

**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

Підвищення якості виробництва вітчизняної техніки невід’ємно пов’язано із застосуванням точних металообробних машин і технологій їх конструювання. Для цілей моделювання та візуалізації складних процесів металообробки широко використовується програмний комплекс (ПК) DEFORM компанії SFTC (США). Більш широке впровадження цього ПК стримує те, що він не розроблявся для потреб машинознавства, зокрема, для оптимізації системних параметрів обладнання. В даній статті викладені деякі результати дослідження щодо потенційної можливості використання ПК DEFORM для моделювання кінематичного та температурного полей в системі «вал-підшипник ковзання» кривошипно-колінчастого пресу К0032.

Для аналогії було обрано режим «cold forming» (температура в вищезазначеній системі передбачається нижчою за температуру структурних перетворень для матеріалів вала, мастила і підшипника), в якості прототипу модельованої системи була прийнята така, де роль «верхньої матриці» (top die) виконував вал пресу, роль «нижньої матриці» (bottom die) – підшипник, а роль «заготовки» (workpiece) – технологічне мастило. Можливості програми дозволяють ввести до розгляду новий матеріал («create new material»). В якості такого матеріалу для умовної «заготовки» було вирішено використати масло «Індустріальне 40».

В режимі «user routine» були визначені залежності впливу температури та тиску у технологічному зазорі між підшипником та валом на фізико-механічні властивості масла «Індустріальне 40». Безпосередньо моделювання було вирішено поділити на три етапи:

1. Моделювання умов швидкості руху мастила у зазорі між підшипником та валом.
2. Моделювання умов переміщення мастила у зазорі між підшипником та валом.
3. Моделювання температурного поля у зазорі між підшипником та валом.

Процес моделювання реалізовано за 200 умовних кроків, при цьому тривалість кожного кроку було визначено в залежності від швидкості обертання головного валу пресу (для пресу К0032 це становить 0,025с). На початковому кроці моделювання поле швидкостей переміщення технологічного мастила було прийнято рівномірним (рис.1).

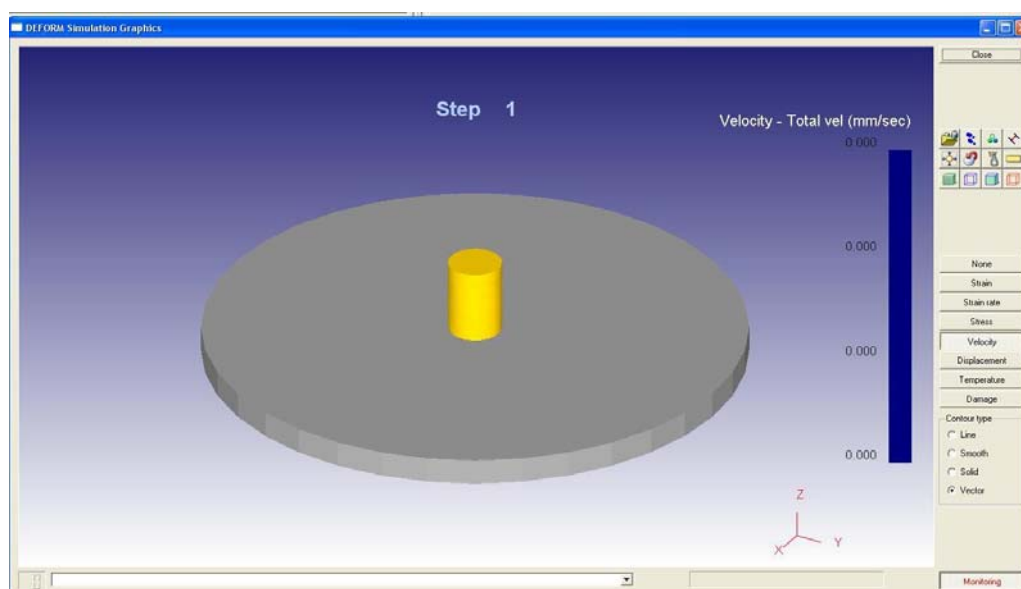


Рисунок 1 – Початковий вигляд математичної моделі

Вже починаючи з 10 кроку починає формуватися небезпечна зона на поверхні головного валу, яка потенційно схильна до руйнування у випадку перевищення навантажень. Остаточно сформована зона локалізується над опорною частиною підшипника (див. рис. 2). Це відповідає ймовірному порушенню початкових умов функціонування триботехнічної системи (наприклад, при незадовільній подачі мастила у зазор між валом та підшипником), внаслідок чого та частина валу, що опирається на підшипник, буде піддаватися більшій небезпеці руйнування.

