

УДК 621.9.011

**М.М. Підгаєцький, доц., канд. техн. наук, А.М. Кириченко, доц., д-р техн. наук, А.Р. Апаракін, асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## **Підвищення точності зубообробки шляхом розділення поверхонь, що взаємодіють з інструментом в процесі різання**

У статті розглядаються процеси, що відбуваються у поверхневому шарі деталі при різанні та робиться спроба покращення умов різання при зубообробці.

Автори провели теоретичне обґрунтування проблеми виникнення поверхневих напружень в результаті деформації, які можуть істотно відобразитися на якості обробленої поверхні. Використовуючи теорію опору матеріалів було отримано різницю в діючих напруженнях на обробленій поверхні при різних схемах різання. Отримані результати експериментальних досліджень показують кращу якість обробленої поверхні при розташуванні ріжучої кромки інструменту по нормалі до оброблюваної поверхні, яка має функційні властивості.

У результаті проведеного дослідження автори прийшли до висновку про необхідність створення методу зубообробки, при якому функційна поверхня буде сумішена з дотичною поверхнею різання.

**зубообробка, поверхні різання, поверхневі напруження**

**М.М. Подгаецкий, доц., канд. техн. наук, А.Н. Кириченко, доц., д-р техн. наук, А.Р. Апаракін, асп.**

*Кировоградский национальный технический университет*

**Повышение точности зубообработки путем разделения поверхностей, взаимодействующих с инструментом в процессе резания**

В статье рассматриваются процессы, происходящие в поверхностном слое детали при резании и делается попытка улучшения условий резания при зубообработке.

Авторы провели теоретическое обоснование проблемы возникновения поверхностных напряжений в результате деформации, которые могут существенно отразиться на качестве обработанной поверхности. Используя теорию сопротивления материалов, было получено разницу в действующих напряжениях на обработанной поверхности при различных схемах резания. Полученные результаты экспериментальных исследований показывают лучшее качество обработанной поверхности при расположении режущей кромки инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности, которая имеет функциональные свойства.

В результате проведенного исследования авторы пришли к выводу о необходимости создания метода зубообработки, при котором функциональная поверхность будет совмещена с касательной поверхностью резания.

**зубообработка, поверхности резания, поверхностные напряжения**

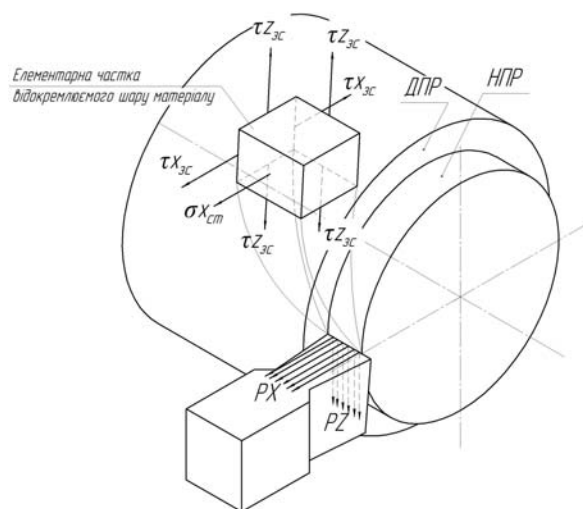
Існуючі роботи по теорії процесу різання не дають чіткого визначення поверхонь по відношенню діючих на них сил різання. В роботі [1] має місце поняття поверхні різання і обробленої поверхні для випадку поздовжнього точіння прохідним різцем, проте якщо розглядати підрізання торцевої поверхні, там є дві оброблювані поверхні і тільки одна з них збігається з поверхнею різання.

Для більш чіткого визначення поверхонь які виникають в процесі різання доцільно прийняти ряд умовних припущень:

1) всі поверхні які взаємодіють з різальним інструментом приймають умовну назву поверхні різання (ПР);

- 2) поверхні різання умовно поділяються в залежності від дії на них сил різання;
- 3) поверхні різання на які діють нормальні сили різання приймають назву нормальні поверхні різання (НПР);
- 4) поверхні різання, на які діють дотичні сили різання, приймають назву дотичні поверхні різання (ДПР);
- 5) поверхні різання після закінчення їх взаємодії з різальним інструментом можуть поділитись на функційні та вільні. Функційні, це ті, які взаємодіють з іншими поверхнями при функціонуванні, а вільні – які не взаємодіють;
- 6) напруження які виникають на ПР визначаються по відомим формулам теорії опору матеріалів [2].

Для прикладу розглянемо обробку на токарному верстаті підрізним різцем (рис.1).



