

Ультразвуковая релаксация остаточных напряжений обеспечивает высокий экономический эффект в сфере производства. Так, в настоящее время для релаксации напряжений к деталям типа колец подшипников применяется низкотемпературный отпуск в электропечах. Но при этом затрачивается большое количество электроэнергии. Ультразвуковая релаксация остаточных напряжений отличается высоким энергосбережением. В качестве примера в таблице 2 приведено сравнение различного вида затрат на релаксацию остаточных напряжений по традиционной и по предлагаемой ультразвуковой технологиям.

Как видно из таблицы, по всем показателям ультразвуковое оборудование превосходит существующее. Резко снижаются капитальные затраты, повышается производительность обработки, снижаются потребные производственные мощности, резко, в несколько десятков раз, снижаются затраты электроэнергии. В результате этого не только для вновь создаваемых предприятий, но и для действующих предприятий экономически выгодно приобрести ультразвуковое оборудование и за счет экономии только одной электроэнергии менее, чем за один год, окупить затраты на его приобретение.

Таким образом, ультразвуковая релаксация остаточных напряжений позволяет эффективно заменить традиционный способ релаксации в печах и обеспечивает существенное снижение трудоемкости изготовления деталей, энергозатрат и повышение качества обработки.

Список литературы

- Патент РФ № 2140842. Бюл. №8 20.03.99 Способ вибростарения деталей. / Королев А.В., Чистяков А.М., Кривега В.А., Моисеев Г.Н.
- Патент RU № 2478031 Бюл. №2 27.05.2011. Способ релаксации остаточных напряжений. /Королев А.В., Королев А.А.
- Патент RU № 2447110 Бюл. №2 10.05.2011. Способ релаксации остаточных напряжений. /Королев А.В., Королев А.А.
- Королев А.В., Чистяков А.М., Кривега В.А., Моисеев В.Г. Технология виброобработки деталей подшипников // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: Межвуз. науч. сбор. - Саратов, СГТУ, 1997.-с.4-11.

О БУКСОВАНИИ ФРИКЦИОННЫХ СЦЕПЛЕНИЙ В КОРОБКАХ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

Шарипов Валерий Мирхитович,
доктор технических наук, профессор;
Дмитриев Михаил Игоревич,
кандидат технических наук, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

В настоящее время при разработке коробок передач (КП) автомобилей и тракторов, где переключение передач осуществляется без разрыва потока мощности от двигателя с помощью фрикционных сцеплений (ФС) с гидроподжатием большое внимание уделяется управлению давлением в бустерах ФС и процессу переключения в целом. Это связано с тем, что от качества процесса переключения во многом зависит долговечность узлов и агрегатов, участвующих в переключении передач.

В некоторых работах при математическом моделировании процесса переключения выдвигаются предположения о том, что при переключении передач могут буксовать ФС Φ_k включаемой и Φ_{k-1} выключаемой передачи [2-5]. При этом во всех этих работах отсутствует экспериментальное подтверждение этого допущения. Хотя теоретически, с точки зрения самой возможности реализации одновременного буксования двух ФС, это вполне возможно, однако к реальному процессу переключения передач в КП такие представления не имеют отношения и являются ошибочными.

Чтобы обосновать это рассмотрим процесс переключения передач без разрыва потока мощности на примере элементарного узла КП с двумя параллельными валами (рис. 1) [7, 8].

Примем, что в начальный момент времени ($t = 0$) ФС Φ_{k-1} замкнуто и поток мощности от двигателя передается только через передачу $K-1$ (рис. 1,а). Процесс переключения начинается включением ФС Φ_k в то время, когда ФС Φ_{k-1} еще остается замкнутым и продолжает передавать крутящий момент. Физически процесс включения

ФС под собой предполагает подачу давления в бuster ФС, постепенное сжатие пакета дисков, и как следствие его буксование. В результате, включаемое ФС Φ_k , буксая, начинает передавать мощность в направлении от ведущего вала 1 к ведомому валу 2. Однако, величины момента M_t трения ФС Φ_k в начале переключения еще недостаточно для преодоления момента M_c сопротивления движению автомобиля или тракторного агрегата, приведенного к ведомым дискам включаемого ФС. Здесь $M_c = M_c^*/u_k$.

