

УДК 621.881

І. Луців, докт. техн. наук; С. Штогрин

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ПОДРІБНЕННЯ ЗЛИВНОЇ СТРУЖКИ ПРИ ДВОЛЕЗОВОМУ ТОЧІННІ ІНСТРУМЕНТОМ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Резюме. Проведено експериментальні дослідження подрібнення зливної стружки при дволезовому точінні інструментами з електромеханічним зв'язком. Проаналізовано стружкоутворення при різних режимах для різних матеріалів обробки. Визначено залежність геометрії елементів стружки від режимів подрібнення й коефіцієнта усадки різних матеріалів.

Ключові слова: подрібнення стружки, дволезове точіння, зливна стружка.

I. Lutsiv, S. Shtogryn

CONTINUOUS CHIP CUTTING IN DOUBLE EDGE TURNING BY TOOL WITH ELECTROMECHANICAL LINK

Summary. The paper presents the results of investigations of continuous chip cutting in double edge turning by tools with electromechanical link. To provide more reliable process of chip cutting taking place in yielding metals machining the number of kinematic cutting methods using the adaptive type mechanisms is developed. The inter-tool links applying influences substantially the change in the cutting geometry making easier the process of material cracking. Thereby due to the oscillations of cutting elements the chip thickness and width vary significantly. Its strength in a weak section may be not sufficient, thus the chip breaks and the chip formation process irregularity intensifies that encourages its further cutting-off.

For the purpose of increasing of reliability and speed performance of the system with mechanical inter-tool links the possibility of replacing these links with electromechanical ones becomes obvious. The essence of this proposal is that two carriages (tools) with one of a constant cutting feed are connected with electromechanical link enabling the process numerical control. The process of chip cutting undergoes as a result of movable tool reciprocating motion within constant feed value bounds. In this case the tangential and axial oscillations provide the process of chip breaking and thus its cutting. It is reasonable to use the force effort electromagnet as an oscillation drive which provides the motive force large enough to make the possibility both of soft aluminum alloys and steel machining as well as adjustment of different vibration amplitude and frequency that determine the broken up chip length. Control can be also performed by the program module using logical controllers.

The theoretical picture of the chip cutting process (cutting elements motion paths) using the proposed system are developed. The experimental investigations were conducted for the machining of aluminum alloy AL-2, steel 45 and copper. The experiment showed that the proposed method of chip cutting is effective enough for all the materials. The diagrams illustrate the chip length dependences on the materials being machined.

The experiments showed that the broken-off chip length depends on the number of parameters namely cutting conditions (feed s , rotational speed n) and conditions of chip cutting (oscillation frequency, delay period). Thereby the chip of larger length can be obtained with increasing feed and rotational speed as well as the increasing of vibration frequency leads to the shortening of the chip length. The broken-off chip samples are illustrated by their photo. As a result of investigations the regularities of changing the characteristic of machined surface roughness are found.

Key words: chip cutting, double edge turning, continuous chip.

Постановка проблеми. Автоматизація і роботизація процесів металообробки в сучасному машинобудуванні змушує шукати нові способи боротьби з таким

негативним, явищем як утворення зливної стружки при оброблення в'язких металів. Подрібнення стружки є невід'ємним етапом металообробки в сучасному машинобудуванні, оскільки небажане явище зливної стружки має місце при обробленні в'язких металів і сильно заважає ефективній роботі автоматичних ліній, а в окремих випадках призводить до їх поломки. Така стружка є травмонебезпечною для обслуговуючого персоналу. Відомо ряд методів і способів стружкоподрібнення, які мають як переваги, так і недоліки. Подрібнення може відбуватись як у процесі оброблення безпосередньо, так і окремою операцією.

Аналіз останніх досліджень. Унаслідок коливних рухів різальних елементів суттєво змінюються умови різання на кожному із них. При цьому має місце певна нерівномірність процесу стружкоутворення [1], яка сприяє подрібненню стружки в процесі різання.

Перспективним і універсальним є використання для дроблення стружки різання з вібраціями. Застосування різання з вібраціями на оптимальних режимах дозволяє успішно вирішувати проблему дроблення зливної стружки. В роботах О.В. Шевченка і А.Ю. Беляєвої детально розглянуто процеси й механізми вібраційного дроблення стружки при однолезовому точінні [3], [4], [5]. Проте для забезпечення більшої надійності процесу подрібнення стружки найефективніше застосовувати кінематичне подрібнення. При цьому досягається стабільне утворення елементів стружки довжини, що розраховується, незалежно від виду матеріалу, а також більшості умов оброблення. На кафедрі конструювання верстатів інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя розроблено ряд методів такого подрібнення стружки в процесі оброблення з використанням механізмів адаптивного типу [6]. Водночас істотно важливою є завдання підвищення надійності вказаного міжінструментального зв'язку.

Мета і завдання досліджень полягає в тому, щоб розробити і дослідити новий пристрій підвищеної надійності для подрібнення стружки при дволезовому точінні в'язких металів, а також методику подрібнення стружки з активним і пасивним інструментом, з визначення відповідних режимів різання й подрібнення та аналізом механічних процесів і характеристик, що при цьому відбуваються.