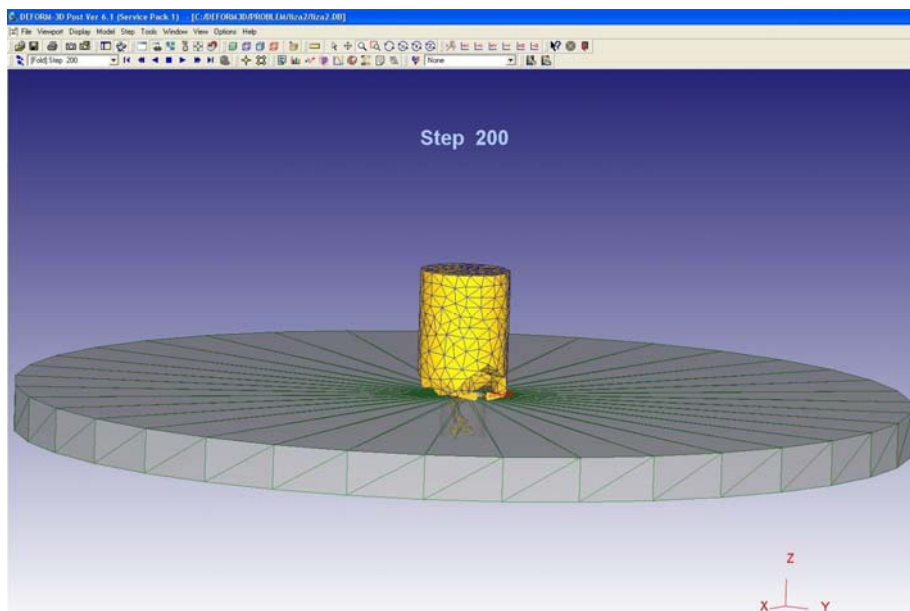


Рисунок 2 – Зона потенційно небезпечних ділянок кривошипного валу

Характерно, що вже після 30 кроку (тобто, через 0,075 с від початку робочого ходу) поле швидкостей технологічного мастила в зазорі між валом та підшипником стає дуже нерівномірним, що свідчить про зміну режиму руху мастила у зазорі: замість початкового ламінарного він переходить у турбулентний (рис.3).

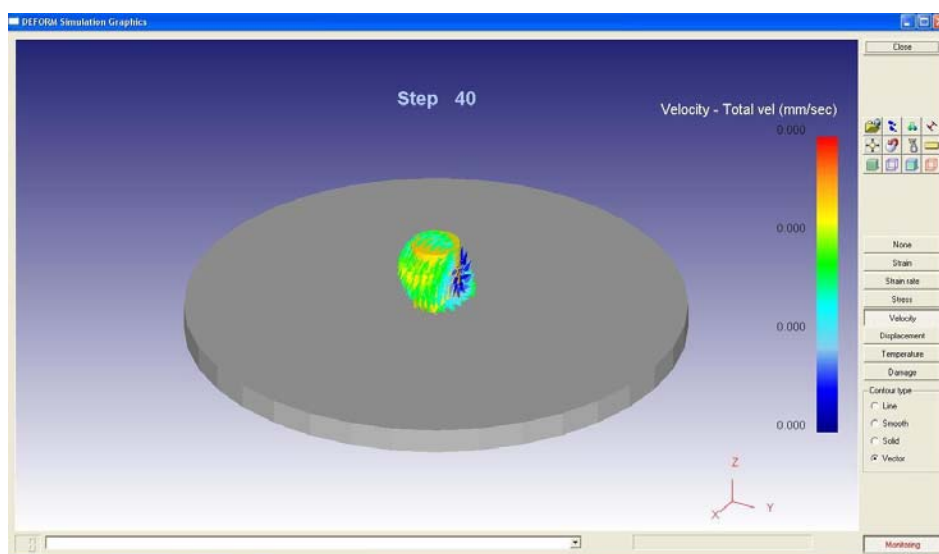


Рисунок 3 – Поле швидкостей переміщення технологічного мастила

Далі за допомогою методу граничних елементів були побудовані гістограми розподілу напружень у головному валу, які довели, що небезпека його руйнування може бути пов'язана з різким зростанням напружень в кінці робочого та на початку зворотнього ходу повзуну пресу. Саме в цей момент різко зростають енерговитрати у системі, які до того ж супроводжуються зміною знаку напружень (див. рис. 4).

