УДК621.735.34.001

Я.Б. Немировський, канд. техн. наук,
О.В. Чернявський, канд. техн. наук, П.М. Єрьомін, канд. техн. наук,
Кіровоград, Україна

ПОДІЛ СТРУЖКИ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ ПРОТЯГУВАННІ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЧАВУНІВ

В статті досліджені умови попереднього деформування оброблюваної поверхні деталі за допомогою деформуючих елементів із стружкоподільчими канавками з метою забезпечення ефективного поділу стружки на окремі елементи при роботі наступного різального зубця. Запропонована конструкція комбінованої протяжки та проведені випробування її працездатності при обробці отворів у втулках із сірого чавуну.

Ключові слова: комбіноване протягування, чавун, поділ стружки, пластична деформація

В статье исследованы условия предварительного деформирования обрабатываемой поверхности детали с помощью деформирующих элементов со стружкоделительными канавками с целью обеспечения эффективного разделения стружки на отдельные элементы при работе следующего режущего зубца. Предложена конструкция комбинированной протяжки и проведены испытания ее работоспособности при обработке отверстий во втулках из серого чугуна.

Ключевые слова: комбинированное протягивание, чугун, деление стружки, пластическая деформация

In the article the conditions of the pre-treated surface deformation parts with deformation elements with chip division grooves to ensure effective separation of the individual elements on the chip when using the following cutting tooth. The improved design of the combined pulling and tested its efficiency in processing holes in the sleeves of cast iron.

Keywords: combined drawing, iron, chip division, plastic deformation

Аналіз існуючих конструкцій протяжок, які застосовуються для обробки круглих отворів та мають один різальний зубець без канавок для поділу стружки [1-3] показали істотний недолік конструкції, а саме – утворення у замкненому об’ємі кільцеподібної стружки, що практично не розділяється на частини (рис. 1).

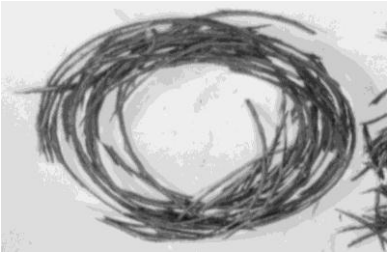

Рисунок 1 – Кільцеподібна стружка

© Я.Б. Немировський, О.В. Чернявський, П.М. Єрьомін, 2016

Для видалення такої стружки необхідне використання допоміжного інструмента, пристроїв та витрат додаткового часу. Різальні зубці з конструктивними канавками для поділу стружки мають низьку стійкість [4], що стримує їх застосування при обробці. Тому, в удосконалених конструкціях протяжок з одного боку потрібно забезпечити ефективний поділ стружки, а з другого – підвищити стійкість різальних зубців за рахунок використання суцільних лез.

Відома конструкція протяжки [5], серед особливостей якої є внутрішнє підведення під тиском у зону різання мастильно-охолоджуючої рідини і наявність на напрямному блоці конструктивних елементів, що призначені для поділу стружки. Випробування показали, що така протяжка дозволяє покращити поділ замкнутої кільцеподібної стружки на окремі елементи. Подальшим розвитком конструкції стала наявність різального зубця, який розвернутий проти робочого ходу інструмента і розташований в зоні хвилі позаконтактної деформації і не працює під час прямого руху інструмента. Але, при такій конструкції стружкова канавка також закрита, елементи для поділу стружки відсутні. Виходячи із цього, підвищення ефективності обробки отворів деталей із чавунів комбінованим протягуванням шляхом ефективного поділу стружки, що дозволяє використання суцільних різальних елементів є актуальною задачею.

Мета роботи: Забезпечення ефективного поділу стружки на окремі частки при роботі різального зубця протяжки за рахунок вичерпання ресурсу пластичності чавуну при попередній обробці деформуючими елементами із стружкоподільчими канавками.