Виклад основного матеріалу. Аналіз стружкоутворення при багатолезовій обробці із застосуванням міжінструментальних зв'язків дозволяє зробити висновок, що елементи стружки можуть утворюватись як у процесі неперервного різання, так і за рахунок подрібнення стружки під час оброблення. В першому випадку утворення елементів стружки визначається самою фізикою процесу різання та її особливостями для дволезової обробки, що характерно і для обробки із застосуванням міжінструментальних зв'язків. Проте внаслідок коливних рухів різальних елементів очевидно змінюються суттєво умови різання на кожному із них. При цьому має місце певна нерівномірність процесу стружкоутворення. Ступінь цієї нерівномірності залежить від величин параметрів верстато-інструментального оснащення із міжінструментальними зв'язками, його налагодження, режимів обробки та умов різання. Зміна фізичної картини перетворення окремих елементів зрізаного шару в стружку може стосуватися пластичного деформування й руйнування оброблюваного

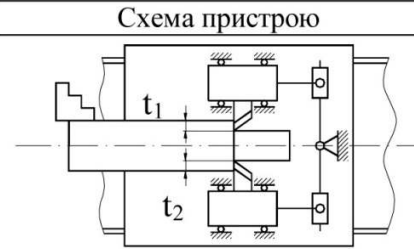
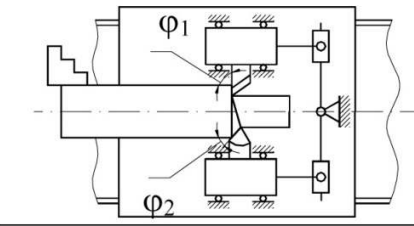
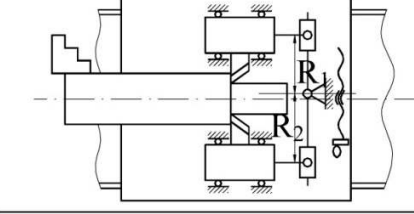
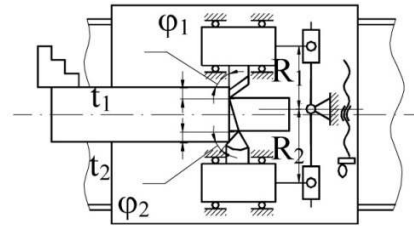
матеріалу, процесів тертя на конкретних поверхнях, або змінювати лише механіку окремих елементів стружки.

Тоді, коли за однакових умов при звичному різанні отримують неперервну міцну стружку зливної форми, то при обробленні з міжінструментальними зв'язками може утворюватися стружка подрібненої форми. Адже, з одного боку, застосування міжінструментальних зв'язків суттєво впливає на зміну геометрії різання, може полегшувати процес руйнування матеріалу, при цьому можуть змінюватись і кут дії, і кут сколювання (зсуву). З іншого боку, внаслідок коливних рухів різальних елементів суттєво змінюються товщина і ширина стружки. При значних коливаннях площі поперечного перерізу стружки міцність її по слабкому січенні (зокрема по впадині) може виявитися недостатньою і стружка зламається. Таким чином, утворюються елементи стружки у вигляді окремих спіральок, кілець чи завитків. При обриві елементів стружки посилюється нерівномірність процесу стружкоутворення, що сприяє подальшому подрібненню. Довжина елементів стружки зменшується зі збільшенням нерівномірності умов різання на різальних елементах (табл. 1).

У даному випадку використані такі позначення: t_i – глибини різання на різальних елементах; φ_i – головні кути в плані різальних елементів; R_i – плечі вирівнювального важеля; $i = 1, 2$ – індекс, що стосується конкретного різального елемента; T – період обертання деталі.

Таблиця 1.

Схеми пристроїв кінематичного подрібнення стружки при дволезовому точінні інструментальними системами адаптивного типу.

Схема пристрою	Умова подрібнення	Час циклу подрібнення стружки
	$t_1 \neq t_2;$ $\varphi_1 = \varphi_2;$ $R_1 = R_2$	$\frac{t_1^2}{t_1^2 - t_2^2} T$
	$t_1 = t_2;$ $\varphi_1 \neq \varphi_2;$ $R_1 = R_2$	$\frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_2} T$
	$t_1 = t_2;$ $\varphi_1 = \varphi_2;$ $R_1 \neq R_2$	$\frac{R_1^2}{R_1^2 - R_2^2} T$
	$t_1 \neq t_2;$ $\varphi_1 \neq \varphi_2;$ $R_1 \neq R_2$	$\frac{R_1^2 t_1^2 \sin^2 \varphi_1}{R_1^2 t_1^2 \sin^2 \varphi_1 - R_2^2 t_2^2 \sin^2 \varphi_1} T$

Поряд із використанням систем з механічним зв'язком між інструментами очевидною є можливість його заміни на електромеханічний з метою підвищення його надійності та швидкодії. Сутність даної пропозиції полягає в тому, що, використовуючи два супорти (інструменти), один з яких є умовно нерухомий (пасивний), тобто має постійну подачу різання, пов'язуємо їх між собою електромеханічним зв'язком, який допускає програмне керування процесом. Процес стружкоподрібнення здійснюється в результаті зворотно-поступальних рухів рухомого (активного) інструмента (супорта) в межах постійної подачі. При цьому тангенціальні чи осьові коливання й забезпечують процес переривання стружки, і, таким чином, її подрібнення.

