

ЛИТЕРАТУРА

1. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, – 1975. – 872 с. 2. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах. М.: Изд-во «ИЛ» – 1955. – 192 с.

УДК 539.532.526

Г. Я. Беляев, А. Ф. Головаченко

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛА ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ ДВУХ ТЕЛ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Как известно, все металлы характеризуются кристаллическим строением. В узлах кристаллической решетки располагаются атомы элементов, из которых состоит данный сплав. Внутренние атомы кристаллической решетки окружены всегда определенным количеством соседних атомов и взаимодействуют с ними. Поверхностный слой атомов всегда находится в неустойчивом состоянии, отличающемся от энергетического состояния внутренних атомов. У поверхностных атомов со стороны окружающей среды отсутствуют связи с себе подобными элементами, а имеются только связи, с соседними атомами поверхностного слоя направленные вдоль поверхности, и с внутренними атомами кристаллической решетки металла. Идеальных кристаллических решеток у реальных металлов и их сплавов не существует, т.е. все металлы имеют дефекты кристаллического строения. Дефектом является любое отклонение от периодической структуры кристаллической. Различают точечные, линейные и плоские дефекты. Механические свойства металлов и их сплавов в значительной степени зависят от наличия дефектов кристаллического строения, т.к. энергия взаимодействия атомов в месте дефекта резко отличается от межатомного взаимодействия в бездефектной зоне. К дефектам относятся вакансии, дислокации, двойники, пластинчатые выделения, а также границы кристаллитов. Любой дефект кристаллической решетки будет снижать механические характеристики металлов и сплавов, например, такие как прочность, износостойкость, хрупкость, коррозионная стойкость и др. Это подтверждается исследованиями прочности нитевидных кристаллов и обычных массивных образцов при разрыве и сравнением их с идеальной прочностью этих материалов [1]. Можно сказать, что значительное влияние на свойства металлов и сплавов оказывают границы кристаллитов, т.к. именно здесь резко меняются свойства кристаллической решетки и здесь чаще всего начинаются различные процессы разрушения металлов, например процесс межкристаллитной коррозии.

Рассматривая реальную поверхность металлов, мы видим, что она далека от идеально гладкой поверхности, состоящей из одного ровного слоя атомов. На геометрию и энергетическое состояние поверхности металлов и их сплавов значительное влияние оказывают методы их получения и обработки поверхности.

Представим две металлические поверхности, соприкасающиеся друг с другом в момент времени t_0 при относительной скорости скольжения равной нулю, т.е. $V_1 = V_2 = 0$. В зоне их соприкосновения можно отметить несколько своеобразных зон касания, на рисунке 1 девять таких зон.

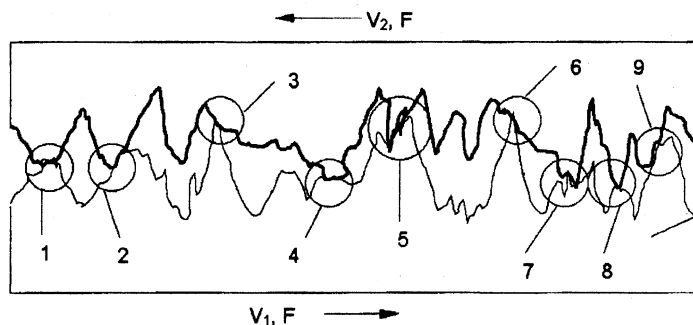


Рис. 1. Две соприкасающиеся поверхности в момент времени $t_0 = 0$.

В зонах 2, 5, 6 и 9 выступы двух поверхностей находятся как бы в зацеплении относительно направления векторов V_1 и V_2 , а в зонах 1, 3, 4, 7, 8 выступы опираются друг на друга. В момент времени $t_1 > 0$, когда скорости $V_1 = V_2 \neq 0$, зацепившиеся выступы будут действовать друг на друга так, что либо сдеформируют друг друга в упругой области с последующей релаксацией напряжений деформации и восстановлением геометрии выступа, либо в области пластической деформации произойдет их смятие, либо, когда напряжения в каком-то сечении выступа превысят предел прочности материала, произойдет частичное разрушение выступов и появление в пространстве между двумя поверхностями отдельных частиц соприкасающихся металлов. Выступы шероховатости, стоящие друг на друге в момент времени t_0 , в следующий момент t_1 при $V_1 = V_2 \neq 0$ будут взаимодействовать между собой в основном в области упругой деформации, но исключать взаимодействие в области пластического деформирования нельзя, т.к. это будет зависеть от сил, прижимающих два тела друг к другу. В момент времени t_2 , когда $V_1 = V_2 = \text{const}$, все три типа взаимодействия (упругое деформирование, пластическое течение и разрушение изломом или сдвигом) выступов шероховатостей двух поверхностей останутся и будут существовать до тех пор, пока на поверхностях не образуется геометрия, при которой разрушение изломом или сдвигом прекратится и останутся только два взаимодействия – в упругой области и области пластической деформации. Это подтверждает существование зоны I и зоны II на кривой зависимости износа от времени действия процесса трения [2].

