

называют всякое изменяющееся во времени пространственное чередование максимумов и минимумов любой физической величины, например плотности вещества, температуры, деформации, напряженности электрического поля и т. д.

По аналогии с этими определениями можно отметить, что в кривошипно-ползунном механизме имеются все признаки волнового движения. Здесь возмущению подвергается контур механизма, составленный из его звеньев, положение которых в пространстве непрерывно меняется. Мы имеем дело с вынужденной волной переменной формы, генерируемой ведущим звеном- кривошипом. В процессе движения одни и те же положения звеньев контура механизма и соответствующие им перемещения ползуна периодически повторяются, что также подчеркивает их волновой характер. Таким образом, сходство явлений в обоих случаях позволяет отнести кривошипно-ползунный механизм к категории дискретно-волновых с жесткими звеньями.

Затронем еще один аспект обсуждаемого вопроса. Известно, что гармонические волны не переносят массу той среды, в которой они распространяются. Это устойчивое убеждение иногда относят даже к асимметричным одиночным волнам, способность которых к массопереносу уже убедительно доказана. Однако существует множество примеров технических устройств, в которых гармонические колебания звена, связанного с трансформирующей движение кинематической цепью механизма, преобразуются в дискретно-волновое движение рабочего органа, который непосредственно и осуществляет перенос вещества. К ним можно отнести, например вибрационные и инерционные конвейеры, а также и кривошипно-ползунный механизм. Например, в поршневых насосах с таким механизмом перекачка жидкости осуществляется за счет возвратно-поступательного движения поршня, соединенного с шатуном. При каждом рабочем ходе насос эстафетным способом (когда предыдущие объемы вещества выталкивают последующие) гонит жидкость отдельными волнами (порциями), функционируя как шаговый механизм дискретно-волнового движения. Поэтому говорить о бесперспективности использования в технических устройствах гармонических волн для переноса массы по меньшей мере опрометчиво.

УДК 669.056.9:629.118.6

В.Л. Басинюк

СОЗДАНИЕ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПЕРЕДАЧ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ

*Институт механики и надежности машин НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

Алюминиевые сплавы имеют втрое меньший, по сравнению со сталью, удельный вес и обладают лучшими демпфирующими характеристиками, что обуславливает привлекательность их применения для изготовления передач зацеплением пониженной виброактивности, используемых в кинематических приводах, топливных насосах и сервисных устройствах изделий аэрокосмического назначения, для которых вес элементов конструкции имеет не меньшее значение, чем надежность. К важнейшей особенности реализации этого подхода можно отнести также возможность существенного снижения уровня виброакустической активности

приводной системы [1], практически не достижимого путем применения других известных методов [2,3].

Проблема относительно невысокой износостойкости трущихся сопряжений из алюминиевых сплавов была решена при создании технологий их упрочнения анодно-катодной микродуговой обработкой, позволившей обеспечить преобразование поверхностного слоя деталей толщиной 100...300 мкм в оксид алюминия Al_2O_3 , имеющего твердость 8...22 ГПа. Вместе с тем, как показал анализ результатов исследований, проведенных в ИМИНМАШ НАН Беларуси, к наиболее характерным особенностям этих покрытий, которые необходимо учитывать при использовании упрочненных микродуговой обработкой алюминиевых сплавов для создания передач зацеплением, можно отнести следующее:

- при взаимодействии трущихся поверхностей в режиме сухого или граничного трения возникают повышенные коэффициенты трения, позволяющие отнести в этом случае применения Al_2O_3 к фрикционным материалам, вследствие чего при скольжении с нагружением по нормали к поверхности появляются значительные циклические касательные напряжения, приводящие к возникновению усталостных трещин на границе “сплав алюминия - Al_2O_3 ”, вследствие чего в определенный момент времени упрочненный слой начинает интенсивно разрушаться и отслаиваться, что приводит к потере работоспособности узла;

- сформированное анодно-катодной микродуговой обработкой покрытие из Al_2O_3 имеет определенное объемное содержание пор и микротрещин и расположено на относительно мягкой подложке из сплава алюминия, вследствие чего оно может разрушаться при возникновении сравнительно невысоких локализованных нагрузок, варьирующих в зависимости от толщины, состава и структуры покрытия в диапазоне от 3 МПа до 10 МПа, которые могут возникать в моменты пуска или экстренной остановки привода;

