

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ ИСКР – РАСКАЛЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ.

Копыт Н.Н., Калинин В.В., Копыт Н.Х., Семенов К.И.

*Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, ул.
Дворянская 2, Одесса 65082 Украина*

При соударении или трении металлических предметов могут образовываться фрикционные искры, которые иногда создают аварийную ситуацию при перевозке и хранении некоторых взрыво- и пожароопасных грузов. Фрикционные искры возникают при соударении с малыми скоростями, длительность деформации составляет около миллисекунды, при этом преобладают упругие деформации и имеются местные пластические деформации. Полную динамику образования фрикционных искр и их поджигательную способность описать довольно сложно. Для этого необходимо учитывать форму соударяющихся тел, распространение упругих, пластических и ударных волн. Кроме этого, необходимо учитывать конечные деформации и деформирование, упрочнение, тепловые эффекты и влияние трения, а также возникновение и распространение зон разрушения в металле соударяющихся тел.

Как показывают результаты экспериментальных исследований, при соударении тел с малыми скоростями максимальное давление достигается в момент $0,5t_0$, где t_0 - продолжительность удара. Продолжительность удара может быть оценена по формуле

$$t_0 = 2,94 \frac{\alpha}{V}$$

где V - скорость сближения соударяющихся тел, α - величина контактной деформации по Герцу. Продолжительность удара зависит от скорости удара. Чем выше скорость, тем меньше продолжительность контакта.

Любой материал, какой бы предварительной обработке не подвергался, имеет шероховатости на своей поверхности. Шероховатость поверхности предполагает наличие трещин, при ударе одна из трещин может начать расти. Трещина, ответственная за откол - является головной, и как правило, она является кольцевой.

Если трещина неподвижна, то в результате удара она может лишь нарушить теплообмен между разделенными ею частями металла. Если

же трещина начинает двигаться, то она становится мощным источником тепла. Теплообмен с окружающей средой происходит медленно, и кольцевая зона прогревается до высоких температур. За единицу времени к вершине трещины стекается поток энергии $G \cdot l$, который за вычетом обратимой поверхностной энергии $2 \cdot \gamma \cdot l$, затрачивается на пластические деформации и разрушение материала в малой зоне около вершины трещины. Поток энергии G численно равен работе отнесенной к единице приращения длины трещины.

$$G = \frac{1 - \gamma^2}{E} K_1^2$$

где γ - коэффициент Пуассона, E - модуль упругости или модуль Юнга. Для железа $E = 2,06 \cdot 10^5 \frac{Мн}{м^2}$ $\gamma = 0,28$, K_1 - коэффициент интенсивности напряжений для трещины отрыва или разрыва ($11,06 \text{ МПа} \cdot м^{\frac{1}{2}}$ для стали, $3,16 \text{ МПа} \cdot м^{\frac{1}{2}}$ для чугуна).

$$K_1 = \sigma \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2} \cdot l}$$

где σ - нормальное напряжение.

Тогда критерий хрупкого разрушения определяет критический размер трещин.

$$l_{кр} = \frac{2K_1^2}{\pi \sigma^2}$$

Как показывают экспериментальные исследования, величина напряжений низкоуглеродистых сталей изменяется от 80 МПа до 250 МПа при слабом ударе или трении. Так, при $\delta = 80 \text{ МПа}$ размер критической трещины будет $l_{кр} = 1,22 \text{ см}$, а при $\delta = 200 \text{ МПа}$ размер критической трещины будет $l_{кр} = 0,2 \text{ см}$.

На распределение температур по поверхности отколовшейся частицы, которая превращается в фрикционную искру, большое влияние оказывает толщина отколовшейся части. Так, при размере фрикционной искры $d = 0,7 \text{ мм}$ и толщине отколовшейся части $0,1 \text{ мм}$ длина трещины равна $1,3 \text{ см}$, а в случае, если $d = 0,7 \text{ мм}$, а толщина равна $0,1 \text{ мм}$, то длина трещины равна $0,6 \text{ см}$.

Картины изотерм у вершины трещины нормального разрыва движутся с различной скоростью и для стали увеличение температуры

на 130°C происходит на расстоянии 3 мкм от вершины трещины. Как показывают поля изотерм, если трещина движется со скоростью 1 м/с , то температура не превышает 25°C , если же скорость равна 100 м/с , то температура у вершины трещины - $2200\text{--}2300^{\circ}\text{C}$, при этом температура вдали от вершины является комнатной.

Рис. Расчетное сравнение и экспериментальные данные зависимости времени соударения от скорости удара (точками изображены экспериментальные данные, кривой расчетные).