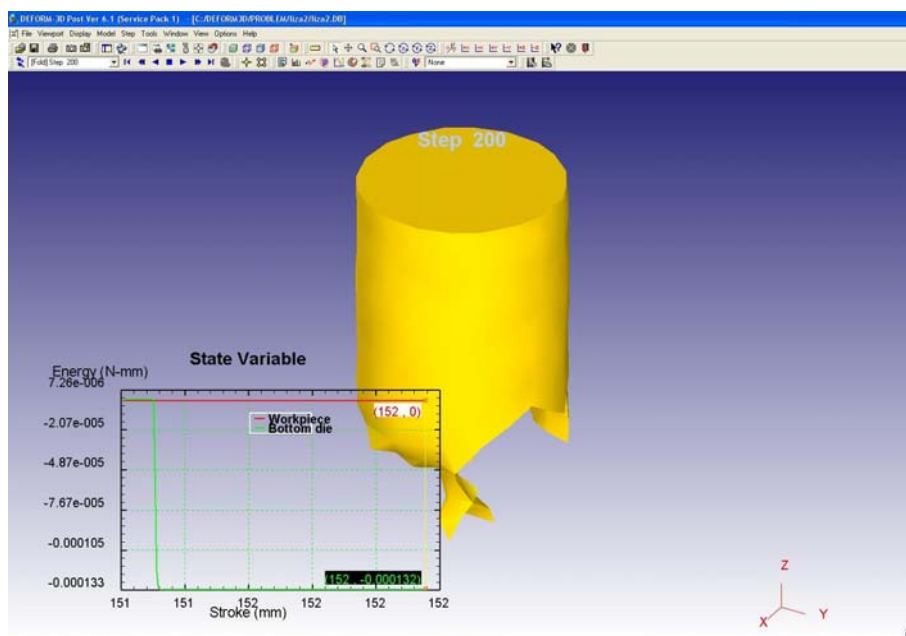


Рисунок 4 – Гістограма енерговитрат в досліджуваній системі

При моделюванні умов переміщення мастила у зазорі між підшипником та валом відповідне поле переміщень також було прийнято рівномірним. Втім, вже, починаючи з 10 кроку моделювання спостерігали появу небезпечної зони на поверхні валу. Наявність зазначеної зони свідчить про значну нерівномірність переміщень частинок мастила у технологічному зазорі, що потенційно може призвести до накопичення частинок зношування і, як наслідок – до прискореного абразивно-корозійного зношування валу. Починаючи з 40 кроку (приблизно через 0,1 с після початку робочого ходу повзуну) ця нерівномірність поступово збільшується, причому переміщення мастила в умовно «верхній» частині валу (там, де зазор між валом та підшипником більший) значно менше, ніж у «нижній» частині (див. рис. 5). Різко зростає явище турбулентності потоків переміщення мастила у зазорі між підшипником та валом. Зменшення нерівномірності поля переміщень спостерігається тільки в кінці робочого ходу, що пояснюється зменшенням швидкості повзуну під час виконання технологічної операції. При цьому зазори вибираються, а шляхи переміщення мастила у «верхній» та «нижній»\* частинах валу вирівнюються ( див. рис. 6).

Окремо були визначені очікувані енерговитрати в системі «вал-мастило-підшипник», обумовлені вищезазначеними причинами. Закон розподілу зусиль на головний вал пресу при цьому задавали відповідно до графіку основної технологічної операції, яка виконується на пресі (зворотне видавлювання суцільної заготовки).

\* «верхньою» частиною умовно вважали ту частину поверхні валу, яка у даний момент часу не опирається на підшипник; відповідно, «нижня» частина – та частина валу, яка прилягає до відповідної поверхні підшипника

Результати моделювання показали наявність значного коливання енергії за робочий цикл (див. рис. 7), причому така нерівномірність має піковий характер, і відповідає моменту початку другої стадії процесу зворотнього видавлювання, коли розпочинається усталене переміщення деформованого металу у зазор між пуансоном та матрицею.

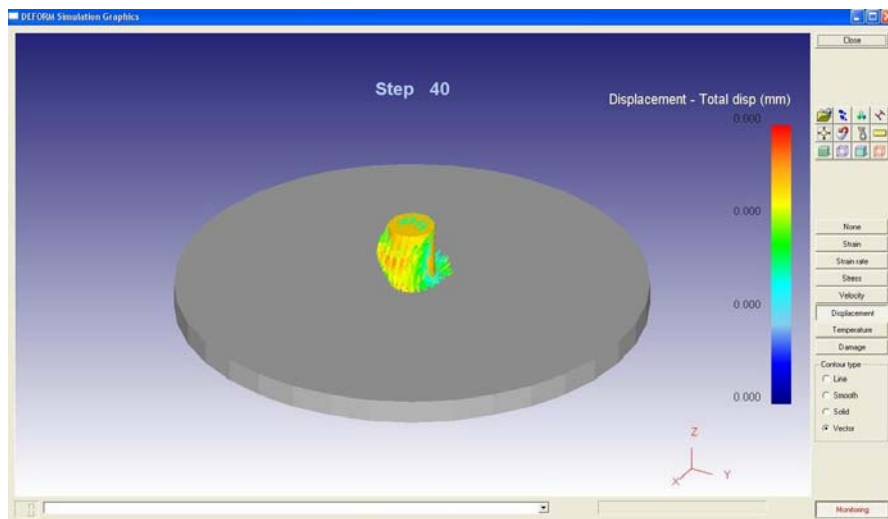


Рисунок 5 – Поле переміщень технологічного мастила у зазорі на початку обертання валу

Як видно з рисунка 7, в процесі роботи пресу змінюються не тільки значення плинної витрати роботи деформування, але й її знак, тобто в ході видавлювання пружні деформації в системі «прес-штамп» обумовлюють появу значних коливань енерговитрат, що може стати однією з причин зменшення запасу на втомлюваність найбільш навантажених деталей пресу (в першу чергу – опор підшипників). Таким чином, традиційний погляд на незмінність енергетичних витрат впродовж робочого ходу повзунів пресів із змінними кінематичними характеристиками (в першу чергу, із кривошипно-повзунними та кривошипно-колінчастими головними виконавчими механізмами) потребує відповідного перегляду.

