

УДК 621.771.06

Артюх Е. Г.

К РАСЧЕТУ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ СО СРЕЗНЫМИ РЕБРАМИ

Предохранитель данного типа может работать как противоаварийное буферное устройство в транспортных средствах [1] или как предохранитель на максимальное усилие срабатывания при большой требуемой осадке. Такое устройство может быть установлено на штангах кантователей или под нажимными винтами пыльгерстанов, где требуемая осадка составляет 120÷150 мм.

Устройство (рис. 1) состоит из телескопически связанных между собой наружного 1 и внутреннего 2 цилиндров. На наружной поверхности цилиндра 2 выполнен буртик 3 в виде ребер многозаходной спирали. Эти ребра разделены на отдельные сегменты 4 продольными разрезами 5 по высоте. В торцевой части наружного цилиндра 1 размещена сменная вставка 6 с режущей кромкой 7, обращенной к буртику 3.

Устройство работает следующим образом. Один из цилиндров 1 или 2 крепится неподвижно (например на подушке рабочей клетки пыльгерстана).

Другой цилиндр крепится к нажимному винту, и при перегрузке имеет возможность поступательно перемещаться относительно неподвижного, срезая при этом режущей кромкой 7 сменной вставки 6 буртик 3, выполненный в виде ребер многозаходной спирали. Продольные разрезы 5 необходимы для того, чтобы уже срезанные витки буртика 3 не препятствовали дальнейшему процессу среза (не накладывались на нижележащие витки).

Поглощаемая устройством энергия расходуется на осуществление деформации среза. При взаимном движении цилиндров происходит непрерывное срезание ребер многозаходной спирали.

Количество зон резания является величиной постоянной и равно числу заходов спирали. Равнодействующая усилий резания приложена вдоль оси предохранительного устройства, а сами зоны резания в процессе работы смещаются по винтовой линии, сохраняя постоянным взаимное расположение.

Максимальная осадка предохранителя равна длине части внутреннего цилиндра, имеющей спиральные ребра, а поглощаемая им энергия пропорциональна срезанной площади.

Для восстановления работоспособности предохранителя после срабатывания заменяют внутренний цилиндр 2 новым (см. рис. 1).

Процесс срезания спиральных ребер кольцевым ножом - втулкой ближе всего подходит к резанию полосы наклонным ножом на гильотинных ножницах [2]. Из энергетических соображений можно сделать вывод о равенстве работ при срезании ребер одинаковой площади с различными углами наклона α (при малых α , в том числе и при $\alpha = 0$). Процесс резания проиллюстрирован рисунком 2.

Усилие среза при $\alpha = 0$ находим по формуле

$$P_0^* = \pi \cdot D \cdot \delta \cdot \tau_b, \quad (1)$$

где D - диаметр внутреннего цилиндра по впадинам ребер (или диаметр режущей кромки кольцевого ножа);

δ - ширина срезаемого ребра у его основания;

τ_b - предел прочности при срезе материала срезаемого ребра.

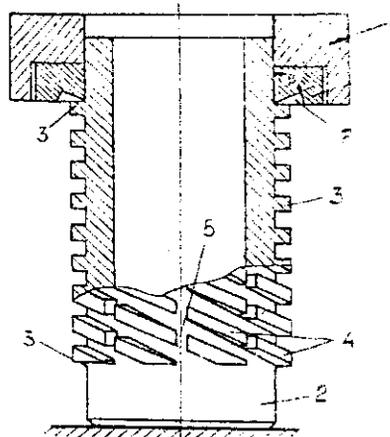
Это усилие действует на пути δ^* , где

δ^* - ширина блестящего пояса на месте срезанного ребра.

Работа среза может быть выражена равенством

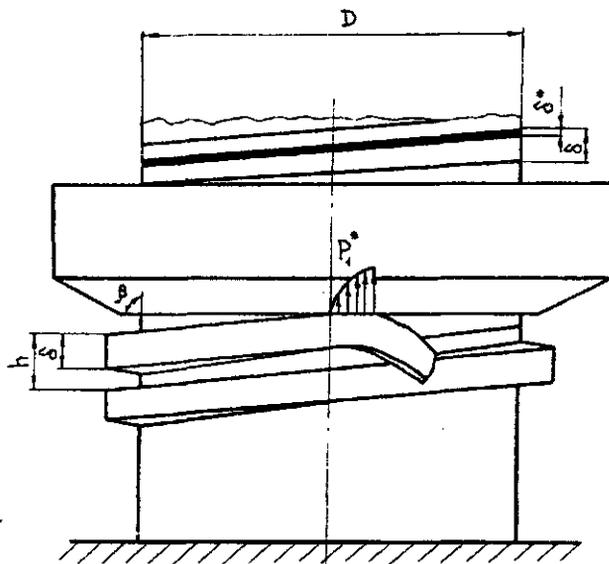
$$A = \int_0^{\delta^*} P_0(\delta) d\delta, \quad (2)$$

где $P(\delta)$ - функция усилия среза; Она может быть получена экспериментально как диаграмма среза в координатах $P - \delta$.



