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

Том 107 1963

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО СРЕЗА

Л. М. СЕДОКОВ, М. В. МОИСЕЕНКО, А. Ф. СЕЛИН

(Представлено научным семинаром кафедры сопротивления материалов)

Во многих машинах предусмотрены механические предохранители, которые срезаются при перегрузках, благодаря чему удается избежать аварий и поломок таких машин. В резиноразогревательных вальцах кабельной и резиновой промышленности применяются механические предохранители в виде диска с кольцевыми канавками. Расчет предохранительных дисков на максимальную нагрузку может быть сведен к определению толщины среза, поскольку ширина среза, равная периметру срезающего пуансона, остается для данной машины постоянной. Но для такого расчета необходимо знать величину предела прочности на срез материала, из которого изготовляются диски. Как показали первые опыты, предел прочности на срез для одного и того же материала является величиной переменной и зависящей от толщины среза. Поэтому возникла необходимость подробного исследования процесса кольцевого среза, которое было проведено в лаборатории сопротивления материалов Томского политехнического института в 1959 году.

В указанном исследовании регистрировались сила и деформация в процессе кольцевого среза дисков различной толщины, которые были изготовлены из двух марок сталей: стали 6 и стали для вагонных осей. Механические характеристики этих сталей оказались следующими:

| | Сталь 6 | Сталь осевая |
|---|---|---|
| Предел прочности на разрыв, *кг/мм*$^2$ | 51 | 53 |
| Относительное удлинение при разрыве, в % | 26 | 15 |
| Предел прочности на срез, *кг/мм*$^2$ | 32,1 | 34,5 |

Предел прочности на срез определялся на образцах квадратного сечения 10×10 *мм* при одностороннем срезе. За предел прочности материала на срез было принято максимальное касательное напряжение, равное отношению срезающей силы к исходной площади поперечного сечения образца. За предел прочности при кольцевом срезе было принято также максимальное касательное напряжение по плоскости среза, которое определялось путем деления максимальной нагрузки на пло-

щадь боковой поверхности цилиндра, выштамповываемого пуансоном при продавливании диска.

Предохранительный диск состоит из центральной части — цилиндра диаметром 82 *мм* и высотой 13 *мм* и наружного выступа высотой 15,5 *мм*, диаметрами 88 и 115 *мм*.

Между центральной частью диска и наружным кольцом с обеих сторон диска проточены канавки шириной 3 мм, глубина канавок менялась, чем создавалось изменение толщины среза.

Зависимость максимальных касательных напряжений для дисков с кольцевыми канавками, изготовленных из осевой стали и стали 6, от толщины среза, представленная на рис. 1, имеет довольно сложный характер.