В процессе трения двух тел кроме описанных выше взаимодействий существуют и протекают другие взаимодействия, которые присутствуют практически всегда и проявляют себя в повышении температуры в зоне трения, появлении электрического потенциала на поверхностях, возникновении фиксируемых приборами электромагнитных и акустических колебаний в различных диапазонах [3-5], и, вероятно, эти процессы сказываются на потерях упругой деформации в поверхностном слое. Все это в значительной степени зависит от природы трущихся тел и таких известных явлений, как адсорбция и смачиваемость поверхности.

Поскольку в момент времени $t_0=0$ основными факторами влияющими на взаимодействие двух твердых тел, являются шероховатость поверхности и сила нормального давления, сжимающая два тела, т.е. расстояние, на которое сближаются два тела своими структурными составляющими, то и рассмотрим с определенными приближениями эти факторы без учета остальных, считая силу нормального давления постоянной $N=\text{const}$, т.е. рассмотрим явление в момент времени $t_1 \neq 0$ при $V_1=V_2>0$ (V_1 и V_2 – скорость перемещения двух тел относительно друг друга), но имеющих значение, незначительно отличающееся от нуля.

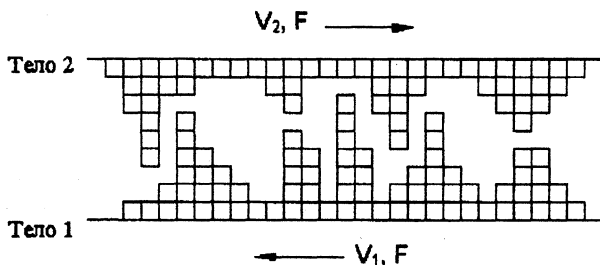


Рис. 2. Модель поверхностей двух соприкасающихся тел, $V_1=V_2=0$.

Полагаем, что поверхности трущихся тел построены так, как показано на рисунке 2. В начале движения выступы шероховатости, зацепившись друг за друга будут находиться некоторое время под действием внешней силы F , задающей относительное движение телам. Все выступы можно рассматривать как консольно закрепленные балки с нагрузкой, направленной противоположно векторам скорости V_1 и V_2 . Одни выступы, зацепившись друг за друга, будут взаимодействовать до тех пор, пока не произойдет их разрушение или пластическое деформирование, другие – в упругой области с полной релаксацией напряжений деформации или с остаточной пластической деформацией отдельных структурных составляющих. Можно заметить, что разрушение кристаллической решетки металлов будет происходить по наиболее слабым местам, т.е. по зонам слабых межатомных связей, в наиболее активных центрах на поверхности – в местах выхода дислокаций на поверхность и по границам зерен и блоков мозаики.

Рассмотрим взаимодействие выступов с момента времени $t=t_0=0$ и до времени $t=t_1>0$, момента разрушения одного из выступов (рис. 3).

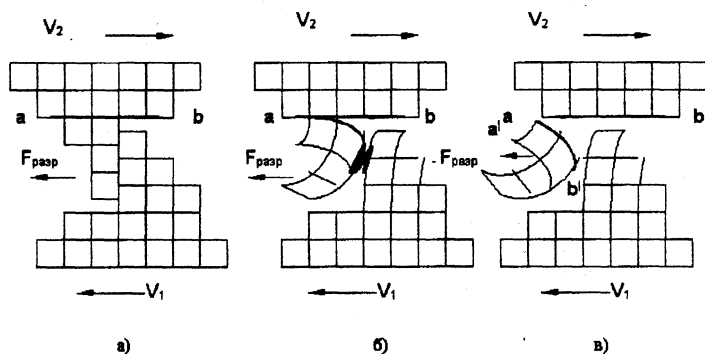


Рис. 3. Схема разрушения выступов шероховатости отрывом, $V_1 = V_2 > 0$.

Принимаем, что кристаллическая решетка бездефектна. Для разрушения выступа сила $F_{разр}$ должна быть такой, чтобы преодолеть силы межатомного взаимодействия и удалить атомы друг от друга на расстояние большее, чем дальноедействие межатомных сил. Можно предположить, что это расстояние должно быть не менее Дебаевского радиуса, т.е. $a > r_D$, для металлов $r_D = (2...3)a_0$ (a_0 – постоянная кристаллической решетки) [3]. Воспользовавшись простым способом оценки прочности бездефектного кристалла при нормальном отрыве, предложенным Ораваном [6] и вытекающим из достаточно простых предположений о периодическом характере сил межатомного взаимодействия, определим напряжения разрушения:

$$\sigma = (E / \pi)(a / a_0) \quad (1)$$

Подставим минимальное значение r_D для металлов, считая $a=r_D$, получим минимальное значение разрушающих напряжений:

$$\sigma_{min} = 2E / \pi \quad (2)$$

Рассматривая схему разрушения выступов шероховатости разрывом связей по томным плоскостям (рис. 3), можно предположить, что процесс разрушения может происходить и по сдвиговому варианту в той же плоскости по линии $a-b$. Такой характер разрушения структуры кристаллической решетки материала не будет неожиданным, если проанализировать данные расчетов прочности на сдвиг и отрыв. Для расчетов, выполненных из одинаковых предпосылок, отношение $\sigma_{теор} / \tau_{теор}$ составляет: для ОЦК-металлов – 6,4, для ГЦК-металлов – 9,0 [7] в приближении синусоидального закона сил межатомного взаимодействия (по Оравану и Френкелю). Получается, что для всех низкоиндексных ориентаций осей

