

**І.Луців, докт. техн. наук; І.Брошчак, канд. техн. наук**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ТА ВІДВЕДЕННЯ СТРУЖКИ З ЗОНИ РІЗАННЯ ПРИ ГЛИБОКОМУ СВЕРДЛІННІ ІНСТРУМЕНТОМ З МІЖЛЕЗОВИМ АДАПТИВНИМ ЗВ'ЯЗКОМ**

*Наведено конструкцію і принцип роботи свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком. Подано основні результати дослідження процесу утворення та відведення стружки з зони різання при обробці глибоких отворів інструментом з міжлезовим гідравлічним зв'язком. Наведено залежності величини вмісту фракцій стружки і її кумулятивної характеристики від подачі та швидкості різання.*

**I. Lutsiv, I. Broshchak**

## **RESEARCH OF PROCESS OF EDUCATION AND TAKING OF SHAVING FROM CUTTING AREA AT DEEP BORING BY DRILL WITH EDGEADAPTIVE CONNECTION**

*A construction and principle of work of drill with edges hydraulic connection is resulted. The basic results of shaving education and taking research with drilling by adaptive drill are given. Dependences of size of maintenance of factions of shaving are resulted and it cumulative description from a serve and cutting speed.*

### **Умовні позначення**

$K_V$	– коефіцієнт ступеня подрібнення стружки;
$P$	– кумулятивна характеристика розміру стружки, %;
$S$	– подача інструмента, мм/об;
$V$	– швидкість різання, м/хв;
$V_{мет}$	– об'єм металу, знятого в процесі оброблення, м <sup>3</sup> ;
$V_{стр}$	– об'єм стружки, знятої в процесі оброблення, м <sup>3</sup> ;
$MOP$	– мастильно-охолоджувальна рідина.

**Постановка проблеми.** Зменшення жорсткості інструмента при збільшенні довжини його різальної частини, труднощі підведення мастильно-охолоджувальної рідини (MOP) і відведення стружки викликають похибки геометричної форми, розмірів отвору, відхилення осі, збільшується і погіршується шорсткість оброблюваної поверхні. При глибокому свердлінні вимагаються часті виведення свердел з отвору для видалення стружки і подачі MOP у зону різання. Наприклад, за даними фірми "Фудзієцу", при глибині свердління 125 мм свердлом діаметром 6 мм необхідно робити до 20 релаксаційних рухів інструментом. За нормативними даними [1], рекомендується робити п'ять виводів свердла з отвору при свердлінні на глибину, рівну десятьом діаметрам. Все це суттєво позначається, по-перше, на продуктивності оброблення, а, по-друге, на точності поверхні отвору.

Обмеження глибини свердління при обробленні пластичних матеріалів пов'язано зі збільшенням сил тертя між стружкою й інструментом, інструментом і стінками отворів, з деформацією стружки, згинанням її у напрямку гвинтових канавок, "пакуванням" стружки в канавках. Усе це суттєво зменшує стійкість інструмента і викликає руйнування свердла. Крім того, нормалізовані свердла мають потовщення серцевини в напрямку до хвостовика, що перешкоджає вільному виходу стружки з отвору.

Отже, можна стверджувати, що існує проблема виведення стружки з зони різання, особливо при глибокому свердлінні, та при обробці матеріалів, що дають зливну неподрібнену стружку. При цьому в багатьох випадках проходить заклинювання інструмента, що призводить до його поломки.

**Аналіз останніх досліджень.** Результати досліджень, пов'язані з утворенням та подрібненням стружки в зоні різання, викладені у багатьох працях [1, 2, 3]. Для подрібнення стружки використовують спеціальні види заточування різальної частини свердла (уступи, пороги, розділювальні канавки) або надають інструменту додаткові рухи різними методами. Це дозволяє уникнути релаксаційних рухів свердла з отвору для очищення його від стружки і підвищити продуктивність операції.