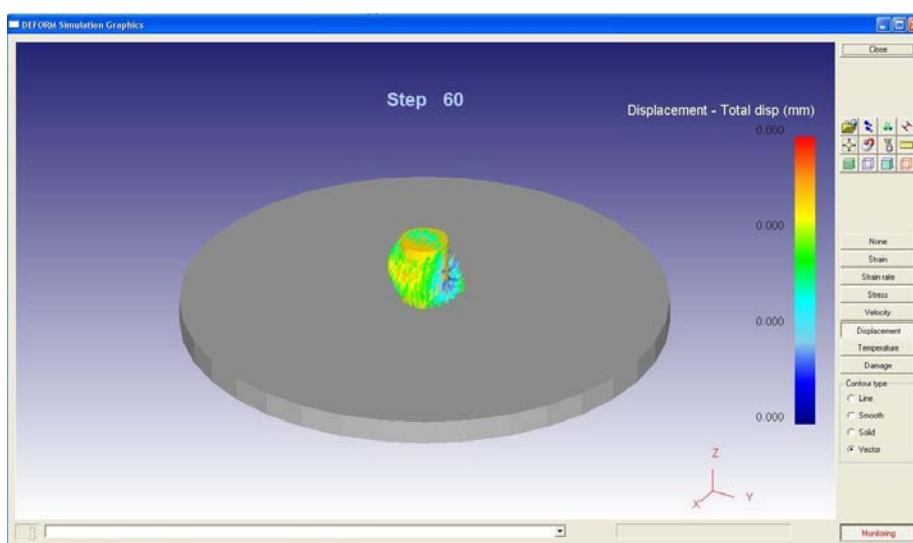


Рисунок 6 – Поле переміщень технологічного мастила у зазорі в усталеній фазі обертання валу

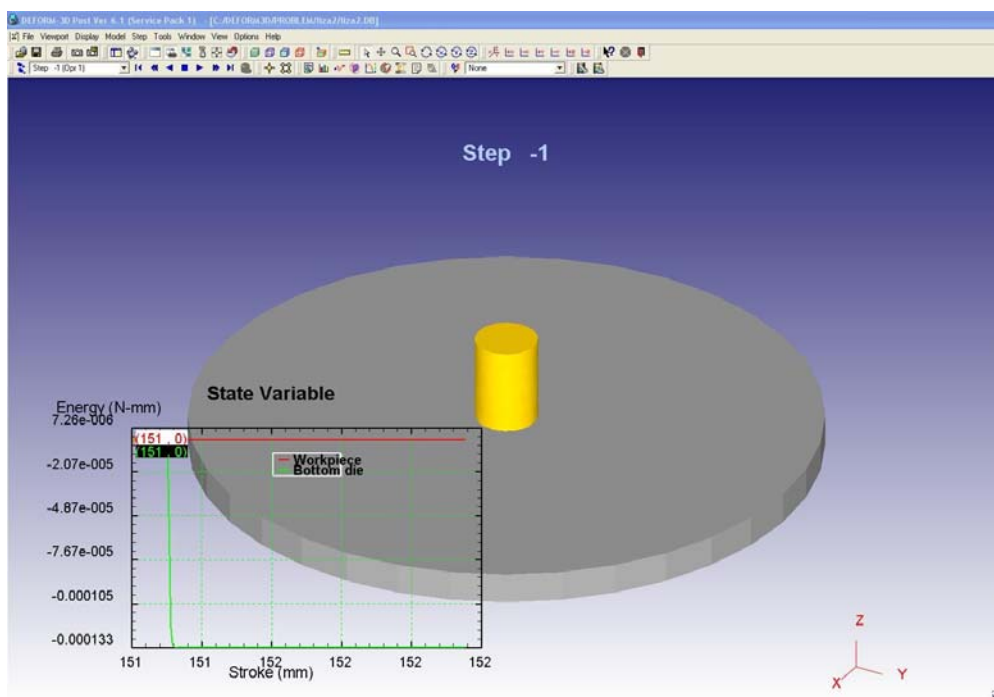


Рисунок 7 – Гістограма енергетичних витрат в системі «вал-мастило-підшипник»

Для візуалізації температурного стану технологічного мастила та контактних поверхонь за допомогою ПК DEFORM попередньо поле температур (див. рис. 8) було задано рівномірним (в межах  $60^{\circ}\text{C}$ ; дані були отримані розрахунком). Результати моделювання показали, однак, що це припущення – хибне, а фактичне температурне поле є дуже нерівномірним. При моделюванні температурного поля були враховані теплофізичні характеристики всіх складових системи «вал-мастило-підшипник», а також їх зміни в процесі робочого ходу валу.