Матеріали дослідження: Основною гіпотезою для вирішення цієї проблеми було використання низького ресурсу пластичності оброблюваного матеріалу деталі – чавуну, та створення таких умов деформації, при яких відбувається вичерпання ресурсу пластичності, що приведе до руйнування оброблюваного матеріалу. Раніше нашими дослідженнями встановлено наступне:

– при деформуючому протягуванні деталей із чавуну має місце значна пластична деформація поверхневого шару, про що свідчить наявність локальної зони пластичної деформації на початку ділянки контакту деформуючого елементу із оброблюваною поверхнею. Така зона збільшує довжину контакту з ростом товщини стінки оброблюваної деталі t_0. Результатом цього при перших циклах деформування є інтенсивне зниження шорсткості оброблюваної поверхні та її зміцнення за рахунок пластичних складових. Вичерпання ресурсу пластичності чавуну приводить до його руйнування, що враховуючи дані процесу стружкоутворення, полегшує процес різання;

– для зрізання здеформованого шару потрібні значно менші зусилля, при цьому перед різальним зубцем протяжки утворюється елементна стружка у

вигляді окремих елементів. Такий інструмент доцільно використовувати при чорновій обробці і знятті припуску, розмір якого не перевищує товщину деформованого шару.

На підставі аналізу вищенаведених конструкцій авторами була запропонована конструкція секції комбінованої протяжки, що може знімати припуск, розміри якого перевищують товщину здеформованого шару [6]. При цьому здеформований шар, що зрізується, буде перетворюватися в дрібнозернисту стружку, видалення якої не становить утруднень. При зрізанні шару металу, розташованого під здеформоіваним шаром, буде утворюватися кільцеподібна стружка, видалення якої утруднене. Науковою основою конструкції, яка може поділити навіть кільцеподібну стружку є наступні положення:

Розглянемо випадок вісесиметричного розташування на поперечному перерізі заготовок чотирьох нездеформованих ділянок, яки отримуються конструктивними особливостями інструменту для роздачі (рис. 2).

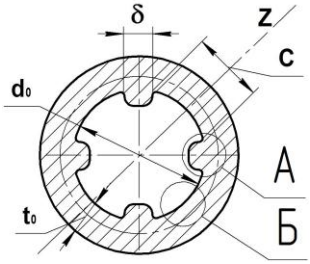

Рисунок 2 – Схема розташування ділянок на обробленій поверхні втулки:
А – нездеформована зона; Б – здеформована зона

Розріз заготовки має чотири здеформовані ділянки довжиною С та чотири нездефомовані довжиною δ. На вісі z, що розташована поміж двома суміжними ділянками з міркувань симетрії матеріальні точки будуть переміщуватись уздовж цієї ж вісі z. Таким чином, в цьому меридіальному перерізі умови деформування при малих деформаціях, що використовуються, відповідають вісесиметричній роздачі труби внутрішнім тиском. Досліди показали, що на всій пластичній ділянці довжиною C при деформуванні відбувається рівномірне зменшення товщини стінки із початковою товщиною t_0. Це дозволяє у подальших розрахунках використовувати припущення, що на всій пластичній ділянці схема деформування відповідає вісесиметрічній схемі деформування рівножорсткої труби. Розрахуємо ступінь пластичного деформування при роздачі отвору заготовки із натягом a.

Виконаємо розрахунок для середнього перетину заготовки, достатньо віддаленого від торців деталі довжиною l. Це дозволяє нам вважати, що там

має місце плоска деформація $e_z\left(z=\frac{l}{2}\right)=0$

Початкова довжина кола оброблюваного отвору

$$C_0=\pi\cdot d_0-4\cdot\delta \tag{1}$$

Після роздачі довжина здеформованої ділянки

$$C_0=\pi\cdot\left(d_0+a\right)-4\cdot\delta \tag{2}$$

Тоді окружна деформація

$$e_\varphi=\ln\left(\frac{C_1}{C_0}\right) \tag{3}$$

В нашому випадку, при використанні малих деформацій

$$e_\varphi=\frac{\pi\cdot a}{\pi\cdot d_0-4\cdot\delta}=\frac{\varepsilon}{\left(1-\frac{4\cdot\delta}{\pi\cdot d_0}\right)} \tag{4}$$

