

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ВОЛНООБРАЗНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ИНИЦИИРОВАННОМ НАЧАЛЬНОМ ИСКАЖЕНИИ ФОРМЫ ОБРАЗЦА

С. А. Тюрин¹, С. С. Щербаков²

¹*Институт механики и надежности машин НАНБ, г. Минск*

²*Белорусский государственный университет, г. Минск*

Показано, что источниками нестационарности на дорожке качения являются нанесенные в опасном сечении образца лыски, которые и вызывают образование остаточных волнообразных повреждений. Сделан вывод о том, что образование таких повреждений есть результат нестационарного, нерегулярного процесса упругопластического деформирования. В процессе износоусталостных испытаний возникает и развивается существенная деформационная анизотропия свойств материала на поверхности качения.

Впервые особый вид предельного состояния при контактно-механической усталости, характерный для системы типа колесо/рельс, – образование остаточных волнообразных повреждений был установлен и описан в работах [1–3]. Данная статья посвящена более детальному экспериментальному исследованию указанных повреждений в зависимости от условий эксплуатации.

Образцы для испытаний были изготовлены из нормализованной стали марки 45, а контрообразцы (ролики) – из стали марки 25ХГТ. Рабочие поверхности образцов и роликов полировали. Биение образцов в рабочей зоне – не более 10 мкм. Испытания проводили на машине для износоусталостных испытаний типа СИ-03 [4–5] при частоте 3000 мин⁻¹ в условиях нормальной температуры. Схема испытаний (консольный изгиб с вращением + трение качения) приведена на рисунке 1. При испытаниях в зону контакта капельным способом подавали смазочный материал (масло марки ТАД-17) со скоростью 12–14 капель в минуту.

Испытания проводили методом ступенчатого увеличения максимальных контактных напряжений p_0 (задаются контактной нагрузкой F_N) при неизменном уровне циклических напряжений $\sigma_a = \text{const}$ (задаются изгибной нагрузкой Q). Схема программы нагружения приведена на рисунке 2.

Испытания проводили непрерывно, до достижения предельного состояния – недопустимой вибрации в системе образец–контрообразец.

Всего было проведено три группы испытаний:

1 В опасном сечении образца нанесена одна лыска глубиной ≈ 40 мкм.

2 В опасном сечении образца нанесено две лыски под углом 90° друг к другу.

3 В опасном сечении образца нанесено две лыски под углом 180° друг к другу.

В каждой группе испытаний было проведено по три эксперимента:

а) при контактной усталости – КУ (изгибающая нагрузка $Q = 0$ – см. рисунок 1, б);

б) при контактно-механической усталости в зоне растяжения – КМУ-р (изгибающая нагрузка Q направлена вниз – см. рисунок 1, а);

в) при контактно-механической усталости в зоне сжатия – КМУ-с (изгибающая нагрузка Q направлена вверх – см. рисунок 1, а).

В процессе испытаний измеряли сближение осей образца и контрообразца δ .

В результате испытаний произошло образование на дорожке качения образцов из мягкой стали 45 остаточных волнообразных повреждений – застывших нерегулярных волн пластичности. При этом

форма роликов из высокопрочной стали 25ХГТ в зоне контакта оставалась неизменной, т. е. геометрически неискаженной.

