

Трение и его роль в креплении грузов



Анатолий ШМЕЛЕВ

Когда еще в 2004 году я читал лекцию для литовских перевозчиков и дошел до объяснения роли трения, страховщик, который организовал эту лекцию, воскликнул: "Я знаю, как избежать этих глупых убытков: надо в каждую машину раздать по несколько ковриков противоскольжения!". Надеюсь, что и читатель поймет всю важность трения, прочитав эту статью, и примет соответствующие меры.

1. Теория. Классификация основных видов трения

При соприкосновении движущихся (или приходящих в движение) тел с другими телами, а также с частицами вещества окружающей среды возникают силы, препятствующие такому движению. Эти силы называют силами трения. Действие сил трения всегда сопровождается превращением механической энергии во внутреннюю и вызывает нагревание тел и окружающей их среды.



Существует внешнее и внутреннее трение, иначе называемое вязкостью. Внешним называют такой вид трения, при котором в местах соприкосновения твердых тел возникают силы, затрудняющие взаимное перемещение тел и направленные по касательной к их поверхностям.

Внутренним трением (вязкостью) называется вид трения, состоящий в том, что при взаимном перемещении слоев жидкости или газа между ними возникают касательные силы, препятствующие такому перемещению. В креплении грузов этот вид трения рассматривается только при исследовании современных прокладочных материалов, изготовленных из резины и полимеров. В данной статье мы не будем детально рассматривать внутреннее трение.

Внешнее трение подразделяют на трение покоя (статическое трение) и кинематическое трение. Трение покоя возникает между неподвижными твердыми телами, когда какое-либо из них пытаются сдвинуть с места. Кинематическое трение существует между взаимно соприкасающимися движущимися твердыми телами. Кинематическое трение, в свою очередь, подразделяется на трение скольжения и трение качения.

Трение покоя

Наблюдения показывают, что сила трения покоя всегда направлена проти-



воположно действующей на тело внешней силе, стремящейся привести это тело в движение. До определенного момента сила трения покоя увеличивается с возрастанием внешней силы, уравновешивая последнюю.

По третьему закону Ньютона сила F_G давления тела на опору равна по модулю силе F_N реакции опоры. Поэтому максимальная сила трения покоя пропорциональна силе реакции опоры. Для модулей этих сил справедливо следующее соотношение:

$$F_F = \mu_S F_N,$$

где μ_S - безразмерный коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом трения покоя. Значение этого коэффициента зависит от материала и состояния трущихся поверхностей.

Считается, что в состоянии покоя между двумя телами существует притяжение на молекулярном уровне, которое исчезает после начала взаимного движения тел.

При расчетах необходимого крепления согласно "Руководству по укладке грузов в грузовые транспортные единицы" (ГТЕ) принимается к учету именно трение покоя.

Трение скольжения

Трение скольжения возникает при скольжении одного твердого тела по поверхности другого. Закон для трения скольжения имеет вид:

$$F_F = \mu_D F_N,$$

где F_F - модуль силы трения скольжения; μ_D - безразмерный коэффициент трения скольжения или динамический коэффициент трения; F_N - модуль силы реакции опоры. Значение μ_D зависит от того, из каких веществ изготовлены трущиеся поверхности и от качества их обработки. Если сделать поверхности более гладкими, значение μ_D уменьшится. Однако уменьшать шероховатость поверхностей можно лишь до определенного предела, так как при очень гладких (например, полированных) поверхностях значение μ_D вновь увеличивается. Происходит это потому, что молекулы тел с гладкими поверхностями близко подходят друг к другу и силы молекулярного притяжения

между ними вызывают "прилипание" тел, препятствующее их скольжению.

Принято считать, что коэффициент трения скольжения равен 70 % коэффициента трения покоя. В какой-то степени это правильно для пар твердых материалов, таких как древесина, металлы и др., но исследования свойств полимерных материалов, увеличивающих трение, показали, что такая зависимость существует не всегда.

Стандарт EN 12195-1 "Устройства крепления груза на автомобилях. Часть 1: Расчет сил крепления" требует, чтобы к расчету принималось трение скольжения. В период транспортирования из-за вибрации грузовая единица совершает микроперемещения, молекулярное притяжение между грузом и грузовой платформой уже нарушено.

Трение качения

Трение качения возникает при качении (без скольжения) твердых тел круглой



формы по поверхности других твердых тел. В креплении грузов данный вид трения рассматривается крайне редко. Рекомендуется блокировать колеса и колесики грузовых единиц и применять коэффициенты трения покоя и скольжения. Однако эффект трения качения следует учитывать, когда груз погружен в неподметенное транспортное средство на остатки груза, например гранулы или просто щепки. В этом случае возникает эффект качения, и коэффициент трения качения значительно меньше коэффициента трения скольжения и в некоторых случаях стремится к нулю.

Поэтому наиважнейшим вспомогательным средством крепления в арсенале водителя транспортного средства является щетка.

