ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 107 1963

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СРЕЗУ, ВЫЗЫВАЕМОЕ НОРМАЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

И. Р. КОНЯХИН

(Представлено научным семинаром кафедры сопротивления материалов ТПИ)

Микровыступы шероховатой поверхности, работающей на скольжение, в процессе трения поверхностей испытывают деформацию сдвига.

Если к выступу, имеющемуся на поверхности, кроме срезающей силы, приложить еще нагрузку в направлении, перпендикулярном к площадке сдвига, то прочность выступа на срез увеличится.

В частности, микровыступы шероховатой поверхности во время трения работают всегда в присутствии такого давления.

Дерягин Б. В. [3] в одной из своих работ, рассматривая выдвинутый им закон трения, высказывает мысль о том, что при пластической деформации сдвига нормальное давление должно повышать сопротивление этой деформации.

Бриджмен П. [2] впоследствии обнаружил это явление. Он проводил опыты с деформированием материала на сдвиг при больших удельных давлениях, при этом им было замечено повышение сопротивления материала деформации.

Крагельский И. В. [5], выдвигая свою теорию для расчета коэффициента трения, принимает во внимание увеличение сопротивления срезу шероховатостей, обусловленное нормальным давлением, действующим на площадку контакта.

Настоящая статья ставит своей целью показать, что дополнительное сопротивление сдвигу, вызванное присутствием нормальной силы, обусловлено двумя основными факторами: упрочнением материала на площадке сдвига, происходящим вследствие пластического сжатия его нормальной нагрузкой и особым состоянием вещества, вызванным действием нормального давления.

Указанное состояние вещества можно назвать «стесненным» состоянием. Оно заключается в том, что материал, в отсутствии нормальной силы работающий на сдвиг в пределах упругости, при наличии нормальной нагрузки испытывает сдвиг по законам пластической деформации, при этом его сопротивление является повышенным. При удалении силы это состояние «стеснения» исчезает и материал снова приобретает способность работать на сдвиг упруго.

Высказанное положение нами было изучено на опытах с явлением предварительного смещения.

Каждый из указанных двух факторов вызывает свою долю дополнительного сопротивления сдвигу.

В данной статье мы подтвердим это результатами опытов, проделанных нами на деревянных и стальных образцах не методом предварительного смещения, а обычными способами деформирования.

Для опытов были взяты образцы, форма которых позаимствована у Бобарыкова И. И. [1] (рис. 1).

Срез по двум площадкам производился на разрывной машине путем выдергивания одной части образца из другой.

Для того, чтобы выявить влияние упрочнения и потом «стеснения» каждого из них в отдельности, испытание образцов было сделано тремя способами.

1. Срез производился без приложения нормального давления к площадкам сдвига с тем, чтобы получить чистый срез, то есть без

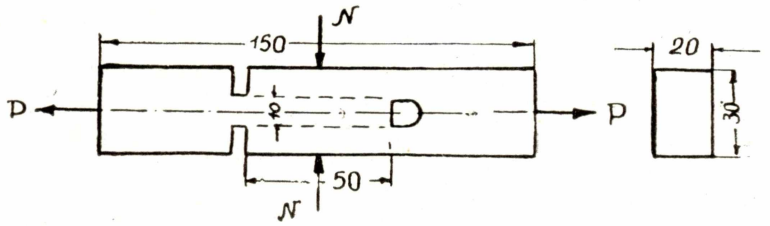

Рис. 1. Деревянный образец для испытания на срез по двум площадкам путем растягивания.

участия нормальных напряжений. Испытание нескольких образцов показало в среднем $\tau_0 = 29$ *кг/см²*.

2. Во втором опыте выявилось влияние на сопротивление срезу упрочнения материала, вызванного действием нормального давления.

К образцу перпендикулярно к его площадкам сдвига прикладывалась сжимающая сила N путем зажатия испытуемого бруска в слесарные тиски. Усилие нажатия измерялось при помощи конического крешера [4], вставленного между одной из губок тисков и стальной закаленной пластинкой, положенной на боковую поверхность образца, как раз напротив середины площадки будущего среза. В тисках брусок оставался в течение двух часов, после чего подвергался срезу вдоль волокон так же, как и в предыдущем опыте.

Напряжение теперь уже получилось $\tau_1 = 42$ *кг/см²*, то есть по сравнению с предыдущими больше на 13 *кг/см²*, или на 45 . Это повышение сопротивления произошло вследствие упрочнения материала, вызванного предварительным обжатием в тисках нормальным давлением $N = 250$ *кг*.

