

пластинки ($\frac{h}{a} = 0,1$) при определении собственных частот изгибных колебаний по уточненной теории имеем существенно новые результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. М: Физматгиз, 1967.—266 с.
2. Амбразевич В.Л., Крушевский А.Е. Построение уточненной теории трансверсально-изотропных пластин на основе методов аналитической механики // 25 я н/т конф. БПИ. — Мн., 1969.— С. 39—49.
3. Векуа И.Н. Об одном обобщении классической теории упругих оболочек. // Третий Всесоюзный съезд по теор. и прикл. механике. Аннотации докл. — М., 1968. — С. 65—66.
4. Крушевский А.Е. Вариационные методы расчета корпусных деталей машин. Мн.: Наука и техника, 1967. — 238 с.
5. Крушевская Т.А. Построение математической модели голосообразования. // Тезисы н/т конференции, посвященной 70-летию БГУ. Мн.: Вышэйшая школа. 1991.— с. 238—239.
6. Пономарев С.Д. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Т. 3. Машгиз. — 1959. — 118 с.

УДК 621.97

С. Лабер

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ СХВАТЫВАНИЮ СЕРОГО ЧУГУНА

*Политехника Зеленогурска
Зелена Гура, Польша*

Работа пары трения скольжения в условиях смешанного трения в случае разрыва смазочной пленки сопровождается катастрофическим изнашиванием поверхностей контакта, т.е. их разрушением. Это явление называется схватыванием. Сопротивление схватыванию — одна из эксплуатационных характеристик деталей машин, работающих в условиях трения скольжения. В процессе взаимодействия элементов трения оно проявляется в виде сцепления и появления мостиков схватывания, разрушение которых практически мгновенно возрастает, приводя к глубинным разрушениям поверхностного слоя деталей. Схема работы пары трения «металл — металл» приведена на рис. 1.

Процесс фрикционного контакта можно разделить на три этапа: возникновение стыка, молекулярное взаимодействие трущихся поверхностей и прерывание кон-

такта. На первом этапе работы кинематической пары, когда между контактирующими поверхностями, покрытыми оксидными пленками, находится смазочная среда, преобладающими среди контактных процессов являются пластические деформации микронеровностей и приповерхностных слоев. При ухудшении условий работы, например, возрастании нагрузок, изменении условий смазывания и т.д., пластические деформации в приповерхностных слоях возрастают, вызывая повреждение и частичное перемещение оксидных пленок, в результате чего возникает не посредственный контакт металлических поверхностей, возрастают силы адгезии начинается второй этап процесса фрикционного контакта – молекулярное взаимодействие трущихся поверхностей. В ходе этого взаимодействия возникают адгезионные связи в виде налипов. Третий этап – это уничтожение участков схватывания

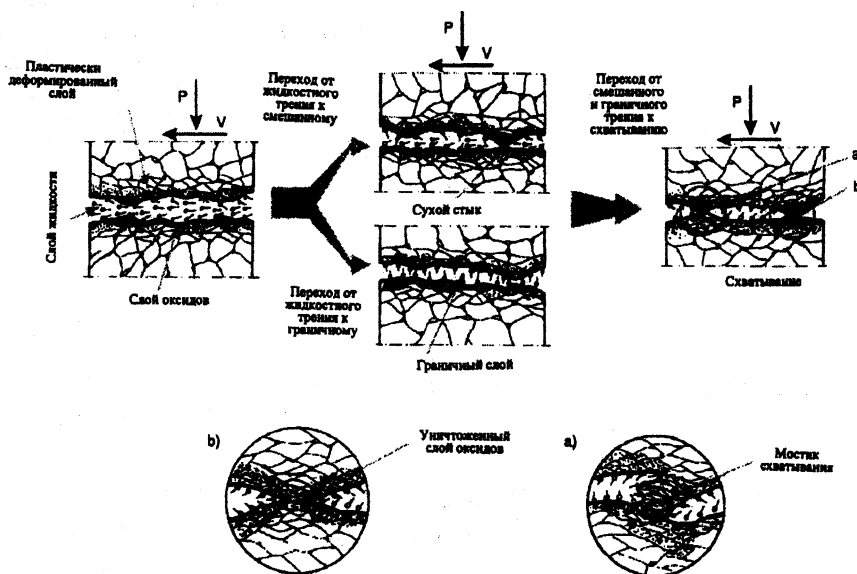


Рис. 1. Схема процесса схватывания пары трения «металл – металл».

