

UDC 621.891+539.375.6

ELEMENTS OF THE DEFORMATION-WAVE THEORY OF FRICTION AND WEAR

ЭЛЕМЕНТЫ ДЕФОРМАЦИОННО-ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ

Malinovsky Yuri Alexandrovich/ Малиновский Ю.А.

candidate of technical sciences, associate professor/ кандидат технических наук, доцент

ORCID: 0000-0001-5980-0908

Vlasenkov Dmitry Petrovich/ Власенков Д.П.

Senior Lecturer

*Separate structural subdivision "Krivoy Rog Professional College
of the National Aviation University"*

старший преподаватель

*Обособленное структурное подразделение «Криворожский профессиональный колледж
Национального авиационного университета»*

Oleinik Svetlana Yurievna/ Олейник С.Ю.

ORCID: 0000-0002-6169-8874

Senior Lecturer

Krivoy Rog National University

старший преподаватель

Криворожский национальный университет

Tsvirkun Sergey Leonidovich /Цвиркун С.Л.

ORCID: 0000-0001-5430-3427

Candidate of technical sciences, senior Lecturer

*Separate structural subdivision "Krivoy Rog Professional College
of the National Aviation University"*

старший преподаватель, кандидат технических наук

*Обособленное структурное подразделение «Криворожский профессиональный колледж
Национального авиационного университета»*

Аннотация. В работе предложено учитывать и определять параметры деформационных микронеровностей, которые образуются впереди движущейся детали (штампа) и имеют вид синусоидальных кривых. Величина этих микронеровностей соизмерима с величинами геометрических микронеровностей, а в ряде случаев даже их превосходит. Не учёт этих микронеровностей может привести к искажению картины изнашивания и недостоверной оценке работоспособности контактирующих пар. Кроме того, установлено, что критические нагрузки для упрочненных поверхностных слоев деталей с увеличением их взаимного проскальзывания могут быть существенно снижены, что учитывается введением коэффициента динамичности. Учет этих особенностей процессов трения и изнашивания контактирующих пар позволяет уточнить существующие расчетные методики и повысить прочность проблемных пар трения.

Ключевые слова: трение, износ, деформационные процессы, потеря устойчивости, поверхностные слои, депланация плоских сечений, скоростной фактор, деформационные шероховатости, коэффициент динамичности.

Annotation. The paper proposes to take into account and determine the parameters of deformation microroughnesses, which are formed in front of the moving part (stamp) and have the form of sinusoidal curves. The magnitude of these microroughnesses is commensurate with the

magnitudes of geometric microroughnesses, and in some cases even exceeds them. Failure to take these microroughnesses into account can lead to a distortion of the wear pattern and unreliable assessment of the performance of contacting pairs. In addition, it has been found that the critical loads for hardened surface layers of parts can be significantly reduced with an increase in their mutual slippage, which is taken into account by the introduction of a dynamic coefficient. Accounting for these features of the processes of friction and wear of contacting pairs makes it possible to refine the existing calculation methods and increase the strength of problematic friction pairs.

Key words: friction, wear, deformation processes, buckling, surface layers, deformation of flat sections, speed factor, deformation roughness, dynamic factor.

Современные требования к надежности и долговечности эксплуатируемых и проектируемых машин требует совершенствования для них методик расчета на трение и износ.

Для оценки условий трения и износостойкости деталей в основном рассматриваются геометрические, молекулярные, деформационные и комбинированные теории. Однако, при взаимодействии деталей, часто имеют место деформационные процессы, которые проявляются в виде гофрированных поверхностей, имеющих в поперечном сечении кривые, близкие к синусоидам. Амплитуды образовавшихся синусоид могут быть рассмотрены как сформировавшиеся деформационные микронеровности, причем размеры этих микронеровностей могут быть сопоставимы с геометрическими микронеровностями, а иногда могут их превосходить.

Такие дополнительные (неучтенные) шероховатости должны быть изучены при выполнении расчетов на трение и износ. Однако до настоящего времени не была разработана подобная теория. Поэтому нами была поставлена задача создать предпосылки для разработки теории трения и износа с учетом деформационно-волновых процессов при перемещении плоского штампа или катящегося ролика по полуплоскости.

Для формулировки поставленной задачи, рассмотрены деформационные процессы, происходящие в тонких поверхностных слоях штампа и заготовки. При такой постановке задачи тонкий поверхностный слой полупространства либо теряет устойчивость и получает волнообразные деформации, либо поверхностный слой находится под воздействием циклических нагрузжений.

В обоих случаях происходит потеря работоспособности пары.

В целом, с учетом указанных особенностей процессов трения и изнашивания может существенно измениться площадь всех выступов на каждом из контактирующих тел, а также может измениться высота наибольших микронеровностей. Для правильного расчета степени износа рассматриваемых поверхностей необходимо скорректировать данные по площади выступов контактирующих тел, и высоте наибольших микронеровностей.

Также в работе предусмотрена возможность учета увеличения эквивалентного напряжения σ_3 , за счет роста скорости взаимного скольжения деталей V , путем введения в расчеты коэффициента динамичности δ_d .

