

Рисунок 4 – Влияние сдвига фаз ϵ_1 и ϵ_2 на расход жидкости при $k_1=0,5$ в случае: 1 – идеальная поверхность с нулевым отклонением от плоскостности $r_1=0$; 2 – поверхность с волнистостью $r_1=0,25$; 3 – поверхность с волнистостью $r_1=0,5$.

Наглядно видна роль разности фаз между кривыми волнистости колец. Сравнительно со случаем плоских поверхностей максимальный расход жидкости через уплотнение увеличится примерно в $10 r_1$ раз, соответствующее среднеинтегральное

УДК 539.431

Тюрин С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛН ПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ КОНТАКТНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

В работах [1, 2] был установлен особый вид предельного состояния силовых систем при контактно-механической усталости - образование поверхностных волн пластичности. В данной работе сообщаются результаты экспериментального изучения свойств поверхностного слоя металла в зоне указанных волн.

(по сдвигу фаз $0 \leq \epsilon \leq \pi$) значение для $k_1=0,5$ – примерно вдвое меньше.

При этом, конечно, не учитывается влияние на расход неравномерности давления жидкости вдоль окружности колец уплотнения в таком неидеально плоском зазоре при наличии вращения колец.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голуб В.М., Голуб М.В., Свищев М.А., Холодарь Б.Г. Течение жидкости через узкие щели контактных пар трения торцовых уплотнений. Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. 4'2000. – С. 38-42.
2. Голуб В.М., Голуб М.В., Свищев М.А., Холодарь Б.Г. Модель протечки жидкости в узких щелях с учетом температуры разделительной пленки. Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. 4'2000. – С. 42-44.
3. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Под общ. ред. Б.Б. Некрасова. 2-е изд., перераб. и доп. –Мн.: Вышэйшая школа. - 1985. – С. 382.
4. Справочник по триботехнике. В 3-х томах. Под общ. Ред. М. Хейды и А.В. Чичинадзе. Т1, Т2. М.: Машиностроение. – 1989, 1990.

Для испытаний были изготовлены образцы из нормализованной стали 45, а контрообразцы - из стали 25ХГТ. Испытания проводили по схеме консольный изгиб с вращением + трение качения методом ступенчатого увеличения максимальных контактных напряжений p_0 при неизменном уровне