Как показали исследования [1], на процесс затирания кинематической пары оказывают влияние следующие факторы:

- геометрические (микро- и макрогеометрия поверхностей контакта, деформации микро- и макрообъемов зоны контакта);
- физико-химические (состав материалов пары и их химическое средство, кристаллическое строение, вид оксидов, способ смазывания);
- кинематические (тип и характер движения, скорость, время контакта);

энергетические (температура и тепловой баланс в микро- и макрообъемах контакта).

Кроме указанных выше одним из показателей, оказывающих влияние на затирание трущихся поверхностей, является строение и состояние поверхностного слоя. Учитывая это обстоятельство, детали машин, работающие в условиях изнашивания и схватывания, подвергаются поверхностной термической, термохимической, лезвийной, пластической обработкам.

Одним из технологических способов целенаправленного формирования свойств поверхностного слоя является поверхностное пластическое деформирование (ППД). В результате возникновения локальных пластических деформаций происходит изменение физического состояния поверхностного слоя: снижение шероховатости поверхности, измельчение микроструктуры, повышение твердости и степени упрочнения, образование сжимающих внутренних напряжений [2].

Влияние способа обработки (шлифование, ППД) на трибологические свойства поверхностей рассмотрено в [3, 4] и др. Эти исследования показали, что в случае сухого трения лучшие свойства поверхностей можно получить путем ППД. В [5] установлено, что обработка ППД по сравнению со шлифованием положительно влияет на сопротивление схватыванию. Следует, однако, отметить, что указанные исследования проводились на углеродистых сталях, тогда как применительно к сопротивлению схватыванию чугуна такие сведения отсутствуют.

Целью данных исследований был анализ сопротивления схватыванию серого чугуна, обработанного ППД (накатка роликом), в условиях трения скольжения. Для сравнения рассматривалась традиционная обработка – шлифование. Как параметр, характеризующий схватывание, использовалось время работы узла трения от момента прекращения подачи масла в зону трения до момента достижения критической температуры в узле равной 145°C . Эта температура определена экспериментально и приводит к потере вязкости масла, химическому и физическому разложению присадок, содержащихся в масле, в результате чего происходит переход к сухому трению, вызывая быстрое возрастание крутящего момента и температуры в зоне трения и уничтожение трущихся поверхностей, т.е. схватывание.

Исследования выполнялись на сфероидальном ферритном чугуне (94% феррита и 6% перлита) с составом 3,15% С, 3,47% Si, 0,51% Mn, 0,10% P, 0,023% S. Механические характеристики: HB 205...215, $\sigma_b = 595$ МПа, $HV = 2040$ МПа. Накатывание роликом выполнялось на токарном станке с использованием специально разработанного приспособления; диаметр ролика 60 мм, радиус кривизны 20 мм; радиальная сила 1000, 3000, 4000 и 5000 Н; подача 0,23 мм/об; число проходов 2.

Обработка выполнялась при подаче в зону деформации смеси керосина и машинного масла М10 в отношении 1 : 1. Перед накаткой поверхности были проточены для обеспечения шероховатости поверхности $Ra = 1,5...2,7$ мкм. Для сравнения

использовались шлифованные образцы с шероховатостью $Ra = 0,53$ мкм (близкой к сформированной после накатки). Микрофотографии обработанных поверхностей представлены на рис. 2, а их свойства – в табл. 1.

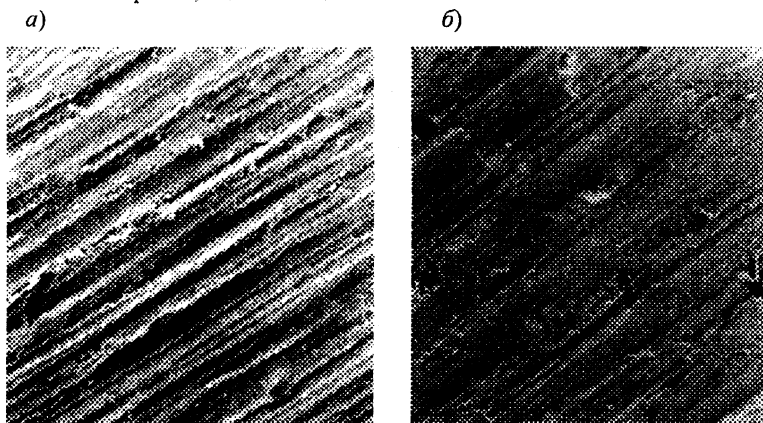


Рис. 2. Поверхности образцов из ферритного сфероидального чугуна: а – после шлифования (видны следы обработки и субмикронеровности поверхности); б – после накатывания роликом с радиальной силой 4000 Н (видны следы обработки и выделения графита); $\times 200$.