- 1 - наружный цилиндр (нож);
- 2 - внутренний цилиндр (втулка);
- 3 - буртик;
- 4 - сегменты;
- 5 - продольные разрезы;
- 6 - сменная вставка;
- 7 - режущая кромка.

Рисунок 1 - Предохранитель со срезными ребрами.



- D - диаметр внутреннего цилиндра по впадинам ребер;
- δ - ширина срезаемого ребра у его основания;
- δ^* - ширина блестящего пояска на месте срезанного ребра;
- h - расстояние между двумя соседними витками;
- β - угол наклона режущей кромки;
- P_i - сила резания в одной зоне.

Рисунок 2 - Схема работы предохранителя.

Введем коэффициент полноты диаграммы среза

$$\psi = \frac{\int_0^{\delta^*} P_0(\delta) d\delta}{P_0^* \cdot \delta^*} \quad (3)$$

где P_0^* - максимальное усилие среза.

Тогда получим

$$A = \psi \cdot \pi \cdot D \cdot \tau_B \cdot \delta^* \quad (4)$$

Введем величину $\eta = \frac{\delta^*}{\delta}$ - относительную ширину блестящего пояска (по физическому смыслу это коэффициент вязкости, характеризующий пластичность материала).

Тогда выражение (4) переписывается в виде

$$A = \psi \cdot \pi \cdot D \cdot \delta^2 \cdot \eta \cdot \tau_B \quad (5)$$

Если рассмотреть спиральное ребро, и ввести силу P_1^* как силу резания в одной из N зон резания (N - число заходов спирали), то работа, совершаемая силами P_1^* определится по формуле

$$A = P_1^* \cdot \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha = P_1^* \cdot N \cdot h \quad (6)$$

где: α - угол наклона спирали по отношению к режущей кромке ножа;

h - расстояние между двумя соседними витками (шаг резьбы).

Приравнявая работу среза кольцевого и спирального витков, получим

$$\psi \cdot \pi \cdot D \cdot \delta^2 \cdot \eta \cdot \tau_B = P_1^* \cdot N \cdot h,$$

откуда искомая сила равна

$$P_1^* = \frac{\psi \cdot \pi \cdot D \cdot \delta^2 \cdot \eta \cdot \tau_B}{N \cdot h} \quad (7)$$

Величину δ можно выразить через h

$$\delta = \varphi \cdot h,$$

где $\varphi \leq 1$ - коэффициент заполнения боковой поверхности втулки 2 (см. рис. 1).

Тогда выражение (7) принимает вид

$$P_1^* = \frac{\psi \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot \varphi^2 \cdot \eta \cdot \tau_B}{N} \quad (8)$$

Суммарное усилие (или усилие срабатывания предохранителя при N заходах резьбы) равно

$$P^* = \psi \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot \varphi^2 \cdot \eta \cdot \tau_B \quad (9)$$

Полученная формула (9) не учитывает некоторых параметров срезаемых ребер и режущего инструмента. Между тем из теории резания, высадки и других технологических операций известно, что параметры режущего инструмента существенно влияют на усилие.

Введем в формулу (9) соответствующие поправки и окончательно перепишем ее в виде

$$P^* = k_n \cdot k_\varphi \cdot \varphi^2 \cdot D \cdot h \cdot \psi \cdot \eta \cdot \pi \cdot \tau_{cp} \quad (10)$$

где k_n - коэффициент, зависящий от формы ножа и зазора между втулкой и режущей кромкой ножа; для $\beta = 90^\circ$ и при зазоре, равном нулю,

$k_n = 1,0$. Для других форм режущей кромки и других зазоров k_n определяется из опытов на соответствующих моделях. Здесь β - угол наклона режущей кромки (см. рис. 2);

k_φ - коэффициент формы резьбы (поперечного сечения срезаемого ребра). Для сечения в виде прямоугольника $k_\varphi = 1,0$; для остальных

форм k_{ϕ} находится из опытов на моделях.