3. Для выявления эффекта «стеснения» материала на площадке сдвига нормальным давлением срез производился теперь уже в присутствии такого давления.

Для этого образец в поперечном его направлении сдавливался при помощи струбцины, имеющей вид прямоугольной рамки, снабженной винтом, посредством которого и вызывалось поперечное сжатие. Сила нажатия винтом струбцины измерялась так же, как и во втором опыте, с помощью конического крешера.

Это усилие было подобрано таким же по величине, как и в предыдущем случае, с тем, чтобы эффект упрочнения от сжатия был тот же, то есть $\tau_1 = 42$ *кг/см²*.

Но напряжение среза, теперь уже в присутствии нормальной нагрузки, оказалось $\tau_2 = 52$ *кг/см²*, то есть больше на 35%.

Увеличение сопротивления материала за счет влияния обоих факторов, то есть упрочнения и «стеснения», составляет в сумме 23 *кг/см*^{2} или 80%.

Нам удавалось получить подобное увеличение сопротивления срезу более, чем на 100%, однако, при этом наружные поверхности образцов оказывались смятыми, что не давало возможности повысить нормальную нагрузку еще больше. Кроме того, и образец при испытании не выдерживал на разрыв.

Кроме описанного исследования, нами были проведены также опыты на материале сталь-3. При этом образцы прежней формы оказались непригодными вследствие малой разницы в прочности стали на разрыв и срез. Для того, чтобы обеспечить образцу возможность среза вместо разрыва, приходилось назначать очень малую длину для площадки сдвига. Вследствие этого при испытании получался сильный изгиб тех частей образца, которые после выдергивания находящейся между ними срезаемой части образуют вилку с концами, отогнутыми наружу, а противоположными по длине частями — во внутрь. Следовательно, на площадку сдвига в одном ее конце действуют сжимающие напряжения изгиба, а в другом — растягивающие того же изгиба. Указанные напряжения сжатия создают на площадке сдвига «стесненное» состояние, что в лучшем случае сильно искажает результаты опыта, а в худшем случае приводит к разрыву образца.

По этой причине для опытов со срезом были взяты образцы в виде цилиндра, снабженного на середине его высоты круглым буртиком прямоугольного сечения, составляющим с образцом одно целое (рис. 2).

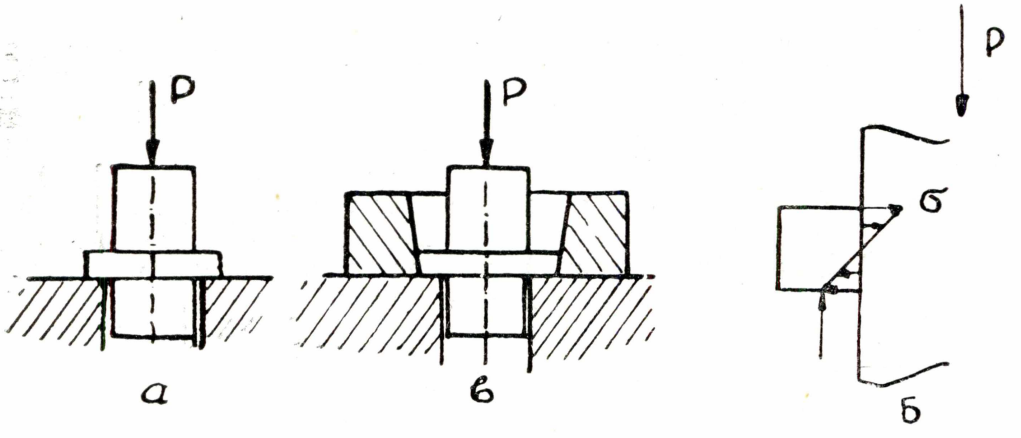

Рис. 2. Образец для испытания на срез стального буртика:
а — срез в отсутствии обжимного кольца,
в — срез в обжимном кольце.

Указанный буртик срезался с цилиндра путем проталкивания последнего через отверстие в стальной матрице так, что цилиндрический стержень проходил через отверстие матрицы, а буртик, срезаясь, оставался на верхней площадке последней в виде снятого кольца.

Для уяснения влияния упрочнения материала и его «стеснения» на сопротивление срезу опыты проводились в таком же порядке, как и при испытании дерева в предыдущих опытах.

1. Буртик хотя и срезается со стержня образца, но при этом он испытывает также и деформацию изгиба, вследствие чего срезанное кольцо получается не плоским, а несколько вывернутым наподобие полей шляпы. Это указывает на то, что в площадке среза действуют сжимающие и растягивающие напряжения изгиба. Первые создают стеснение и упрочнение материала и поэтому срез не получается свободным.