Для звичайного випадку роздачі деформація буде дорівнювати

$$e_{\varphi_0}=\frac{a}{d_0}=\varepsilon \tag{5}$$

Порівнюючи вирази (4) та (5) ми бачимо, що обробка із дискретним деформуванням вносить зміни у здеформований стан заготовки, обробленої звичайним інструментом. Врахуємо ці зміни наступним чином. Проаналізувавши відношення поміж $\boldsymbol{e_\phi}$ та $\boldsymbol{e_{\phi 0}}$ отримаємо наступний вираз:

Позначимо у виразі (4): β – параметр дискретності пластичного деформування

$$\beta=\frac{4\cdot\delta}{\pi\cdot d_0} \tag{6}$$

Тоді

$$\frac{e_\varphi}{e_{\varphi_0}}=\frac{1}{1-\beta} \tag{7}$$

На рис. 3 представлено залежність (7), із якої слідує, що наявність дискретного деформування надає суттєвій вплив на здеформований стан заготовки, а саме його наявність викликає збільшення колових деформацій розтягу та зменшення ресурсу пластичності.

Тому, при виборі довжини нездеформованих ділянок необхідно враховувати той факт, що вони ініціюють виникнення таких ознак, як вичерпання ресурсу пластичності або втрату стійкості течії матеріалу у

вигляді локальних тріщин на здеформованих ділянках.

В нашому випадку інтенсифікація вичерпання ресурсу пластичності дозволить вирішити важливе завдання – за рахунок дискретного деформування забезпечити поділ кільцевої стружки. Як вказувалось раніше, чавун є малопластичним матеріалом і невелика пластична деформація може привести до його руйнування. Тому, для того, щоб відбулося руйнування стружки по периметру, потрібно попередньо ініціювати місця її руйнування. В цьому випадку попередньо пластичну деформацію отвору необхідно здійснювати дискретно, тобто спеціальним деформуючим елементом із виконаними на ньому канавками (рис. 4).

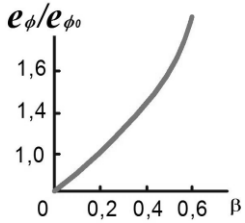

Рисунок 3 – Залежність $e_\phi/e_{\phi 0}$ від довжини нездеформованої ділянки у поперечному перетину оброблюваної заготовки

Рисунок 4 – Деформуючий елемент із стружкоподільчими канавками

Ці канавки дозволяють створювати частини дискретного пластичного деформування. Згідно даних [7], що були присвячені дослідженням напружено-деформованого стану при деформуванні пластичних матеріалів зі значною товщиною стінки деталі у осередку деформації, разом із умовами, близькими до всебічного стискання в місці переходу від контактної ділянки до позаконтактної мають місце значні осьові напруження розтягу σ_z. Такі напруження призводять до різкого вичерпання ресурсу пластичності в тих місцях, де здеформована ділянка переходить до нездеформованої і де буде відбуватися руйнування кільцевої стружки на сегменти. Таке явище полегшує процес видаленні стружки із зони різання.

На основі наведеного вище нами розроблена вдосконалена конструкція деформуюче-різальної протяжки для примусового подрібнення кільцеподібної стружки по периметру деформуючих елементів [8]. Така конструкція враховує всі попередні рекомендації, а також дозволяє використовувати зворотній хід інструмента як робочий. Для цього додатковий різальний елемент встановлюють проти робочого хода таким чином, щоб розташований перед ним додатковий деформуючий елемент центрував його відносно оброблюваного отвору. Розміщення різальних елементів поміж деформуючими стабілізує процес різання, зменшує вібрації

інструмента та збільшує якість обробки. Додатковий різальний елемент віддалений від деформуючого на таку відстань, що дорівнює відстані до максимуму хвилі позаконтактної деформації після нього. Це дозволяє вільно переміщуватися різальному елементу скрізь отвір заготовки під час прямого руху протяжки. Для створення ефективних умов різання на зворотному руху інструмента діаметр додаткового різального зубця повинен бути не меншим ніж діаметр останнього деформуючого елемента.

Така комбінована деформуюче-різальна протяжка була виготовлена у металі (рис. 5).