2. Основные формулы крепления условия несмещаемости груза

"Сумма сил трения и крепления равна или больше смещающей силы, возникающей при изменении условий движения (торможение, начало движения, поворот или смена полосы).

При блокировке это условие выглядит следующим образом:

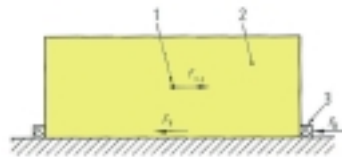
$$F_B + F_F = F_{X, Y},$$

где

$F_{X, Y}$ - смещающая сила;

F_F - сила трения;

F_B - сила крепления, в данном случае - блокирующая сила.



$$F_B + F_F = F_{X, Y},$$

$$F_B + \mu m c_z g = m c_{x, y} g,$$

$$F_B = (c_{x, y} - \mu c_z) m g,$$

где

m - масса груза;

g - ускорение свободного падения;

c_x , c_y , и c_z - соответствующие коэффициенты ускорения;

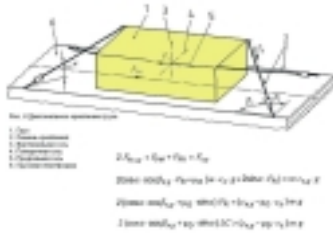
μ - коэффициент трения.

Мы рассматриваем автомобильную транспортировку, где $C_z = 1$.

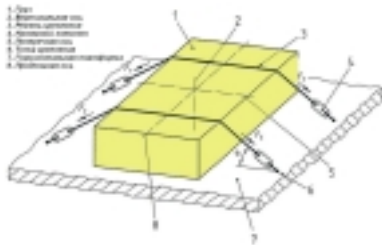
Таким образом, когда сила трения будет равна смещающей силе, т. е. когда

соответствующие коэффициенты ускорения равны коэффициенту трения - нет необходимости в дополнительном креплении груза.

При креплении растяжками это условие выглядит следующим образом: (иллюстрация из стандарта EN 12195-1)



Пример:
 Расчет по стандарту EN 12195-1
 Крепление четырехтонного станка от смещения вперед 4 растяжками.
 Вертикальный угол установки ремней $\alpha = 20 - 65^\circ$.
 Горизонтальный угол установки ремней $\beta = 6 - 55^\circ$.
 Коэффициент ускорения $C_x = 0,8$
 При коэффициенте трения $\mu = 0,2$ требуемая рабочая нагрузка растяжек $LC = 4000 \text{ daN}$.
 При коэффициенте трения $\mu = 0,3$ требуемая рабочая нагрузка растяжек $LC = 2000 \text{ daN}$.
 При коэффициенте трения $\mu = 0,6$ требуемая рабочая нагрузка растяжек $LC = 750 \text{ daN}$.
 При коэффициенте трения $\mu = 0,8$ требуемая рабочая нагрузка растяжек $LC = 0$. В креплении нет необходимости.



Крепление прижимом

Необходимая сила натяжения креплений

$$F_T \geq \frac{(C_{x,y} - \mu) m \cdot g}{n \cdot k \cdot \mu \cdot \sin \alpha}$$

Необходимое количество креплений

$$n \geq \frac{(C_{x,y} - \mu) m \cdot g}{k \cdot \mu \cdot \sin \alpha \cdot F_T}$$

где
 F_T - необходимая сила натяжения ремней;
 m - масса груза;
 g - ускорение свободного падения;
 C_x, C_y и C_z - соответствующие коэффициенты ускорения;
 μ - коэффициент трения;
 α - вертикальный угол установки ремней;
 k - коэффициент передачи.

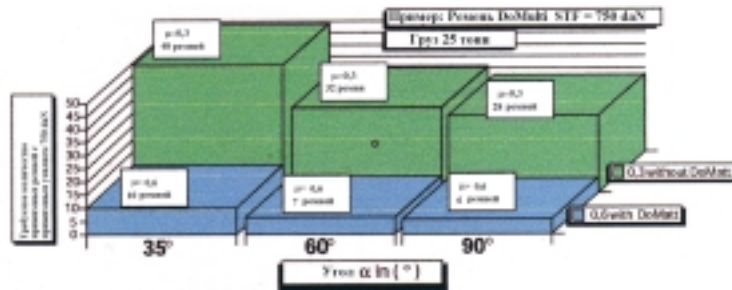
Если мы посмотрим, как будет изменяться количество ремней при изменении

коэффициента трения, то увидим, что трение является наиважнейшим элементом крепления.

Пример:
 расчет по стандарту EN 12195-1.
 Крепление четырехтонного станка от смещения вперед прижимными ремнями с прижимающей силой $STF=250 \text{ daN}$.
 Вертикальный угол установки ремней $\alpha = 60^\circ$.

Коэффициент ускорения $C_x = 0,8$.
 При коэффициенте трения $\mu = 0,3$ требуемое количество ремней - 21 шт.
 При коэффициенте трения $\mu = 0,6$ требуемое количество ремней - 5 шт.
 При коэффициенте трения $\mu = 0,8$ требуемое количество ремней - 0.
 Другой пример иллюстрируется диаграммой компании Dolezuch, которая иллюстрирует, как изменяется количество требуемых ремней с прижимающей силой $STF = 750 \text{ daN}$ при креплении груза весом 25 т.