Формула (10) отражает качественную сторону процесса срезания ребер при срабатывании предохранителя и может применяться для предварительного проектирования, то есть для выбора некоторых основных параметров, которые впоследствии должны уточняться на основе экспериментальных данных.

Поскольку при расчете предохранительной детали не допускается никаких запасов прочности (и завышение, и занижение прочности опасно для защищаемой машины), то P^* обязательно должно уточняться экспериментально. При этом формула (10) поможет рационально спланировать необходимые эксперименты, обойтись меньшим количеством испытаний, а также более обоснованно перейти от модели к натуре.

Если рассмотреть два геометрически подобных предохранителя - натуральный образец и модель, причем выполненных из одного материала, то величины ψ , k_n , k_{ϕ} , ϕ , η , τ_b для них одинаковы, а параметры D и h связаны зависимостью:

$$D_n = M \cdot D_m; h_n = M \cdot h_m, \quad (11)$$

где M - масштаб.

Здесь индекс "м" относится к модели, а "н" - к натуральному образцу.

Из формулы (10) получаем:

$$P_n^* = M^2 P_m^*, \quad (12)$$

т.е. усилие срабатывания предохранителя пропорционально квадрату масштаба.

Работа разрушения предохранителя может быть представлена в виде

$$A = \theta \cdot P^* \cdot L, \quad (13)$$

где L - длина участка со спиральной нарезкой (ход предохранителя);

$\theta \leq 1$ - коэффициент полноты рабочей характеристики предохранителя.

Он может быть определен по формуле:

$$\theta = \frac{\int_0^h P^*(h) dh}{P^* \cdot h}, \quad (14)$$

где P^* - максимальное усилие среза.

С учетом формулы (12) получим соотношение

$$A_n = M^3 \cdot A_m, \quad (15)$$

т.е. энергоемкость предохранителя пропорциональна кубу масштаба.

В формуле (10) могут быть выделены отдельные группы геометрических и прочностных характеристик. Первая характеристика зависит только от материала срезаемых ребер

$$a_{cp} = \pi \cdot \psi \cdot \eta \cdot \tau_b. \quad (16)$$

По физическому смыслу a_{cp} - работа среза одного витка при $D = 1$ и

$\delta = 1$, то есть работа среза единичного витка. Величина a_{cp} может быть найдена из простого опыта по срезанию кольцевого ребра. Это будет гораздо точнее, чем пользоваться величинами ψ , η , τ_b в отдельности.

Экспериментальное исследование процесса среза кольцевых ребер из различных материалов позволит найти наибольшее значение a_{cp} . Тем самым будет найден оптимальный вариант материала с точки зрения габаритов предохранителя.

Предположительно это будет пластичный материал типа малоуглеродистой стали с большим значением ударной вязкости.

Во вторую группу параметров входят основные геометрические параметры разрушающегося элемента. Эта группа представляет собой

произведение коэффициентов $k_n \cdot k_\phi = k^*$.

Эти коэффициенты дают экспериментальную зависимость P^* от некоторых геометрических параметров, характеризующих несовершенство среза (отступление от деформации среза). Они могут быть объединены в один коэффициент - коэффициент несовершенства схемы среза k^* .

Таким образом, формула (10) может быть представлена в виде

$$P^* = k^* \cdot (\phi^2 \cdot D \cdot h) \cdot a_{ср}. \quad (17)$$

Анализ формулы (17) позволит наметить пути экспериментальных исследований по уточнению как отдельных параметров, так и всего усилия в целом.

ВЫВОДЫ

1. Выведена формула для определения усилия срабатывания предохранительного устройства со спиральными срезными ребрами.
2. Анализ этой формулы позволил наметить следующие виды работ для выбора оптимальной конструкции предохранителя:
 - а) выбор материала с максимальной величиной $a_{ср}$;
 - б) определение k^* на основе подбора оптимальной конструкции ножа, зазоров между инструментом и телом втулки, конфигурацией сечения витков спирали и т. д.;
 - в) проверка влияния геометрии ($\phi^2 D h$) на усилие среза путем масштабных преобразований модели.
3. Совершенствование конструкции предохранительного устройства со спиральными срезными ребрами должно идти по пути увеличения усилия срабатывания.

Перечень ссылок

1. А. с. 867746 СССР, МКИ В 61 G 11/16, F 16 F 7/12. Противоаварийное буферное устройство.
2. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов.-М.: Металлургия,-1969.-464с.