$PX, PZ$  – сили різання;  $\tau_{Z_{3c}}$  – дотичне напруження зрізу;  $\sigma_{X_{ct}}$  – нормальне напруження стиснення

Рисунок 1 – Дія сил та виникаючі напруження при обробці

Інтенсивні навантаження, розповсюджені повздовж головної різальної кромки від дії сил  $PX$  і  $PZ$ , викликають виникнення на НПР та ДПР складного напруженого стану.

При цьому на НПР складний напружений стан утворюється внаслідок виникнення нормальних напружень стискання  $\sigma_{X_{ct}}$  від сили  $PX$  та дотичних напружень зсуву (зрізу)  $\tau_{Z_{3c}}$  від дії сил  $PZ$ .

Для умов складного напруженого стану на НПР загальні напруження визначають по формулі [2]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{X_{ct}}^2 + 4\tau_{Z_{3c}}^2} . \quad (1)$$

Одночасно на ДПР виникають дотичні напруження від дії сил  $PX$   $PZ$ :

$$\tau_{\Sigma} = \sqrt{\tau_{Z_{3c}}^2 + \tau_{X_{3c}}^2} . \quad (2)$$

Для визначення відносної різниці в напруженнях які виникають на НПР та ДПР достатньо в формули (1) та (2) підставити значення граничних напружень  $\sigma_{ct}$  та  $\tau_{3c}$  для будь-якого матеріалу.

Наприклад, для конструкційної сталі 40Х ГОСТ4543:

$$[\sigma_{ct}] = 300 \text{ МПа};$$

$$[\tau_{3c}] = 120 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{300^2 + 4 \times 120^2} = 384.187 \text{ МПа};$$

$$\tau_{\Sigma} = \sqrt{120^2 + 120^2} = 169.706 \text{ МПа}.$$

Таким чином, відносна різниця в напруженнях на НПР та ДПР досягає 2,25 разів.

Відповідно до виникаючих напружень на НПР в результаті деформації, відповідний поверхневий шар металу зміцнюється, змінюється його структура та властивості, виникає наклеп, що в свою чергу може помітно відобразитися на якості обробленої поверхні, чистоті, здатності до подальшої обробки, а особливо, термічної обробки.

Якщо НПР суміщена з функційною поверхнею то напруження які на ній виникають сприяють пластичним та пружним деформаціям внаслідок яких функційна поверхня може мати відхилення від геометричної форми.

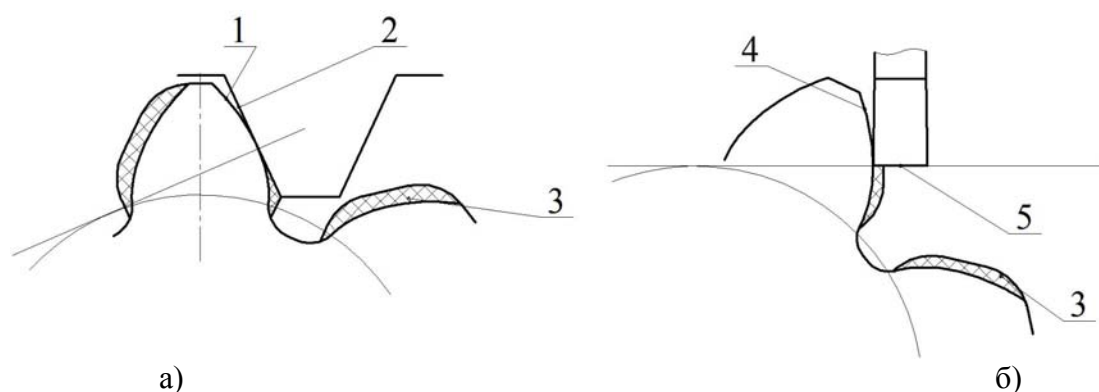
Крім того, при послідуочій термічній обробці, внаслідок нагріву, напруження знімаються, що супроводжується значним спотворенням геометричної форми функційної поверхні.

Наприклад, відомі факти про зміну геометричної точності функційної поверхні на 2...3 квалітети точності зняттям напружень при термічній обробці.

Таким чином, можна зробити висновок про необхідність відокремлення НПР та функційної поверхні і при можливості, суміщення функційної поверхні з ДПР.

Як відомо, обробка евольвентної поверхні деталей типу шестерня методами черв'ячного зубофрезерування та зубодовбання дисковими довбачами ведеться при великих силах різання. Ріжуча кромка інструменту при цьому дотична до евольвентної поверхні, яка являється НПР, що викликає дотичні та нормальні напруження на обробленій поверхні та наклеп. При подальшій термообробці шестерен має місце відпуск напружень та значне погіршення якості евольвентної поверхні.

