

Если рассматривать изменение значения n в каждой точке процесса деформирования (формула (5)), то оно сходно (рисунок 2) по своему характеру, представленному в работе [2].

Как можно видеть на рисунке, где в качестве примера приведена такая зависимость для стали с твердостью 27,5 HRC, вначале наблюдается рост коэффициента деформационного упрочнения, а затем существенное падение. При этом для алюминия n во всех случаях практически не меняется (таблица), что также не противоречит известным данным [3] и обусловлено строением кристаллической решетки – ГЦК.

УДК 620.179.17

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ, МОЩНОСТИ И КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Кулагин В.Н., Линевич С.Я., Бусько В.Н.

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь

Практически любые механизмы, энергетические установки и детали электрических, тепловых, ядерных машин в электротехнике, транспортном машиностроении, в частности, электромобилестроении, быту, содержат электрические машины, например, электродвигатели постоянного или переменного тока. То есть электродвигатели относятся к объектам, определяющим эффективность производства и технический прогресс. Учитывая, что для работы электрических машин приходится до 45 % всей потребляемой электроэнергии [1], экономия энергоресурсов при их конструировании и усовершенствовании становится острее и актуальнее.

В большинстве случаев во вращающихся валах двигателей необходимо регулировать либо скорость вращения, либо крутящий момент, мощность, или КПД. Однако, как правило, регулирование скорости вращения вала или других характеристик электродвигателя приводит к росту энергозатрат, повышенному расходу материалов, внесению в схему управления дополнительных силовых или электронных элементов, что приводит к повышенному расходу энергетических и материальных затрат. Так, в [2–4] приведены различные способы, методики и схемы устройств для регулирования частоты вращения вала электродвигателя на основе усложнения конструкций электродвигателя. Поэтому главной задачей при создании новых высокоэффективных электрических машин является повышение энергоэффективности за счет снижения общих потерь (электроэнергии, материалоемкости, себестоимости и массогабаритов).

Целью настоящей работы является разработка методики и конструкции устройства, изготовление и испытание макета устройства для регулирования частоты вращения вала, мощности или

Литература

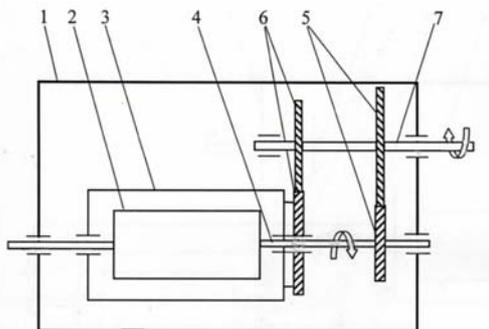
1. Tabor, D. The Hardness of Metals. Oxford University Press, 2000. 175 p.
2. Krokha, V.A. Relationship of the strain-hardening exponent to the degree of strain and fulfillment of the exponential rule of hardening // Strength of materials Volume 13, Is. 8, 1981, p. 1022–1027.
3. Mok, C.H. The dynamic stress-strain relation of metals as determined from impact tests with a hard ball // Int. J. Mech. Sci. Pergamon Press Ltd. 1965. Vol. 7, pp. 355–371.

крутящего момента электродвигателя без дополнительных энергозатрат.

Возможность регулирования скорости вращения вала электродвигателя основана на том, что предлагаемое устройство содержит корпус; внутри вращающегося статора, выполненного относительно корпуса двигателя подвижным, расположен вращающийся в том же направлении ротор, соединенный с первым зубчатым передаточным механизмом с регулируемым передаточным отношением, который последовательно соединен со вторым зубчатым передаточным механизмом с регулируемым передаточным отношением механически связанным с первым зубчатым передаточным механизмом, образуя между ротором и статором положительную обратную связь (ПОС). Эффект повышения мощности и крутящего момента с ПОС достигается благодаря наличию прямой механической связи между ротором и статором, обеспечивающей сложение собственных скоростей вращения ротора и статора и осуществляемой с помощью двух передаточных зубчатых механизмов. Такое соединение позволяет управлять скоростью, мощностью и крутящим моментом электродвигателя без дополнительных материальных и энергетических затрат.