У конструкціях свердел для глибокого свердління отворів та методах їхнього заточування відображається бажання одержати такий інструмент, у якому повинні одночасно поєднуватися високі характеристики жорсткості із забезпеченням найвигідніших умов процесу різання, подрібнення і видалення стружки з зони різання.

Вітчизняна промисловість випускає подовжені спіральні свердла: ГОСТ 886 - 77 з циліндричним хвостовиком, ГОСТ 2092-77 з конічним і видовжені ТУ 2-035-600-77. Іноді для забезпечення необхідної глибини отвору до свердел закріплюється або приварюється на різі хвостовик необхідної довжини.

Стандартні спіральні свердла діаметром до 50 мм при обробленні сталей, міді, алюмінію й інших пластичних матеріалів, як правило, непрацездатні при збільшенні глибини свердління більш 5 діаметрів, що пов'язано, в першу чергу, з "забиванням" стружковивідних канавок і зростанням сил різання. Тому в конструкціях свердел, використовуваних для обробки пластичних матеріалів, звичайно зменшується ширина стрічок у 1,5...2 рази, розширюються в 1,3...1,5 рази гвинтові канавки, змінюється їхній профіль і збільшується кут нахилу гвинтових канавок до  $60^\circ$ [1]. Згідно з [7, 8], для алюмінію (НВ 99...101)- $\omega=24...48^\circ$ , для міді ((НВ 80...85)- $\omega=28...40^\circ$ , а при обробці глибоких отворів у сталях застосовуються спеціальні свердла зі збільшеним до  $60^\circ$  кутом  $\omega$  - свердла НПИЛ, шнекові, півшнекові.

Новим у дослідженні процесу утворення стружки є використання адаптивного інструмента з міжлезовими кінематичними зв'язками, тому це питання вимагає детального опрацювання і додаткових досліджень.

**Мета роботи.** Метою роботи є дослідження характеристик та процесу утворення і відведення стружки з зони різання при обробці глибоких отворів інструментом з міжлезовим адаптивним зв'язком.

Робота виконується в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки «Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі» на 2003-2008 роки.

**Виклад основного матеріалу.** Геометричні параметри різальної частини інструмента впливають на міцність різальних лез; тертя між робочими поверхнями інструмента та деталлю; деформацію стружки та її форму; вид та інтенсивність зношування інструмента; сили різання та деформацію оброблюваної поверхні і, що найважливіше, точність та шорсткість оброблюваної поверхні.

Розроблена конструкція свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком [4] показана на рисунку 1. В корпусі 1 свердла виконані повздовжні ступінчасті циліндричні отвори, в яких встановлені плунжери 2 і 3, кінці яких вільно проходять в отворах втулок 4 і 5, жорстко з'єднаних з корпусом. Дані втулки поряд з циліндричними пальцями 6 і 7 є напрямними елементами для лез 8 і 9, які є різальними елементами збірного свердла. Для обмеження відносного зміщення лез по відношенню до напрямних елементів призначені циліндричні пальці 10 і 11. В конструкції передбачені отвори для плунжерів, які гідравлічно з'єднані між собою кільцевою канавкою 12. Для заливки рідини використовується отвір у корпусі свердла, який закритий різьбовою конічною пробкою 13.

Для базування свердла в отворі використовуються три твердосплавні напрямні пластини 14. В процесі оброблення отвору автоматичне вирівнювання навантажень між лезами інструмента здійснюється за рахунок відносного зміщення плунжерів, зусилля на яких внаслідок прямого гідравлічного зв'язку залишається однаковим.

Відстань між різцями і корпусом вибирається з врахуванням величини ходу плунжера та податливості рідини під навантаженням. Для базування свердла в отворі на корпусі останнього розміщено три напрямні пластини (виготовлених з вольфрамо–кобальтового сплаву ВК3, ВК6 або ВК8) із зворотною конусністю 1:100. Для запобігання заклинюванню свердла в отворі, напрямні пластини розташовують несиметрично. Свердло кріпиться хвостовиком до порожнистої штанги відповідної довжини шляхом різьового з'єднання обох елементів з допомогою багатозахідної прямокутної різі [5,6]. Внутрішня порожнина корпусу та штанги служить (рис.1) для транспортування стружки та МОР, а також для додаткового охолодження корпусу інструмента.