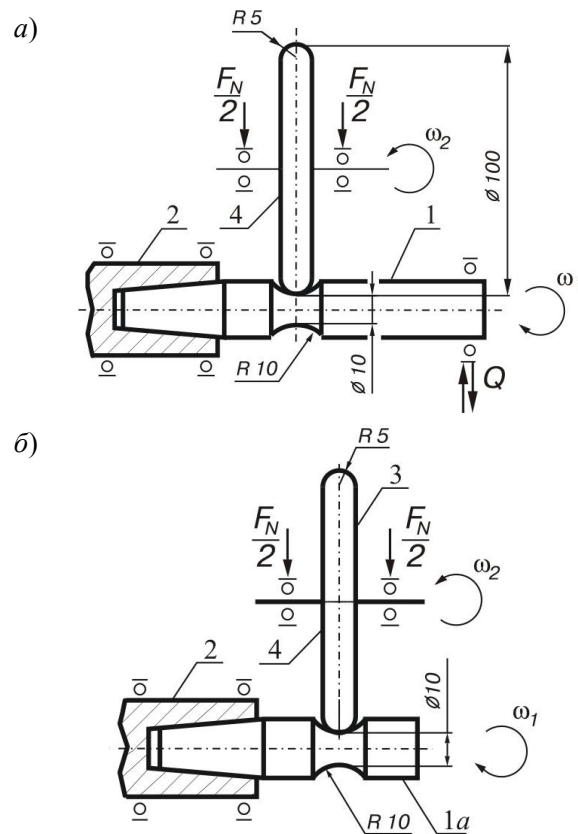


Рисунок 1 – Схемы испытаний на контактно-механическую (а) и контактную (б) усталость

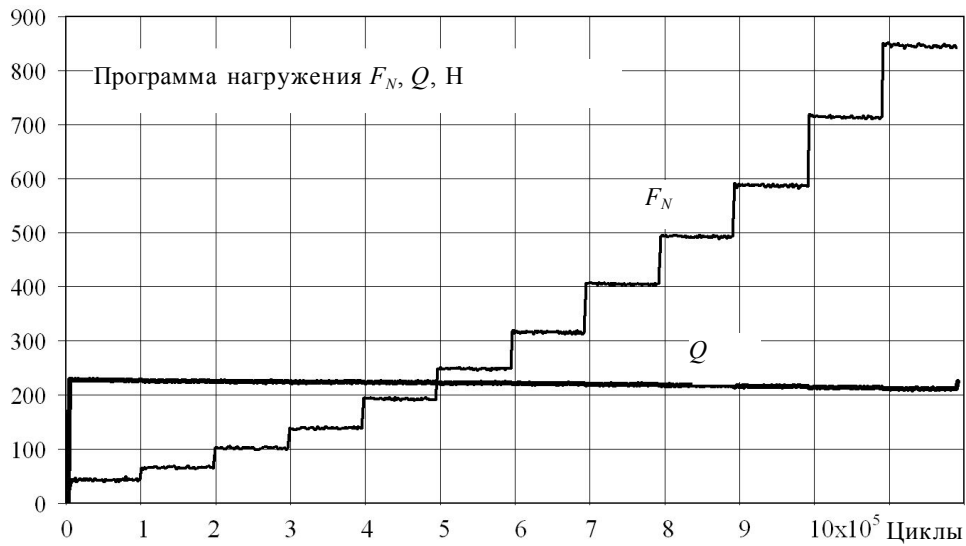


Рисунок 2 – Программа нагружения

Результаты испытаний приведены на рисунках 3 и 4. На рисунке 3, а–в приведены графики изменения сближения осей δ_c в силовой системе в зависимости от числа циклов нагружения n . На рисунке 4, а–в приведены графики изменения усредненных значений сближения осей δ_c на каждой ступени нагружения в зависимости от контактной нагрузки F_N на этой ступени.

Анализ графиков, приведенных на рисунках 3 и 4, позволяет сделать следующие заключения:

1 Максимальное сближение осей δ_c во всех случаях достигает ≈ 200 мкм.

2 При испытаниях на контактно-механическую усталость в зоне растяжения (КМУ-р) характер кривых – более пологий.

3 При испытаниях на контактно-механическую усталость в зоне сжатия (КМУ-с) кривые расположены под большим углом, что свидетельствует о большей нестационарности процесса трения.

4 При испытаниях на контактную усталость (КУ) кривые сближения осей занимают как бы промежуточное положение.

По окончании испытаний было проведено измерение ширины и глубины образовавшихся остаточных волнообразных повреждений на всех образцах. На рисунках 5–7 показаны развертки дорожек качения по ширине, а на рисунках 8–10 – развертки дорожек качения по глубине. Видно, что в каждом случае в данных условиях испытаний образовались несколько нерегулярных волнообразных остаточных поверхностных повреждений.