На рисунке 1 представлена структурная схема устройства. Регулирование частоты вращения вала, мощности или крутящего момента основано на том, что при включении устройства, размещенного в корпусе 1, вращение ротора 2, находящегося внутри статора 3, посредством ведущего вала 4 с помощью первого зубчатого передаточного механизма 5, представляющего собой зубчатую передачу с непосредственным касанием закрепленных на валах зубчатых колес, состоящую из колесной пары и конструктивно выполненную как единое целое и соединенную с валом 4 ротора 2 приводит во вращение ведомый

вал 7, одновременно соединенный со вторым зубчатым передаточным механизмом 6, представляющим собой колесную пару, одно из зубчатых колес колесной пары первого зубчатого передаточного механизма 5 установлено и закреплено на ведомом выходном валу 7, второе – закреплено со статором 3 [5].



1 – корпус, 2 – ротор, 3 – статор, 4 – ведущий вал двигателя, 5 – первый зубчатый передаточный механизм, 6 – второй зубчатый передаточный механизм, 7 – ведомый выходной вал электродвигателя

Рисунок 1 – Структурная схема эффективного устройства для повышения скорости, мощности и крутящего момента электродвигателя

Положительная обратная связь, образуемая ротором 2 и статором 3, которая, по сути, ускоряет реакцию механической системы – цепей «ротор – первый зубчатый передаточный механизм – второй зубчатый передаточный механизм – статор – ротор – выходной вал», совпадает по фазе и усиливает эффект взаимодействия ротора 2 со статором 3, имеющего скорость вращения, допустим N_1 , в результате чего ротор 2, вращающийся со скоростью N_2 , за счет полученного импульса от вращающегося момента, возникающего от вращения статора 3, вращается быстрее.

Передаточные отношения в обоих зубчатых передаточных механизмах могут быть различными и выбираться в зависимости от конкретной задачи, например, 1:1, 1:2 и т. д., т. е., регулируемы. За счет сложения равнонаправленных скоростей ($N_1 + N_2$) одновременно вращающихся ротора 2 и статора 3, ведомый выходной вал 7, начинает вращаться быстрее, но уже со скоростью $N_0 = N_1 + N_2$.

Повторение и непрерывность во времени данного процесса вследствие наличия ПОС между вращающимися ротором 2 и статором 3, в конечном итоге, автоматически, без подпитки внешней энергией, питания или внешней силы, обуславливает непрерывное увеличение угловой скорости вращения вала электродвигателя до его стабильных значений. Попросту говоря, ротор вращает статор, в результате скорость вращения на выходном валу двигателя складывается из собственных скоростей ротора и статора.

В результате устройство, имея на валу 4 ротора 2 свою скорость вращения и обладая собственной скоростью вращения статора 3, на ведомом выходном валу 7 в результате сложения двух угловых скоростей вращения позволяет получить результирующую скорость вращения двигателя, превышающую скорости от ротора и статора в отдельности, с возможностью ее регулирования.

В процессе испытаний созданного макета устройства использовались различные типы электродвигателей постоянного и переменного тока. Практически во всех случаях предлагаемые методика и схема устройства позволили получить значительный выигрыш по частоте вращения вала электродвигателя, значению крутящего момента, мощности и КПД электрической машины.

В результате предварительных испытаний с использованием, в частности, электродвигателя переменного тока с протяженным валом, выходящим с обоих концов двигателя, получено, что результирующая скорость вращения выходного вала, равная N_0 , изменяется в зависимости от передаточного отношения зубчатых механизмов. При этом на результирующую скорость могут влиять различные факторы (нестабильность работы двигателя, изношенность деталей, скачки напряжения в сети, дефекты колесной пары, потери на трение и др.).

На рисунке 2 представлена фотография внешнего вида фрагмента макета действующего устройства, используемого в процессе предварительных испытаний.

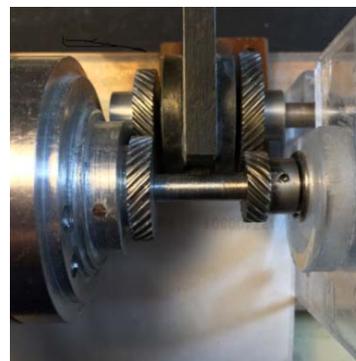


Рисунок 2 – Фотография внешнего вида фрагмента макета устройства для повышения частоты вращения, мощности, крутящего момента вала электродвигателя

Таким образом, используя принцип двойного вращения и, изменяя значения передаточных отношений в зубчатых передаточных механизмах 5 и 6, устройство позволяет управлять как скоростью вращения выходного вала 7 электродвигателя, так и мощностью, или крутящим моментом, являющимися основными характеристиками электродвигателя или электрической машины. Данную конструкцию устройства можно отнести к инновационному решению, которое может быть использовано при разработке и конструировании электрических машин.