Пристрій для подрібнення стружки (рис. 2, 3) є дворізцевою інструментальною системою, яка містить рухомий (активний) і нерухомий (пасивний) супорт. Активний супорт має відносні осьові переміщення (коливання А) в межах подачі пасивного. Він закріплений на корпусі пристрою і направляється по направляючих колонках, що забезпечує відповідну точність механізму. Налаштування на розмір здійснюється за контрольними шаблонами. Пристрій закріплюється в задній бабці токарно-гвинторізного верстата. подача при цьому є ручною. Для точнішого регулювання подачі є можливість переобладнання для встановлення пристрою в супорт верстата. Пасивний супорт 3 має постійну подачу s і програмно пов'язаний з активним супортом 2, якому надається колильний рух за допомогою привода – тягового електромагніту 1. При цьому $s_1 = s_2 = \text{const}$, $t_1 = t_2$, $\varphi_1 = \varphi_2$. Подрібнення стружки забезпечується

коливаннями подачі s_1 з амплітудою A . Загальний вигляд установки проілюстровано на рис. 1.

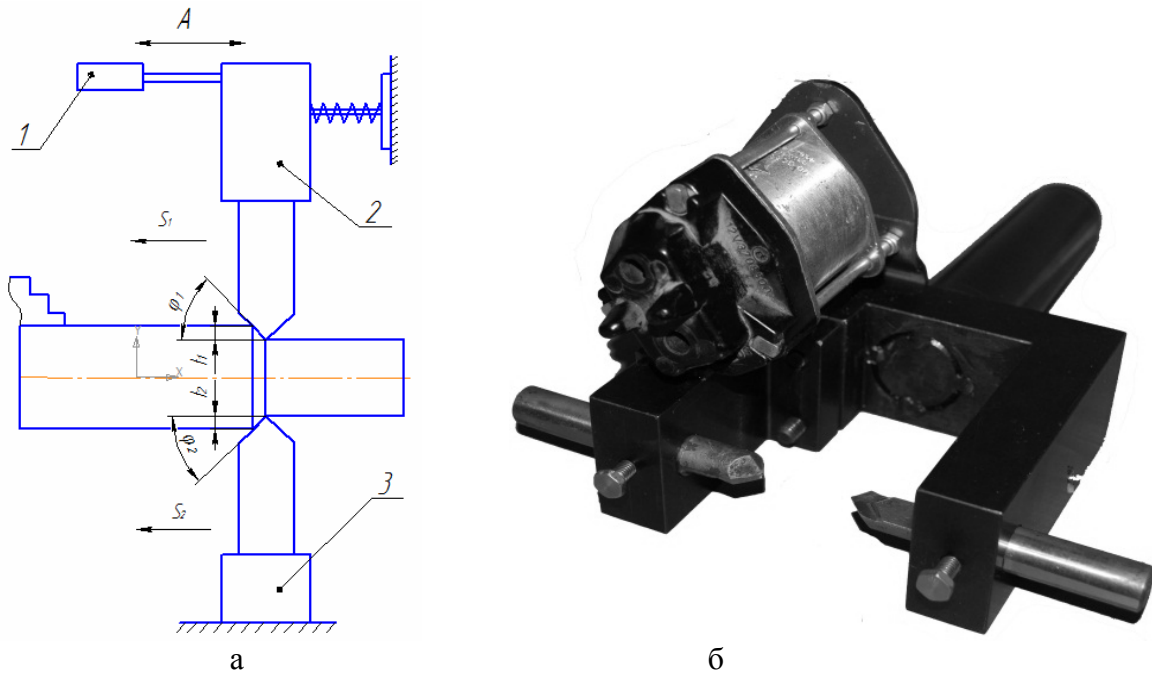


Рисунок 1. Схема установки для подрібнення стружки з електромеханічним зв'язком (а) і фото дослідного взірця інструмента (б)

Figure 1. Installation scheme of apparatus with electromechanical link for chip cutting (a) and photo of the test pilot tool (b)