Поэтому для обеспечения безразрывности процесса переключения передачи в КП ФС Φ_{k-1} должно продолжать передавать определенный крутящий момент M_{t-1} , величина которого при прочих равных условиях зависит от величины момента M_t трения включаемого ФС Φ_k на передаче K .

Экспериментальными исследованиями [2, 6] установлено, что угловая скорость вала двигателя ω_d в процессе переключения передач в КП автомобилей и тракторов при перекрытии передач с помощью двух ФС изменяется незначительно. Поэтому если пренебречь изменением угловой скорости ω_d двигателя в период одновременной работы двух ФС, то уравнение моментов будет определяться выражением (см. рис. 1,б):

$$M_{t-1} u_{K-1} + M_t u_K = M_c^*, \quad (1)$$

где M_c^* – момент сопротивления движению автомобиля или тракторного агрегата, приведенный к валу 2 КП.

Из уравнения (1) видно, что на первом этапе переключения передач крутящий момент M_d двигателя передается валу 2 через два ФС одновременно, двумя параллельными потоками. При этом каждая из передач M трансформирует подводимую к ней часть момента двигателя в соответствии со своим передаточным числом.

Следовательно, пренебрегая потерями в зацеплении зубчатых колес, силовое передаточное число \hat{u} рассматриваемого узла КП на первом этапе переключения изменяется в интервале между величинами кинематических

передаточных чисел u_{K-1} и u_K соответственно $K-1$ и K передачи, т.е.

$$u_K \leq \hat{u} \leq u_{K-1}.$$

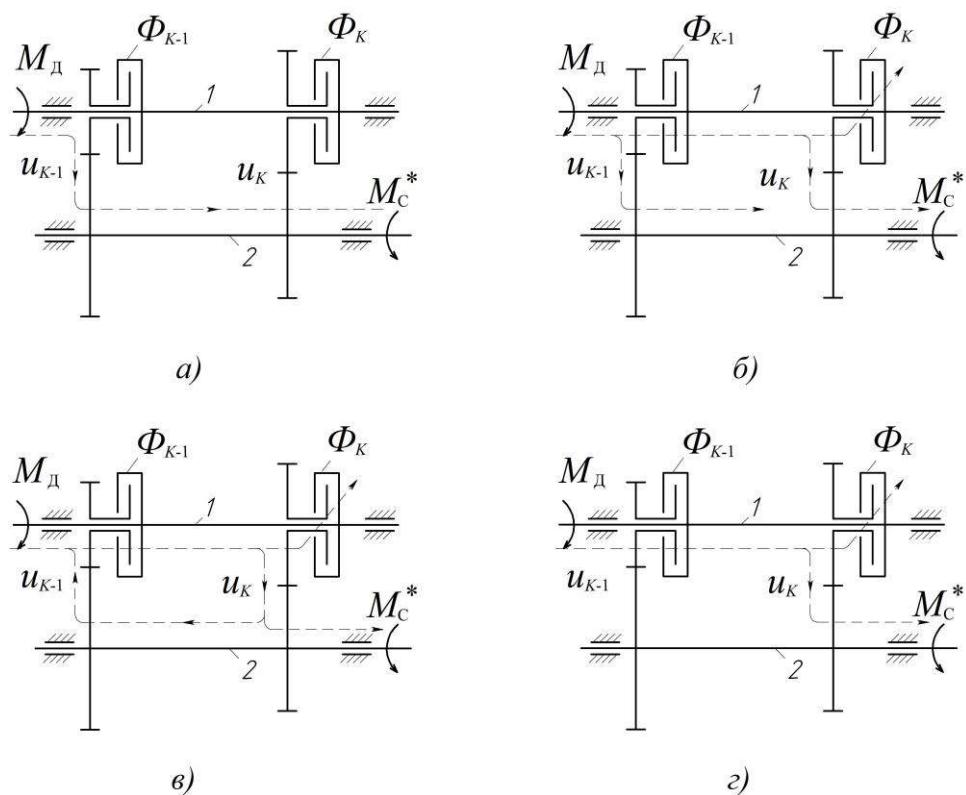


Рис. 1. Потоки мощности в КП:

