

F. I. Plekhanov, DSc in Engineering, Professor, Glazov Engineering and Economical Institute (branch) of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

L. P. Perminov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Load Capacity of Rational Layouts of Planetary Gears

Planetary gears with internal engagement possess high load capacity and big gear ratio in one stage. However, the mechanism of motion transmission from satellites within existing layouts is either complex, or inefficient in terms of capacity losses for friction. The paper presents new design layouts for this type of gears, method of determining their load capacity, based on solving equations of transmission conformity with account of meshing geometry and gearwheel tooth strains. The dependence of gear load capacity on gearwheel tooth number is established. Recommendations are developed, allowing to design an effective high-loaded planetary gear with high efficiency and big gear ratio in one stage.

Keywords: planetary gear, internal engagement, rational layouts, load capacity.

Получено 19.05.14

УДК 621.77

И. Б. Покрас, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Г. А. Чикуров, кандидат технических наук, докторант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

М. И. Касимов, магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ СОЗДАНИЯ РЕЖИМА ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ С МЫЛЬНЫМИ СМАЗКАМИ

Приведена методика проведения экспериментов по волочению проволоки при различных режимах. Даны основные формулы для определения толщины смазочного слоя на протянутой проволоке по полученным экспериментальным данным. Приведены результаты экспериментов по определению толщины слоя смазки при волочении.

Ключевые слова: волочение, смазка, сборная волока, гидродинамическое трение, жидкостное трение.

Условные обозначения:
 m_1 – масса протянутого образца со смазкой;
 m_2 – масса протянутого образца, очищенного от смазки;

Δm – масса смазки на образце;

$h_{пр}$ – толщина смазки на проволоке;

$h_{и}$ – толщина смазки на инструменте;

$R_{пр}$ – высота микронеровностей проволоки;

$R_{и}$ – высота микронеровностей инструмента;

ρ – плотность смазки.

Важнейшей функцией смазки является уменьшение сил внешнего трения (коэффициента трения). Под эффективностью смазки чаще всего понимается именно ее антифрикционная эффективность. В некоторых случаях снижение сил трения ограничено возможностью осуществления процесса ОМД (прокатка, вальцовка и др.).

В процессе волочения применение смазок определяется основными функциональными требованиями к ним:

- снижение сил трения на контакте;
- уменьшение износа инструмента;
- предотвращение схватывания и налипания металла на инструмент;
- обеспечение чистоты и оптимальной шероховатости поверхности проволоки;

– снижение теплопередачи между деформируемым металлом и инструментом [1].

Снижение сил контактного трения за счет применения эффективных смазок обеспечивает свободное течение металла. При волочении алюминиевой и медной проволоки эффективной смазкой может быть 40%-я водная мыльная эмульсия. Однако при волочении проволоки из углеродистых и легированных сталей применяется эффективная высоковязкая смазка (мыльный порошок) в сочетании с предварительным покрытием поверхности подсмазочным слоем. Подсмазочный слой должен хорошо удерживать смазку при волочении и способствовать предохранению налипания металла на рабочую поверхность волоки. Подсмазочный слой наносят на операциях желтении, омеднения, фосфатирования и известкования.

Наиболее эффективным путем уменьшения сил трения при волочении проволоки является создание условий гидродинамического трения. Отличительной особенностью такого режима является существование слоя смазки, способного разделить контактные поверхности заготовки и инструмента. Смазочный слой при этом имеет толщину, превышающую высоту микронеровностей деформируемой проволоки и инструмента, обеспечивая полное разделение

трущихся поверхностей и механически экранируя трущиеся поверхности от контакта [2].

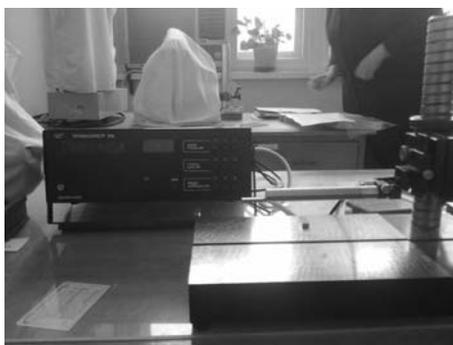
Создание толстого разделительного слоя смазки и достижение режима жидкостного трения при волочении могут быть обеспечены при подаче смазки в зону очага деформации под давлением или же при помощи нагнетания смазки протягиваемой проволокой. Для нагнетания смазки в очаг деформации проволокой в практике используются волокна с напорным элементом (трубка) или же сборные волокна [3].