- твердость покрытия Al_2O_3 возрастает, а объем пористости и микротрещин снижается по толщине покрытия при движении от поверхности детали к материалу основы, при этом наиболее качественный и обладающий повышенными прочностными свойствами слой лежит на прилегающем к основе участке покрытия, вследствие чего в ряде случаев рекомендуется поверхностный слой до одной трети от общей толщины покрытия удалять механической обработкой [4,5], которая возможна только шлифованием или алмазным хонингованием, в противном случае может происходить скалывание частиц дефектной наружной поверхности, имеющих твердость 8-10 ГПа, что приводит к их попаданию в трущиеся сопряжения и задирам их поверхностей;

- наиболее целесообразной является толщина покрытия Al_2O_3 100...150 мкм, поскольку при большей толщине существенно возрастает его стоимость из-за повышенных затрат электроэнергии на формирование упрочненного слоя [4,5] (не на всех сплавах алюминия может быть достигнута существенно большая, по сравнению с приведенной выше, толщина покрытия), а при меньших - не всегда обеспечивается требуемая прочность при возникновении статического локализованного нагружения;

- формирование покрытий из Al_2O_3 на поверхности деталей из-за приведенных выше дефектов приводит к существенному снижению их усталостной прочности при наличии циклических напряжений растяжения-сжатия, при этом по мере их снижения влияние на долговечность элементов привода возрастает [6].

Приведенное выше ограничивает область применения алюминиевых сплавов с рассматриваемым типом упрочняющих износостойких покрытий следующими техническими решениями:

- узлами и элементами конструкций, работающими в режиме сухого трения [7,8], то есть фрикционными кинематическими передачами, при функционировании которых

исключен режим длительного проскальзывания при пусках и остановках, приводящий к интенсивному разогреву, схватыванию и разрушению покрытий, тормозными системами [9,10], в которых одна из контактирующих поверхностей (тормозных колодок) не является металлической и давление с ее стороны на Al_2O_3 незначительно, то есть максимальные касательные напряжения возникают только в упрочненном слое Al_2O_3 , и открытыми передачами с гибкой связью;

- трущимися сопряжениями, к которым можно отнести подшипники и опоры скольжения, шестеренчатые насосы низкого давления и различного рода направляющие, работа которых характеризуется относительно невысокими давлениями и наличием смазочной пленки между взаимодействующими поверхностями, обеспечивающей снижение до 0,005...0,04 коэффициента трения скольжения и эффективную реализацию повышенной способности поверхностных пор и трещин удерживать смазочный материал.

Таким образом наиболее целесообразная область применения в передачах зацеплением алюминиевых сплавов с традиционными упрочняющими покрытиями из Al_2O_3 , сформированными методом анодно-катодной микродуговой обработки, ограничивается классом кинематических смазываемых зубчатых и фрикционных передач, используемых в сервисных и измерительных устройствах.

С учетом приведенного выше повышенная надежность передач зацеплением при применении алюминиевых сплавов с износостойкими покрытиями Al_2O_3 может быть достигнута путем реализации следующих подходов (рис.1):