кристаллов и наиболее вероятных систем скольжения $\tau_{\text{теор}}$ будет достигаться раньше, чем нормальные напряжения достигнут значения $\sigma_{\text{теор}}$. Из этого следует, что разрушение сдвигом энергетически более выгодно по сравнению с разрушением отрывом, так как при его осуществлении речь идет не о мгновенном разрыве межзатомных связей по всей поверхности разрушения, а о трансляционных переключениях связей с образованием элементарных ступенек скольжения при каждом акте сдвига.

На рисунке 4 представлена схема возможного разрушения выступа шероховатости по линии $a-b$ при сдвиговом характере процесса. В обоих вариантах разрушения образуется отдельная частичка материала, которая будет находиться между трущимися поверхностями и при ее достаточной прочности будет создавать естественные помехи процессу трения. Рассматривая процесс трения вначале движения двух тел, зададимся начальными условиями движения и определим величину силы разрушения некоторого количества выступов шероховатостей поверхности с некоторыми приближениями.

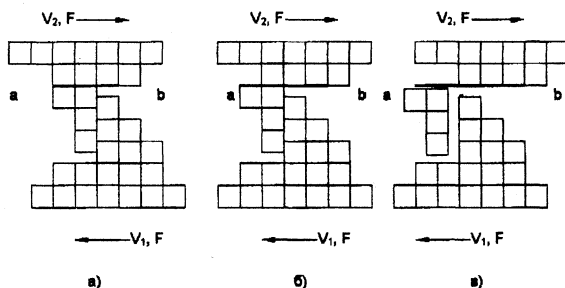


Рис. 4. Схема разрушения выступов шероховатости по сдвиговому характеру.

Принимаем, что площадь поверхности трения одного тела равна S , скорость перемещения двух тел в момент времени t_1 , равна $V_1 = V_2 = \text{const}$. Тогда сила, задающая движение двум телам, будет равна:

$$F = m_1 \cdot a + F_{\text{вз}} + F_{\text{разр}}, \quad (3)$$

где m_1 – масса первого тела;

a – ускорение движения от $V_1=0$ до V_1 за время t_1 ;

$F_{\text{вз}}$ – сила взаимодействия двух тел при V_1 и равная силе трения скольжения;

$F_{\text{разр}}$ – сила разрушения выступов шероховатости на площади S .

Из равенства (3) определим силу разрушения с учетом того, что $F_{\text{вз}} = F_{\text{тр.скольж}}$.

$$F_{\text{разр}} = F - (m_1 \cdot a + F_{\text{тр.скольж}}) \quad (4)$$

Так как взаимодействие двух тел будет зависеть от силы нормального сжатия этих тел, т.е. от силы $N = \text{const}$, то с учетом этого уравнение (4) запишем в виде;

$$F_{\text{разр}} = F - (m_1 \cdot a + N \cdot k), \quad (5)$$

где k – коэффициент трения скольжения данных двух материалов.

Все это говорит о том, что для вновь собранного узла подшипника скольжения необходимо прикладывать большее усилие в начальный момент движения. Величина превышения начальной силы расходуется на разрушение поверхностей трения и образование отдельных частиц трущихся материалов, реально появляющихся в смазывающей жидкости. Для устранения этого явления необходимо снижать шероховатость поверхности детали с более высокой твердостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Proceedings III International Conference on High Voltag Electron Microscopy, Oxford, 1973. L: Acad, press, 1974. – 532 p.
2. Губкин С.Н. Пластическая деформация металлов. Т. 2. – М.: Машиностроение, 1961. – 422 с.
3. Владимиров В.И. Физическая природа разрушения металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 280 с.
4. Бондаренко А.Н. Лазерные методы возбуждения и регистрации акустических сигналов. – М.: Наука, 1989. – 112 с.
5. Микельсон А.Э., Черный З.Д. Электродинамическое возбуждение и измерение колебаний в металлах. – Рига: Зинатие, 1979. – 67 с.
6. Келли А. Высокопрочные материалы. – М.: Мир, 1976. – 261 с.
7. Новиков И.И., Ермишкин В.А. Микромеханизмы разрушения металлов. – М.: Наука, 1991. – 368 с.

УДК 593.3

Ю. В. Василевич, А. В. Курбачев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕГО ЭКРАНА В СРЕДЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

При проектировании виброизолирующих конструкций в средах распространения упругих волн необходимо учитывать условия, при которых данные конструкции работают эффективно. Особый интерес представляет решение задачи по оценке оптимальных виброзащитных свойств тонкой бесконечной по протяженности плиты