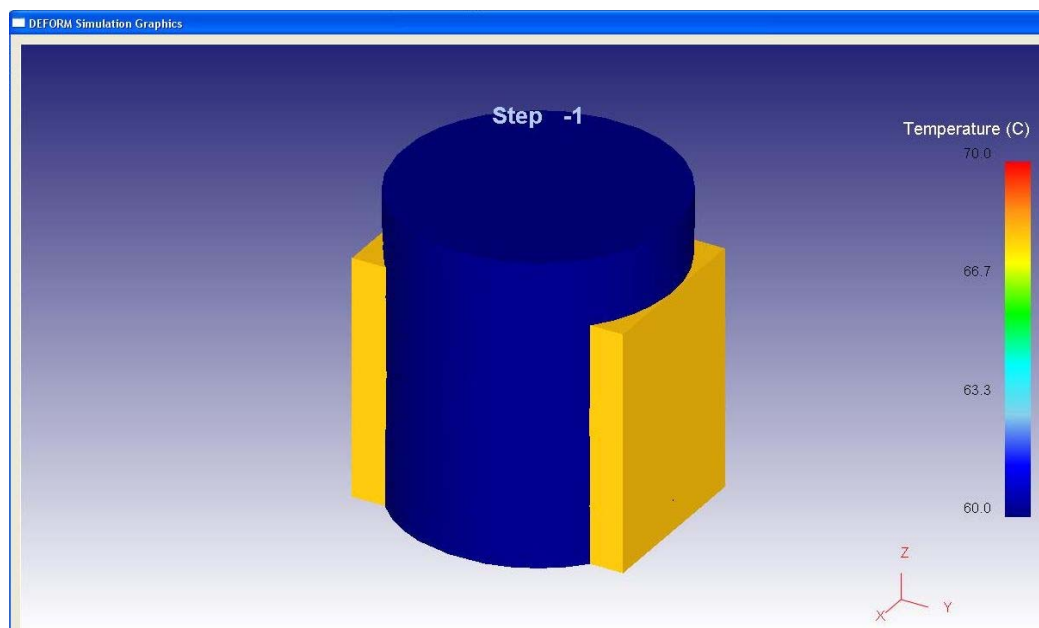


Рисунок 8 – Температурне поле вихідного стану системи

Вже на початку виконання робочого ходу пресу внаслідок пружних деформацій в системі значення зазорів починають змінюватися, що, відповідно, впливає на температуру мастила у зазорі. Характерно, що у цілому температура контактної поверхні валу не змінюється, незважаючи на локальні підвищення температури у місцях порушення суцільності мастильного покриття (див. рис. 9). Видно, що локальні температурні «стрибки» відповідають умовам, коли система перебуває під впливом технологічних зусиль зворотнього видавлювання.