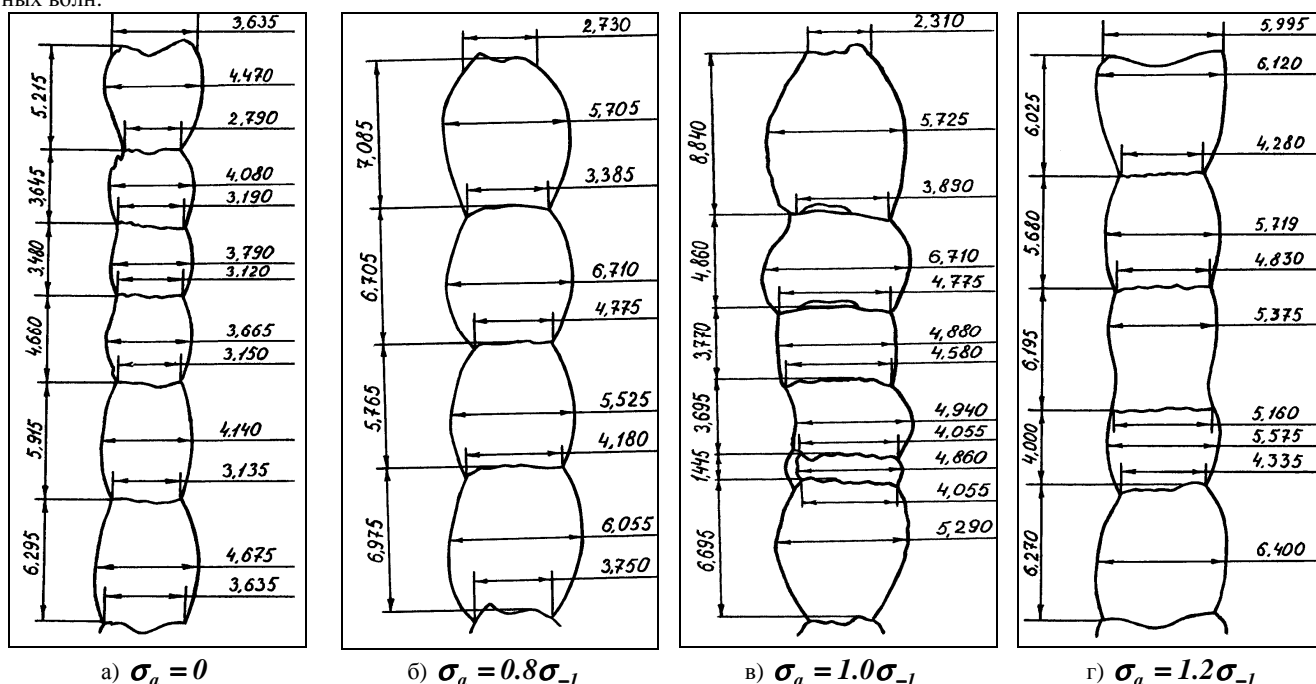


Рисунок 1 – Развертки поверхностных волн пластичности на дорожках катания после испытаний на трение качения и на КМУ.

Тюрин Сергей Александрович. Младший научный сотрудник Института механики машин НАН РБ. Беларусь, г. Минск.

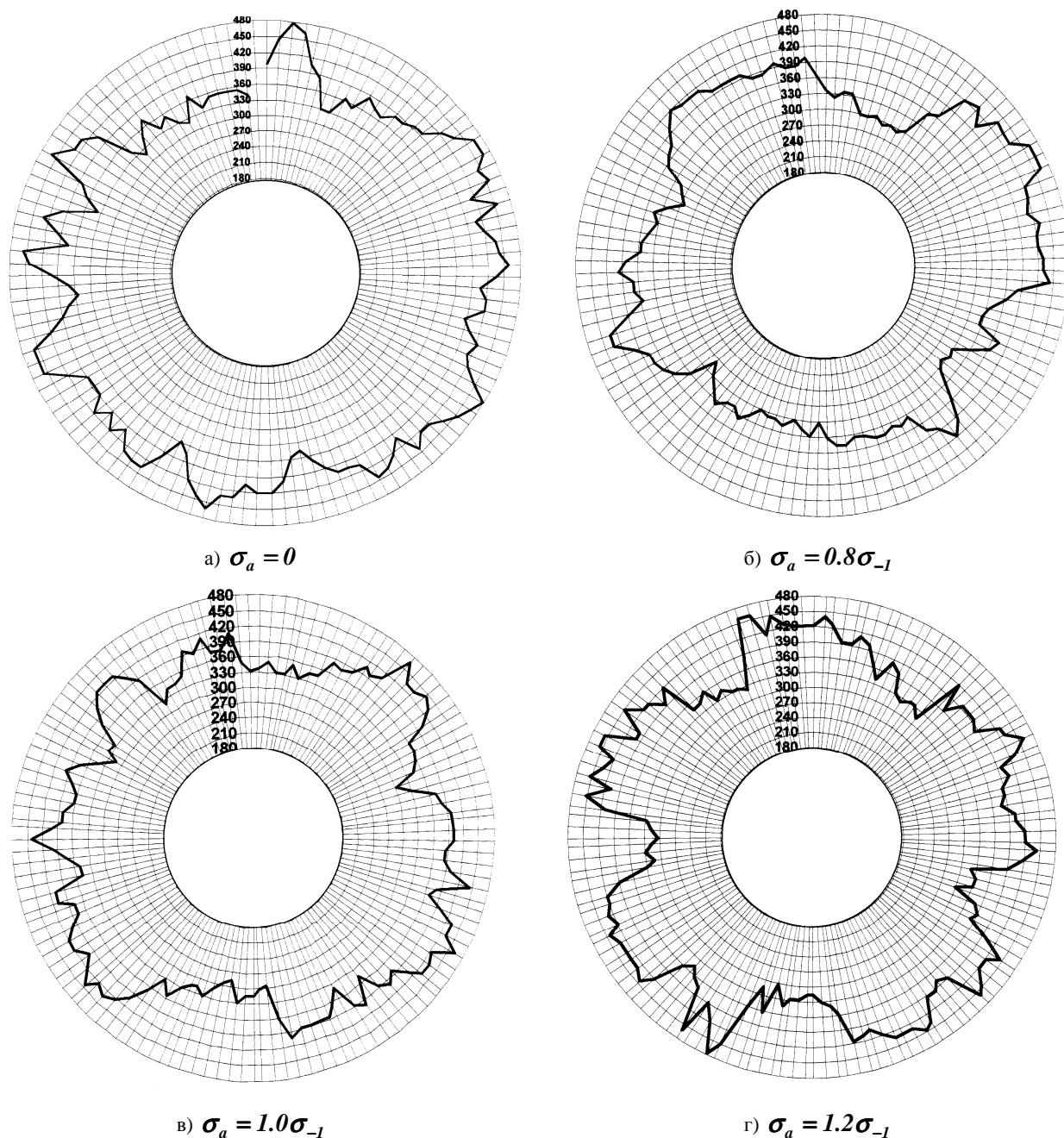


Рисунок 2 – Распределение микротвердости по длине дорожки катания после испытаний на трение качения и на КМУ.