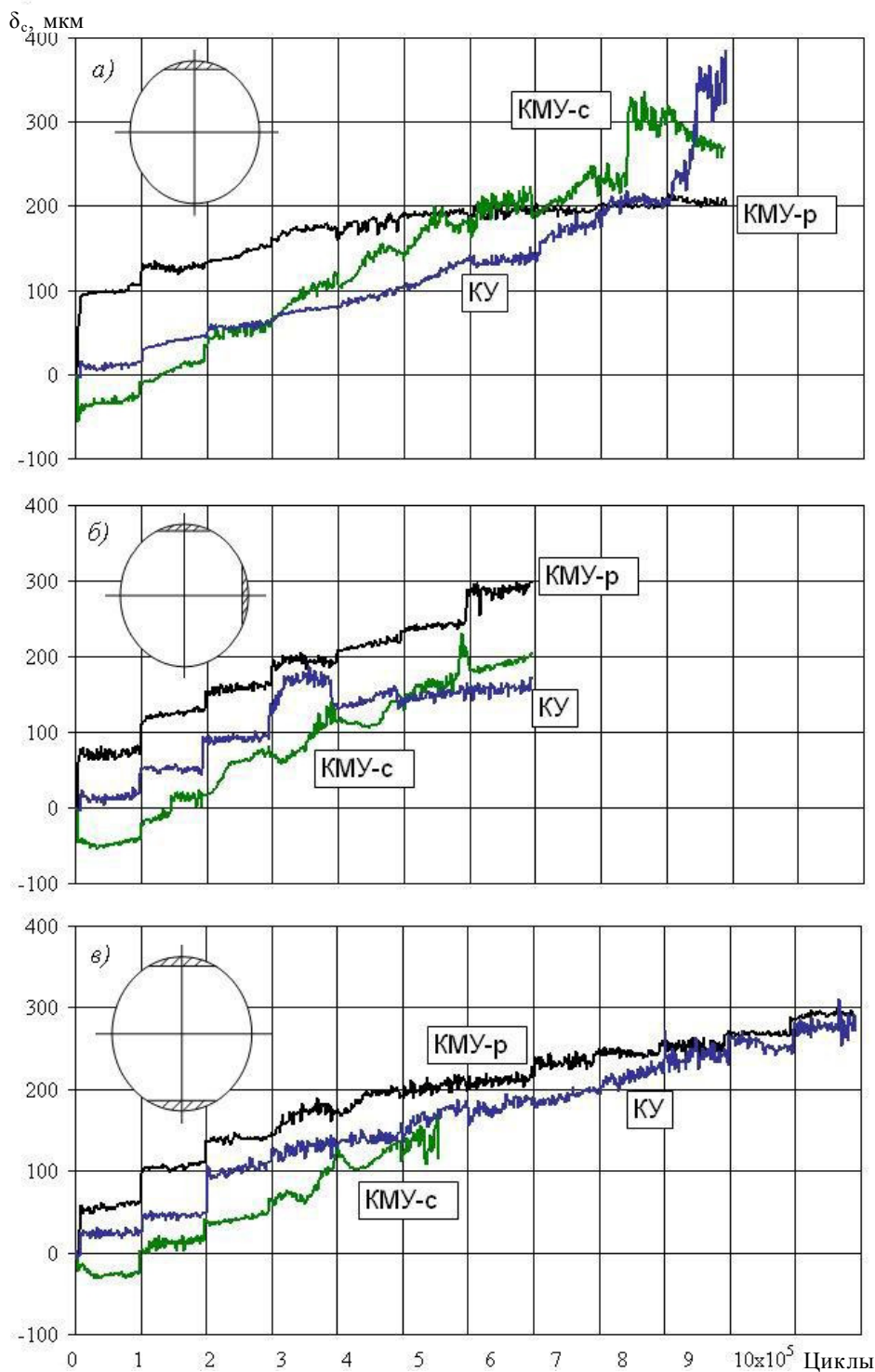


Рисунок 3 – Сближение осей δ_c в силовой системе образец–ролик при КУ, КМУ растяжение, КМУ сжатие