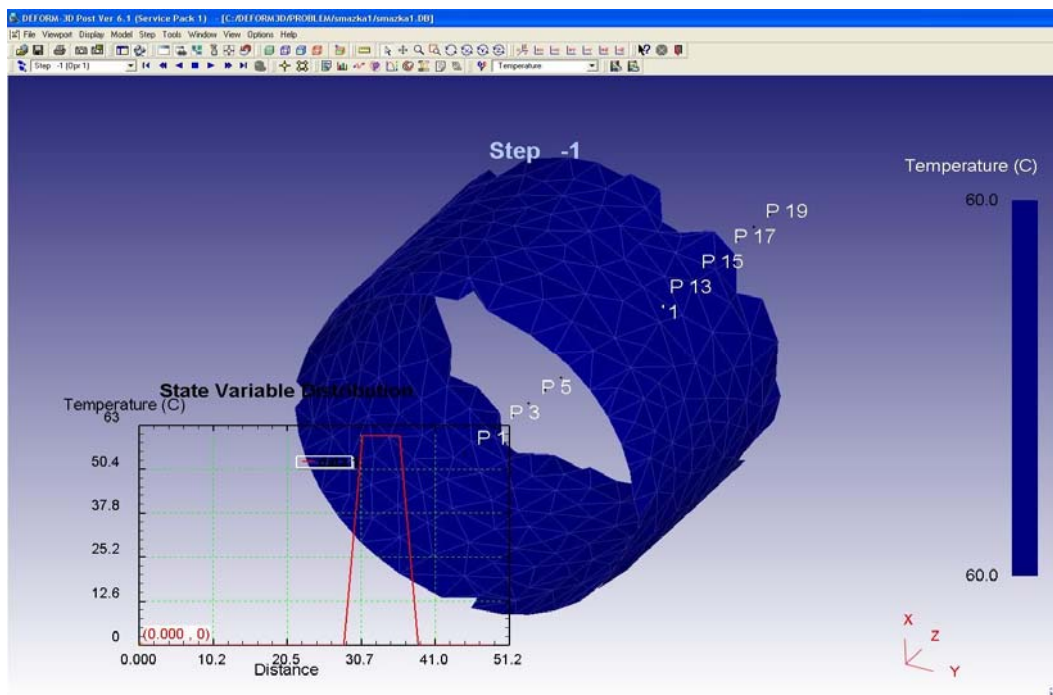


Рисунок 9 – Температурний стан в приконтактному шарі валу

Порівняємо, наприклад, результати моделювання першого (див. рис.10) та останнього (див. рис. 11) кроків моделювання. При загально позитивній картині розподілу температур по мірі підвищення навантажень на вал і зменшенні зазорів зменшується суцільність мастильного покриття, що супроводжується розвитком процесів зношування. Якісна картина розподілу температур засвідчує, що із зростанням часу роботи валу (зростання кількості циклів навантажень) суттєво збільшуються значення локальних температур у мастильному шарі. Оскільки при цьому відповідно зменшуватиметься в'язкість мастила, коефіцієнт суцільності мастильного покриття теж зменшиться.

На рис. 12 та 13 для порівняння наведені зміни у температурах окремих частин контактної поверхні валу через 0,025 та 0,15 с його роботи. Тут червоні ділянки – зони з найвищими температурами, сині ділянки - зони з найвищими температурами. Деяке вирівнювання температурного поля у зазорі можна пояснити інтенсивним переміщенням мастила під час обертання валу. При цьому із збільшенням часу обертання з'являється деяка кількість жовтих ділянок – зон з зниженою проти норми температурою.

Аналіз отриманих результатів дозволяє можливість зробити наступні висновки. При моделюванні температурного поля на початковій стадії дії системи «вал-мастило-підшипник» основний масив фактичних приконтактних температур значно менший за критичний.

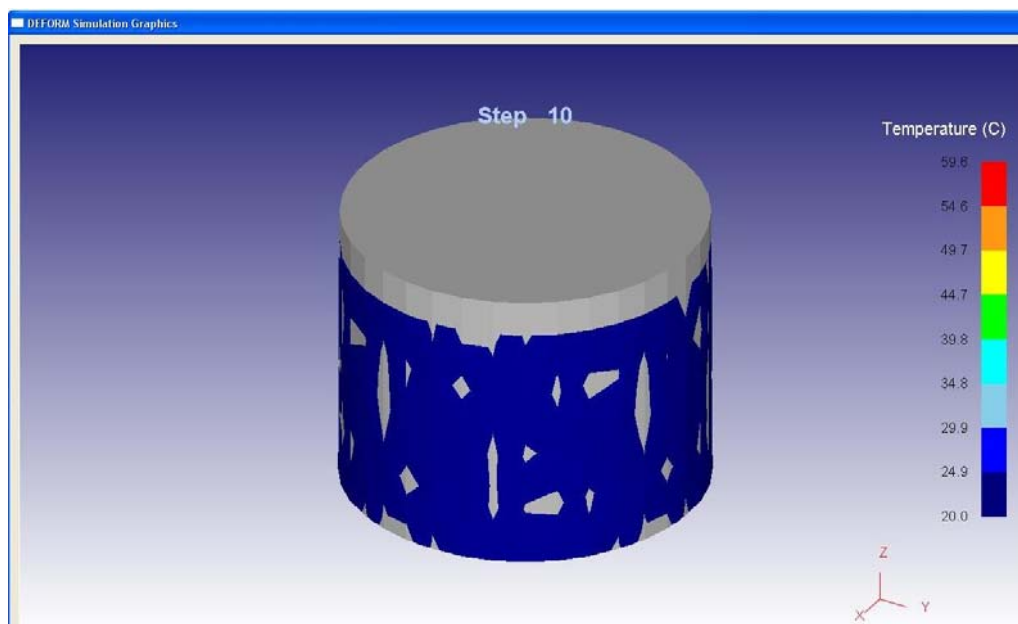


Рисунок 10 – Початковий температурний стан системи «вал-мастило-підшипник»

Проте з збільшенням часу контакту значення температур суттєво зростають і вже через 0,15 с роботи досягають своїх розрахункових значень. При цьому температури в  $50^{\circ}$  досягаються тільки на торці тієї частині валу, що прилягає до контактної поверхні підшипника. Мінімуму поля температур фактично немає, початково встановлена при моделюванні температура валу є дещо заниженою, що треба враховувати в процесі конструювання довговічних підшипникових опор валів кривошипних пресів. Характерно, що збільшення часу візуалізації принципово картину розподілу температурних полів не змінює.

