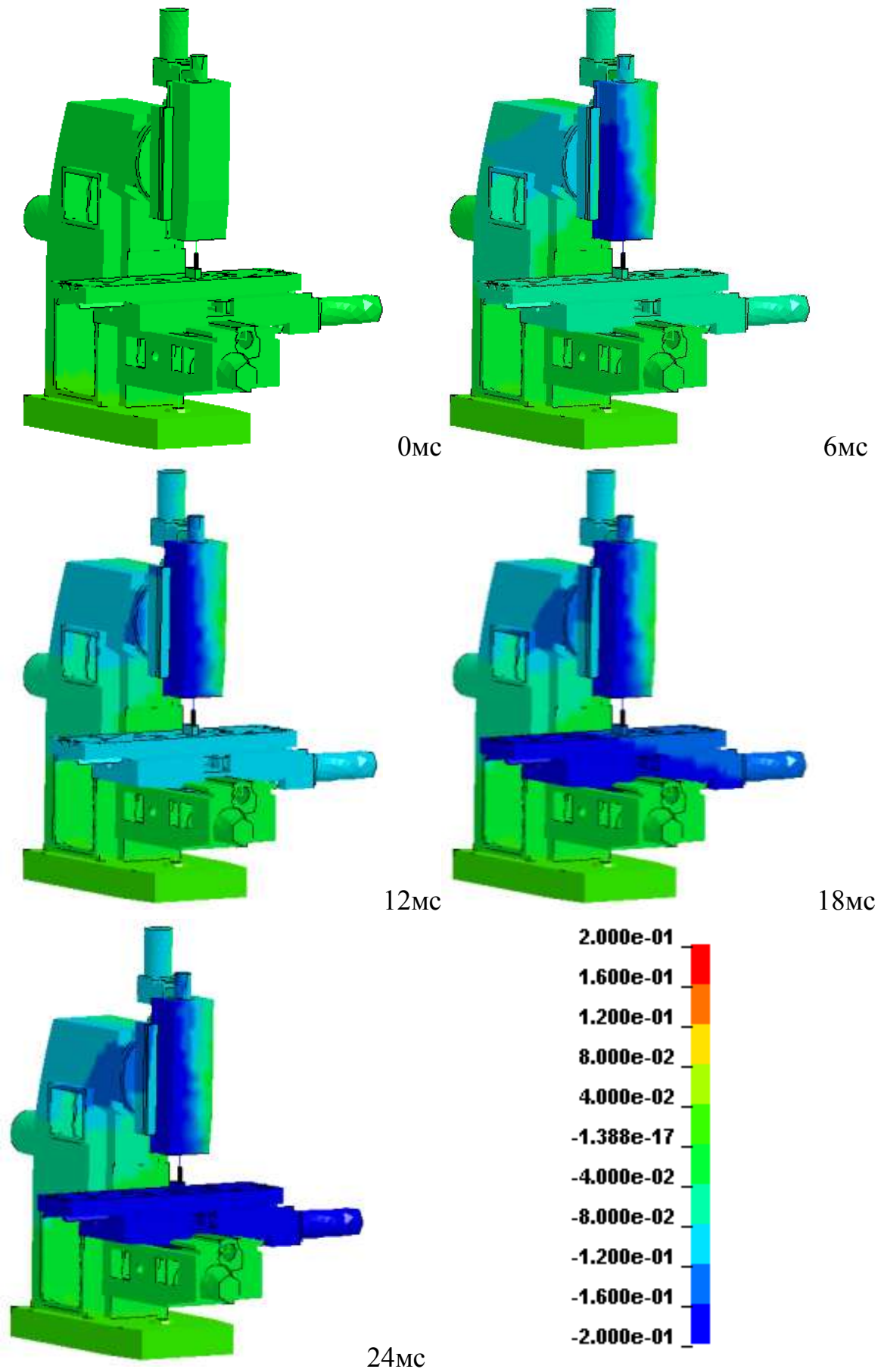


Рисунок 4.7 – Переміщення у напрямі Y (мм) станини верстата та елементів технологічної системи