Сборная волока состоит из рабочего и напорного твердосплавных вкладышей, помещенных в зажимную втулку. Втулка с волокнами устанавливается в корпус сборного инструмента и после запрессовки затягивается накидной гайкой. Конструкция сборного инструмента также предусматривает отдельные элементы для предотвращения утечки смазки из рабочей зоны между твердосплавными вкладышами.

Работа заключается в определении существования режима жидкостного трения в процессе волочения при различных режимах.

Методика проведения экспериментов

Так как режим жидкостного трения при волочении определяется суммарной величиной микронеровностей инструмента и заготовки [2], предварительно измеряют глубину микронеровностей на заготовке и инструменте при помощи профилометра (рис. 1, а).



а

Далее следует волочение проволоки при различных скоростях с применением сборного волочильного инструмента (рис. 2).

Затем производится отбор и взвешивание образцов после волочения на высокоточных весах (рис. 1, б) до и после промывки, удаляющей с образца смазку.

Эксперимент был проведен при волочении проволоки из стали СтЗсп ГОСТ 380-2005 по маршруту кр.6,5 – кр.5,7. Параметры инструмента, смазки и заготовки показаны на рис. 2. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Методика обработки экспериментальных данных

Объем смазки на протянутой проволоке определяется из геометрической формулы объема цилиндра:

$$V_{\text{см}} = \pi \cdot d \cdot l \cdot h_{\text{пр}}, \quad (1)$$

$$V_{\text{см}} = \frac{\Delta m}{\rho}. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), определим толщину слоя смазки на протянутой проволоке:

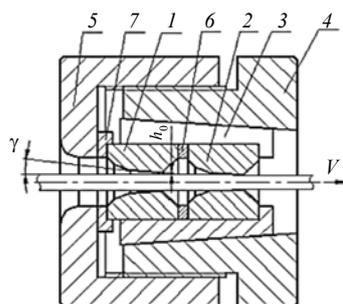
$$h_{\text{пр}} = \frac{\Delta m}{\pi \cdot d \cdot l \cdot \rho}. \quad (3)$$



б

Рис. 1. Вспомогательное оборудование:

а – профилометр контактный, модель 296 Б-37/Б-751/Б-50; б – весы высокоточные, модель «САРТОГОСМ»



Параметры инструмента, заготовки и мыльной смазки	
γ	12°
h_0	0,06 мм
$d_{\text{нап}}$	6,56 мм
$d_{\text{раб}}$	5,7 мм
$\rho_{\text{мыл}}$	2400 кг/м ³
$Ra_{\text{пр}}$	1,51 мкм
$Ra_{\text{н}}$	0,25 мкм

Рис. 2. Сборная волока: 1 – напорная волока; 2 – рабочая волока; 3 – втулка; 4 – корпус сборной волоки; 5 – зажимная гайка; 6 – уплотнительная шайба; 7 – зажимная шайба

Таблица 1. Результаты эксперимента

№ образца / скорость стана	Длина образца, мм	Расчетная масса образца, г	Δm , г			
			120 м/мин	170 м/мин	220 м/мин	300 м/мин
1	50	10	$m1 = 10,3050$	$m1 = 9,8647$	$m1 = 8,7497$	$m1 = 8,0882$
			$m2 = 10,2902$	$m2 = 9,8570$	$m2 = 8,7421$	$m2 = 8,0788$
			$\Delta m = 0,0148$	$\Delta m = 0,0077$	$\Delta m = 0,0076$	$\Delta m = 0,0094$
2	500	100	$m1 = 99,7932$	$m1 = 97,9528$	$m1 = 97,6406$	$m1 = 97,9090$
			$m2 = 99,7084$	$m2 = 97,9005$	$m2 = 97,5999$	$m2 = 97,8647$
			$\Delta m = 0,0848$	$\Delta m = 0,0523$	$\Delta m = 0,0407$	$\Delta m = 0,0443$

Для определения общей толщины смазочного слоя в очаге деформации при волочении кроме толщины слоя смазки на проволоке следует учитывать также толщину смазочного слоя на инструменте.