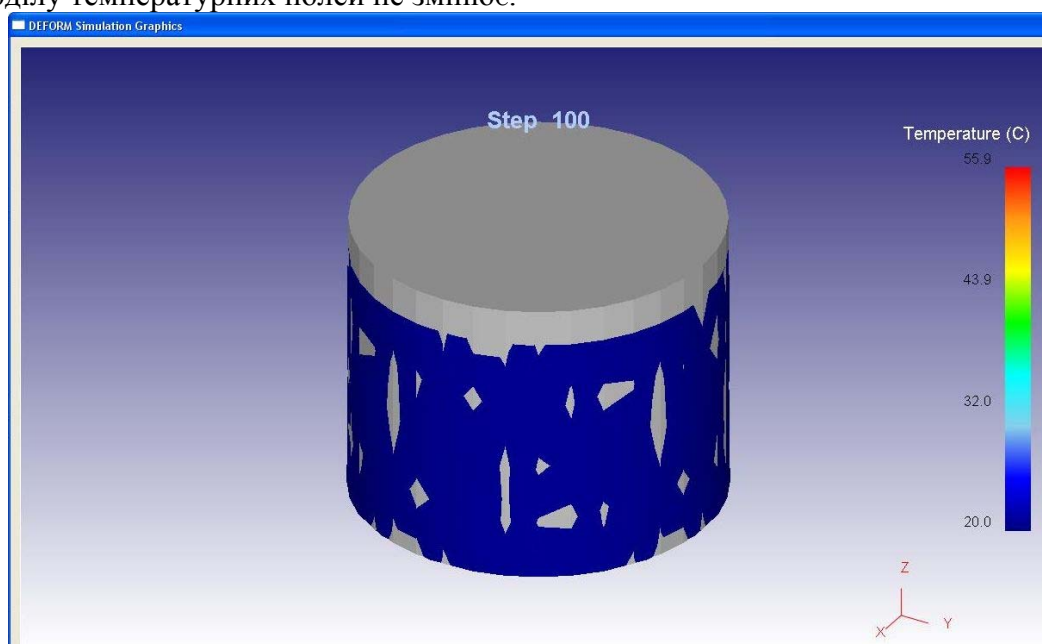


Рисунок 11 – Температурний стан системи «вал-мастило-підшипник» в усталеному режимі її роботи



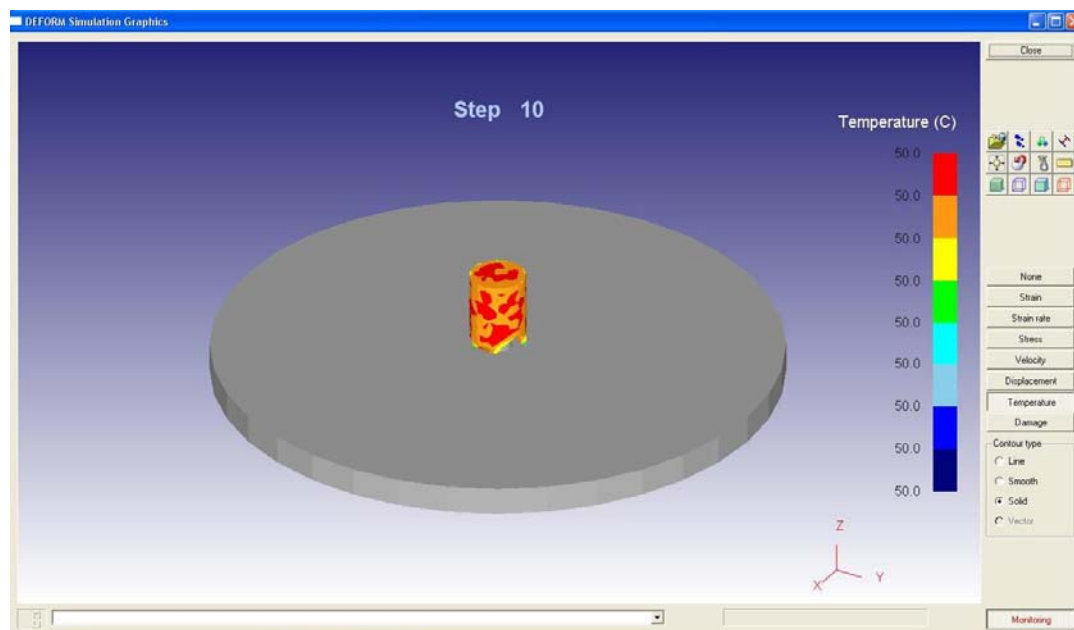


Рисунок 12 – Якісна картина розподілу температур на початковій стадії роботи системи «вал-мастило-підшипник»

Таким чином, моделювання з подальшою візуалізацією режимів роботи триботехнічних систем обладнання дає можливість прогнозування їх зношування та визначає тривалість умов нормальної роботи окремих вузлів обладнання. Подібна технологія може бути використана для моделювання нестационарних процесів теплообміну у контактуючих парах деталей машин.