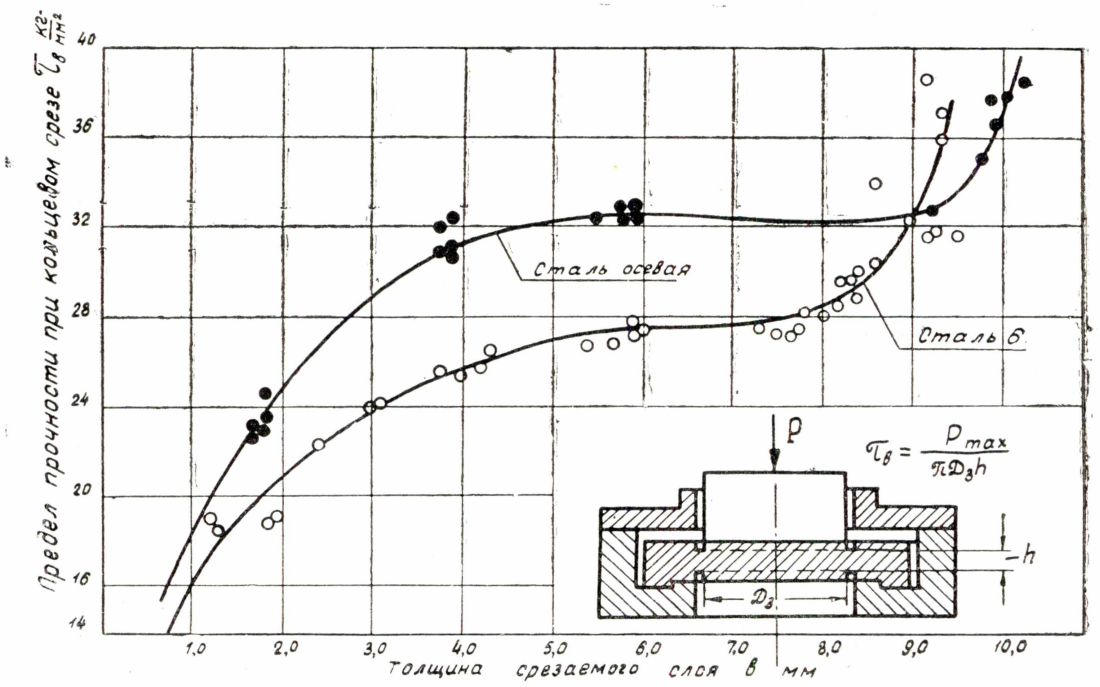


Рис. 1. Зависимость максимальных касательных напряжений от толщины среза для дисков с кольцевыми канавками.

При увеличении толщины среза от ~ 1,5 до 4 *мм* касательные напряжения возрастают от 22,8 до 32 *кг/мм*² (для осевой стали), затем остаются почти постоянными при увеличении толщины до 9 *мм*, а после 9 *мм* резко возрастают при незначительном увеличении толщины и доходят почти до 40 *кг/мм*².

Диски с малой толщиной среза (глубокие канавки) срезались при напряжениях, значительно меньших предела прочности на срез для данной стали, а диски большой толщины (мелкие канавки) срезались при напряжениях, превышающих предел прочности.

Такое изменение касательных напряжений при кольцевом срезе дисков, объясняется изменением напряженного состояния по мере роста толщины среза.

Как известно, различают два основных типа разрушения: это разрушение путем отрыва и разрушение путем среза [1].

Отрыв принципиально происходит без предварительной пластической деформации, но реальному разрушению путем отрыва обычно предшествует хотя бы очень малая пластическая деформация, причем сопротивление отрыву в значительной степени зависит от величины этой предшествующей разрушению пластической деформации [2].

В наших опытах ширина кольцевых канавок постоянная, а глубина их менялась с изменением толщины срезаемого слоя. При малой толщине среза надрезы (канавки) получались глубокими и тем самым создавались условия, затрудняющие развитие существенных пластических деформаций, предшествующих разрушению.

В числе этих условий — значительный перекос слабого звена предохранительного диска, что можно сравнивать по своим результатам с испытанием надрезанных образцов на растяжение с перекосом.

При испытании надрезанных образцов на растяжение с малым перекосом отмечается повышение условного напряжения в сравнении с гладким образцом, а при угле перекоса порядка 8° наблюдается значительное падение условного напряжения. В наших опытах при малой толщине среза отмечался значительный перекос слабого элемента диска, а по мере увеличения толщины среза этот перекос резко снижался.

Этим и объясняется, по нашему мнению, низкое значение условных разрушающих напряжений при испытании дисков с малой толщиной срезаемого слоя. Нами определялись касательные напряжения, а разрушение идет путем отрыва, следовательно, условные касательные напряжения не могут быть причиной, определяющей процесс разрушения таких дисков.

При постепенном увеличении толщины срезаемого слоя уменьшалась глубина канавки и создавались условия, при которых разрушению предшествовала значительная пластическая деформация, что, как известно, ведет к разрушению путем среза.

Таким образом, рост максимальных касательных напряжений по плоскости среза с увеличением толщины среза можно объяснить, во-первых, повышением сопротивления отрыву с ростом пластической деформации и, во-вторых, переходом к разрушению путем среза.

При испытании дисков с большой толщиной среза наружное кольцо сильно изгибалось и зажимало центральную продавливаемую часть диска. Наличием радиальных сжимающих напряжений по плоскости среза и объясняется то, что максимальные касательные напряжения для таких дисков оказываются выше предела прочности на срез для данной стали.

Как было указано выше, при испытании дисков измерялась деформация среза, причем за деформацию среза в данном случае принималась глубина вдавливания пуансона в образец. Измерение глубины вдавливания пуансона в образец до момента окончательного однократного быстрого среза проводилось индикатором.

