

$$\frac{\partial}{\partial t_k} \left\{ \int_{t_{k-1}}^{t_k} [kC_1 + C_2(t_k - x)]dF(x) + \int_{t_k}^{t_{k+1}} [(k+1)C_1 + C_2(t_{k+1} - x)]dF(x) \right\} = 0 \quad (3)$$

or finally

$$t_{k+1} - t_k = \frac{F(t_k) - F(t_{k-1})}{f(t_k)} - \frac{C_1}{C_2}, \quad (4)$$

where

$$f(t_k) = \left. \frac{dF(t)}{dt} \right|_{t=t_k}.$$

Using recurrence relation (4), the optimal values of the test moments  $\{t_k^*\}$  are successively determined, but for this it is necessary to set the value  $t_1$ , on the basis of which all the other test moments are found [4-5]. Such verification strategies are called periodic to distinguish them from variable-interval verification strategies called sequential. If the form of the distribution law  $F(t)$  is unknown, then the task of test planning is formulated somewhat differently.

The basic dependencies of test planning and repair under variable operating modes have been monitored and the ranges of existence of the system depending on internal factors and changes in working time, environmental characteristics and factors affecting the system have been obtained.

Several methods of mathematical test planning on the operability of the FPS equipment have been analyzed and developed, taking into account the impact of all possible negative factors on the system.

#### List of references

1. Shishmarev, V. (2005) Automation of technological processes: Textbook for students. Environments.- M.: Publishing center "Academy".
2. Cherpakov, B. I., Vereina L.I. (2004) Production Automation and Mechanization: Textbook. study guide. environmental institutions. prof. education. - M.: Academy Publishing Center.
3. Baralo, O.V., Samoilenko, P. G., Granat, S. E., Kovalev, V. A. (2010) Automation of technological processes and systems of automatic control: Tutorial. - K.: Agrarian education. -P. 557.
4. Martynenko, I. I., Martynenko, I. I. (1995) Automation of technological processes of agricultural production [Electronic resource] - K.: Harvest. - Resource Access Mode: <https://buklib.net/books/35489/>.
5. Automation and mechanization of production (2017) [Electronic resource] // My education.- Resource access mode: <http://moyaosvita.com.ua/osvita-2/avtomatizaciya-i-mexanizaciya-virobnictva/>. (Ukr)..

УДК 539.213:621.778.011

**Шепеленко І.В., канд. техн. наук**

**Немировський Я.Б., докт. техн. наук, професор**

Центральноукраїнський національний технічний університет, [kntucpfzk@gmail.com](mailto:kntucpfzk@gmail.com)

**Цеханов Ю.О., докт. техн. наук, професор**

Воронізький державний технічний університет, [tsekhanov@yandex.ru](mailto:tsekhanov@yandex.ru)

**Єрємін П.М., канд. техн. наук**

**Гуцул В.І., канд. техн. наук**

**Мірзак В.Я., канд. техн. наук**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

#### ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУЮЧОГО ПРОТЯГУВАННЯ МАЛОПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Для оцінки якості обробленої деталі слід використовувати параметр, що характеризує дефектність поверхневого шару, – ресурс використаної пластичності [1, 2]. Дослідження показників пластичності стає особливо актуальним при обробці пластичним деформуванням малопластичних матеріалів, в тому числі такого конструкційного

матеріалу як графітовмісткий чавун СЧ20, можливості пластичної формозміни якого обмежені руйнуванням.

Рекомендації з вибору режимів деформуючого протягування та оцінки ресурсу використаної пластичності при обробці виробів з пластичних матеріалів наведені в низці робіт [1, 3], водночас для малопластичних матеріалів це питання вивчено недостатньо. Більше того, вкоренилась думка, що обробка виробів із малопластичних матеріалів деформуючим протягуванням є нездійсненною. Однак дані [4, 5 та ін.] свідчать про можливість і перспективність дослідження цього напрямку.

Наукові основи для пластичної обробки малопластичних матеріалів сформульовані в [6], де зазначено, що при створенні умов усебічного стиснення навіть крихкі матеріали можуть вести себе як пластичні, тобто мати певні залишкові деформації.

При деформуючому протягуванні в зоні взаємодії інструмента з виробом створюються умови, близькі до всебічного стиску, які дають змогу виконувати пластичну обробку виробів навіть з такого напівкрихкого (малопластичного) матеріалу як чавун. Умови близькі до всебічного стиску, характеризуються від'ємним значенням коефіцієнта жорсткості напруженого стану [1]. Отже, обробку виробів із чавуну деформуючим протягуванням необхідно виконувати при від'ємних значеннях показника напруженого стану. У цьому випадку необхідно уникати наскрізних пластичних деформацій заготовки: її зовнішня поверхня не повинна пластично деформуватися, це неминуче призведе до руйнування заготовки. Тому пластична зона повинна охоплювати тільки внутрішню частину стінки заготовки.