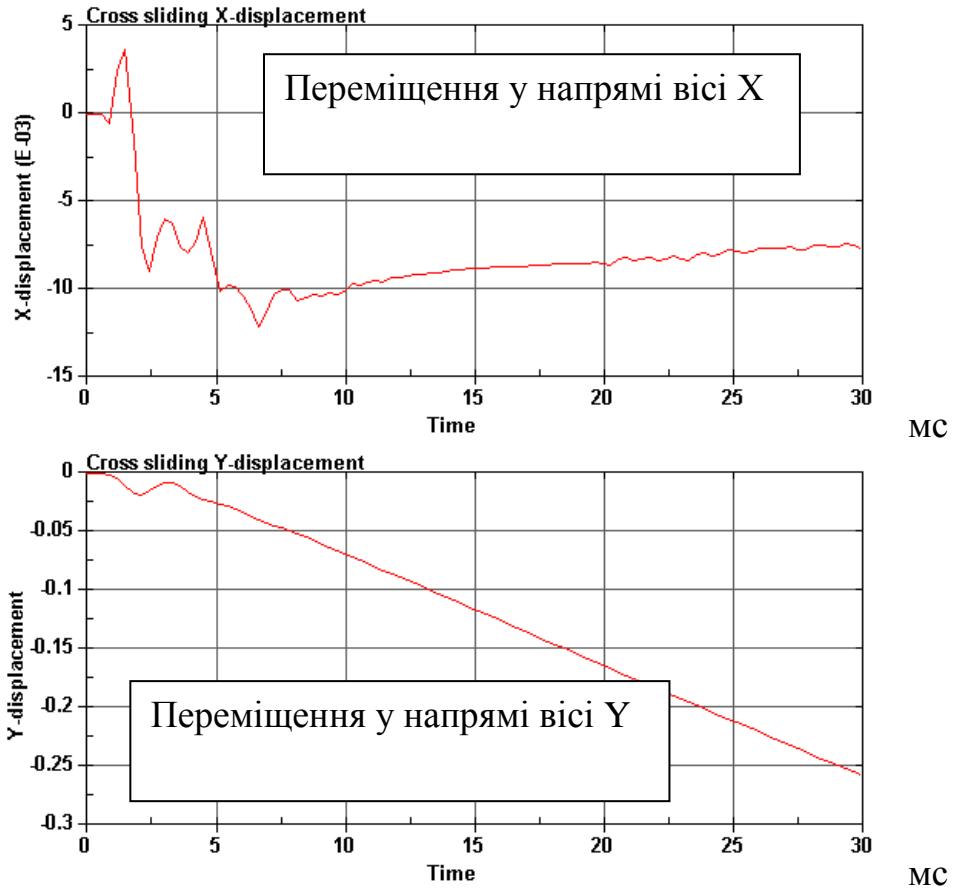


Рисунок 4.5 – Переміщення (мм) у напрямних «поперечний стіл-консоль»