циклических напряжений $\sigma_a = const$. Частота нагружения – 50 Гц. В зону контакта подавали капельным способом (12-14 капель в минуту) минеральное масло МГЕ-46. Испытания проводили непрерывно, до достижения предельного состояния - недопустимой вибрации в системе образец - контробразец.

Было проведено несколько испытаний: на трение качения ($\sigma_a = 0$) и на контактно - механическую усталость (КМУ) при различных уровнях циклических напряжений σ_a ($\sigma_a = 0.8\sigma_{-1}$, $\sigma_a = 1.0\sigma_{-1}$, $\sigma_a = 1.2\sigma_{-1}$).

На рисунке 1 показаны развертки дорожек катания образцов с волнами поверхностной пластической деформации,

образовавшимися при испытаниях на трение качения ($\sigma_a = const$) и на КМУ ($\sigma_a = 0.8\sigma_{-1}$, $\sigma_a = 1.0\sigma_{-1}$, $\sigma_a = 1.2\sigma_{-1}$). Из рисунка 1 видно, что при $\sigma_a = 0$ в данных условиях испытания образовались шесть волн поверхностной пластической деформации, при $\sigma_a = 0.8\sigma_{-1}$ – четыре волны, при $\sigma_a = 1.0\sigma_{-1}$ – шесть волн, а при $\sigma_a = 1.2\sigma_{-1}$ - пять волн. Каждая волна представляет собой совокупность своеобразной лунки полулуннообразной формы и перемычки, вершина которой похожа на волнистый гребень.

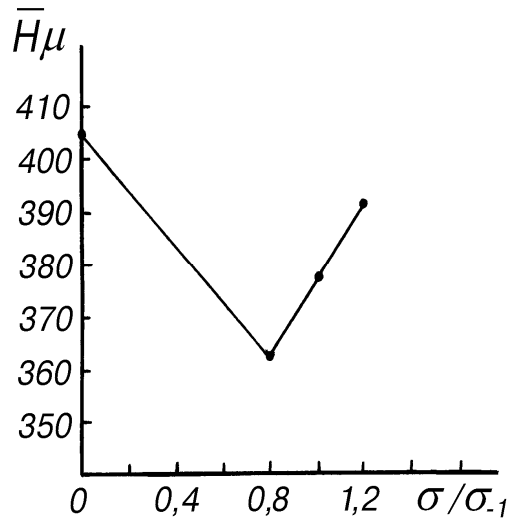


Рисунок 3 – Зависимость средней микротвердости на дорожке катания от уровня циклических напряжений.