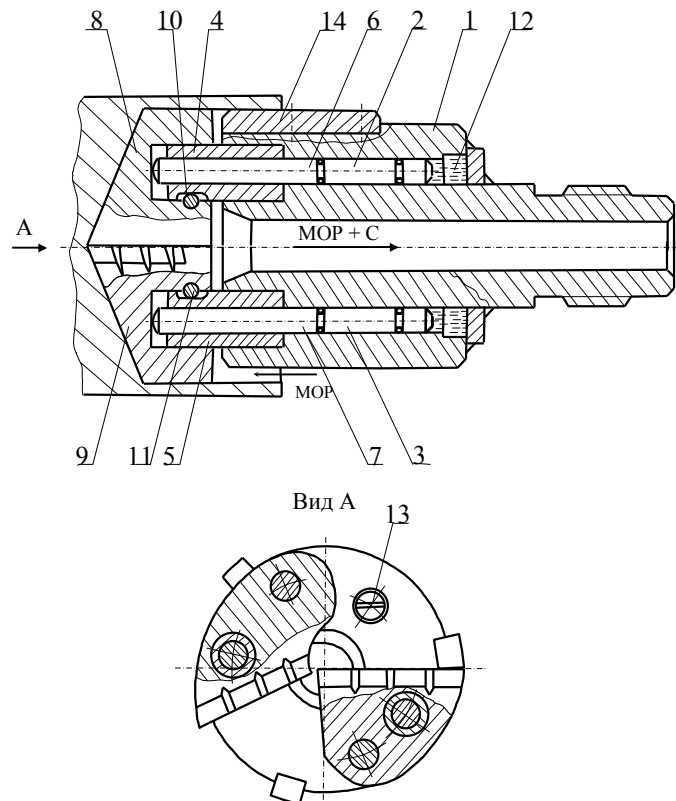


Рисунок 1 - Конструкція збірного свердла з гідравлічним міжлезовим зв'язком

Принцип дії інструмента з міжлезовим гідравлічним зв'язком базується на законі Паскаля про те, що тиск всередині рідини передається у всі сторони рівномірно, тобто при однакових діаметрах плунжерів осьові реакції різців на силу, яка діє на них зі сторони корпусу, будуть завжди однакові. В дійсності, через сили сухого тертя між рухомими частинами свердла, цей принцип частково порушується. Припустимо, що при свердлінні сила на одному із різців зростає і різниця сил на обох різцях є більшою за сумарну силу сухого тертя. Зростання сили на різці викличе додаткове переміщення його плунжера і, як наслідок, додаткове зростання тиску.

Згідно з законом Паскаля, навантаження на інший плунжер пропорційно зростає, що викличе збільшення глибини різання на цьому різці, тобто інструмент налагоджується до зміни умов роботи (різниці сил на різцях). Якщо ж різниця сил на різцях є меншою за сумарну силу сухого тертя в рухомих елементах конструкції, то плунжер буде утримуватися силою тертя, переміщення його буде неможливе і, як наслідок, неможливою буде адаптація. Тому в даній конструкції необхідно зменшувати сухе тертя, оскільки воно формує зону нечутливості свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком.

При збільшенні навантаження на інструмент (більшого за розрахункове) рідина додатково стискається, різці впираються в корпус і, тим самим, кільцева порожнина розвантажується від подальшого зростання тиску, тоді подальше протікання процесу свердління нічим не відрізняється від обробки відомими свердлами.