Зависимость абсолютной деформации вдавливания пуансона от толщины среза имеет такой же характер, как и зависимость максимальных касательных напряжений от толщины среза.

Некоторое расхождение в указанных графиках наблюдается на участке толщины среза от 4 до 9 *мм*.

На этом участке предел прочности на срез остается почти постоянным (рис. 1), а деформация среза растет, хотя и значительно медленнее, чем при толщине среза от 1,5 до 4 *мм* и выше 9 *мм*.

Относительная деформация вдавливания пуансона падает с ростом толщины среза. Увеличение относительной деформации вдавливания пуансона при уменьшении толщины среза объясняется тем, что при испытании дисков малой толщины имела место значительная деформация изгиба срезаемого слоя (рис. 2). Индикатор замерял перемещение пуансона, а это перемещение для дисков малой толщины шло в основном за счет перекоса срезаемого слоя диска и, в меньшей мере, за счет деформации среза.

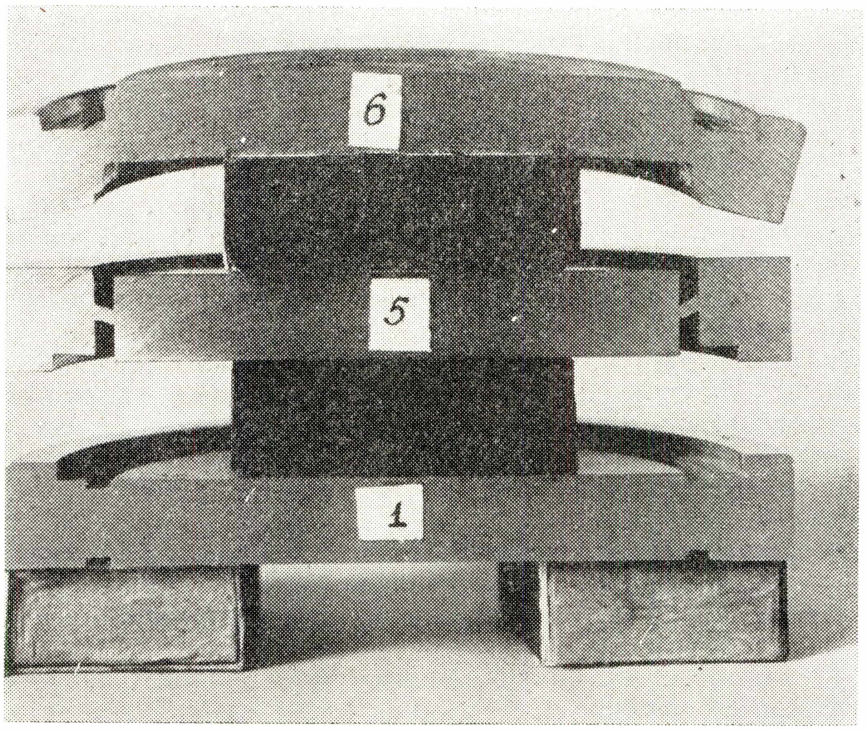


Рис. 2. Предохранительный диск с кольцевыми канавками.