По результатам работы, можно сделать вывод о том, что характер взаимодействия геометрических и деформационных микронеровностей на полосе и штампе связан со скоростью движения штампа, является ударным и при этом кинетическая энергия движущегося штампа идет на трансформацию ее в потенциальную энергию соударяемых микронеровностей; на пластическое отеснение неупругих элементов микронеровностей; на теплообразование и саморазогрев контактирующей пары и на увеличение скорости и ускорения движущегося штампа. Поэтому процессы с трением можно называть частично «потенциальными». При этом части кинетической энергии идущей на увеличение потенциальной энергии деформации непрерывно расходуется на образование и взаимодействие ударных и звуковых волн.

Соответственно, даже при равномерном движении штампа со скоростью V_0 , имеет место ударное взаимодействие между микронеровностями, иначе говоря, помимо деформационно-волнового взаимодействия при трении и изнашивании, проявляются физические особенности ударно-волнового взаимодействия микронеровностей при трении и изнашивании, которые были сформулированы и экспериментально подтверждены в работах криворожских ученых (для случая взаимодействия элементов ударных механизмов бурильных машин). Выполненные исследования по определению параметров волнообразования на контактирующих поверхностях при деформационно-

волновом подходе к процессам трения и изнашивания позволили установить, что в области под штампом и перед ним возникает деформационный участок (вогнуто-сжатый участок). При этом в зоне деформированной волнообразной поверхности полупространства образуются дополнительные микронеровности (на длине l_2 участка перед штампом), которые сопоставимы, либо превосходят геометрические микронеровности. Эти деформационные микронеровности увеличиваются при возрастании скорости перемещения штампа, а также возрастают изгибные и касательные напряжения.

Следовательно, указанные величины являются динамическими, учесть характер которых и их величины возможно с помощью коэффициента динамичности при выполнении расчетов поверхностных слоев деталей на усталостную прочность.

В работе установлено, что при любом характере взаимодействия подвижных деталей наступает состояние прохождения перед штампом движущейся волны, которая приводит к разрушению деформационных и геометрических микронеровностей в зависимости от соотношения действующих вертикальной и касательной нагрузок для определенного количества циклов нагружения микронеровностей контактирующих деталей.

Выявлены расчетные случаи разрушения поверхностных слоев взаимодействующих деталей под влиянием касательных и нормальных усилий (T_c , P). Для обеспечения продолжительной эксплуатации этих деталей, касательные усилия T_c не должны превышать критическую силу $T_{кр}^*$ для верхнего полупространства. При этом нарушение целостности поверхностных слоев наступает только в результате их усталостного разрушения. В данном случае эквивалентное нормальное напряжение σ , не должно превышать предела выносливости материала σ_{-1} , а также число циклов нагружения будет значительным, порядка 10^8 циклов и более.

Определен расчетный случай, когда действующие усилия таковы, что $T_c \geq T_{кр}^*$, и тонкий поверхностный слой перед штампом теряет продольную устойчивость, в результате чего получает остаточные неупругие деформации.

При последующем прохождении штампа по деформационным выступам их вершины могут быть частично или полностью срезаны. В случае такого характера взаимодействия детали пары получают интенсивный износ и дальнейшее усталостное разрушение для значительно меньшего числа циклов нагружения элементов пары.

Установлен расчетный случай, когда действующее касательное усилие $T_c = T_{кр}^*$ и продольные деформации от T_c будут значительно меньше ощутимы, чем поперечные прогибы балки под действием веса штампа P . Эти деформации имеют вид бегущей волны по балке на упругом основании и носят циклический характер. При достижении взаимодействующими деталями базового числа циклов (10^8) и более наступает усталостное разрушение поверхностных слоев (деталей). Такой вид усталостного разрушения деталей возможен при наступлении большего числа циклов нагружения чем при $T_c = T_{кр}^*$.

В работе показано, что с увеличением скорости взаимодействия деталей существенно возрастают эквивалентные напряжения, которые могут быть уточнены с использованием коэффициента динамичности.

Кроме того, в работе показано, что предлагаемая методика может быть рекомендована к применению, как при описывании трения скольжения, так и трения качения.

Список литературы

1. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М., «Машиностроение», 1977, 526 с.
2. Трение изнашивание и смазка. Справочник в 2 книгах. Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алипина – М., «Машиностроение». Кн. 1, 1978, 400 с. Кн. 2, 1978, 358 с.
3. Андреев А.В. Расчет деталей машин при сложном напряженном состоянии – М., «Машиностроение», 1981, 216 с.

4. Бажал А.И. Физические основы волнового изнашивания. Проблемы трения и изнашивания, №7, Изд-во «Техніка», 1975, с. 6 – 11.

5. Учитель А.Д., Малиновский Ю.А., Панченко А.Н. Интенсификация процессов механического взаимодействия инструмента с заготовкой при выполнении высокоточных и энергоемких технологических операций методами давления и резания. Metallurgical and mining industry № 5-6, Дніпро, 2019, с. 1 – 28.