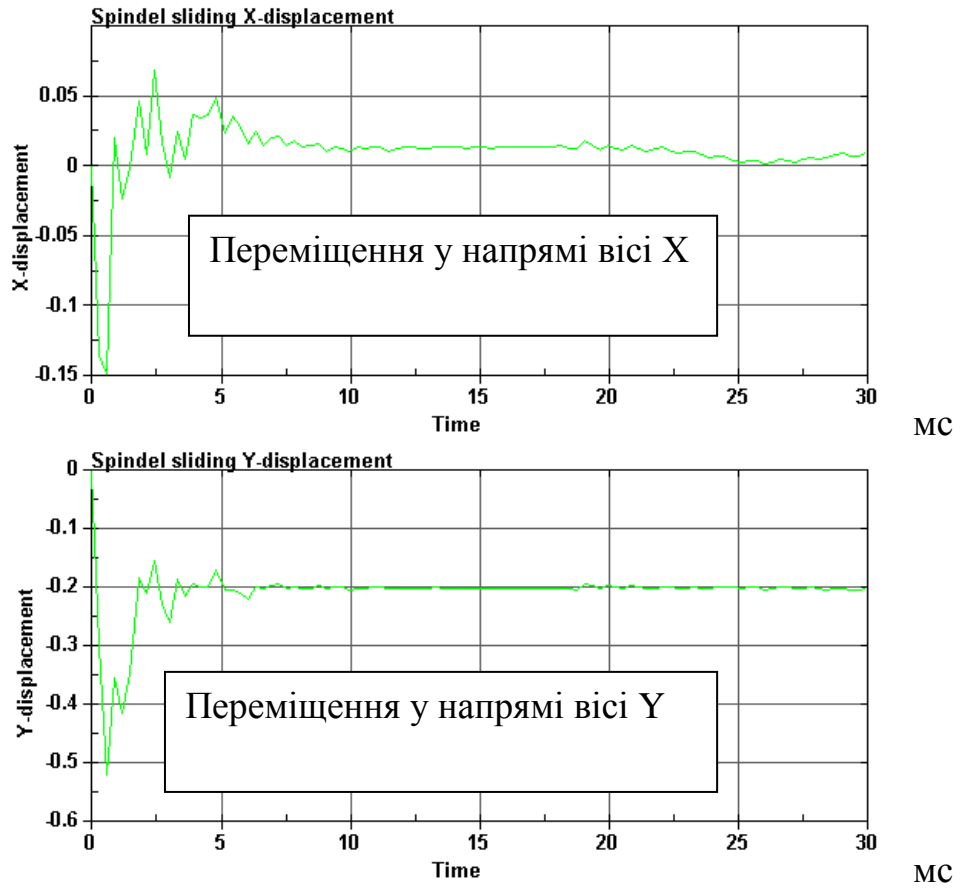


Рисунок 4.8 – Переміщення (мм) у напрямних «станина-повзун»

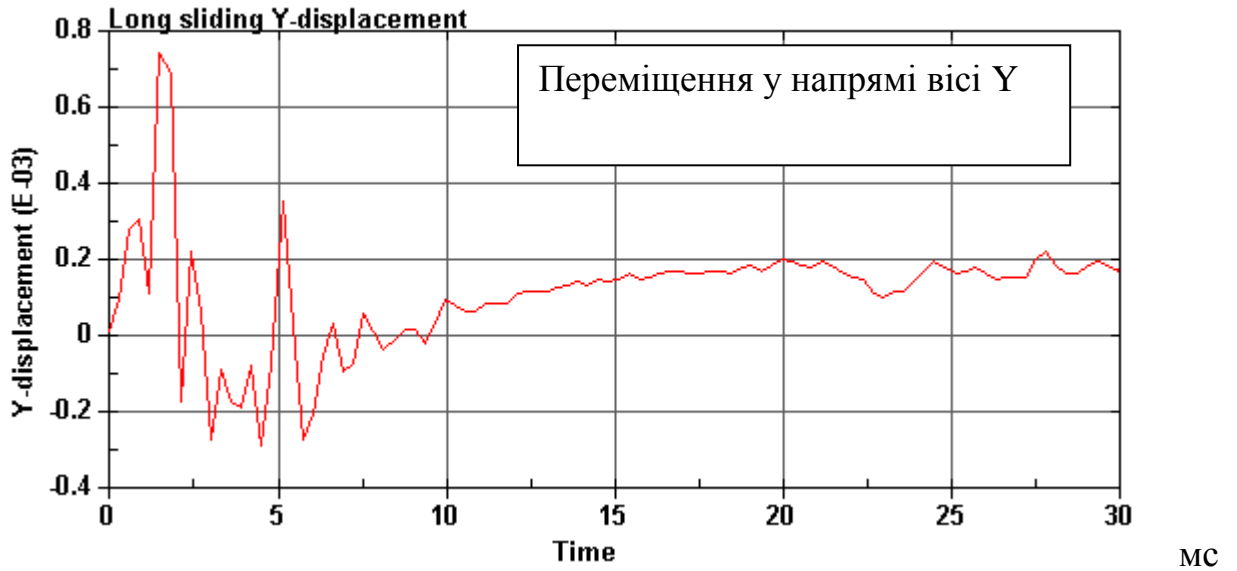


Рисунок 4.9 – Переміщення (мм) у напрямних «повздовжній стіл-поперечний стіл»