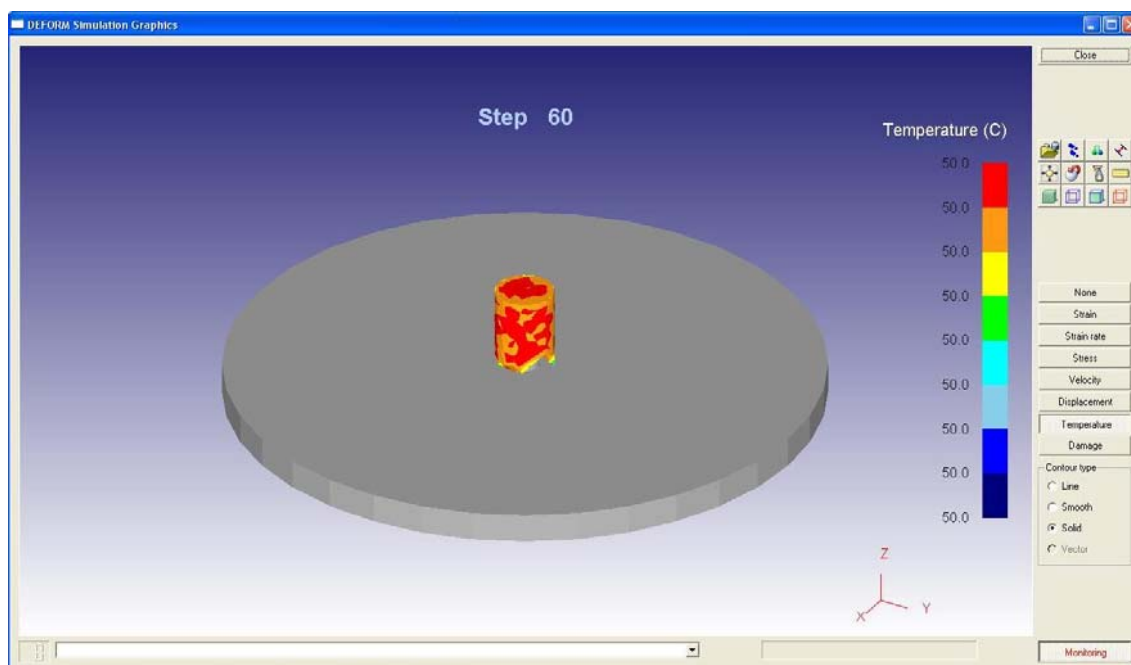


Рисунок 13 - Якісна картина розподілу температур на усталеній стадії роботи системи «вал-мастило-підшипник»

## Список літератури

1. Кривошипные кузнечно-прессовые машины / В.И. Власов, А.Я. Борзыкин, И.К. Букин-Батырев и др. Под ред. В.И. Власова. - М.: Машиностроение, 1982. - 424 с.
2. Rowe G.W., Principles of Industrial Metalworking Processes. Arnold. Lonlon. 1977.
3. Использование программного комплекса DEFORM 3D/2D в научной работе и учебном процессе / С.Лежнев, Е. Панин // САПР и графика. №5, 2009. – С. 3-8.

**Boris Kryshkin, Elisaveta Razmochaeva, Yaroslav Poteryajko**

*Kirovograd state national university*

**Design cinematic and temperature states of knots of crank-type machines by a programmatic complex DEFORM**

The results of quantitative and high-quality design of kinematics terms are considered in this article - speed and moving, and also temperature conditions of work of the tribonic system of "crankshaft - technological greasing-bearing" as it applies to the crank-type-knee press of model of K0032, at implementation by it operations of the reverse squeezing out.

The stages of preparation of basic data are rotated for a subsequent design, considered and discussed results of visualization.

Presented recommendation for perfection of planning, diagnostics and exploitation of this type of equipment taking into account the got results

**design, visualization, efforts, speeds, squeezing out, moving, temperature**

Одержано 23.04.14

**УДК 621.9**

**В.А. Мажара, доц., канд. техн. наук, М.О. Годунко, доц., канд. техн. наук,**

**О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук, Є.В. Ковальчук, магістрант**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Визначення кутів повороту ведучих ланок адаптивного захватного пристрою

В статті розглядається методика визначення кутів повороту ведучих ланок захватного пристрою промислового робота, призначеного для затиску як призматичних, так і циліндричних деталей. **адаптивний захватний пристрій промислового робота, кут повороту ведучої ланки, циліндрична деталь, призматична деталь**

**В.А. Мажара, доц., канд. техн. наук, М.О. Годунко, доц., канд. техн. наук, О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук, Є.В. Ковальчук, магістрант**

*Кіровоградський національний технічний університет*

**Определение углов поворота ведущих звеньев адаптивного захватного устройства**

В статье рассматривается методика определения углов поворота ведущих звеньев захватного устройства промышленного робота, предназначенного для зажима как призматических, так и цилиндрических деталей.

**адаптивное захватное устройство промышленного робота, угол поворота ведущего звена, цилиндрическая деталь, призматическая деталь**

© В.А. Мажара, М.О. Годунко, О.А. Кислун, Є.В. Ковальчук, 2014