Враховуючи конструктивні особливості свердла з рухомими лезами та відповідну схему свердління, доцільно в якості одного з найбільш важливих критеріїв високої оброблюваності металів запропонувати його “здатність у процесі різання давати подрібнену стружку при різних режимах різання”[2]. Ступінь подрібнення стружки може оцінюватися об’ємним коефіцієнтом :

$$K_V = \frac{V_{стр}}{V_{мет}}, \quad (1)$$

де  $V_{стр}$ ,  $V_{мет}$  – об’єми стружки та металу, знятого в процесі оброблення.

Вважається [2, 3], що для оптимальних умов утворення елементарної дробленої стружки цей коефіцієнт не повинен перевищувати значення  $K_V \leq (5...6)$ .

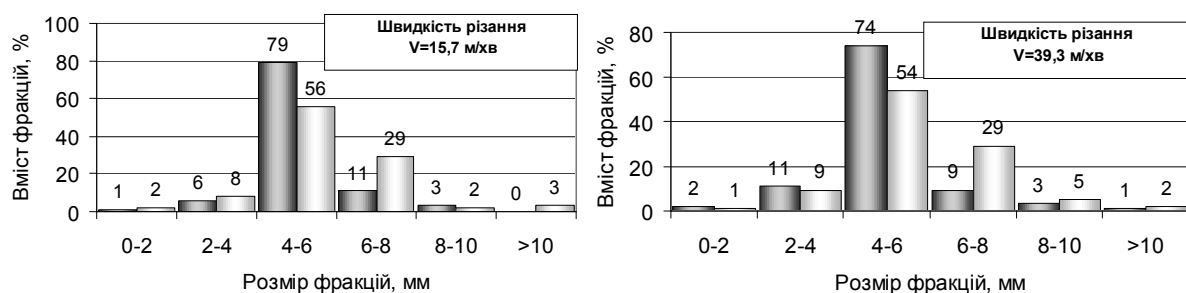
Цілком очевидно, що для більш ефективного процесу розміщення та відведення стружки з зони різання, кращому охолодженню інструменту мастильно-охолоджуючими рідинами доцільно збільшувати внутрішній діаметр стружководвідного каналу. Проте це зменшує жорсткість свердла, викликає зростання кількості тепла на одиницю маси інструменту і при певних умовах можливе отримання негативного ефекту. Тобто необхідно оптимізувати конструктивні параметри свердла та режими оброблення для конкретних умов різання.

Враховуючи габарити стружки, для дослідження ступеня її подрібнення використовувалась методика ситового аналізу. Фракційний склад стружки дозволив встановити коливання її розмірів, стабільність подрібнення при різних схемах та режимах різання, а відтак, встановити оптимальні умови роботи свердла з точки зору стружкоподрібнення.

Вплив швидкості різання на формування розмірів стружки здійснювався на подачі 0,15 мм/об і на глибині свердління 5d для порівняння при свердлінні отворів Ø50 мм інструментом з рухомими лезами та аналогічним жорстким інструментом (переміщення лез заблоковано) (рис.2). Матеріал оброблюваної деталі – сталь 40ХН. Геометричні параметри лез інструментів:  $2\varphi=130^\circ$ ;  $\alpha=12^\circ$ ;  $\gamma=5^\circ$ . Кожне лезо інструмента оснащено 3-ма стружколомними канавками  $r = 2\text{мм}$  через  $s_1=6\text{мм}$ .

Ситовий аналіз полягав у послідовному просіюванні приблизно 200 г стружки через ряд сит наступних фракцій : до 2 мм; 2-4 мм; 4-6 мм; 6-8 мм; 8-10 мм. Всі фракції зважувались і визначався процентний вміст кожної фракції в пробі. Сума втрат не повинна перевищувати 1%. [1].

Дослідження впливу подачі свердла на параметри стружки при обробці отворів свердлами з міжлезовим гідравлічним зв’язком та жорсткими свердлами проводилися при швидкості різання  $V=78,5\text{ м/хв}$  в діапазоні  $S = 0,05...0,35\text{ мм/об}$ . Результати експерименту подані у графічній формі на рисунку 2.