Таблица 1.

Свойства поверхностного слоя образцов
из сфероидального чугуна после шлифования и накатывания

Способ обработки	Свойства поверхностного слоя				
	Ra , МПа	t_{20} , %	t_{50} , %	ϵ , %	$\sigma_1 + \sigma_2$, МПа
ППД, $P=1000$ Н	0,51	14	43	5...21	–(289...667)
ППД, $P=3000$ Н	0,46	21	62	30...55	–(269...969)
ППД, $P=4000$ Н	0,36	38	80	33...66	–(316...968)
ППД, $P=5000$ Н	0,42	6	29	36...55	(342...1072)
Шлифование	0,53	9	27	5...26	(289...393)

Исследования сопротивления схватыванию проводились на специальном приспособлении [2]. При этом имелась возможность исследования одновременно двух пар трения с точной регистрацией момента и пути трения и температуры в зоне трения. Условия трения: скорость 2,3 м/с; давление 1,64 МПа; смазочный материал – масло SELEKTOL 20W/40; материал контртела – бронза ВК 331. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Образцы после накатки по сравнению со шлифованными характеризуются более высоким сопротивлением схватыванию. В диапазоне радиальных сил 1000...4000 Н сопротивление схватыванию растет пропорционально силе. При $P = 5000$ Н наблюдается снижение сопротивления схватыванию по сравнению с $P = 4000$ Н. В этом случае происходит разрушение поверхностных слоев вследствие превышения критических напряжений, растет шероховатость поверхности, снижается опорная поверхность, возникают микротрещины и отслаивание металла. Таким образом, оптимальной с точки зрения сопротивления поверхностей схватыванию является уровень радиальных сил накатывания 4000 Н.

Таблица 2.

Влияние способа обработки и радиальной силы накатывания на время до схватывания трущихся поверхностей

Способ обработки	Время до схватывания, мин
ППД, $P=1000$ Н	24
ППД, $P=3000$ Н	28
ППД, $P=4000$ Н	38
ППД, $P=5000$ Н	34
Шлифование	15

Накатывание роликом обеспечивает большее сопротивление схватыванию по сравнению со шлифованием (соответственно 15 и 38 мин), что непосредственно связано с состоянием поверхностного слоя образцов. Как следует из табл. 1, образцы, подвергнутые накатыванию по сравнению со шлифованными характеризуются меньшей шероховатостью, большей относительной опорной поверхностью, большим упрочнением ϵ и более высоким уровнем сжимающих напряжений. После шлифования в поверхностном слое глубиной до 100 мкм наблюдаются и растягивающие и сжимающие напряжения, а при обкатывании – только сжимающие. Немаловажна также геометрическая структура поверхности. После шлифования (рис. 2, а) она характеризуется очень острыми неравномерными микронеровностями, на которых имеются субмикронеровности, действующие в процессе взаимодействия поверхностей как абразивные частицы. В то же время после накатывания поверхность характеризуется более однородной структурой (рис. 2, б), а ее контур имеет большие радиусы округления и больший угол наклона микронеровностей, что обуславливает меньшие величины удельных сил.

Следует особо подчеркнуть влияние сфероидального графита. Незначительно деформированный в процессе накатывания графит, расположенный непосредственно под поверхностью, может быть частично или полностью выкрошен, либо выступить над металлической поверхностью. В случае выкрашивания кратеры являются емкостями для смазочного вещества, а если графит выступает над поверхно-

стью – то сам является смазкой. Обкатанная поверхность по сравнению со шлифованной содержит значительно больше выделений графита. В связи с этим по-разному протекает процесс затирания на этих поверхностях.