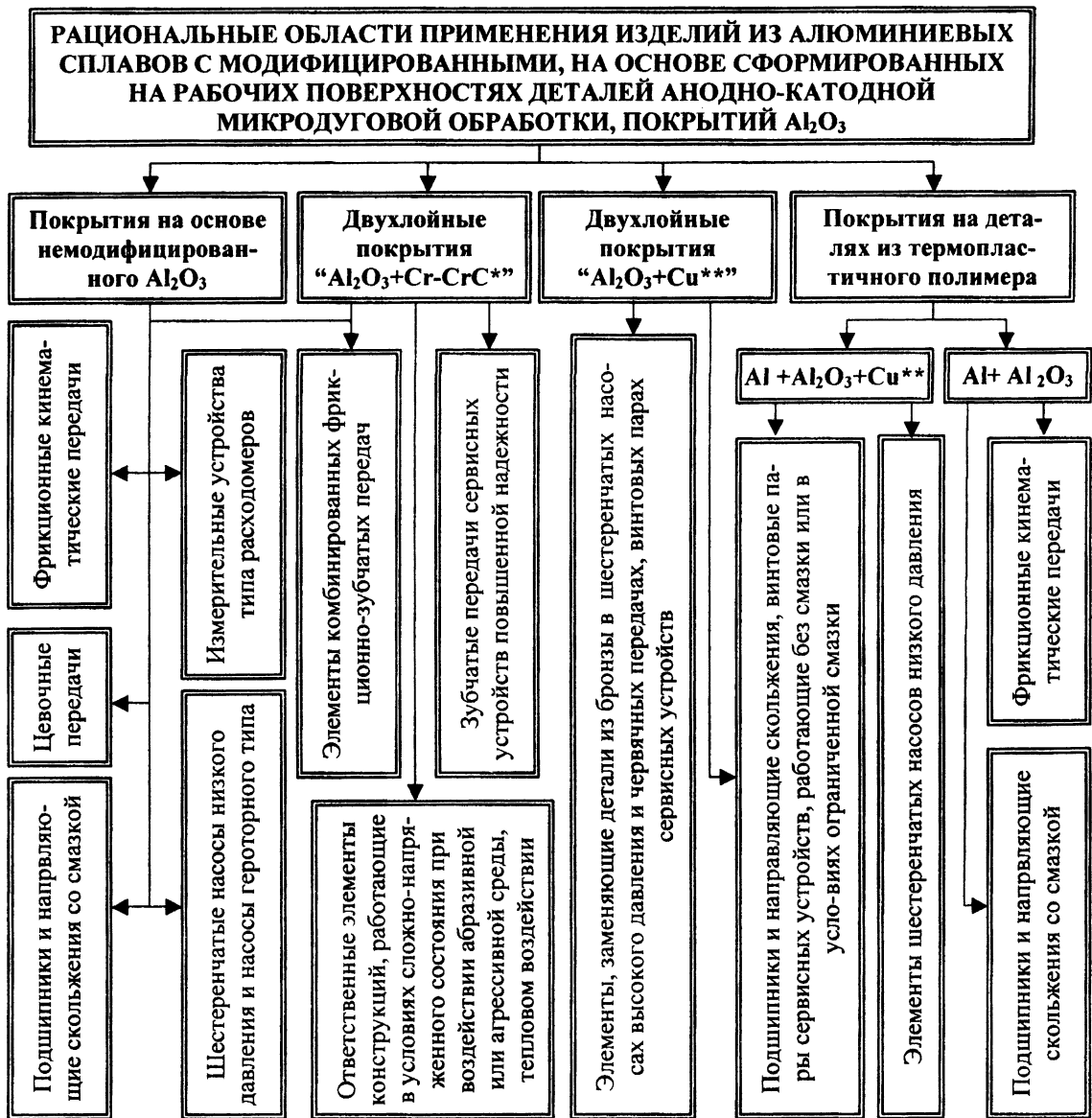
- выборе рационального типа и (или) конструкционного исполнения передачи зацеплением, позволяющего исключить или свести к минимуму возникновение фрикционного взаимодействия контактирующих поверхностей при относительном скольжении и повышенных локализованных контактных давлениях;

- созданию на поверхности деталей из алюминиевых сплавов двухслойных композиционных покрытий путем формирования на Al_2O_3 дополнительного антифрикционного и (или) упрочняющего поверхностный слой материала;

- комплексным сочетанием первого и второго подхода.

В существующих передачах зацеплением, наиболее высокими прочностными свойствами элементов конструкции обладают цевочные передачи [11], так как при работе зубьев их колес возникающие циклические напряжения растяжения-сжатия у их ножек и контактные напряжения вследствие многопарности зацепления и циклоидального профиля относительно невелики. В них, при взаимодействии зубчатого колеса с цевками, реализуется режим трения качения, то есть исключено длительное проскальзывание в нагруженном состоянии, которое при разрыве смазочной пленки может привести к разогреву и разрушению покрытия Al_2O_3 .

В сочетании с возможностями реализации повышенных передаточных чисел и применения при формировании рабочих профилей зубчатого колеса высокопроизводительных методов пластического деформирования, позволяющих обеспечить их повышенные точностные характеристики, этот вид передач можно отнести к одному из наиболее перспективных при создании сверхлегких передач трансмиссий и близких к ним по конструкционному исполнению насосов героторного типа для приводных систем сервисных и силовых устройств, ориентированных на использование в объектах аэрокосмического назначения.



* Покрyтие "Cr-CrC" при формировании может быть модифицировано твердосмазочными компонентами типа ультрадисперсный дисульфид молибдена

** Плакирующее Al_2O_3 антифрикционное покрyтие может быть выполнено на основе меди, бронзы и других антифрикционных или твердосмазочных материалов

Рис. 1. Области применения покрyтий на основе Al_2O_3 , сформированных анодно-катодной микродуговой обработкой

