

УДК 621.9

Разработка нормативов удельной энергоемкости видов обработки и деталей машин

Шлапак Л.С.

В работе рассматриваются особенности энергобаланса технологического оборудования, обсуждаются вопросы определения энергоресурса и потерь мощности в элементах системы трансмиссии технологического оборудования. Дается расчет удельной энергоемкости термической обработки заготовок деталей машин.

Ключевые слова: энергобаланс, энергоемкость, энергоресурс, потеря мощности.

Особенности энергобаланса технологического оборудования

Современные тенденции развития станкостроения показывают, что предъявляемые требования по надежности, экономичности и производительности все более ужесточаются.

Под энергобалансом технологического оборудования понимается равенство подводимой к системе энергии E и суммы полезной энергии на исполнительном органе E_n и диссипативных потерь энергии внутри системы ΔE : $E = E_n + \Delta E$ [1, 2].

Слагаемое ΔE представляет собой сумму потерь энергии в отдельных элементах и кинематических парах системы. Экспериментальное определение потерь энергии в отдельных элементах в составе привода представляет огромные трудности. При аналитическом определении потерь в элементах технологического оборудования необходимо учитывать ряд особенностей. Энергия потерь, рассеиваемая в приводе машины, расходуется на преодоление сил сопротивления в зацеплении зубчатых колес, подшипниках, уплотнениях и на перемешивание масла.

Потери внутри системы можно условно разделить на две группы: условно-постоянные и переменные. К условно-постоянным относятся потери холостого хода и потери при пусках и торможениях, связанные с разгоном инерционных масс. Вторая группа потерь включает в себя потери, свя-

занные с динамическим характером внешней нагрузки. При определении потерь необходимо рассматривать трансмиссию совместно с приводным двигателем, т.к. потери в двигателе ($\cos\varphi$) существенно зависят от загрузки его по мощности. При этом необходимо отметить, что привод ведет себя как единое целое, имея общую резонансную частоту (частоты), что объясняется наличием кинематических и других видов связей между элементами. Также при составлении математической модели оценки потерь необходимо учитывать коэффициент демпфирования как в трансмиссии, так и в самом двигателе. Поскольку при динамическом внешнем воздействии внутри системы рассеивается дополнительное количество энергии, то необходимо в модель оценки потерь в приводе включить модель формирования внешней нагрузки на исполнительном органе. Это позволит оценить потери в системе в реальных условиях эксплуатации, а также, исходя из полученных данных, разработать методы по их снижению [1, 2, 3].

Определение энергоресурса и потерь мощности в элементах системы трансмиссии технологического оборудования

Потери внутри технологического оборудования значительны и могут достигать 50-60%. Функциональную взаимосвязь между потерями энергии и ресурсом детали (узла, машины) можно определить через энергоресурс данного объекта. Для определения энергоресурса

детали, узла или их совокупности достаточно знать количество энергии (работы), затраченной на их разрушение и число циклов нагружения, за которое это разрушение произошло при заданном уровне нагрузки. Величина энергоресурса является величиной постоянной и не зависит от условий эксплуатации данного элемента.

Для определения энергоресурса подшипника необходимо установить зависимость между долговечностью подшипника и величиной потерь энергии в нем:

$$P'N^{m_1} = A_{II} = \text{const}, \quad (1)$$

где P' - удельная мощность потерь, равная работе диссипативных потерь за цикл нагружения;

N - число циклов нагружения.

В логарифмических координатах кривая энергоресурса представляется в виде прямой линии:

$$\lg P' = \lg A_{II} - m_1 \lg N.$$

Очевидно, что величина энергоресурса будет равна определенному интегралу:

$\mathcal{E} = \int_0^{N_{\max}} P' dN$. Учитывая выражение (1) можно записать:

$$\mathcal{E} = \int_0^{N_{\max}} A_{II} N^{-m_1} dN = \frac{A_{II} N_{\max}^{1-m_1}}{(1-m_1)}, \text{ Дж} \quad (2)$$

Мощность потерь, приходящихся на зацепление, распределяется поровну между двумя контактирующими зубьями. Поэтому, учитывая соотношение зубьев колеса и шестерни, можно утверждать, что расходование энергоресурса в зацеплении происходит обратно пропорционально числам зубьев шестерни и колеса. Полагая, что вся энергия диссипативных потерь расходуется на контактное разрушение: $P'N_H^{m_2} = A_H = \text{const}$. Тогда условный энергоресурс до наступления контактного разрушения определяется выражением:

$$Y\mathcal{E} = \int_0^{N_{H\max}} A_H N^{-m_2} dN = \frac{A_H N_{H\max}^{1-m_2}}{(1-m_2)}, \text{ Дж.} \quad (3)$$

Аналогично определяются условные энергоресурсы для остальных факторов разрушения. Условный энергоресурс при изгибе зубьев:

$$Y\mathcal{E} = \int_0^{N_{F\max}} A_F N^{-m_3} dN = \frac{A_F N_{F\max}^{1-m_3}}{(1-m_3)}, \text{ Дж.} \quad (4)$$