На рис. 3 показан типичный вид следов схватывания накатанной поверхности. Значительные площади схватывания в виде частиц материала контртела (бронзы) размещены практически по всей поверхности трения, независимо от мест выделения графита. Заметны микротрещины как эффект превышения критических давлений в зонах фрикционных контактов. Вблизи выделений графита заметны поверхностные налипы.

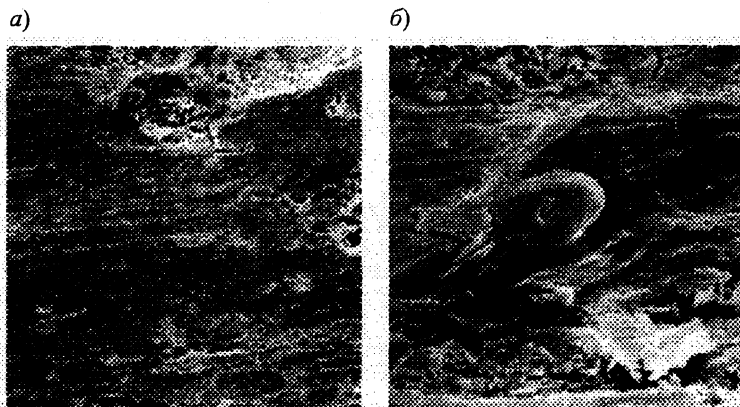


Рис. 3. Поверхности образцов из ферритного сфероидального чугуна, подвергнутых накатыванию роликом с радиальной силой 4000 Н после изнашивания (видны микротрещины вокруг выделений графита и следы адгезионного схватывания): а – $\times 500$; б – $\times 2000$.

Как показали исследования процесса схватывания, вследствие высоких давлений и температур и связанного с этим значительного сближения трущихся поверхностей в зонах контакта возникают адгезионные связи. Результатом такого взаимодействия поверхностей являются налипание одного металла на другой: материал меньшей твердости (бронза) налипает на металл большей твердости (чугун). Возникновение налипов свидетельствует, что прочность адгезионных связей выше прочности как минимум одного из трущихся металлов, а разрыв связей происходит в поверхностном слое металла меньшей прочности, а не вдоль поверхности контакта.

Разрушение мостиков схватывания – сложный процесс. Можно выделить несколько его этапов. Сначала при достижении достаточной толщины налипов (в результате многократных взаимных перемещений трущихся поверхностей) происходит многократное их пластическое деформирование (расплющивание и размазывание). Возникающие пластические деформации налипов

приводят к их упрочнению. Это продолжается до момента превышения критического уровня пластических деформаций. После этого уменьшаются силы сцепления, прочность адгезионных связей, что приводит к отделению части или всего налива от исходного материала. Отделенные частицы перемещаются в другое место, где происходит их повторное налипание на трущиеся поверхности. Интенсивность и вид вторичного налипания зависит от твердости пластически деформированных и упрочненных налипов. Это могут быть вдавливание в поверхность или царапание поверхности детали меньшей твердости. В результате постоянно происходящее образование и разрушение налипов приводит к повреждению рабочих поверхностей узла трения, т.е. снижению времени и надежности работы машин.

Таким образом, сопротивление схватыванию зависит от технологии обработки поверхности, и особенно – от характеристик поверхностного слоя (шероховатости, упрочнения, внутренних напряжений). Обкатка поверхности по сравнению со шлифованием обеспечивает повышение сопротивления схватыванию на 150%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gierzyńska M. Koństyтуowanie warstwy wierzchniej systemu tribologicznego/ Materiały VIII Symposium Tribologicznego. – Poznań: Politechnika, 1977. – 334 s.
2. Laber St. Analiza współzależności pomiędzy stanem warstwy wierzchniej a właściwościami użytkowymi żeliwnych elementów maszyn obrabianych nagniataniem. Zielona Góra: WSInż., 1985. – 163 s.
3. Школьник И.М., Шахов В.И. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием. М.: Машиностроение, 1964. – 134 с.
4. Филяев А.Т. Исследование износостойкости сталей, упрочненных наклепом. – Мн.: Наука и техника, 1974. – 148 с.
5. Nakonieczny A., Sieckla T. Wpływ powierzchniowej obróbki plastycznej normalizowanej stali 45 na odporność przeciw zatarciu // Metaloznawstwo i Obróbka Ciepła. – 1974. – № 7. – S. 25 – 31.