В традиционных эвольвентных зубчатых передачах существенное улучшение прочностных характеристик может быть достигнуто путем формирования на покрyтии из Al_2O_3 дополнительного слоя «Cr-CrC» толщиной 8...10 мкм путем его химического осаждения из паровой фазы, образующейся при термическом разложении хромоорганического соединения типа промышленной жидкости «Бархос», на нагретую до температуры 420-430°C деталь. В процессе осаждения требуется вакуум или нейтральная среда и давление паров в камере 7-9 Па. Тепловые режимы реализации этого процесса подбираются таким образом, чтобы обеспечить проникновение парообразных компонентов «Cr-CrC» хрома в трещины и поры поверхностного слоя (рис.2 а) Al_2O_3 и заполнение их. Процентное соотношение составляющих

«Cr-CrC» также регулируется режимами процесса пиролиза. При охлаждении детали до комнатной температуры в результате различных коэффициентов теплового расширения в переходном слое возникают значительные остаточные сжимающие напряжения. Твердость наружного покрытия из «Cr-CrC» варьирует в диапазоне 10-16 ГПа, обеспечивая ее повышенную износостойкость. В целом, в результате создания данного покрытия достигается повышение ограниченного предела выносливости деталей в 1,3-1,4 раза по сравнению с исходным состоянием сплава алюминия и

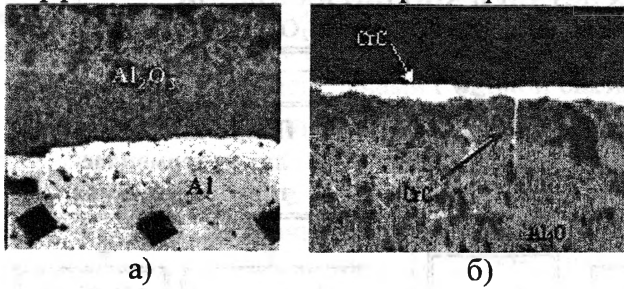


Рис.2. Микроструктура Al₂O₃ (а) и двухслойного покрытия «Al₂O₃-CrC» (б) [6]

в 2,4-2,5 раза по сравнению с деталями, имеющими покрытия Al₂O₃ [6].

Сформированные анодно-катодной микродуговой обработкой на поверхностях взаимодействующих деталей покрытия из Al₂O₃ в режиме сухого трения скольжения имеют повышенные, по сравнению со сталью, коэффициенты трения, достигающие в зависимости от контактных давлений значений 0,6 и более [6]. Поэтому в ряде случаев при выборе наиболее рационального типа передачи зацеплением для функционирования объекта в условиях открытого космоса могут быть созданы сверхлегкие фрикционные и планетарные передачи, имеющие повышенные долговечность и нагрузочную способность. Для исключения длительного проскальзывания надежность этих технических решений может быть существенно повышена путем создания комбинированной зубчато-фрикционной передачи (рис.3) [12].

Передачи этого типа содержат фрикционное сопряжение и зубчатое зацепление. Фрикционное зацепление передает крутящий момент, обеспечивая повышенную плавность вращения и отсутствие динамических нагрузок, связанных с входом и выходом зубьев из зацепления. Зубчатое зацепление выполняет функцию предохранительной муфты, которая в момент пуска и остановки передачи исключает проскальзывание, нагрев и разрушение поверхностей фрикционного сопряжения.

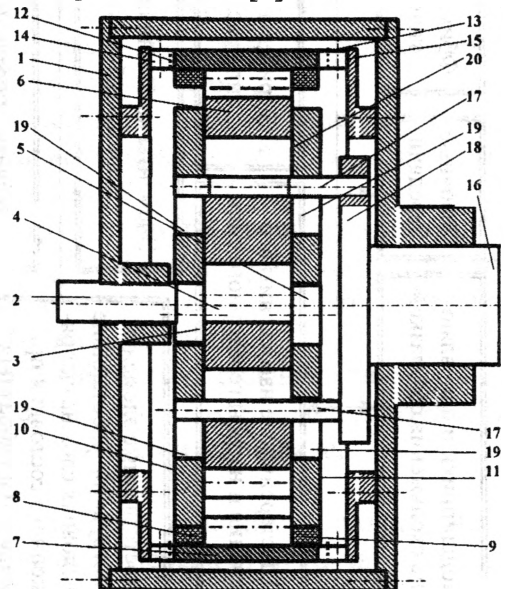


Рис. 3. Комбинированная планетарная передача: 1 – корпус; 2 – входной вал; 3, 4, 5 – эксцентрики; 6 – сателлит; 7 - гибкий деформируемый обод с внутренними зубьями; 8, 9 - кольцевые канавки; 10, 11 - нажимные ролики; 12, 13 - торцевые зубчатые полумуфты на гибком ободе; 14, 15 - торцевые зубчатые полумуфты на боковых крышках корпуса; 16 - выходной вал; 17 - пальцы; 18 - фланец выходного вала; 19 - овальные сквозные отверстия; 20 - цилиндрические сквозные отверстия

Для обеспечения согласованного функционирования зубчатой и фрикционной передачи диаметр сателлита последней равен делительному диаметру зубчатого колеса.