Литература

1. Paul Waide, Conrad U. Brunner. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric-Motor-Driven Systems. International Energy Agency Working Paper, Energy Efficiency Series. Paris, 2011.
 2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока. – СПб. : Питер, 2010. – 350 с.
 3. Патент РФ 2076450. МПК: В60 К 17/02; F16H 48/00; H02 K16/02; H02K 7/116. 27.03.1997. Способ регулирования частоты вращения двига-

теля двойного питания и устройство для его осуществления / Мещеряков В.Н.
 4. Патент РФ № 2130226. МПК: H02K17/00, H02P 7/00. 10.05.1999. Асинхронный электродвигатель с бесступенчатым регулированием вращения / Касимов Л.Н., Шаньгин Е.С., Насыров В.С.
 5. Патент на ПМ РБ № 11770 от 19.02.2018 / Линевиц С.Я., Бусько В.Н. // Устройство для повышения мощности и крутящего момента электродвигателя.

УДК 620.179

ОЦЕНКА РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЯХ МАГНИТНЫМ ПОНДЕРОМОТОРНЫМ МЕТОДОМ
Кутепов А.Ю., Крень А.П., Гнутенко Е.В.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Контроль внутренних напряжений играет важную роль при диагностике технического состояния различных элементов несущих конструкций. Не менее важно оценивать наличие и величину напряжений и для функциональных теплозащитных покрытий, одними из которых являются покрытия из никеля. Данные покрытия наносятся на изделия космической и авиационной техники, машиностроительную продукцию.

При несоблюдении технологического процесса нанесения в покрытиях могут возникать внутренние напряжения, превышающие по величине силы адгезии, что приводит к их отслаиванию. Такая ситуация является недопустимой для деталей и сборочных единиц авиакосмической техники, в связи с чем создание новых надежных методов контроля приобретает первостепенную роль в обеспечении качества и надежности таких изделий.

Одним из методов, позволяющих оценивать качество ферромагнитных покрытий, является магнитный пондеромоторный метод [1]. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в разработке других методов и приборов контроля внутренних напряжений: коэрцитиметров, ультразвуковых дефектоскопов, рентгеновских дифрактометров, пондеромоторный метод не утратил своей значимости благодаря возможности создания на его базе портативных приборов, обладающих высокой точностью измерений. В полученных ранее результатах [2] было показано, что влияние внутренних напряжений на магнитоотрывное усилие K_f тем больше, чем слабее поле магнита, в котором находится никелевый образец. Это говорит о низкой магнитной проницаемости образцов, имеющих внутренние напряжения и большей концентрации поля в отожженных образцах (со снятыми напряжениями).

Данные результаты легли в основу настоящей работы, целью которой являлось исследование возможности контроля внутренних напряжений

в никелевых образцах, подверженных растягивающим одноосным напряжениям.

Для проведения экспериментов были изготовлены образцы согласно ГОСТ 11701 для их последующих испытаний в разрывной машине (рисунок 1). Вначале для образцов, имеющих различный исходный уровень напряжений, создаваемый термообработкой и прокаткой, определялись величины предела текучести и предела прочности. Далее проводились испытания, представляющие собой циклы растяжения образцов с последующей полной разгрузкой. очередность циклов была установлена таким образом, чтобы максимальная нагрузка (вершина цикла) нарастала с каждым циклом. Схема испытаний представлена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Испытание образцов

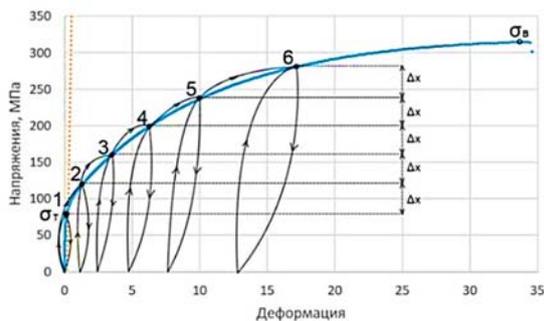


Рисунок 2 – Пример схемы нагружения образца

Измерение магнитоотрывного усилия проводилось в вершинах циклов и на разгрузке. Вершины