Враховуючи написане вище, доцільно створити спосіб обробки евольвентних поверхонь зубців шестерен, при якому функційна поверхня буде суміщена з ДПР, що виключить нормальні напруження в поверхневому шарі. Схема можливої реалізації способу представлена на рис.2.



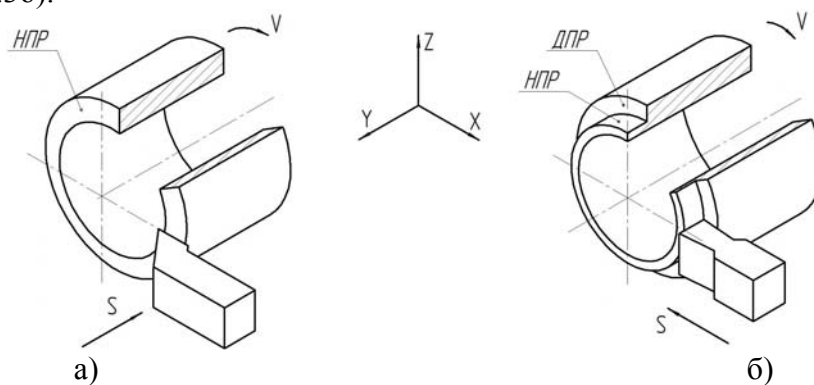
1 – функційна на евольвентна поверхня яка суміщена з НПР; 2 – контур головної різальної кромки інструмента який взаємодіє з НПР; 3 – припуск; 4 - функційна на евольвентна поверхня яка суміщена з ДПР; 5 - контур головної різальної кромки інструмента який взаємодіє з НПР

а) схема обробки при взаємодії ГРК з функційною поверхнею; б) схема обробки при відокремленні функційної поверхні від взаємодії з ГРК

Рисунок 2 – Схеми зубообробки

Обробка евольвентної поверхні здійснюється інструментом, ріжуча кромка якого переміщується повздовж оброблюємої поверхні по еквідістантному контуру. Головна ріжуча кромка інструменту розташована по нормалі до оброблюємої поверхні, тому відбувається розділення обробленої поверхні та поверхні різання.

Для перевірки теорії було проведено експеримент. На токарному верстаті 16К20 послідовно велась обробка заготовки спочатку різцем, ГРК якого дотична до оброблюємої поверхні (рис.3а), а потім різцем, ГРК якого нормальна до оброблюємої поверхні (рис.3б).



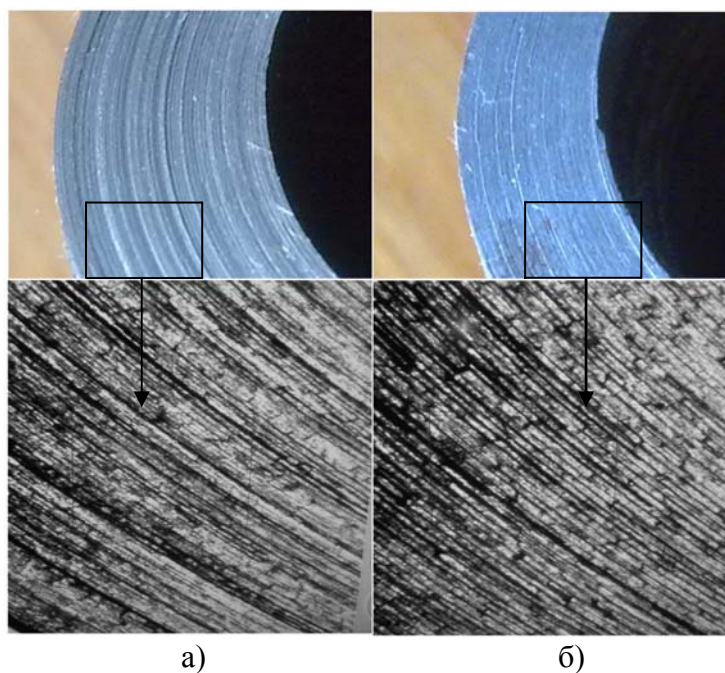
V – головний рух різання; S – подача

а) схема різання при дотичній ГРК різця до оброблюємої поверхні; б) схема різання при нормальній ГРК різця до оброблюємої поверхні

Рисунок 3 – Схеми обробки експериментального зразка

В якості заготовки використовувалася труба зі сталі 45 ГОСТ 4543-71. Інструменти - прохідний та підрізний різці з ріжучою частиною Т15К6. Режими різання:  $n = 630 \text{ хв}^{-1}$ ;  $S = 0,1 \text{ мм/об}$ .