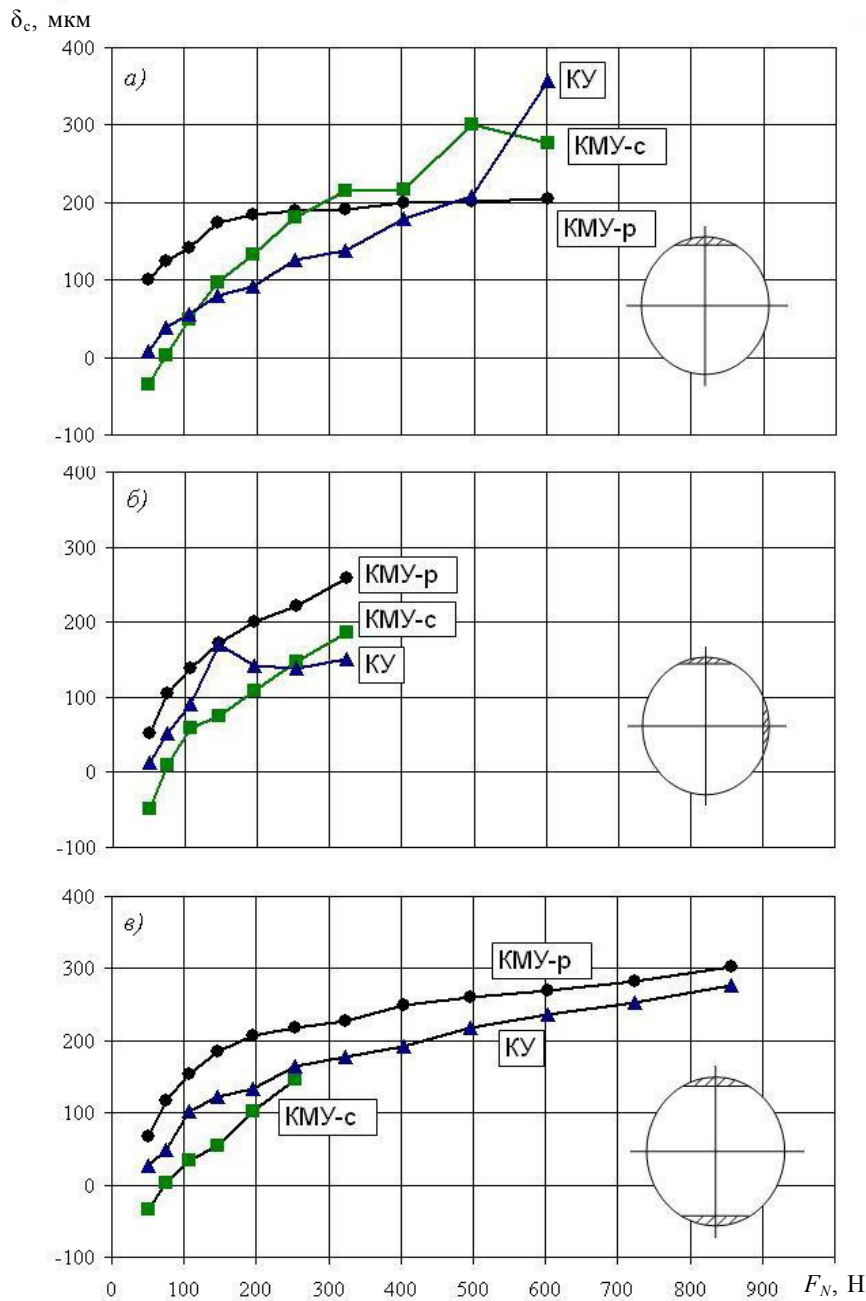


Рисунок 4 – Зависимость сближения осей δ_c от нагрузки в силовой системе образец–ролик при КУ, КМУ растяжение

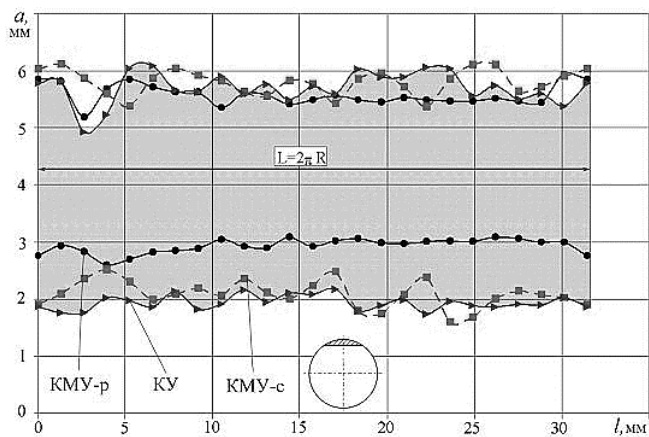


Рисунок 5 – Осьевые остаточные волнообразные деформации после испытаний на КУ, КМУ растяжение, КМУ сжатие (одна лыска)