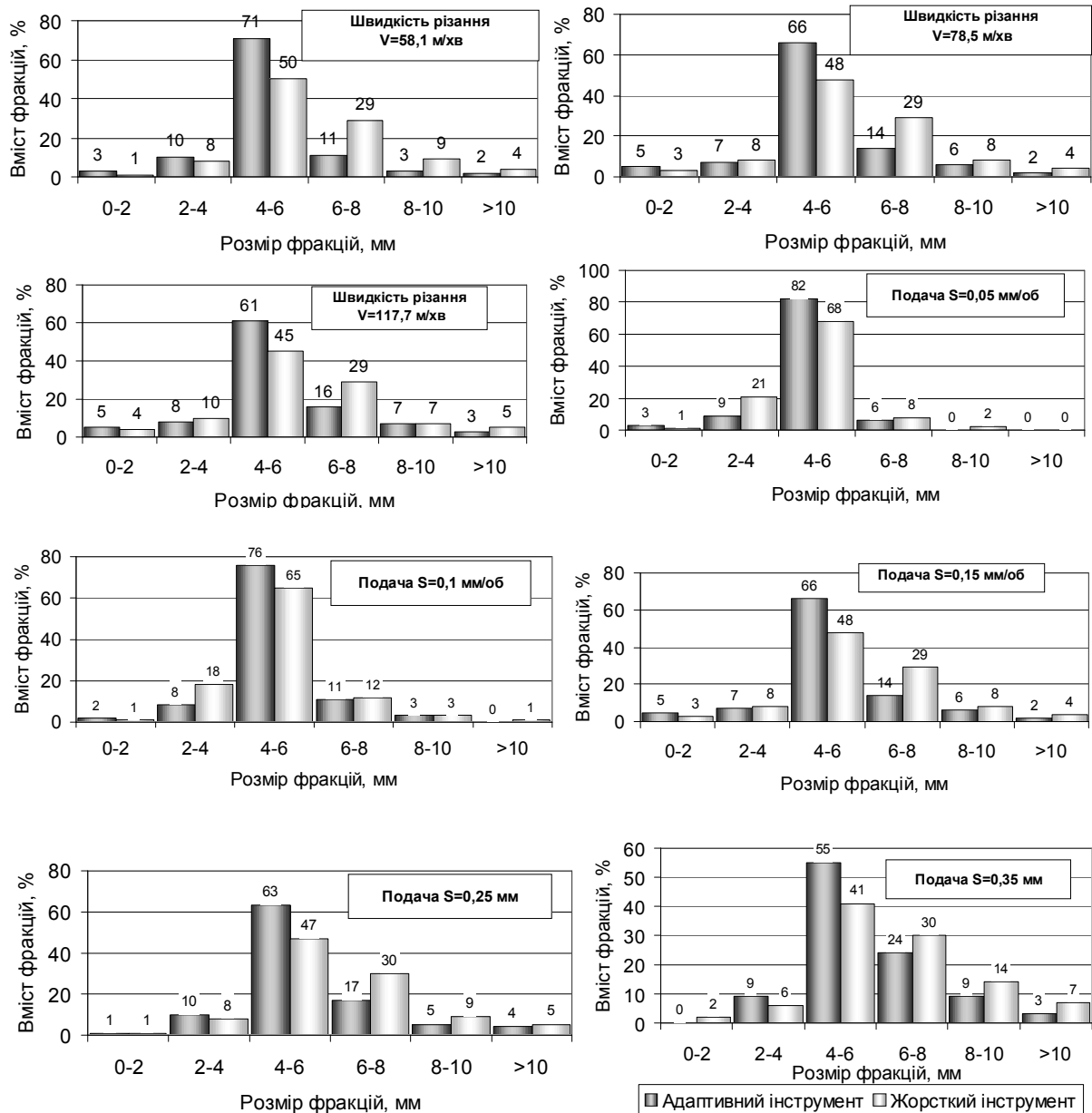


Рисунок 2 - Вплив швидкості різання та подачі на фракційний склад стружки

Аналіз експериментальних залежностей показав, що основна маса стружки має розмір 2-8 мм (≈90%). Причому переважальним є діапазон 4-6 мм (60-80%). Частинки більше 10 мм і менше 2 мм трапляються рідко (до 5%). Наявність перших може ускладнити процес транспортування стружки через відповідний канал, а другі утворюють налипання на лезі свердла, чим погіршують процес стружкоутворення та погіршують параметри точності та шорсткості оброблюваного отвору.