Дослідження напружено-деформуючого стану в осередку деформації показує, що основне накопичення мікрodefektів відбувається в позаконтактній зоні – перед ділянкою контакту. Деформування матеріалів заготовки перед ділянкою контакту відбувається до величини накопиченої деформації в цій зоні. При цьому коефіцієнт жорсткості напруженого стану постійний і становить  $\eta = -1,73$ , що відповідає стисненню в умовах плоскої деформації. На початку контактної зони відбувається різке збільшення від'ємного значення коефіцієнта жорсткості напруженого стану, що свідчить про те, що в цій точці матеріал переходить у стан сильного об'ємного стиснення і коефіцієнт сягає значення  $\eta \approx -7$ . Тож відбувається подальше накопичення деформації в контактній зоні. Однак збільшення ресурсу використаної пластичності в даному випадку практично не відбувається. Це пояснюється тим, що в матеріалі, який деформується в умовах потужного об'ємного стиснення, мікрodefekти практично не виникають. Дана особливість забезпечує додаткові можливості для інтенсивної деформації зсуву в поверхневому шарі за рахунок роботи тертя.

Аналіз розрахункової схеми зміни параметрів деформації за один цикл деформування показує, що основне накопичення ушкоджень відбувається в позаконтактній зоні – перед ділянкою контакту, де має місце напружений стан стиснення в умовах плоскої деформації. Зменшення цієї зони веде до збільшення ресурсу пластичності оброблюваного матеріалу. Технологічний вплив на розміри позаконтактної зони можна здійснювати зміною величини натягу на елемент. Зазначене положення підтверджується експериментальними даними [7], згідно з якими гранична деформація до руйнування зростає при мінімальних натягах на елемент.

Управління параметрами позаконтактної зони за ділянкою контакту можна здійснити також зміною кута нахилу твірної робочого конуса інструмента –  $\alpha$ . Причому, чим менший кут  $\alpha$ , тим менші параметри в позаконтактній зоні. Отже, для збільшення ресурсу пластичності при обробці виробів із чавуну необхідно потрібну деформацію здійснювати при мінімально необхідних кутах  $\alpha$  і натязі.

Варіантом технологічного впливу на ресурс пластичності виробів із малопластичних матеріалів є також збільшення товстостінності заготовки з чавуну, що збільшує її

пластичність при деформуючому протягуванні. Таким чином, при обробці тонкостінних заготовок, ресурс пластичності яких незначний, необхідно збільшувати їх товщину за рахунок встановлення оброблюваних заготовок в додатковий корпус, внутрішній діаметр якого дорівнює зовнішньому діаметру оброблюваної заготовки. Зазначені технологічні прийоми уможливають обробку деформуючим протягуванням виробів із малопластичних матеріалів.

#### Список посилань

1. Цеханов, Ю.А. Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании [Текст] / Ю.А. Цеханов, С.Е. Шейкин – М-во образования Рос. Федерации. Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2001. – 200 с.
2. Смелянский, В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] / В. М. Смелянский – М. Машиностроение, 2002. – 300 с.
3. Математическое моделирование процесса деформирующего протягивания [Текст] / Е.А. Балаганская, Б.А. Голоденко, Я.Б. Немировский, Ю.А. Цеханов – М-во образования Рос. Федерации. Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад., 2001. – 194 с.
4. Немировский, Я.Б. Особенности расчета усадки отверстий при деформирующем протягивании деталей из чугуна [Текст] / Я.Б. Немировский, А.В. Чернявский, П.Н. Еремин // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць. – Харків, НТУ «ХП», 2014. – Вип. 1(24). – С.109–121.
5. Nemirovskyy, Yu. Issues about limit plastic deformations of deforming broaching of cast iron parts [Text] / Yu. Nemirovskyy, O. Chernyavskyy, P. Eryomin, Yu. Tsekhanov // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University.–N1(81).–Ternopil, TNTU, 2016.–PP. 88–97.
6. Бриджмен, П.В. Новейшие работы в области высоких давлений: Монография [Текст] / П.В. Бриджмен; под ред. и с дополн. акад. Л.Ф. Верещагина. – М. : Гос. изд-во иностр. лит-ры. – 1948. – 300 с.
7. Механіка комбінованого протягування графітовмісних чавунів. Монографія [Текст] / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, О.В. Чернявський, П.М. Єрьомін – М-во освіти та науки України, Кіровоградський нац. техн. ун-т. – Кропивницький, 2017. – 286 с.

УДК 621.923

Погребняк Р.П., канд. техн. наук., доцент

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, pogrebnyakk@ukr.net

### ЗМІНА РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ КОНТУРНІЙ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ ЧАШКОВИМ РІЗЦЕМ ФАСОННОГО ПРОФІЛЮ ГРЕБЕНЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА

Найчастіше токарну контурну обробку фасонної поверхні залізничних коліс й колісних пар при їх виробництві та ремонті виконують чашковими різцями діаметром вставки 25...30 мм [1] на карусельних й колесотокарних верстатах. При обробці залізничних коліс застосування чашкових різців обумовлено необхідністю забезпечити необхідний радіус жолобника в місці сполучення поверхні катання й гребеня, тому радіус жолобника визначає діаметр інструмента.

Геометрія профілю кочення й гребеня залізничного колеса за ДСТУ ГОСТ 10761:2016 [2] складається з фрагментів кіл і прямих та навіть при постійній глибині й швидкості обходу контуру режими різання не залишаються постійними й відрізняються від режимів різання при прямолінійному точінні.

При різанні чашковим різцем криволінійної ділянки профілю не глибина різання прямолінійного точіння  $t$  визначає цей параметр режиму різання, визначальною є довжина криволінійного контакту різця з деталлю або кут контакту між ними (рис. 1, а). При однаковій глибині різання кут контакту різний для криволінійного й прямолінійного точіння, тому наведена глибина різання, формула якої отримана за умови рівності кутів