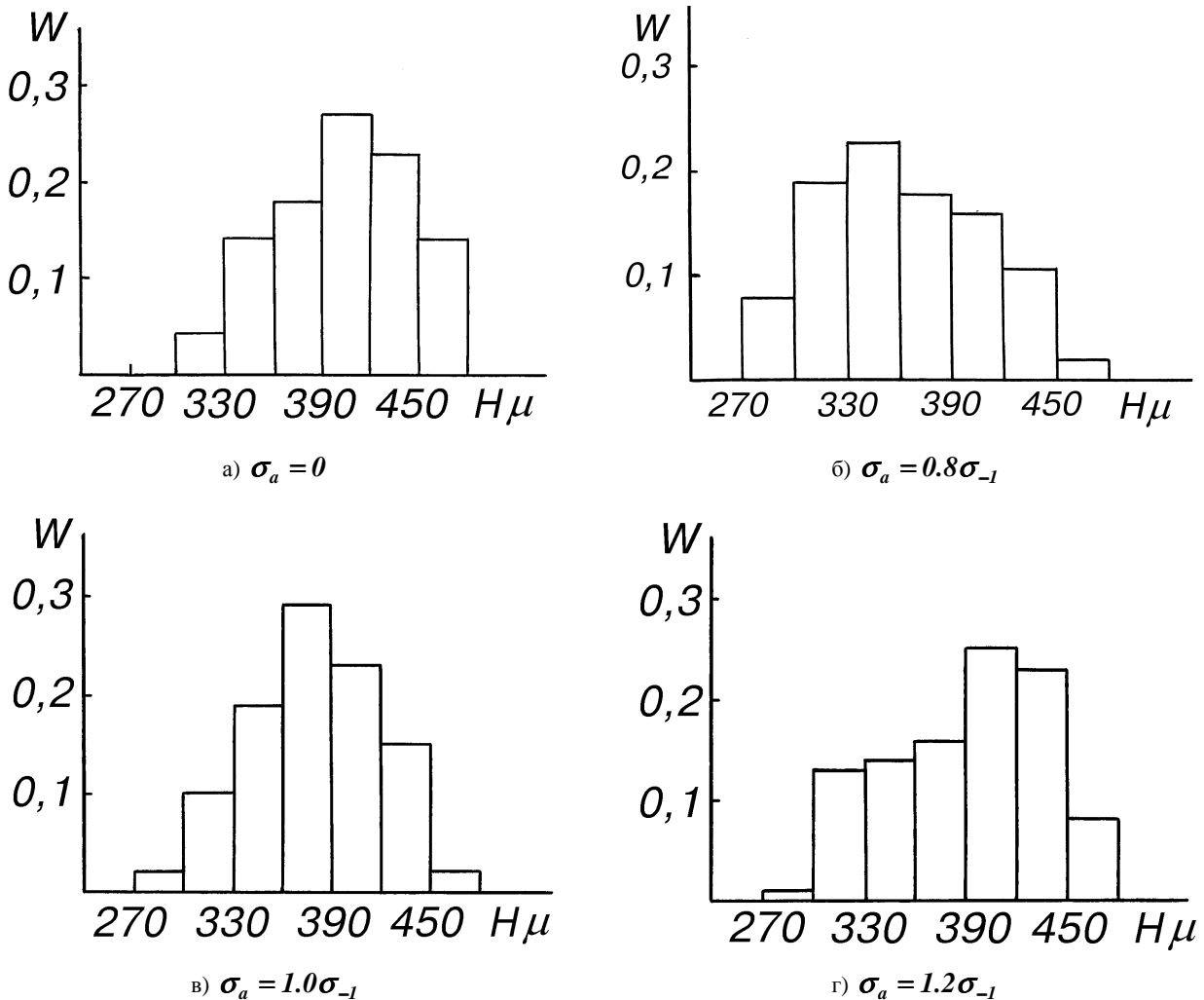


Рисунок 4 – Гистограммы микротвердости по длине дорожки катания после испытаний на трение качения и на КМУ.

На рисунке 1 указаны характерные размеры лунок и перемычек. Изучение рисунка 1 позволяет сделать следующие заключения. Увеличение циклических напряжений σ_a приводит к существенному росту длины λ и ширины b волн пластично-

сти. Хотя режим испытаний не изменяется, ни одна из волн деформации не повторяется. Каждая лунка и перемычка имеет свои, отличающиеся от других размеры. Шаг лунок (длина волны) тоже непостоянен. Следовательно, образование поверхностных волн пластичности есть результат нестационар-