Порівнюючи стружку, утворену внаслідок свердління інструментом з рухомими лезами та жорстким інструментом, можна зробити висновок про те, що середньостатистичний розмір фракцій у першому випадку на 12% менший, стабільність подрібнення вища в середньому на 22%. Цим зумовлюється можливість роботи свердел з міжлезовим гідравлічним зв'язком на більш інтенсивних режимах оброблення, уникаючи при цьому явища забивання відповідного каналу та налипання дрібних фракцій на леза інструмента.

Це можна пояснити наявністю додаткових коливних рухів свердла, що спричинює формування стружкової полоси різної товщини, тобто появу на ній концентраторів напружень, за якими здійснюється процес ефективного зламу стружки при закручуванні по передній поверхні леза інструмента.

Результати ситового аналізу можуть дати тільки орієнтовні міркування щодо доцільності призначення тих чи інших режимів різання для отримання стружки потрібного діапазону розмірів та форми. Більш адекватний гранулометричний аналіз можна провести на основі розрахунку кумулятивної характеристики розміру стружки  $P$  [1].

Таблиця 1 - Сумарні виходи фракцій стружки

Граничні розміри фракцій стружки	Сталь 40ХН, $D=50$ мм; $S=0,15$ мм/об; $V=78,5$ м/хв		
	Середній розмір фракції, мм	Відсотковий вміст фракції, %	Середній вихід по плюсу $P$ , %
Більше 10	12	1,8	1,8
8...10	9	6,4	8,2
6...8	7	13,7	21,9
4...6	5	65,5	87,4
2...4	3	7,2	94,6
Менше 2	1	4,2	98,8

Сумарна (кумулятивна) характеристика  $P$  визначається залежністю сумарного виходу по плюсу – це відсоток стружки, що більше від даного розміру і розраховується шляхом сумування відносного виходу стружки, розмір якої більший від заданого (табл.1); до середнього розміру даної фракції.

Графічні залежності кумулятивної характеристики стружки від режимів різання подано на рис.3. Ступінь вгнутості кривих свідчить про наявність у складі проби стружки дрібних та великих розмірів.

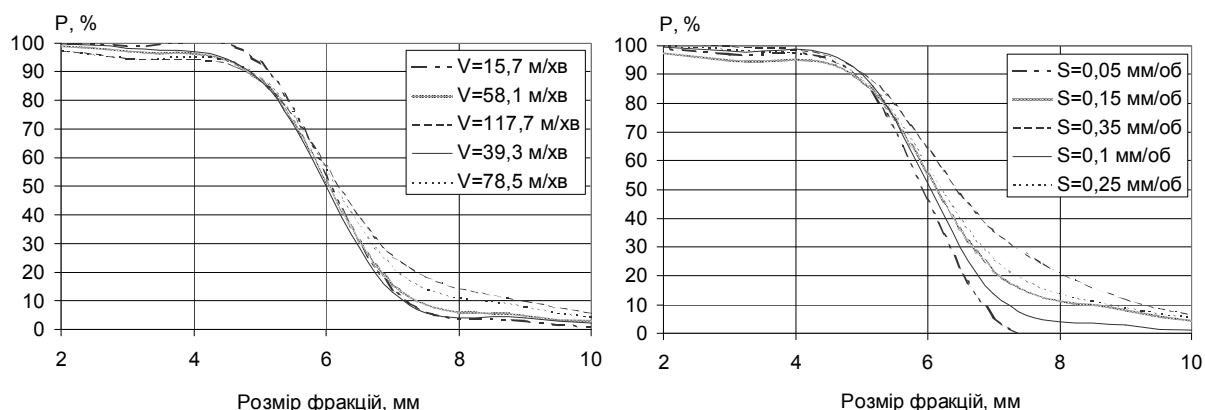


Рисунок 3 - Залежність кумулятивної характеристики стружки  $P$  від швидкості різання та подачі інструмента