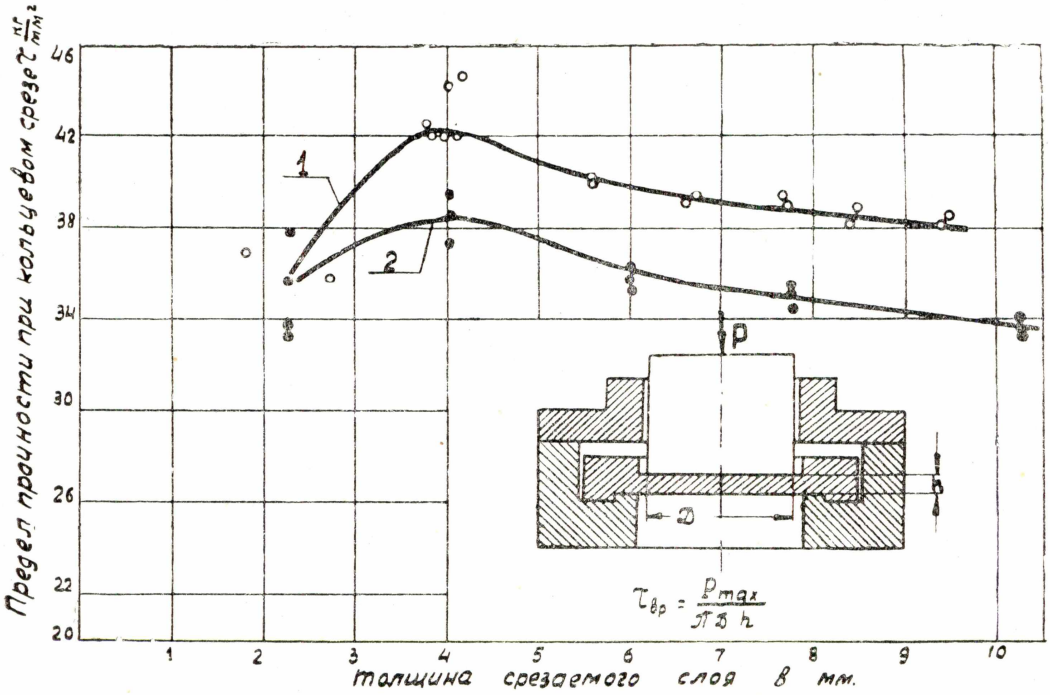


Рис. 3. Зависимость максимальных касательных напряжений от толщины среза для бесканавочных дисков при кольцевом срезе.

В ходе исследования работы дисков с кольцевыми канавками была предложена конструкция бесканавочного диска.

Зависимость максимальных касательных напряжений при кольцевом срезе бесканавочных дисков из осевой стали от толщины среза представлена на рис. 3, кривая 1. Предел прочности для бесканавочных дисков является также функцией толщины среза, но изменяется в меньших пределах. При толщине среза, равной 2 *мм*, напряжение — около 36 *кг/мм*$^2$, затем оно быстро растет до 42 *кг/мм*$^2$ при толщине среза 4 *мм*, а далее медленно падает до 38 *кг/мм*$^2$.

Все бесканавочные диски срезались при напряжениях, превышающих предел прочности на срез для данной стали.

Падение напряжений кольцевого среза для бесканавочных дисков с ростом толщины среза связано с влиянием абсолютных размеров образца.

Для проверки этого положения была изготовлена серия обычных образцов на срез прямоугольного сечения. Ширина у всех образцов была постоянной, а высота менялась в пределах от 2 до 11 *мм*. Испытания показали, что изменение напряжений в этом случае носит тот же характер (рис. 3, кривая 2), что и для бесканавочных дисков. Снижение предела прочности при изменении толщины образцов от 4 до 10 *мм* в случае простого среза составляет около 10%. Для бесканавочных дисков при изменении толщины среза в тех же пределах наблюдается падение напряжений тоже порядка 10%.

Следовательно, отмеченное падение напряжений по мере роста толщины для бесканавочных дисков связано с влиянием абсолютных размеров образца.

В опытах отмечается некоторое повышение предела прочности при толщине среза около 4 *мм* как для бесканавочных дисков, так и при простом срезе образцов прямоугольного сечения.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Расчет на максимальную нагрузку предохранительных элементов, имеющих сложную форму (канавки, надрезы, выточки), нельзя проводить по пределу прочности на срез, который определяется на обычных образцах при механических испытаниях, так как фактическое максимальное напряжение при срезе таких элементов может быть значительно меньше или существенно больше предела прочности на срез.

2. Предохранительные элементы в машинах и конструкциях должны иметь весьма простую форму (без канавок, надрезов и выточек), предельная нагрузка для таких элементов будет примерно пропорциональна площади среза, но фактическая предельная нагрузка будет на 20—25% больше рассчитанной по пределу прочности на срез для данного материала.

3. Предел прочности на срез зависит от абсолютных размеров площади среза и несколько падает с ростом этой площади.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Давиденков. Динамические испытания металлов. Издание 2, 1936.
2. Б. Фридман. Механические свойства металлов. Оборонгиз, 1952.