Оброблені за різними схемами різання поверхні представлені на рис.4.



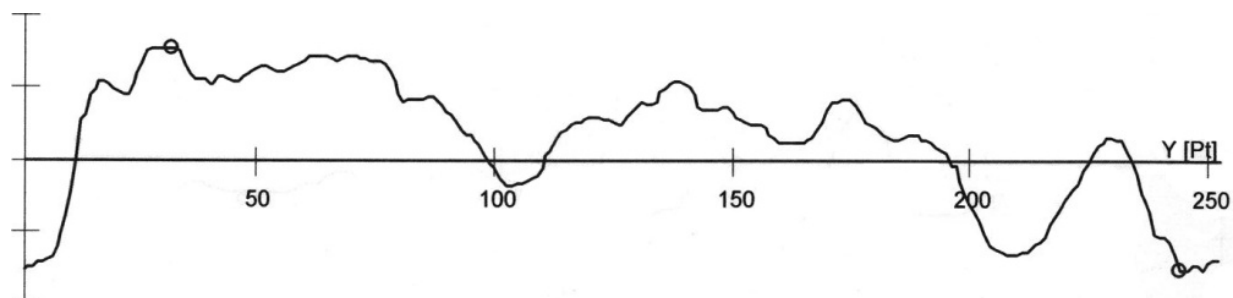
а) поверхня, оброблена дотичною ріжучою кромкою інструменту; б) поверхня, оброблена ріжучою кромкою інструменту розташованою по нормалі

Рисунок 4 – Поверхні обробленого експериментального зразка

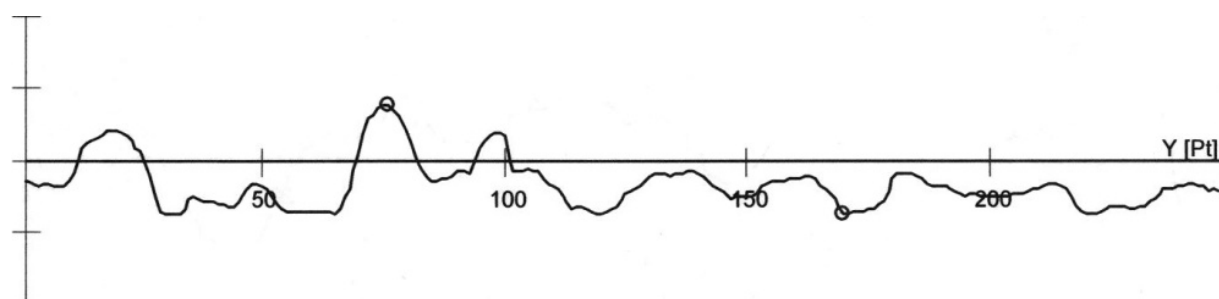
При дослідженні отриманих поверхонь на мікроскопі було виявлено, що поверхня, оброблена дотичною ріжучою кромкою інструменту має значні макронерівності, хвилястість, шорсткість Ra 3,6 мкм. Поверхня, оброблена ріжучою кромкою інструменту розташованою по нормалі має організовану та стабільну структуру нерівностей, шорсткість Ra 1,25 мкм, не має значних перепадів.

За допомогою координатно-виміральної машини Carl-Zeiss Contura G2 було виміряно непрямолінійність оброблених різними методами поверхонь.

Результати у вигляді кривих представлено на рис.5.



а)



б)

а) поверхня, оброблена дотичною ріжучою кромкою інструменту;

б) поверхня, оброблена ріжучою кромкою інструменту розташованою по нормалі

Рисунок 5 – Результати виміру непрямолінійності

Непрямолінійність поверхні, обробленої дотичною ріжучою кромкою інструменту становить 0,0622 мм, в той час як непрямолінійність поверхні, обробленої ріжучою кромкою інструменту розташованою по нормалі – 0,0306 мм.

Глибина наклепаного шару визначалась наступним шляхом. Знімалась рентгенограма з наклепаного зразка, потім з цього ж зразка послідовно знімалися невеликі шари шляхом травлення в реактиві; після кожного травлення замірявся знятий шар та знімалась нова рентгенограма. Цей процес тривав до тих пір, поки на рентгенограмі не виходив явний дублет, котрий і показував, що наклеп повністю знято. Рентгенограми знімалися по методу Закса на Со випроміненні.

Усі вхідні та вихідні параметри обробки зведено у табл.1.