Для определения величины напряжения чистого среза данного материала были испытаны образцы прямоугольного сечения перерезыванием на машине Фремона. При этом получилось $\tau_0 = 2300$ *кг/см²*. Срезание же буртиков при помощи матрицы на прессе сжатия дало $\tau_{01} = 4700$ *кг/см²*, разница $\tau_{01} - \tau_{0\,0} = 2400$ *кг/см²* получилась благодаря упрочнению и «стеснению» материала на площадке среза нормальными напряжениями изгиба (рис. 2 б).

При этом, чем меньше взята высота буртика образца, тем больше изгиб, тем выше получается напряжение среза. Так, например, у буртика высотой в 1 *мм* и наружным диаметром 16 *мм* при диаметре стержневой части образца, равном 10 *мм*, напряжение срезу получалось до 8000 *кг/см²* вместо 2300 при свободном срезе того же металла.

Поэтому в опытах применялись образцы с буртиком, имеющим высоту 3—4 *мм*. Больше этого указанную высоту взять было нельзя из-за того, чтобы не создать чрезмерных напряжений сжатия на цилиндрической части образца во время проталкивания последнего через отверстие матрицы.

2. Опыты по выяснению влияния упрочнения сжатием производились следующим образом. Буртик вместе с цилиндрической частью образца сначала запрессовывался в слегка коническое отверстие массивного стального кольца путем нажатия на верхнюю плоскость его втулкой. Запрессовка делалась с той целью, чтобы создать радиальное обжатие буртика (рис. 2 в). Образец после выпрессовывался из обжимного кольца обратно и затем испытывался на срез так же, как и в предыдущем опыте.

Напряжение срезу получилось $\tau_1 = 5000$ *кг см²*, то есть больше, чем до обжатия на 300 *кг/см²*. Данное дополнительное напряжение появилось благодаря упрочнению, дополнительному к тому упрочнению, которое вызывалось нормальными напряжениями изгиба. Они сложились с напряжениями сжатия кольцом и поэтому общее напряжение сжатия на площадке среза было больше, чем нормальные напряжения только от одного изгиба в предыдущем опыте.

3. В третьем опыте буртик также впрессовывался в обжимное кольцо с тем же натягом, что и прежде, но срез его производился прямо в кольце, от есть в присутствии радиального давления, нормального к цилиндрической площадке сдвига.

В этом случае напряжение среза равнялось $\tau_2 = 5700$ *кг/см²*, то есть больше, чем во 2 опыте на 700 *кг/см²*. По сравнению со свободным срезом это составляет 29%.

Таким образом, опыты показывают, что напряжение среза вообще складывается из нескольких напряжений, обусловленных различными факторами:

τ_0 — напряжение чистого среза, зависящее от природы материала;

τ_y — сопротивление от упрочнения материала на площадке сдвига вызванного нормальными сжимающими напряжениями изгиба;

τ_c — сопротивление, вызванное „стеснением“ материала нормальными напряжениями изгиба;

$\tau_{yн}$ — напряжение, вызванное упрочнением нормальными напряжениями сжатия;

$\tau_{cн}$ — напряжения, вызванные „стеснением“ материала нормальными напряжениями сжатия.

Следовательно, общее напряжение среза нужно определять по уравнению

$$\tau = \tau_0 + \tau_y + \tau_c + \tau_{yн} + \tau_{cн}.$$

Заключение

1. Нормальные напряжения, действующие на площадке среза, вызывают дополнительное сопротивление сдвигу двух видов: сопротивление, обусловленное упрочнением материала, и второе сопротивление, обусловленное «стеснением» вещества. При удалении нормальной нагрузки второе сопротивление исчезает.

2. При расчете соответствующих деталей машин на срез дополнительные сопротивления, составляющие значительную величину, следует учитывать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобарыков И. И. К вопросу о сопротивлении дерева скалыванию. Известия Томского технологического института, т. 35, № 3, 1914.

2. Бирджмен П. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. Москва, 1955.

3. Дерягин Б. В. и Лазарев В. П. Применение обобщенного закона трения к граничной смазке. Сб. Трение и износ в машинах, АН СССР, 1949.

4. Коняхин И. П., Седоков Л. М., Горбенко М. С. Определение действующих сил при помощи конических крешерсв. Заводская лаборатория, № 5, 1958.

5. Крагельский И. В. Молекулярно-механическая теория трения. Вторая Всесоюзная конференция по трению и износу в машинах, 1949.