Рисунок 5 – Загальний вигляд комбінованої протяжки та її складові частини

Згідно розробленої методики були проведені експериментальні випробування інструмента на прикладі обробки круглого отвору ∅22,55 мм у втулці із сірого чавуну СЧ20 (рис. 6)

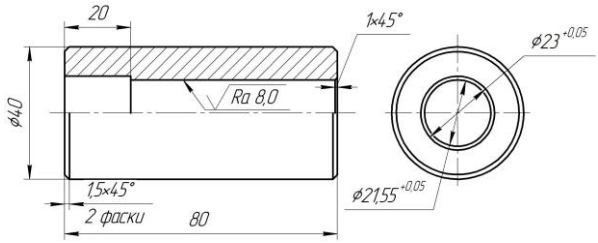

Рисунок 6 – Оброблювана втулка, матеріал СЧ20, НВ 2,12 ГПа

Попередня обробка отвору виконувалась на токарно-гвинторізному верстаті розточуванням із шорсткістю поверхні Ra=8 мкм. Оброблювана

втулка вільно встановлювалась на опорній планшайбі, яка в свою чергу була закріплена на рухомому столі випробувальної машини УИМ-50 (рис. 7).

Рисунок 7 – Робоча зона випробувальної машини УИМ-50
із встановленим дослідним інструментом

Дослідний інструмент за допомогою хвостовика спеціальної форми закріплювався у штоку гідравлічного циліндру машини. В процесі випробувань інструменту на оброблюваній поверхні втулки було зафіксовано появу характерних повздовжніх виступів, які утворились після проходження двох ДЕ, на кожному із котрих було по чотири стружкоподільчих проточки. Зовнішній вигляд виступів наведено на рис. 8, а їх геометричні розміри складають: висота ***h***=10…25 мкм, ширина ***b***=4 мм.

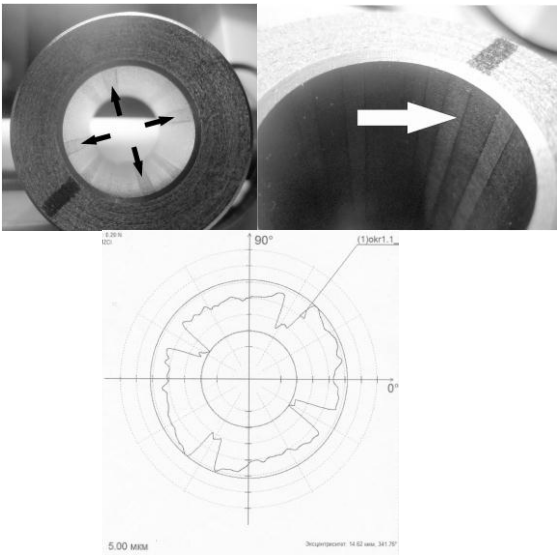

Рисунок 8 – Оброблена поверхня, отримана після проходження 2-х ДЕ із стружкоподільчими канавками

В процесі випробування інструменту були проведені спостерігання за формуванням стружки. Як показано на рис. 9, під час зрізання потрібного припуску двома різальними зубцями утворюється кільцеподібна стружка, яка розламується на окремі елементи, максимальний розмір яких не перевищує відстані між стружколомними канавками, що розташовані на попередньому ДЕ.

Рисунок 9 – Зовнішній вид стружки, що утворилась після обробки дослідним інструментом

Така стружка краще видаляється із стружкової канавки струменем стисненого повітря або ополіскуванням інструмента у ЗОР. Аналіз наведених даних показує працездатність запропонованої конструкції протяжки під час прямого та зворотного рухів інструмента скрізь оброблюваний отвір.

Таким чином, на основі наведених вище матеріалів можна зробити наступні висновки:

- використання запропонованої конструкції комбінованої деформуюче-різальної протяжки дозволяє ефективно подрібнювати стружку, а також використовувати зворотній хід інструмента як робочий, що значно зменшує робочий час;
- зменшення довжини протяжки призводить до підвищення її жорсткості, що сприяє якості обробки та дозволяє виготовляти більш компактний інструмент;
- проведеними дослідженнями експериментально доведено підвищення ефективності обробки круглих отворів у чавунних деталях типу втулка у порівнянні із іншими методами обробки типу розвертання або різального протягування звичайними протяжками.