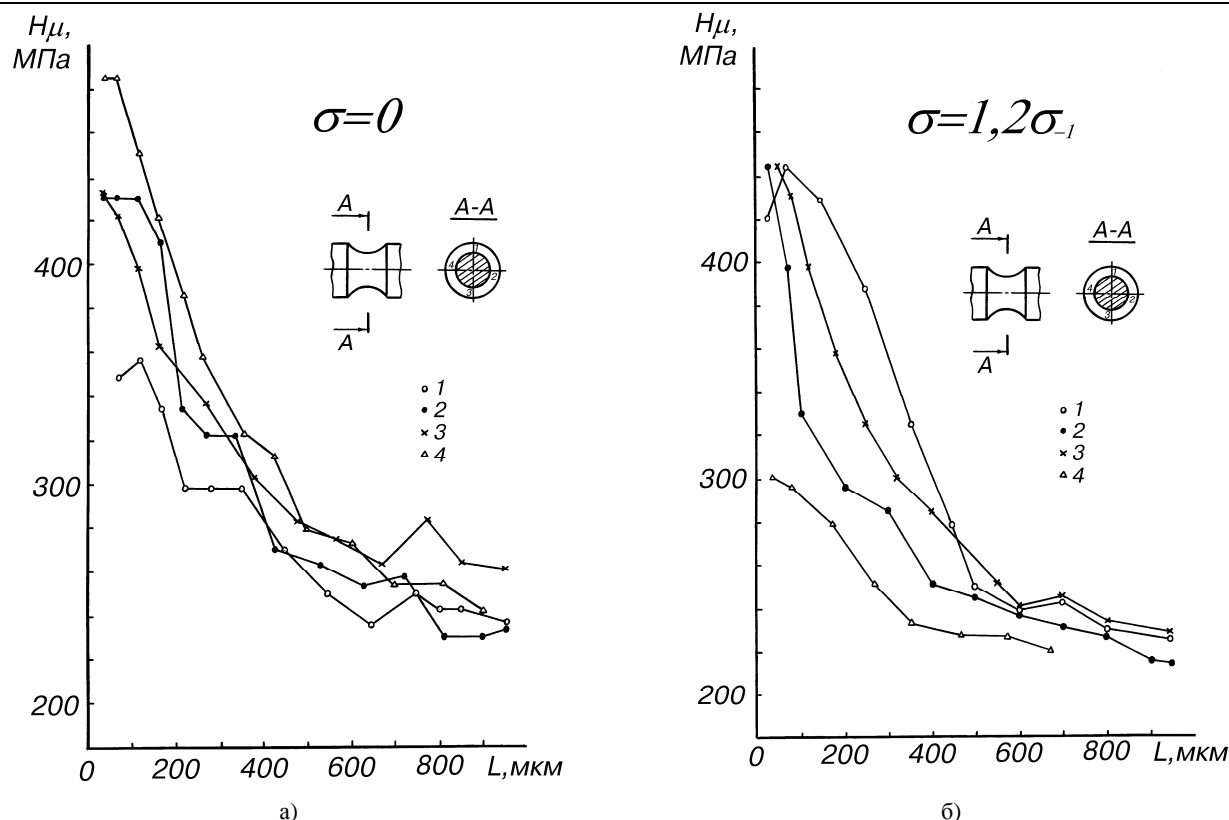


Рисунок 5 – Зависимость микротвердости в 4-х точках по длине окружности образца после испытаний на трение качения (а) и на КМУ (б).

ного, нерегулярного процесса упругопластического деформирования.

На подвергнутых испытаниям образцах было проведено измерение микротвердости на приборе ПМТ-3 при нагрузке $P = 100$ г. Подготовка образцов для анализа включала электроэрозионную вырезку и приготовление микрошлифа. Измерение микротвердости проводилось на поверхности, перпендикулярной оси образца.

На рисунке 2 показано распределение микротвердости по длине окружности образца, проходящей через центры лунок. Видно, что, с одной стороны, микротвердость изменяется периодически, соответственно шагу поверхностной волны пластичности. С другой стороны, характер распределения микротвердости по дну лунок неодинаков. При этом твердость на перемычках, как правило, существенно меньше, чем на дне лунок.

По данным представленным на рисунке 2 рассчитали среднюю микротвердость по длине дорожки катания для всех испытанных образцов, получили зависимость средней микротвердости на дорожке катания от уровня циклических напряжений (см. рисунок 3). Видно, что повышение циклических напряжений σ_a приводит сначала к существенному уменьшению микротвердости, а затем к дальнейшему ее увеличению.

Применяя статистический метод, получили распределение микротвердости $H\mu$ (рисунок 4), которое оказалось близким к нормальному. Наибольшим значениям микротвердости соответствует дно лунок, наименьшим - вершины перемычек.

На рисунке 5 показан характер изменения микротвердости в четырех точках по длине окружности образца при испытаниях на трение качения ($\sigma_a = 0$) и на КМУ ($\sigma_a = 1.2\sigma_{-1}$). Измерения проводили на глубину L до 1000 мкм от поверхности образца. Видно, что при испытаниях на КМУ разброс

значений микротвердости выше, чем при трении качения, а в целом эти значения лежат несколько ниже.

Обобщая эти наблюдения, можно сделать следующие выводы:

1. В определенных условиях износоусталостных испытаний происходит потеря устойчивости поверхностным слоем образца, что приводит к образованию поверхностных волн пластичности.
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 катания.
4. Анизотропия свойств материала изменяется по трем характерным направлениям: по окружности, по глубине (по радиусу образца) и в осевом направлении.

5. Хотя характер изменения микротвердости $H\mu$ по любой из осей представляется непредсказуемым, однако обнаруживается устойчивая статистическая закономерность: рассеяние значений случайной величины - микротвердости поверхностных слоев подчиняется некоторому закону распределения. Наибольшие значения микротвердости соответствуют впадинам волны, а наименьшие - перемычкам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богданович А.В., Тюрин С.А., Сенькова Е.Л., Сосновский Л.А. Закономерности накопления повреждений стали 45 при контактно-механической усталости// Заводская лаборатория. –1996. - N 2. –С.42-45.
2. Сосновский Л.А., Махутов Н.А., Богданович А.В., Тюрин С.А. Диаграмма предельных состояний стали 45 при контактно-механической усталости и ее анализ// Заводская лаборатория. –1996. - N 2. –С.39-42.