Комбинированные передачи сочетают в себе достоинства фрикционных, включая относительную простоту их конструкции, и зубчатых, обеспечивающих их повышенную надежность. При работе в нормальных условиях в качестве фрикционных сопряжений могут быть использованы ременные, поликлиновые или зубчато-ременные передачи с реализацией кинематики планетарного движения. При изготовлении сателлита масса этой конструкции может быть существенно уменьшена путем использования при изготовлении сателлита его фрикционной передачи термопластичного полимера, на наружную цилиндрическую поверхность которого газотермическим методом напыляется тонкий слой из сплава алюминия, который упрочняется анодно-катодной микродуговой обработкой с созданием износостойкого покрытия Al_2O_3 . Приведенная схема может быть использована для создания подшипниковых узлов, в которых покрытие Al_2O_3 дополнительно плакируется слоем антифрикционного материала, в качестве которого может быть использована медь или бронза.

Приведенные подходы позволяют создать из алюминиевых сплавов сверхлегкие передачи зацеплением повышенной надежности, которые могут быть эффективно использованы в объектах аэрокосмической техники, сервисных устройствах мобильных машин и технологического оборудования, бытовой технике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И., Тетерюков Д.О. Сверхлегкие фрикционные планетарные передачи повышенной надежности для аэрокосмической техники/ Материалы конгресса. – Минск: ОИПИ НАНБ, 2003. - С. 71-73.; 2. Берестнев О.В. Самоустанавливающиеся зубчатые колеса. Мн.: Наука и техника, 1983. - 312с.; 3. Берестнев О.В., Жук И.В., Неделькин А.Н. Зубчатые передачи с повышенной податливостью зубьев. - Минск: Навука і тэхніка, 1993. - 183 с.; 4. Особенности строения и свойства покрытий, наносимых методом микродугового оксидирования/ В.Н. Малышев, Г.А. Марков, В.А. Федоров, А.А. Петросянец, О.П. Терлеева. - Химическое машиностроение, 1984. - № 1. – С. 26-27.; 5. Кинетика изнашивания покрытий, нанесенных методом микродугового оксидирования/ А.А. Петросянец, В.Н. Малышев, В.А. Федоров, Г.А. Марков// Трение и износ. – 1984. – Т. V - № 2. - С. 351-354.; 6. Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И., Макаревич Г.В. Композиционные материалы на основе оксидокерамики для аэрокосмических приводных систем// Материалы конгресса. – Минск: ОИПИ НАНБ, 2003. - С. 68-70.; 7. Пат. РБ 488 U, МПК F 16H 7/02. Фрикционная передача/ В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич, Я.В. Басинюк, М.А. Леванцевич. - № u 20010157; Заявл. 22.06.01; Оpubл. 30.03.2002// Бюл. №1. 8. Свид. на пол. мод. 22691 RU U1, МПК F 16 H 7/02. Фрикционная передача/ В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич, Я.В. Басинюк, М.А. Леванцевич. - №2001119382; Заявлено 11.07.2001; Оpubл. 20.04.2002// Бюл. №11.; 9. Пат.РБ 222U,МПК 7B 62L 1/08.Тормозное устройство/В.Л.Басинюк, В.И.Комарова, А.И. Комаров, Н.Э. Сенокосов. - № u 2000066; Заявл. 25.04.2000; Оpubл. 30.12.2000.; 10. Свид. на пол. мод. 26217 RU U1, МПК 7 L 1/08. Тормозное устройство/ В.И.Комарова, А.И. Комаров,В.Н. Шостак.В.Л. Басинюк, Е.И. - №2001126151; Заявлено 28.09.2001; Оpubл. 20.11.2002// Бюл. №32.; 11. Тетерюков Д.О., Мардосевич Е.И., Басинюк В.Л. Новые технологии изготовления планетарных цевочных редукторов, применяемых в авиационной и космической промышленности// Материалы конгресса. – Минск: ОИПИ НАНБ, 2003. - С. 74-76.; 12. Свид.на пол.мод. 26620 RU U1, МПК F 16H 7/02.Передача с гибкой связью/ В.Л. Басинюк,Е.И.Мардосевич. - 2001126152/20;Заявл.28.09.2001;Оpubл.10.12.2002// Бюл.№34.