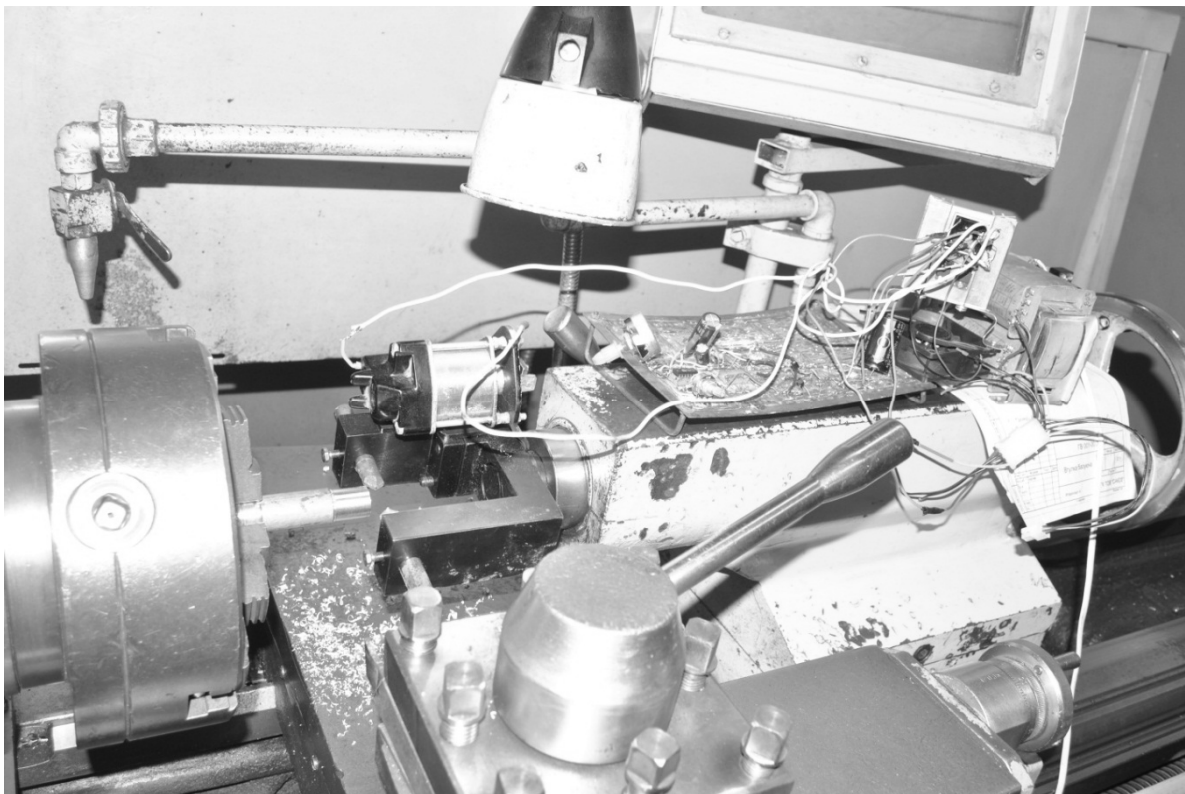


Рисунок 2. Фото установки для подрібнення стружки з електромеханічним зв'язком, встановленої на токарно-гвинторізному верстаті 16К30

Figure 2. Photo of the chip cutting installation with electromechanical link mounted at the engine lathe 16K30

В якості привода коливань доцільно застосовувати тяговий електромагніт, який забезпечує достатньо велике тягове зусилля, що дає можливість роботи як із м'якими сплавами типу алюмінієвих, так і зі сталями, і налаштування різної частоти й амплітуди коливань, що визначають довжину подрібненої стружки. В даному випадку використано електромагніт втягуючого реле стартера автомобіля ВАЗ 2101 (споживча потужність 240 Вт, струм 20А, напруга 12В), який працює від генератора імпульсів. Власне генератор імпульсів і здійснює керування параметрами подрібнення стружки. Він змонтований на базі інтегральної мікросхеми К561ЛЕ5. Привод-електромагніт можна налаштовувати залежно від оброблюваного матеріалу, а також необхідного ходу штока та зусилля різання. Електросхема (рис. 3) складається з блока живлення 12В, 20А на базі трансформатора Т-240 та силових транзисторів IRZ, і безпосередньо блока керування.

Мікросхема дає змогу регулювати частоту і скважність (період затримки) вібрацій за допомогою змінних резисторів із номінальним опором 1 МОм. На виході отримуємо короткочасні імпульси частотою від 0,1 до 5 Гц. Експериментальна електросхема зображена на рис. 6.