Если экспериментальное значение толщины слоя смазки превышает значение суммарной величины микронеровностей инструмента и заготовки, то можно утверждать, что режим гидродинамического трения смазки при волочении осуществлен:

$$h_{пр} + h_i > R_{сумм}, \quad (4)$$

$$R_{сумм} = R_{пр} + R_i. \quad (5)$$

Результаты расчета по формулам (3), (5) представлены в табл. 2. По полученным данным построена диаграмма зависимости толщины смазочного слоя от скорости волочения (рис. 3).

Таблица 2. Результаты расчета

№ образца / скорость стана	Длина образца, мм	Расчетная масса образца, г	$h_{пр}$, мкм			
			120 м/мин	170 м/мин	220 м/мин	300 м/мин
1	50	10	$h_{пр} = 6,93$	$h_{пр} = 3,587$	$h_{пр} = 3,539$	$h_{пр} = 4,380$
2	500	100	$h_{пр} = 3,95$	$h_{пр} = 2,435$	$h_{пр} = 1,895$	$h_{пр} = 2,063$
			$R_{сумм} = 1,76$			

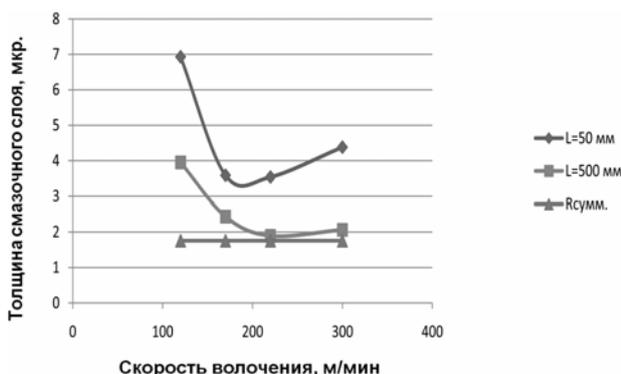


Рис. 3. Зависимость толщины слоя смазки от скорости волочения

В проведенных экспериментах толщина слоя смазки на инструменте не определялась, однако значения толщины смазочного слоя на проволоке после волочения, без учета толщины смазки на инструменте, превышают минимально необходимые значения для осуществления волочения в режиме жидкостного трения:

$$h_{пр} > R_{сумм}. \quad (6)$$

По данным диаграммы видно, что волочение проволоки на различных скоростных ступенях осуществлялось в режиме жидкостного трения. Следует отметить, что наибольшая толщина смазочного слоя достигнута при волочении проволоки на более низкой скорости тянущего барабана (120 м/мин). Это

связано с термодинамическими процессами, происходящими в зоне очага деформации. С увеличением скорости волочения возрастает температура трущихся поверхностей, тем самым снижая пластические свойства применяемой при волочении смазки. Отметим также, что качество поверхности проволоки, протянутой на низких скоростях, несколько уступает качеству поверхности проволоки, протянутой на более высоких скоростях. Это объясняется тем, что при достаточно толстом слое смазки рабочая поверхность инструмента не оказывает сглаживающего действия на поверхность протягиваемой проволоки. Так, глубина микронеровностей протянутой проволоки на низких скоростях (120 м/мин) составила 1,5...1,7 мкм. Глубина же микронеровностей при волочении проволоки со скоростью 170...220 м/мин составила 1,0...1,3 мкм; со скоростью 300 м/мин – 1,1...1,5 мкм.

Библиографические ссылки

1. Покрас И. Б., Чикуров Г. А., Ахмедзянов Э. Р. Трение и смазка в процессах обработки металлов давлением : учеб.-метод. пособие. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – 135 с.
2. Колмогоров Г. Л., Филиппов В. Б., Латышева Т. В. О реализации условий улучшенного (смешанного) режима трения при волочении // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2006. – № 2. – С. 19–21.
3. Колмогоров Г. Л. Гидродинамическая смазка при обработке металлов давлением. – М. : Металлургия, 1986. – 168 с.