Аналіз графічних залежностей дозволяє встановити найбільш оптимальні режими оброблення, з точки зору найкращого протікання процесу утворення стружки та її подрібнення. Найкращим для даного матеріалу заготовки є діапазон швидкостей різання  $V = 40-60$  м/хв, та діапазон подач  $S=0,05-0,15$  мм/об.

Досліджуючи виявлені у процесі експериментальних робіт закономірності для свердла з рухомими лезами, можна зробити висновок про тісний зв'язок між швидкістю, силою, температурою різання, геометричними параметрами інструмента, контактними процесами в зоні лезо-деталь, деформаціями шару, що зрізається. Процес тертя та теплофізики різання є предметом додаткових досліджень.

Проведені у даному розділі дослідження дозволять здійснювати оптимальне конструкторське проектування інструмента, режимів оброблення матеріалу з врахуванням заданої якості поверхонь.

### **Висновки**

Аналіз експериментальних залежностей ситового аналізу показав, що основна маса стружки має розмір 2-8 мм ( $\approx 90\%$ ). Причому переважальним є діапазон 4-6 мм (60-80%). Частинки більше 10 мм і менше 2 мм трапляються рідко (до 5%). Наявність перших може ускладнити процес транспортування стружки через відвідний канал, а другі утворюють налипання на лезі свердла, чим погіршують процес стружкоутворення та погіршують параметри точності та шорсткості оброблюваного отвору

Порівнюючи стружку, утворену внаслідок свердління інструментом з рухомими лезами та жорстким інструментом, можна зробити висновок про те, що середньостатистичний розмір фракцій у першому випадку на 12% менший, стабільність подрібнення вища в середньому на 22%. Цим зумовлюється можливість роботи свердел з міжлезовим гідравлічним зв'язком на більш інтенсивних режимах оброблення, уникаючи при цьому явища забивання відвідного каналу та налипання дрібних фракцій на леза інструмента. Це можна пояснити наявністю додаткових коливних рухів свердла, що спричинює формування стружкової полоси різної товщини, тобто появу на ній концентраторів напружень, за якими здійснюється процес ефективного зламу стружки при закручуванні по передній поверхні леза інструмента.

### **Література**

1. Дечко Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях.- Минск.: Высшая школа, 1979.-232 с.
2. Лавров Н.К. Завивание и дробление стружки в процессе резания. - М.: Машиностроение. - 1971. - 214с.
3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки металлов. - М.: Машиностроение, 1981. - 279 с.
4. Декларацийний патент України №51937А, МПК В23В51/06. Інструмент для свердління глибоких отворів / Луців І.В., Брошак І.І. - №2001107135; Заявл. 22.10.2001; Опубл. 16.12.2002, Бюл.№12. - 3 с.
5. Шатин В.П., Денисов П.С. Режущий и вспомогательный инструмент. Справочник. Изд. 2-е, переработ. и доп. - М.: Машиностроение, 1968. – 425 с.
6. Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979.
7. Жилис В.И. Конструкции специальных спиральных сверл, применяемых в СССР. В сб. материалов Всесоюзного совещания по спиральным сверлам. - М.: НИИМАШ, 1966. - С. 22-25.
8. Жилис В.И. Современные конструкции спиральных сверл. Материалы всесоюзной научно-технической конференции. - Вильнюс, РИНТИП Лит.ССР, 1966, С. 85-90.

*Одержано 28.03.2008 р.*