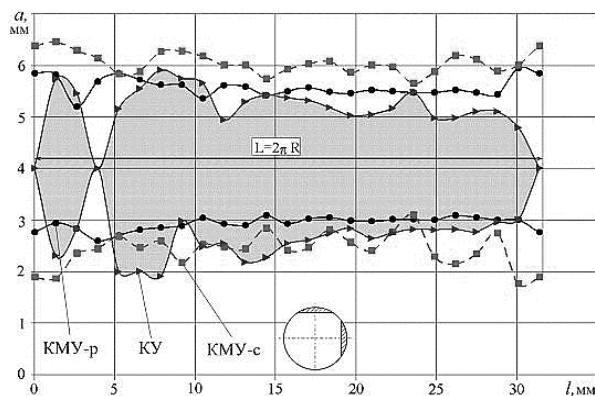


Рисунок 6 – Осевые остаточные волнообразные деформации после испытаний на КУ, КМУ растяжение, КМУ сжатие (две лыски под 90^0)

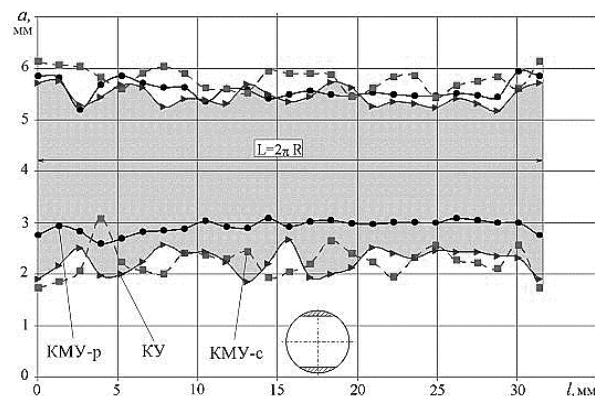


Рисунок 7 – Осевые остаточные волнообразные деформации после испытаний на КУ, КМУ растяжение, КМУ сжатие (две лыски под 180^0)

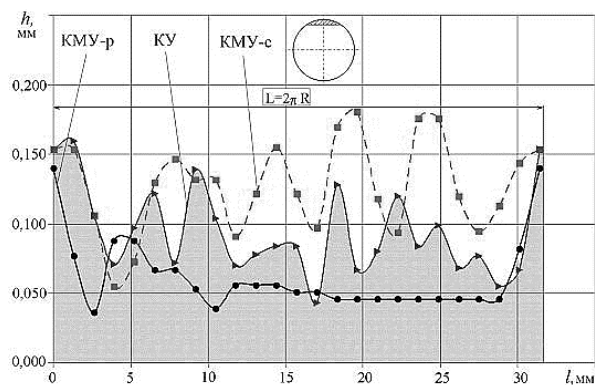


Рисунок 8 – Радиальные остаточные деформации после испытаний на КУ, КМУ растяжение, КМУ сжатие (одна лыска)

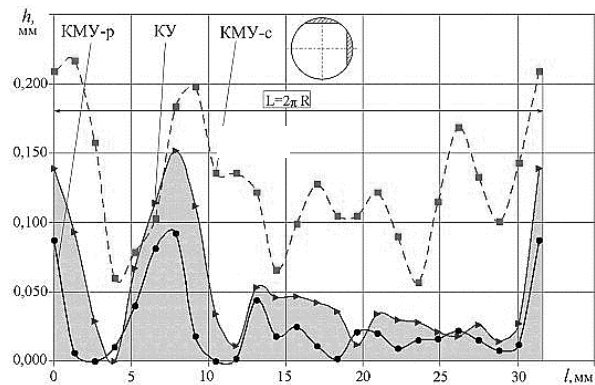


Рисунок 9 – Радиальные остаточные деформации после испытаний на КУ, КМУ растяжение, КМУ сжатие (две лыски под 90^0)