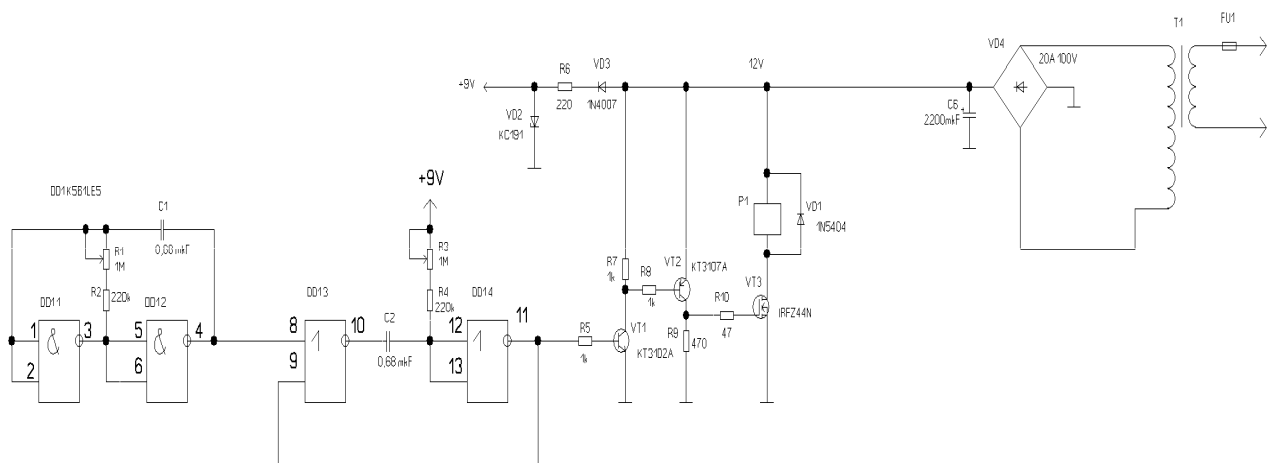


Рисунок 3. Електросхема керуючої плати дослідної установки

Figure 3. Electric scheme of test installation control card

Керування також може здійснюватися програмованим модулем із використанням логічних контролерів, що дає змогу розширити діапазон застосування пристрою та забезпечує можливість програмно змінювати закон коливань, а також повністю автоматизувати процес подрібнення стружки. Програмований модуль може працювати як в автоматичному, так і ручному режимі. При роботі в автоматичному режимі система зчитує показники датчиків навантаження на інструментах і за цими результатами регулює частоту, період і закон коливань. На цифрові індикатори

виводяться показники зусилля і частоти. У випадку перевантаження інструменту система автоматично вимикається. При роботі в ручному режимі за допомогою регуляторів можемо виставляти потрібні параметри роботи самостійно. Для опрацювання даних до модуля можна під'єднати осцилограф або ПК.

Електросхема модуля (рис. 4) складається з блока живлення, який змонтований на базі трансформатора Т-270 потужністю 270 Вт, генератора імпульсів та системи аналізу даних. Блок живлення видає 2 потоки: для пуску – 12В, 20А для утримання електромагніта (щоб забезпечити регулювання скважності) – 12В, 10А. Система аналізу аналізує дані датчиків зусилля і подає сигнал на генератор імпульсів, який, свою чергу, передає сигнали на електромагніт із відповідним законом, частотою і скважністю.