а – при включенной $K-1$ передаче; б – при оптимальном перекрытии передач; в – при избыточном перекрытии передач; г – при разгоне автомобиля или тракторного агрегата на K передаче после завершения процесса перекрытия передач

Таким образом, моменты M_{T-1} и M_T , передаваемые валу 1 со стороны ФС, являются в отношении вала 1 тормозными, что свидетельствует о передаче мощности от вала 1 к валу 2 двумя параллельными потоками через передачи $K-1$ и K (рис. 1,б).

Очевидно, что по мере увеличения давления в бу-

стере ФС соответствующий ему момент M_T также увеличивается. Другими словами поток мощности, передаваемый через передачу K , возрастает, а через передачу $K-1$ уменьшается.

Когда момент трения M_T на включаемом ФС Φ_K достигнет значения, достаточного для преодоления момента M_c сопротивления движения автомобиля или тракторного агрегата, приведенного к ведомым дискам включаемого ФС Φ_K , то ФС Φ_{K-1} может быть полно-

стью выключено и разрыва потока мощности не произойдет. Таким образом, процесс безразрывного переключения передач в КП может быть закончен, когда поток мощности через передачу $K-1$ обращается в ноль.

Следовательно для обеспечения безразрывного переключения передач в КП и дальнейшего разгона автомобиля или тракторного агрегата на включаемом ФС Φ_K необходимо своевременно выключить ФС Φ_{K-1} , но не раньше, чем момент трения на ФС Φ_K станет равным в процессе буксования моменту M_c сопротивления движения автомобиля или тракторного агрегата, приведенного к ведомым дискам включаемого ФС Φ_K . Иначе говоря, если ФС Φ_{K-1} выключиться, когда $M_T < M_c$, то произойдет разрыв потока мощности в КП.

Для своевременного выключения ФС Φ_{K-1} необходимо установить такое значение давление в ее бустере, чтобы обеспечивалась минимальная временная задержка

размыкания дисков ФС Φ_{K-1} при подаче команды на переключение передачи. Однако при этом должно обеспечиваться достаточное усилие сжатия пакета дисков ФС

Φ_{K-1} , необходимое для преодоления момента M_C сопротивления движения автомобиля или тракторного агрегата, приведенного к валу включаемого ФС Φ_K ,

необходимое для преодоления момента трения M_C сопротивления движения автомобиля или тракторного агрегата, приведенного к валу включаемого ФС Φ_K , чтобы не произошло преждевременного отключения передачи и, как следствие, разрыва потока мощности. Для этого необходимо учитывать обстоятельства, приведенные ниже.

До тех пор, пока ФС Φ_{K-1} замкнуто и вплоть до начала срыва дисков, его момент трения определяется величиной статического коэффициента трения (коэффициента трения покоя) f_0 в контакте неподвижных дисков.

Момент трения дисков буксующего ФС Φ_K трения будет определяться динамическим коэффициентом трения (коэффициентом трения скольжения) f , который по величине существенно меньше коэффициента трения покоя f_0 [1, 9].

Так как $f_0 > f$, то в процессе переключения передачи при сбросе давления рабочей жидкости в бустере выключаемого ФС Φ_{K-1} до определенной (даже весьма маленькой) величины оно может оставаться замкнутым, в то

время, как включаемое ФС Φ_K даже при большем давлении жидкости в его бустере будет буксовать.

Активный сброс давления в бустере выключаемого ФС Φ_{K-1} может привести к тому, что произойдет срыв и буксование ФС, и, как следствие, может нарушиться условие безразрывности потока мощности в КП в связи с тем, что момент трения скольжения на выключаемом ФС

Φ_{K-1} после его срыва, приведенный к ведомым дискам включаемого ФС Φ_K , в сумме с моментом на включаемом

ФС Φ_K будут меньше момента M_C сопротивления движения автомобиля или тракторного агрегата, приведенного к ведомым дискам включаемого ФС Φ_K , т.е. не

будет выполняться равенство (1).