О чем следует помнить всегда - о том, что трение само по себе не может являться единственным средством крепе-



центом трения в приложениях 14 и 15 к стандарту VDI 2700. Приложение 14 устанавливает порядок определения коэффициента трения, а приложение 15 дает список материалов с увеличенным коэффициентом трения.

Появление этих двух приложений позволило упорядочить правильное применение материалов и дало толчок к развитию исследований и производства специальных материалов с повышенным коэффициентом трения, сертифицированных производителем и обладающим дополнительными техническими характеристиками, которые позволяют обеспечить сохранную транспортировку грузов. Кроме того, производитель дает гарантию на эти материалы. Примеры таких прокладочных материалов приведены на фотографиях.



А в Российской Федерации...

Единственный документ, который хоть как-то рекомендует применение материалов с повышенным коэффициентом трения, - это "Правила безопасной морской перевозки грузов", утвержденные приказом Минтранса России от 21 апреля 2003 г. N ВР-1/п.

Таблица п. 4.1.

Пара трения	Коэффициент трения покоя, f	Arctg (f), градусы
Чугун по стали	0,32	18
Чугун по дереву	0,72	36
Чугун по бризолу, рубероиду	0,81	39
Сталь по стали	0,15/0,18/-;21	12
Сталь по дереву	0,3/0,4/0,5 - 0,6 (0,5)	27
Сталь по резине	0,5/0,6/0,7 (0,6)	31
Сталь по рубероиду	0,7	35
Дерево по дереву	0,45/0,65/ (0,55)	29
Резина по дереву	0,6/0,8 (0,7)	35
Мешковина (джут) по мешковине	0,62	32
Мешковина по стали	0,45	25
Мешковина по дереву	0,5	27
Железобетон по дереву	0,55	29
Бумага по бумаге	0,4	22
Бумага по стали	0,35	19
Бумага по дереву	0,4	22

Приложение № 4. Справочное.

Технические характеристики материалов с повышенным коэффициентом трения

1. Бризол марок БР-С и БР-П по ТУ 38.1051819-88 представляет собой безосновный материал, изготовленный методом вальцевания и последующего каландрирования смеси, состоящей из нефтяного битума, дробленой резины (из старых автопокрышек), асбеста и пластификатора. Бризол поставляется в рулонах шириной 425 - 1000 мм. Длина полотна в рулоне 10 - 50 м.

2. Рубероид представляет собой картон по ГОСТ 3135, пропитанный мягкими нефтяными битумами (кровельными) по ГОСТ 9548 с последующим нанесением на обе стороны полотна тугоплавкого битума с наполнителем и крупнозернистой посыпкой с одной стороны полотна. Рубероид поставляется в рулонах шириной 1000 - 1050 мм. Длина полотна в рулоне 10 - 15 м. Токсичных веществ при нагревании до 70 °С рубероид не выделяет.

3. Изол по ГОСТ 10296 представляет собой безосновный биостойкий гидро- и пароизоляционный материал, получаемый из резинобитумного вяжущего вещества, пластификатора, наполнителя, антисептика и полимерных добавок. Поставляется в виде рулонов из полотна толщиной 2 мм, шириной 800 или 1000 мм и длиной 10 или 15 м.

4. Стеклорубероид по ГОСТ 15879 представляет собой кровельный и гидроизоляционный материал на стекловолоконной основе, получаемый путем двустороннего нанесения битумного вяжущего вещества на стекловолоконный холст. Поставляется в виде полотна толщиной 2,5 мм, шириной 960 или 1000 мм и площадью 10 м, свернутого в рулоны. Выпускается с крупнозернистой (С-РК), мелкозернистой (С-РМ) или чешуйчатой (С-РЧ) посыпкой с лицевой стороны и мелкой (пылевидной) с нижней стороны. Применение стеклорубероида с чешуйчатой посыпкой (С-РЧ) для целей крепления груза не допускается.

5. Древесина преимущественно малоценных пород в виде досок, брусьев, клиньев и фанеры.

6. Другие виды специальных материалов с повышенным коэффициентом трения или клеящим эффектом.

При расчетах смещаемости грузов следует применять значения коэффициентов трения, выделенные жирно в таблице п. 4.1, если в информации о грузе не указаны иные значения.

Немного грустно... ■



Крепление груза на автомобильных транспортных средствах

- независимая экспертиза, сертификация
- семинары, консультации, тренинги
- расчеты крепления любой сложности
- расследование причин аварий
- регулирование креплений по всему миру

Phone: +7 495 739 8674
 Phone: +7 495 779 6430
 Fax: +7 495 739 8675
 GSM: +7 925 787 3993
 GSM: +7 916 630 2002

anataly.shchelev@krogius.com
<http://www.krogius.com>

Школа капитана Щмелева