Список використаних джерел: 1. *О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко* Особенности использования комбинированного протяжного инструмента для обработки внутренних полостей крупных чугунных цилиндров / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ ім В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11, С. 428-433. **2.** *О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко* Исследование процесса комбинированного

протягивания гильз двигателей внутреннего сгорания из антифрикционных легированных чугунов / Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Х.: Видав. Харків НТУ «ХПІ», 2010. Вип. 4, С. 161-169 **3.** *Чернявский А. В*. Повышение эффективности обработки отверстий в деталях из чугуна деформирующим протягиванием: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-химической обработки, станки и инструмент» / – Киев, 1988. – 17 с. **4.** *Маргулис Д. К*. Протяжки переменного резания / Москва– Свердловск: Машгиз, 1962 – 269 с. **5.** *О. А. Розенберг, Я.Б. Немировский, А.В. Чернявский* Сборная твердосплавная протяжка для обработки гильз и цилиндров / Станки и инструмент. – 1986. – N8. – С. 19–20. **6.** Пат. 44522 Україна, МПК (2009) B23D 43/00 Секція комбінованої протяжки / *Чернявський О. В., Єрьомін П. М.* – Заявл. 06.04.2009; Опубл. 12.10.2009, Бюл. №19.
7. *Ю. А. Цеханов, С. Е. Шейкин* Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании / Воронеж, ВГТА, 2001. –203 с. **8.** Пат. 45379 Україна, МПК (2009) B23D 43/00 Комбінована протяжка / *Чернявський О. В., Єрьомін П. М., Коваленко О. В.* – Заявл. 22.05.2009; Опубл. 10.11.2009, Бюл. №21.

Bibliography (transliterted): 1. *O. A. Rozenberg, S. F. Studenec, V. V. Mel'nichenko* Osobennosti ispol'zovanija kombinirovannogo protjazhnogo instrumenta dlja obrabotki vnutrennih polostej krupnyh chugunnyh cilindrov / Porodorazrushajushhij i metalloobrabatyvajushhij instrument – tehnika i tehnologija ego izgotovlenija i primenenija: Sb. nauch. tr. – K.: Izd-vo ISM im V. N. Bakulja NAN Ukrainy, 2008. – Vyp. 11, S. 428-433 **2**. *O. A. Rozenberg, S. F. Studenec, V. V. Mel'nichenko* Issledovanie processa kombinirovannogo protjagivanija gil'z dvigatelej vnutrennego sgoranija iz antifrikcionnyh legirovannyh chugunov / Suchasni tehnologiї v mashinobuduvanni: Zb. nauk. pr. – H.: Vidav. Harkiv NTU «HPI», 2010. Vip. 4, S. 161-169 **3.** *Chernjavskij A. V*. Povyshenie jeffektivnosti obrabotki otverstij v detaljah iz chuguna deformirujushhim protjagivaniem: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tehn. nauk spec. 05.03.01 «Processy mehanicheskoj i fiziko-himicheskoj obrabotki, stanki i instrument» / – Kiev, 1988. – 17 s. **4**. *Margulis D. K*. Protjazhki peremennogo rezanija / Moskva– Sverdlovsk: Mashgiz, 1962 – 269 s. **5**. *O. A. Rozenberg, Ja.B. Nemirovskij, A.V. Chernjavskij* Sbornaja tverdosplavnaja protjazhka dlja obrabotki gil'z i cilindrov / Stanki i instrument. – 1986. – N8. – S. 19–20. **6**. Pat. 44522 Ukraïna, MPK (2009) V23D 43/00 Sekcija kombinovanoї protjazhki / *Chernjavs'kij O. V., Єr'omin P. M.* – Zajavl. 06.04.2009; Opubl. 12.10.2009, Bjul. №19. **7**. *Ju. A. Cehanov, S. E. Shejkin* Mehanika formoobrazovanija zagotovok pri deformirujushhem protjagivanii / Voronezh, VGTA, 2001. –203 s. **8**. Pat. 45379 Ukraïna, MPK (2009) V23D 43/00 Kombinovana protjazhka / *Chernjavs'kij O. V., Єr'omin P. M., Kovalenko O. V.* – Zajavl. 22.05.2009; Opubl. 10.11.2009, Bjul. №21.