Возможность буксования выключаемого ФС Φ_{K-1} в процессе переключения передачи имела бы место быть, если во время его срыва момент трения на включаемом ФС Φ_K в сумме с моментом выключаемого

буксующего ФС Φ_{K-1} , приведенным к ведомым дискам

включаемого ФС Φ_K был меньше момента M_C сопротивления движения автомобиля или тракторного агрегата, приведенного к ведомым дискам включаемого ФС Φ_K , т.е. не выполнялось бы равенство (1).

Однако с учетом того, что процесс переключения передач в КП по времени проходит не более чем за 0,2...0,5 с, а также в связи с инерционностью гидравлических процессов добиться на практике этого применительно к процессу переключения передач в КП невозможно.

Возможность буксования выключаемого ФС в процессе переключения передач исключается также тем фактом, что с ростом значения момента M_T трения ФС Φ_K (в процессе его буксования) доля момента M_{T-1} ФС Φ_{K-1} в уравнении (1) пропорционально уменьшается.

Таким образом, ФС Φ_{K-1} постепенно разгружаясь, как бы снимает с себя усилие (момент), способное ее сорвать и перевести из замкнутого состояния в буксующее.

Учитывая вышеизложенные обстоятельства, можно заключить, что процесс переключения передач в КП без разрыва потока мощности происходит при буксова-

нии дисков ФС Φ_K включаемой передачи и замкнутых дисках ФС Φ_{K-1} выключаемой. При этом диски выключаемого ФС Φ_{K-1} должны быть подготовлены к выключению за счет снижения давления в бустере до величины,

обеспечивающей передачу ФС доли момента M_C сопротивления движению и, одновременно, гарантирующей быстрый сброс и полное (желательно без остаточного момента ведения) выключение ФС Φ_{K-1} по факту достижения

ФС Φ_K включаемой передачи значения момента M_C сопротивления движения. Такое переключение пе-

редач в КП, в процессе которого ФС Φ_{K-1} полностью выключается, когда момент M_{T-1} на его валу становится

равным нулю, а значение момента M_T на валу ФС Φ_K

достаточно для преодоления момента M_C сопротивления движению автомобиля или тракторного агрегата называется переключением передач без разрыва потока мощности при оптимальном перекрытии. В данном случае время t перекрытия при переключении передач в КП

называется оптимальным и равным t_0 [7, 8, 10-12].

Если по окончании первого этапа (оптимального перекрытия) ФС Φ_{K-1} передачи $K-1$ не будет выключено, то начнется второй этап переключения передач (с

избыточным перекрытием). Он начинается в момент времени, когда крутящий момент M_{T-1} , передаваемый ФС Φ_{K-1} , обратится в ноль. Необходимо отметить, что здесь в момент времени $t = t_0$ крутящий момент M_{T-1} ФС Φ_{K-1} обращается в ноль даже при полностью включенным ФС. Это связано с тем, что в момент времени $t = t_0$

величина момента M_T трения на валу ФС Φ_K становится достаточной для преодоления момента M_C сопротивления движения автомобиля или тракторного агрегата, приведенного к валу включаемого ФС Φ_K , а ФС Φ_{K-1} не буксует.

При $t > t_0$ момент M_T трения на включаемом ФС Φ_K продолжает увеличиваться. В результате этого включаемая передача начинает подводить к ведому валу большую мощность, чем требуется для обеспечения движения автомобиля или тракторного агрегата со скоро-

стью V_{K-1} , соответствующей передаче $K-1$, что должно было вызвать разгон машины от скорости V_{K-1} до V_K . Однако, если момент M_{T-1} ФС Φ_{K-1} выключающей передачи еще достаточно велик, то передача $K-1$ препятствует разгону автомобиля или тракторного агрегата, отводя избыточную мощность, подводимую передачей K , обратно с ведомого вала 2 на ведущий вал 1 КП (рис. 1,в). Это приводит к циркуляции мощности в контуре узла КП, образованном валами 1 и 2 и передачами $K-1$ и K .