Таблиця 1 – Вхідні та вихідні дані обробки

Параметри обробки							
Вхідні				Вихідні			
Назва	Позначення	Одиниця виміру	Чисельне значення	Назва	Позначення	Одиниця виміру	Чисельне значення
1. Обробка дотичною ріжучою кромкою інструменту							
Частота обертів шпінделя	n	об/хв	630	Шорсткість	Ra	мкм	3,6
Подача	S	мм/об	0,1	Непрямолінійність	–	мм	0,0622
Глибина різання	t	мм	4	Глибина наклепу	h	мкм	30
2. Обробка ріжучою кромкою інструменту розташованою по нормалі							
Частота обертів шпінделя	n	об/хв	630	Шорсткість	Ra	мкм	1,25
Подача	S	мм/об	0,1	Непрямолінійність	–	мм	0,0306
Глибина різання	t	мм	4	Глибина наклепу	h	мкм	6

**Висновки:**

- використовуючи теорію опору матеріалів було виявлено різницю у діючих напруженнях на оброблених поверхнях при різних схемах різання. Відносна різниця в напруженнях на НПР та ДПР може сягати 2,25 разів;
- результати експериментальних досліджень в умовах моделювання процесу показують кращу якість обробленої поверхні при розташуванні ріжучої кромки інструменту по нормалі до оброблюваної поверхні з функційними властивостями;
- можна зробити припущення, що спосіб обробки евольвентних поверхонь зубців шестерен, при якому функційна поверхня буде суміщена з ДПР, вилучить утворення нормальних напружень в поверхневому шарі деталі і забезпечить більшу точність обробки;

**Список літератури**

1. Вульф А.М. Резание металлов Изд. 2-е / Вульф А.М. - Л. : «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1973. - 496 с.
2. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Беляев Н.М. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976. – 608 с.
3. Клушин М.И. Резание металлов / Клушин М.И. - Москва : МАШГИЗ, 1958. – 480 с.
4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / Бобров В.Ф. – Москва : Машиностроение, 1975. – 344 с.
5. Грановский Г.И. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. / В.Г. Грановский, Г.И. Грановский. – Москва : Высш. шк., 1985. – 304 с.

**Mikhail Podgaetskiy, Anton Aparakin, Andrei Kirichenko**

*Kirovograd national technical university*

**Improving the accuracy of gear cutting by separating surfaces that interact with the tool during the cutting process**

The article is devoted to the problem of increasing the accuracy of involute cylindrical gears. The authors conducted a theoretical justification to a problem of the origin of surface stresses in case of the deformation, which in turn can significantly effect on the quality of the machined surface, ability to further processing (especially, thermal processing), geometrical deviations.

It is established that the existing methods of processing involute cylindrical gears (gear hobbing and gear shaping) are performed at high cutting forces. The cutting edge of the tool is tangent to the involute surface that is normal cutting surface, causing shear and normal stresses on the treated surface and slander. With further heat treatment of gears take place a vacation of stress and significant quality deterioration of the involute surface.

Using the theory of strength of materials the difference in operating stresses on the machined surface at different cutting schemes was obtained.

The results of experimental studies in terms of process modeling indicate better quality of the machined surface at the location of the cutting edge of the tool normal to the workpiece, which has functionality properties.

As a result, the authors concluded the need for a method of gear cutting, in which the functional surface is aligned with the tangent of the cut surface, that removes the formation of normal stresses in the surface layer, and provide greater accuracy of processing.

**gear cutting, the cut surface, the surface tension**

Одержано 10.04.14

**УДК 62-932.4**

**Б.Б. Кришкін, доц., канд. техн. наук, Є.О. Размочаєва, Я.О. Потеряйко, магістранти**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## **Моделювання кінематичного та температурного станів вузлів кривошипних машин за допомогою програмного комплексу DEFORM**

У статті описано методику проведення математичного моделювання кінематичного та температурного станів триботехнологічної системи «вал-мастило-підшипник» кривошипно-колінчастого пресу К0032 за допомогою програмного комплексу DEFORM 3D

**моделювання, візуалізація, зусилля, швидкості, видавлювання, переміщення, температура**

**Б.Б. Крышкин, доц., канд. техн. наук, Е.А. Размочаева, Я. А. Потеряйко, магистранты**

*Кировоградский национальный технический университет*

**Моделирование кинематического и температурного состояний узлов кривошипных машин з помощью программного комплекса DEFORM**

В статье описана методика математического моделирования кинематического и температурного состояний триботехнологической системы «вал-смазка-подшипник» кривошипно-коленного пресса К0032 с использованием программного комплекса DEFORM 3D

**моделирование, визуализация, усилия, скорости, выдавливание, перемещения, температура**

© Б.Б. Кришкін, Є.О. Размочаєва, Я.О. Потеряйко, 2014