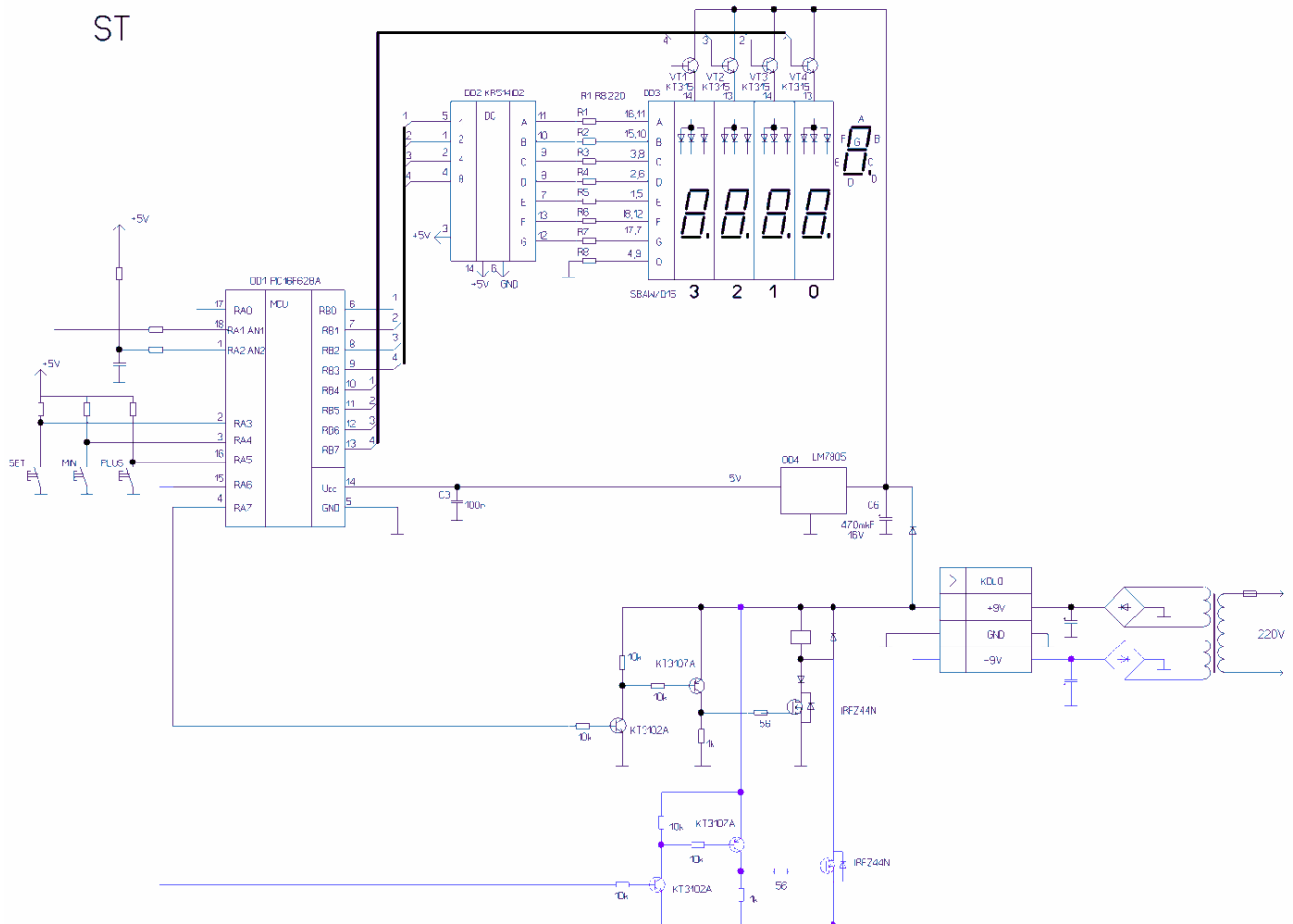


Рисунок 4. Електросхема модуля керування процесом стружкоподрібнення

Figure 4. Electric scheme of chip cutting process module

Теоретична картина процесу подрібнення з використанням запропонованого механізму (теоретичні траєкторії руху) в ідеальному випадку показана на рисунку 1. При цьому активний інструмент коливається виключено в межах постійної подачі пасивного, забезпечуючи ідеальний процес подрібнення стружки.

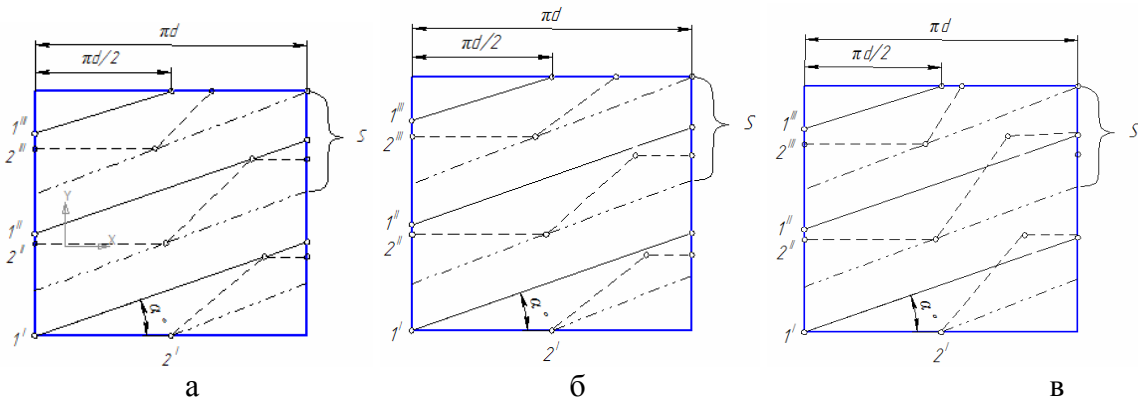


Рисунок 5. Траєкторія руху інструментів при дворізцевому точінні за умови:
 а – одного відносно рухомого інструмента; б – при $a < s$; в – при $a > s$

Figure 5. Tools motion paths in double edge turning under the condition:
 a – one relative to the other movable tool; b – at $a < s$; c – at $a > s$

На практиці ці коливання теж наближені до величини подачі, але не можуть бути їй рівні. Тому розглянемо 2 випадки траєкторії ріжучих кромки. У першому амплітуда коливань менша від теоретичної. В результаті цього не відбувається повне перерізування стружки й подрібнення є частковим і здійснюється за рахунок доломування елементів зрізаного металу за рахунок сили різання і зовнішніх факторів. У другому ж випадку амплітуда більша, аніж величина подачі. При цьому відбувається гарантоване перерізування стружки з частковим зарізуванням у наступний прохід пасивного леза, що може впливати на погіршення шорсткості.

При використанні програмного модуля для керування процесом подрібнення можливі й інші схеми руху інструменту, зокрема по синусоїді. При цьому умови амплітуди – теоретичні й практичні – залишаються ті ж самі, що і в попередньому випадку.

Експериментальні дослідження проводились щодо обробки трьох матеріалів: алюмінієвий сплав АЛ-2, сталь 45 та мідь. Для всіх трьох матеріалів експеримент показав, що запропонований метод подрібнення стружки працює. Випробування проводилися на різних режимах, а саме: оберти двигуна збільшували поступово від 100 до 1000 об/хв, а подачу – від 0,5 до 5 мм/об. При всіх режимах процес подрібнення відбувався гарантовано й ефективно. Аналізуючи довжину стружки, бачимо, що вона залежить від матеріалу, припусків, подачі, числа обертів.

Результати досліджень. Для визначення залежності довжини подрібненої стружки від матеріалу проводили оброблення алюмінієвого сплаву АЛ-2, міді, латуні, Ст 3, сталі 45. Режими різання для всіх матеріалів були одні й ті ж, а саме: частота обертів шпинделя $N = 450$ об/хв, подача $S = 0,5$ мм/об. Дослід показав, що найгірший показник дроблення у міді, оскільки вона має велику в'язкість, а найкращий – у сталі 45. Діаграма залежності довжини стружки від оброблюваного матеріалу зображена на рисунку 8.