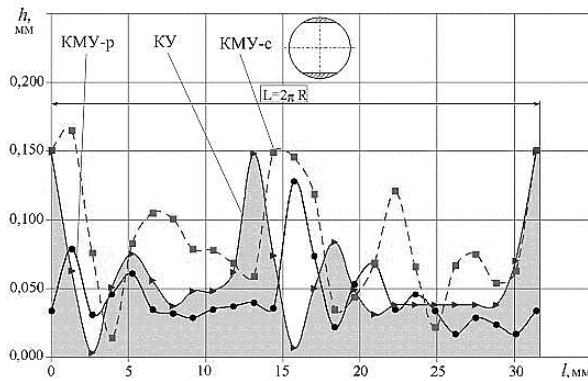


Рисунок 10 – Радиальные остаточные деформации после испытаний на КУ, КМУ растяжение, КМУ сжатие (две лыски под 180°)

Из рисунков 5–10 видно, что наибольших размеров остаточные волнообразные повреждения достигают в зоне нанесения на поверхность образца лысок. По мере удаления от зоны лысок наблюдается уменьшение глубины и ширины волнообразных повреждений как следствие затухания колебаний. Таким образом, можно утверждать, что лыски и являются источниками нестационарности на дорожке качения и вызывают образование остаточных волнообразных повреждений.

Ни одна из застывших «волн» повреждения не повторяется: каждая лунка и перемычка имеют свои, отличающиеся от других размеры. Шаг лунок тоже непостоянен. Следовательно, образование остаточных поверхностных волнообразных повреждений есть результат нестационарного процесса упругопластического деформирования. Можно полагать, что анизотропия физико-механических свойств материала в локальных зонах вдоль дорожки качения обуславливает анизотропию деформации в этих зонах, она служит источником нестационарности. Чем сильнее анизотропия деформации, тем выше динамическая сила, возбуждаемая при локальном соударении ролика и образца. Таким образом, в данном случае описанная форма запредельного состояния обусловлена нестационарными ударно-усталостными процессами.

Обобщая эти наблюдения, можно сделать следующие выводы:

- 1 Источниками нестационарности на дорожке качения являются нанесенные в опасном сечении образца лыски, которые и вызывают образование остаточных волнообразных повреждений.
- 2 Образование поверхностных волн пластичности есть результат нестационарного, нерегулярного процесса упругопластического деформирования.
- 3 В процессе износоусталостных испытаний возникает и развивается существенная деформационная анизотропия свойств материала на поверхности качения.

Список литературы

- 1 Закономерности накопления повреждений стали 45 при контактно-механической усталости / А. В. Богданович [и др.]. // Заводская лаборатория. – 1996. – № 2. – С.42–45.
- 2 Диаграмма предельных состояний стали 45 при контактно-механической усталости и ее анализ / Л. А. Сосновский [и др.]. // Заводская лаборатория. – 1996. – № 2. – С.39–42.
- 3 **Тюрин, С. А.** Исследование волн пластичности при контактно-механической усталости / С. А. Тюрин // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2001. – № 4. – С. 11–14.
- 4 Трибофатика-95: ежегодник; под общей ред. Л.А. Сосновского / вып.1: Машины серии СИ для износоусталостных испытаний; под ред. М. С. Высоцкого. – Гомель: НПО "Трибофатика", 1996. – 80 с.
- 5 **ГОСТ 30755-2001.** Межгосударственный стандарт. Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования. – Введ. 07.01.2002. – Мн.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 8 с.

Получено 25.03.2005

S. A. Tjurin, S. S. Shcherbakov. The experimental research of residual waveform damages at initial distortion of the form of a sample.

It is shown, that sources non-stationary on a track of rolling are put in dangerous section of a sample of a flat which produce formation of residual waveform damages. The breeding that formation of surface waves of a plasticity is result of transient, irregular process of elastoplastic deforming is made. Besides during wear-fatigue tests arises and the essential straining anisotropy of a material properties on a surface of rolling.