Несмотря на умозрительную возможность срыва ФС Φ_{K-1} под воздействием циркуляции мощности при избыточном перекрытии, в реальных условиях работы КП этот срыв невозможен по тем же причинам, что и на этапе оптимального перекрытия. Еще раз отметим, что если дав-

ление в бустере ФС Φ_{K-1} снижается до минимального значения, момент трения его дисков определяется по-прежнему величиной статического коэффициента трения f_0 , а момент M_u циркулирующий, которым нагружается ФС Φ_{K-1} в течение этапа избыточного перекрытия, не успевает достигать значения, достаточного для срыва его дисков из-за непродолжительности самого этапа. В каждый момент времени переключения передачи момент M_{T-1} , передаваемый выключаемым ФС Φ_{K-1} , будет равен разности момента трения на включаемом ФС Φ_K и момента M_C сопротивления движению автомобиля

или тракторного агрегата, приведенных к валу выключающего ФС Φ_{K-1} . При приведении момента циркуляции M_u , которым нагружается ФС Φ_{K-1} на этапе избыточного перекрытия, к дискам выключаемого ФС Φ_{K-1} получим:

$$M_u = -M_{T-1} = \frac{M_T u_K - M_C^*}{u_{K-1}}.$$

После завершения этапа избыточного перекрытия передач в КП следует этап разгона ведомых частей автомобиля или тракторного агрегата (рис. 1,г), который начинается после выключения ФС Φ_{K-1} . Вследствие этого под действием момента M_T ФС Φ_K происходит разгон автомобиля или тракторного агрегата на включаемой передаче в КП. Этот этап переключения отличается от процесса трогания автомобиля или тракторного агрегата с места с помощью главного ФС в основном только начальными условиями и подробно разобран в работах [7, 8, 10-12]. Поэтому данный этап разгона машины мы оставим без внимания.

Изложенные выше теоретические положения опираются на созданные нами математические модели, достоверность которых подтверждена экспериментальными исследованиями [7, 8, 10-12].

Для исследования процесса переключения передач в КП без разрыва потока мощности на кафедре «Автомобили и тракторы» Университета машиностроения был создан стенд, позволяющий управлять процессом переключения передач в двухступенчатой КП, имитировать различные режимы нагрузления и регистрировать параметры, описывающие состояние элементов КП, в том числе: давление в бустерах ФС, моменты, передаваемые

включаемым Φ_K и выключаемым Φ_{K-1} ФС, угловые частоты вращения звеньев и время.

На данном стенде впервые была осуществлена запись крутящих моментов одновременно на включаемом Φ_K и выключаемом Φ_{K-1} ФС при переключении передач в КП с различной степенью их перекрытия (рис. 1). Полученные результаты экспериментальных исследований полностью подтвердили результаты теоретических положений данной работы.

Таким образом, в процессе переключения передач в КП без разрыва потока мощности момент трения выключаемого ФС Φ_{K-1} определяется статическим коэффициентом трения f_0 , который всегда больше коэффициента трения скольжения f . В результате процесс переключения передач в КП без разрыва потока мощности происходит при буксовании дисков ФС Φ_K включаемой передачи и замкнутых дисках ФС Φ_{K-1} выключаемой. При

этом величина крутящего момента, передаваемого выключаемым ФС Φ_{K-1} , зависит от величины момента трения включаемого ФС Φ_K .

Момент трения на включаемом ФС Φ_K при его буксовании наиболее часто достигает своего максимального значения. Однако возможны случаи процесса переключения передач в КП, когда включаемое ФС заканчивает свое буксование до полного его включения.

Результаты данной работы распространяются и составные КП DSG (Direct Shift Gearbox), состоящие из двух параллельных КП, выполненных в одном общем корпусе, где переключение передач осуществляется двойным ФС и синхронизаторами [13, 14]. В таких КП перекрытие переключения передач выполняется двойным ФС.