При роботі з різними матеріалами при одних і тих режимах довжина подрібненої стружки виявилась різною. Це пояснюється тим, що при різанні має місце усадка стружки. У різних джерелах вказують на залежність усадки від ряду параметрів. У

загальному довжину подрібненої стружки L_T , яку слід брати до уваги при розрахунках, слід розраховувати із залежності

$$L_T = L_e \cdot K,$$

де L_e – фактична довжина стружки;

K – коефіцієнт усадки стружки.

Використанням даної залежності встановлено однакову теоретичну довжину стружки для різних металів за умови, що оброблення проводиться на однакових режимах.

Експерименти показали, що довжина подрібненої стружки залежить від ряду параметрів, а саме: режимів різання (подачі s , частоти обертів n) і режимів подрібнення (частоти коливань, періоду затримки). При цьому зі збільшенням подачі й частоти обертів отримуємо стружку більшої довжини. Збільшення частоти коливань призводить до зменшення довжини стружки, тоді як збільшення періоду затримки – до збільшення довжини стружки.

Результати експерименту показано на графіках (рис. 6).

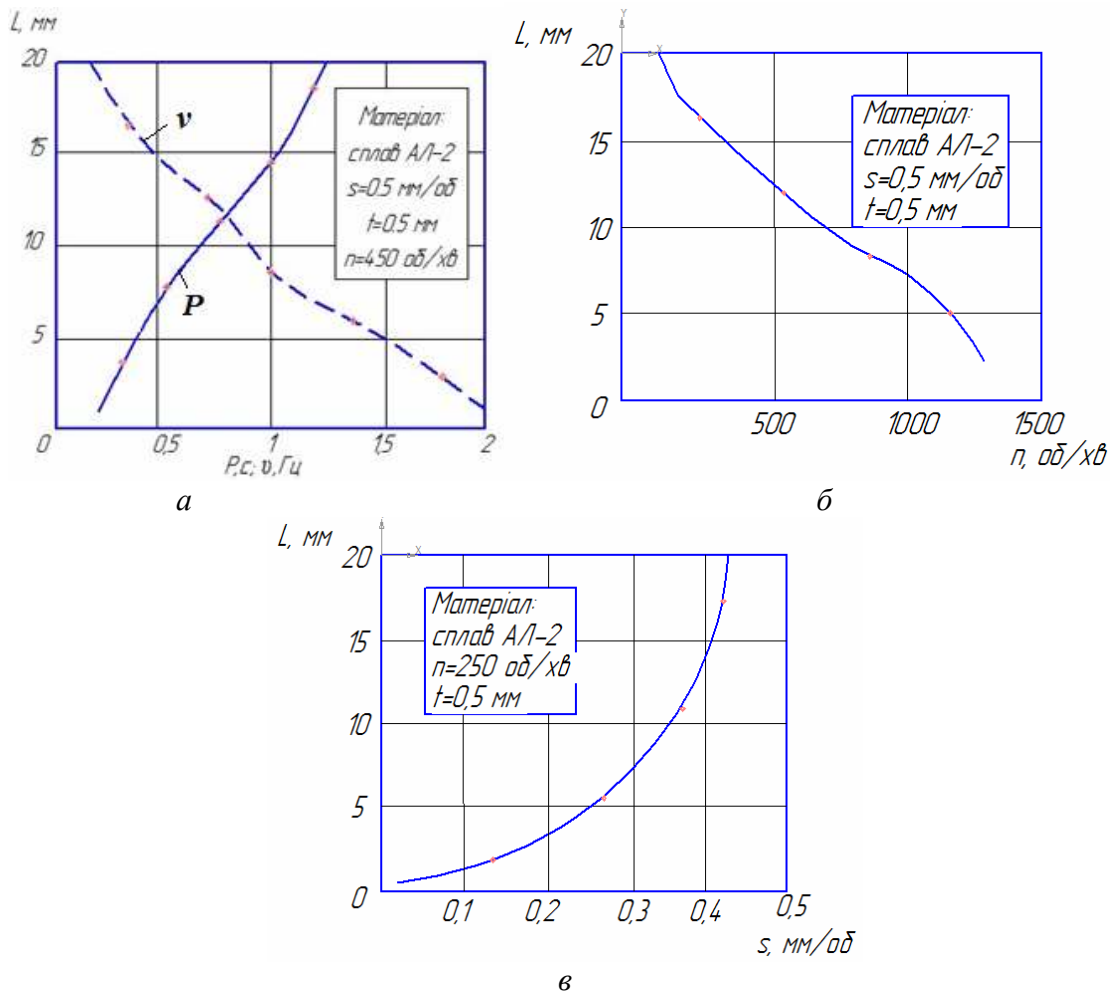


Рисунок 6. Графіки залежності довжини стружки від:
а – частоти і періоду вібрацій; б – частоти обертів шпинделя; в – подачі

Figure 6. Graph of chip length dependence versus:
a – vibration frequency and period; б – spindle rotational speed; в – feed

Зразки елементів подрібненої стружки ілюструє фото, що на рис. 7.