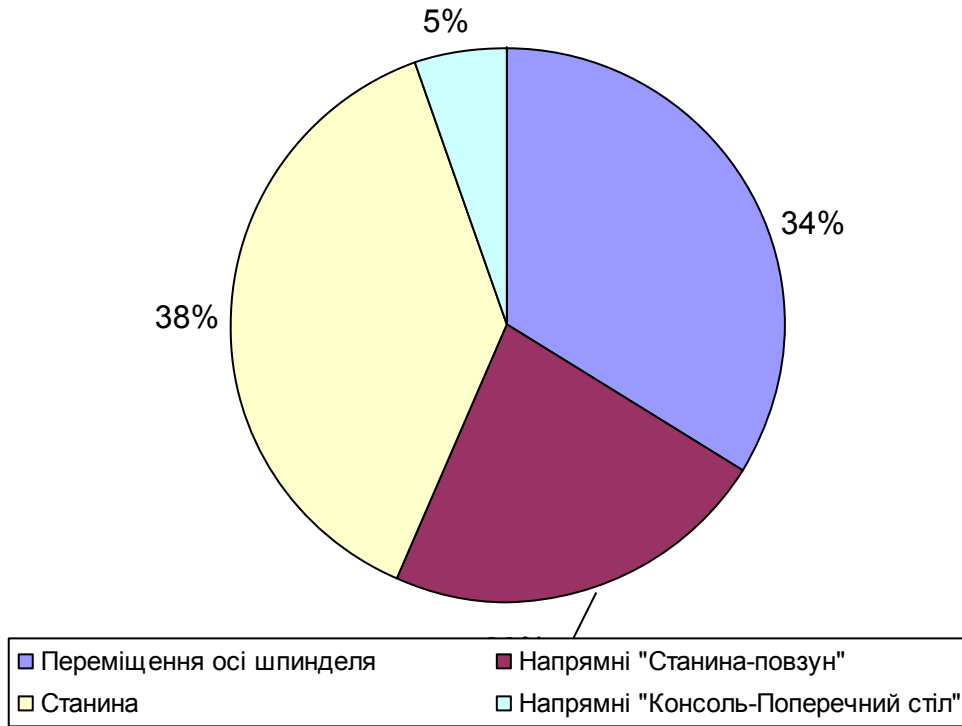


Рисунок 4.10 – Порівняння внеску переміщення елементів технологічної системи у сумарне переміщення зубів фрези у напрямі осі X



Рисунок 4.11 – Порівняння внеску переміщення елементів технологічної системи у сумарне переміщення зубів фрези у напрямі осі Y

2.3 Висновки

1. Проведені пошукові розрахунки процесу стружкоутворення у абсолютно жорсткій та податливій технологічній системах, результати яких показали, що переміщення у технологічній системі в момент врізання призводять до запізнення початку сталого стружкоутворення, додаткового тертя зубів о заготовку без різання та активації вібрацій. Основними джерелами переміщень є деформація станини та переміщення у зазорах напрямних. Зменшення зазорів, або створення натягів дозволяє зменшити сумарні деформації інструмента та заготовки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання НДР розв'язано важливу науково-технічну задачу прогнозування поведінки елементів податливої технологічної системи при фрезеруванні, що в цілому сприятиме розвитку теорії різання, теорії проектування інструментів та верстатів.

1. Розроблено методологію побудови раціональної з точки зору витрат ресурсів обчислювальної системи скінчено-елементної сітки складної технологічної системи, що включає елементи різної маси, жорсткості та розмірів, а також рухомі та нерухомі з'єднання зі скінченою величиною контактної жорсткості. Встановлено, що поєднання в моделі просторових та балкових скінчених елементів для моделювання конструктивних елементів може суттєво зменшити витрати обчислювальних ресурсів.

2. В результаті проведення пошукових розрахунків доведено працездатність моделі процесу фрезерування в замкнутій технологічній системі, а також показано можливість за її допомоги визначити вплив зазорів у з'єднаннях, жорсткості кулькових гвинтових передач та оправок на процес формування стружки, сили різання та напруження у інструменті.

3. Проведені розрахунки процесу стружкоутворення у абсолютно жорсткій та податливій технологічній системах, результати яких показали, що переміщення у технологічній системі в момент врізання призводять до запізнення початку сталого стружкоутворення, додаткового тертя зубів о заготовку без різання та активації вібрацій. Основними джерелами переміщень є деформація станини та переміщення у зазорах напрямних. Зменшення зазорів, або створення натягів дозволяє зменшити сумарні деформації інструмента та заготовки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Neugebauer R. , Wabner M. , Rentzsch H. , Ihlenfeldt S. Structure principles of energy efficient machine tools//CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. -2011. -№ 4. -С. 136- 147.
2. Криворучко Д. В., Залога В. А., Корбач В. Г. Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінчених елементів: навчальний посібник. -Суми: Вид-во СумДУ, 2010. -208 с.
3. Piendle S. , Aurich J. C. 3D Finite-Element Simulation of Chip Formation in Turning//Proceedings of the 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. - -С. 225- 233.
4. Hoevel S. Finite Elemente Simulation von Zerspanvorgängen mit geometrisch bestimmter Schneide: Дисс. ... канд. техн. наук:05.03.01. -Kaiserslautern,2007.-142 с.
5. Крижановский С. А. Прогнозування параметрів процесу контурної обробки кінцевими фрезами на основі моделювання процесу різання та точності обробки: Дисс. ... канд. техн. наук:05.03.01. -Хмельницький, 2005. -225 с.
6. Криворучко Д. В. НАУКОВІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук:05.03.01/ СумГУ. -Харків, 2010. -40 с.
7. Шустер Л. Ш. Адгезионное взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом. -М.: Машиностроение, 1988. -96 с.
8. Резников А. Н. Теплофизика резания. -М.: Машиностроение, 1969. -288 с.