Список литературы

- Барский И.Б., Борисов С.Г., Галягин В.А. и др. Сцепления транспортных и тяговых машин/ Под ред. Ф.Р. Геккера, В.М. Шарипова, Г.М. Щеренкова. М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
- Гирицкий О.И. Проблема развития автобусостроения и пути ее решения: Дисс...д-ра техн. наук. – М., 2000. – 325 с.
- Городецкий К.И., Алендеев Е.М., Тимофеевский А.А. Разгон тракторного агрегата и переключение передач с подвключением фрикционных муфт // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. - №2. – С. 14-17.
- Городецкий К.И., Мельников А.Ю., Муратова С.К., Алендеев Е.И.. Моделирование переключения передач тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. - №4. – С. 11-17.
- Курочкин Ф.Ф. Метод выбора рациональных характеристик процесса переключения в автоматической коробке передач автомобиля: Дисс...канд. техн. наук. М., 2008 – 149 с.
- Львовский К.Я. Исследование процессов переключения передач под нагрузкой в тракторных трансмиссиях: Дис...канд. техн. наук. М., 1970. – 276 с.
- Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Крючков В.А. Нагруженность фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач. Методы расчета параметров буксования фрикционных муфт и выравнивающего элемента синхронизаторов при переключении передач. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 122 с.
- Шарипов В.М., Городецкий К.И., Дмитриев М.И. и др. Переключение передач в КП трактора без разрыва потока мощности // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. - №5. - С. 19-23.
- Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. – 752 с.
- Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Зенин А.С. Математическая модель процесса переключения передач в коробке передач трактора// Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2014. - № 5. – С. 50-69.
- Sharipov V., Dmitriev M. Definition of Slippage Parameters of Friction Clutches for Different Installation Versions in Tractor Gearboxes// SAE Technical Paper 2013-01-2894, 2013, doi:10.4271/2013-01-2894.
- Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Зенин А.С. и др. Определение параметров буксования фрикционных муфт для различных вариантов их установки в тракторных коробках передач при переключении передач без разрыва потока мощности// Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – Т. 1. - № 1(15). - С. 242-248.
- Шарипов В.М., Крючков В.А., Дмитриев М.И. и др. Новое направление в развитии конструкций коробок передач автомобилей и тракторов// Сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – С. 214-216.
- Шарипов В.М., Апелинский Д.В., Арутюнов Л.Х. и др. Тракторы. Конструкция/ Под общ. ред. В.М. Шарипова. М.: Машиностроение, 2012. – 790 с.

МИКРОАНАЛИЗ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МАТЕРИАЛОВ

Шастин Владимир Иванович,
к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технология деревообработки» САПЭУ, г. Иркутск
Коновалов Николай Петрович,
д.т.н., профессор, первый проректор ИрНИТУ

Введение. Износстойкость сопряжений в современном машиностроении имеет решающее значение и в основном определяет работоспособность и долговечность машин.

Процесс изнашивания зависит от большого числа факторов, к которым в первую очередь следует отнести: сочетание физико-механических свойств, труящихся материалов, шероховатость и точность изготовления сопрягаемых деталей, скорость и характер трения, удельное давление, условия смазки и т.д. Качественное и количественное соотношение этих и других факторов определяют механизм изнашивания и характеризуют тот или иной вид износа.

Проблема повышения износстойкости решается путем изучения закономерностей изнашивания при самых различных условиях трения и влияния большого числа характеристик поверхностных слоев на процесс изнашивания. Механизм изнашивания настолько сложен, а разнообразие факторов, влияющих на трение настолько велико, что, несмотря на большой объем исследований в области трения и износа, настоящая проблема на сегодняшний день остается не менее актуальной. Ее изучению посвящено большое число фундаментальных и прикладных работ [1, 2]. Исходя из результатов проведенных работ, выявлены основные закономерности и получены зависимости, описывающие характер износа при различных условиях трения.