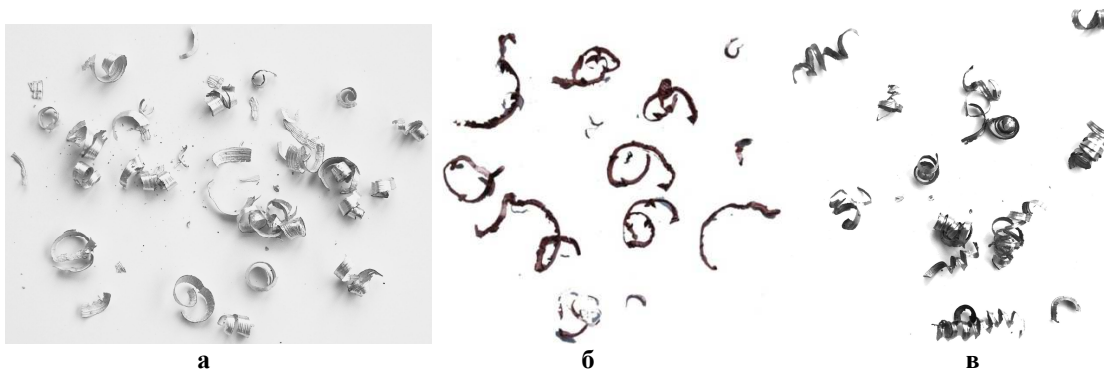


Рисунок 7. Фото елементів подрібненої стружки при роботі з різними матеріалами і на різних режимах подрібнення: а – алюмінієвий сплав АЛ-2; б – мідь; в – сталь 45

Figure 7. Photo of chip cutting elements when working with different materials and at different chip cutting conditions: a – aluminum alloy AL-2; b – copper; c – steel 45

У результаті досліджень виявлено змінну характеристику шорсткості (рис. 8).

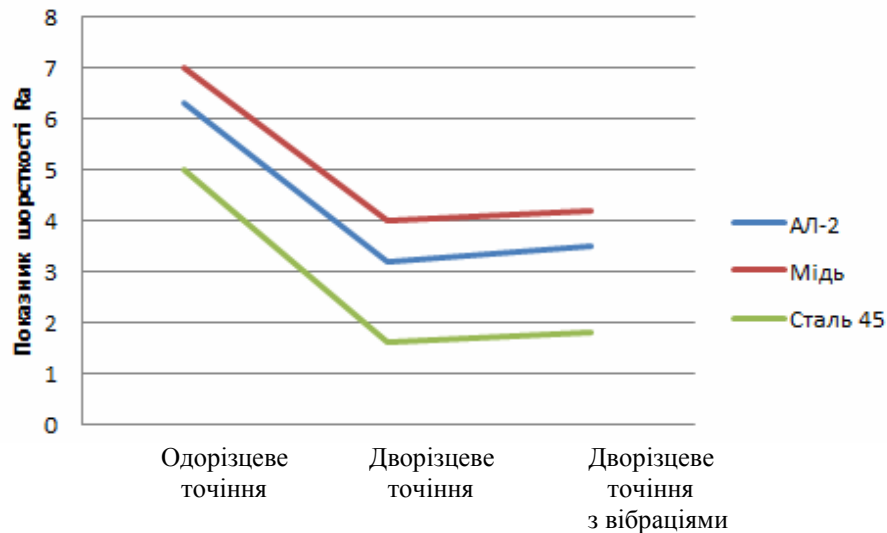


Рисунок 8. Характеристики шорсткості при одно- і дволезовому точінні

Figure 8. Roughness characteristics in single- and double edge turning

Висновки. Дослідження показали, що метод подрібнення зливної стружки за умови коливання одного з двох ріжучих лез є достатньо надійним і ефективним. Електромеханічний зв'язок дає можливість широкого керування процесом подрібнення, в тому числі й програмним способом. Елементи стружки утворюються залежно від режимів подрібнення та оброблюваного матеріалу. Представлено можливість керувати довжиною стружки, що є надзвичайно важливим для її утилізації.

Conclusions. Conducted investigations showed that the method of continuous chip cutting under the condition that one of the two cutting edges is oscillating is enough reliable and effective. The electromechanical link provides the possibility of chip cutting process wide ranging control including NC. The chip elements are generated under the conditions of chip cutting and material being machined. The possibility to control the chip length is given that is very important for its utilization.

Список використаної літератури

1. Mohavhhedy, M.R. ALE simulation of chip formation in orthogonal metal cutting process. – PhD dissertation, the University of British Columbia (Canada), 2000, 181 p.
2. Лавров, М.К. Завивание и дробление стружки в процессе резания [Текст] / М.К. Лавров. – М.: Машиностроение, 1971. – 82 с.
3. Деклараційний патент України № 56855А, МПК В23В25/02/ Різцетримач [Текст] / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва; опуб. 15.05.2003, Бюл. №5, 2003р.
4. Патент України на корисну модель № 43535, МПК В23В 25/00/ Різцетримач [Текст] / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва; опуб. 25.08.2009, Бюл. № 16, 2009р.
5. Шевченко, О.В. Моделювання процесу дроблення стружки при токарній обробці [Текст] / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва // Прогресивні технології і системи машинобудування // Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонТУ, 2008. – Вип. 36. – С. 227 – 232.
6. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія [Текст] / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин; упоряд. Ю.М. Кузнецов. – Тернопіль: Тернограф, 2011. – 692 с.

Отримано 06.11.2012