Experimental Determination of Conditions for Fluid Friction when Drawing with Wire-Drawing Soap

The method is given for carrying out experiments on wire drawing at different conditions. The main formulas are given to determine thickness of the lubrication layer on the drawn wire on the basis of the received experimental data. The results of the experiments on determination of the lubrication layer thickness are given.

Keywords: drawing, lubrication, assembled drawing die, hydrodynamic friction, fluid friction.

Получено 30.05.14

УДК 621.929.9

М. Г. Яруллин, доктор технических наук, профессор, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева – КАИ

М. Р. Мингазов, аспирант, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева – КАИ

КИНЕМАТИКА ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК РАБОЧИХ ЗВЕНЬЕВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО 4R-МЕХАНИЗМА КАК АКТИВАТОРА ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ *

Получены и исследованы законы движения и свойства кинематических параметров точек звеньев пространственного 4R-механизма как характерных точек емкости перемешивающего устройства. Приведены уравнения, описывающие перемещение, скорость и ускорение характерных точек механизма. Произведен расчет для конкретного механизма.

Ключевые слова: пространственный 4R-механизм, кинематика механизма, направляющие косинусы, перемешивание, характерные точки.

Перемешивание является распространенным технологическим процессом во многих отраслях промышленности и народного хозяйства (машиностроение, металлообработка, медицина, сельское хозяйство). Поэтому существует большое разнообразие перемешивающего оборудования, где емкость для смесей совершает вращательные движения относительно различных своих геометрических осей – от простых до сложных планетарно-пространственных.

Большой интерес (как с точки зрения науки, так и практики) представляют перемешивающие устройства, способные задавать частицам сложную пространственную траекторию движения с переменными скоростями и ускорениями с целью увеличения однородности и качества перемешивания, как в сухих, так и в жидких средах [1, 2].

Нами разработаны несколько вариантов активаторов перемешивающих устройств, в основе которых лежат пространственные nR -механизмы, позволяющие достигать вышеуказанные эффективные виды движения [3, 4]. Основным составляющим (первичной ячейкой) таких nR -механизмов является пространственный 4R-механизм, впервые упомянутый Беннеттом [5]. Благодаря тому что геометрические оси звеньев механизма скрещиваются в пространстве, при движении рабочий орган механизма (шатуна) описывает сложную пространственную траекторию с переменными скоростями и ускорениями [6–8]. Анализ работы компьютерных моделей механизма показывает, что такая траектория движения рабочего звена способствует качественному перемешиванию

компонентов. Поэтому весьма актуальна задача исследования кинематики данного механизма с привязкой его к перемешивающим устройствам. В нашей работе [9] представлены результаты анализа кинематики ведомого кривошипа. Данная работа является ее продолжением и посвящена анализу кинематики наиболее интересных точек (с точки зрения их расположения на емкости), которые в дальнейшем будем называть характерными точками.

Цель исследований – определить законы движения и свойства кинематических параметров отдельных точек звеньев базового механизма как характерных точек емкости создаваемых перемешивающих устройств.

Кинематика характерных точек

Выбор исследуемых точек для анализа обусловлен возможными вариантами расположения перемешивающей емкости на звене 4R-механизма (табл. 1).

В первом варианте механизма (табл. 1) рабочий орган спроектирован в виде емкости-шатуна. Наиболее интересной точкой для исследования (с точки зрения кинематики) в этом случае является точка M – центр масс емкости шатуна. При движении эта точка описывает траекторию, похожую на искаженный эллипс в пространстве (рис. 1).

Во втором механизме (табл. 1) рабочий орган также выполнен в виде емкости-шатуна, но со смещенным центром масс в точке N . А в третьем механизме (табл. 1), емкость установлена на ось шарниров шатуна и кривошипа. В этом случае интерес для исследования кинематики движения представляет точка K – центр масс осевого барабана.