Аналогично можно записать выражение для условного энергоресурса при износе зубьев:

$$Y\mathcal{E} = \int_0^{N_{J\max}} A_J N^{-m_4} dN = \frac{A_J N_{J\max}^{1-m_4}}{(1-m_4)}, \text{ Дж.} \quad (5)$$

Суммируя величины энергоресурсов по всем видам разрушения для числа циклов $N_{\lim}$, получим выражение для энергоресурса зубчатого колеса передачи:

$$\mathcal{E} = \int_0^{N_{\lim}} P' dN = \sum_{i=1}^n \frac{N_{\lim}^{1-m_i} A_i K_{Bi}}{1-m_i}, \quad (6)$$

где K_{Bi} - коэффициент влияния факторов по видам разрушения.

Основным критерием отказов уплотнений является их износ. Определив взаимосвязь между износом уплотнения и числом циклов нагружения, можно записать:

$$P'_y \cdot N^{m_5} = A_y = \text{const} \quad (7)$$

или

$$\mathcal{E} = \frac{A_y N_{\max}^{1-m_5}}{1-m_5} \quad (8)$$

Таким образом, рассматривая трансмиссию станка как систему последовательно связанных элементов, энергоресурс системы будет определяться выражением:

$$\mathcal{E} = \sum_{j=1}^l \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{i,j} N_{B\lim}^{1-m_{i,j}}}{(1-m_{i,j})} \right) u_j \right], \quad (9)$$

где $N_{B\lim}$ - предельное число циклов нагружения входного звена, которое ограничивается элементом системы, имеющим наименьший ресурс [4, 5, 6].

Удельная энергоёмкость термической обработки заготовок деталей машин

Термическое упрочнение может рассматриваться во многих случаях в качестве одного из узловых этапов комплексного технологического маршрута изготовления детали. Необходимо знать энергоёмкость термической обработки деталей машин. Одни и те же технологические процессы в различных отраслях производства осуществляются по-разному, так как их режимы зависят от многих факторов: применяемого оборудования, материалов, масштаба производства и т.п. Режим нагрева при термообработке (ТО) включает два периода: нагрев до требуемой температуры с заданной скоростью подъема температуры металла (скорость может быть неуставливаемая по величине); выдержку при заданной температуре.

Каждый из периодов характеризуется рядом тепловых параметров (обуславливающих качество термической обработки): время (продолжительность) периода; перепады температуры между отдельными характерными точками объема металла (величина этих перепадов изменяется в ходе процесса), т.е. перепады температуры по толщине металла; скорость изменения температуры.

Полная мощность, потребляемая нагревательным устройством из сети при электронагреве, определяется по формуле:

$$N = \frac{c \cdot n \cdot m \cdot (t_k - t_0)}{\tau \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (10)$$

где N - мощность, кВт;

c - теплоемкость нагреваемого металла, кДж/(кг·К);

n - число одновременно нагреваемых изделий, шт;

m - масса одного изделия, кг;

t_k и t_0 - конечная и начальная температура нагрева, °С;

τ - время нагрева, с;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности установки;

η - общий к.п.д. нагревательного устройства.

Удельная энергоёмкость термообработки будет вычисляться (Вт мин/мм³):

$$H_w = \frac{4 \cdot c \cdot n \cdot m \cdot (t_k - t_0)}{\pi \cdot (D_k^2 - d^2) \cdot l \cdot \eta \cdot \cos \varphi}. \quad (11)$$

Таким образом, путем расчета удельной энергоёмкости ТО мы получим картину энергозатрат ТО различных способов [7, 8].

Литература

1. Лазуткина Н.А., Игнатов С.Н., Лазуткин С.Л. Энергобаланс технологического оборудования // Современные наукоемкие технологии. 2004. № 1. С. 35.
2. Карпов А.В. Энергетически экономичные режимы резания // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности: межвузовский сб. научных работ. Вып. 5 / под общ. ред. проф. Н.В. Чайковской. - М: ООО «Издательство «Машиностроение», 2008. - с. 138 – 144.
3. Лазуткин С.Л., Лазуткин А.Г., Лазуткина Н.А. Энергообмен при технологическом воздействии на материал // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности: межвузовский сб. научных работ. Вып. 6 / под общ. ред. проф. Н.В. Чайковской. М: ООО «Издательство «Машиностроение», 2009. - с. 125 – 129.
4. Карпов А.В. Оценка эффективности процесса резания с помощью энергетических критериев // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности: межвузовский сб. научных работ. Вып. 7 / под общ. ред. проф. Н.В. Чайковской. М: Издательский дом «Спектр», 2010. - с. 100 – 108.
5. Шарапов Р.В., Лодыгина Н.Д. Расчет напряжений деталей несоосного винтового механизма // Фундаментальные исследования. 2009. № 5. С. 70-71.
6. Блурцян Р.Ш., Блурцян Д.Р., Блурцян И.Р. Исследование возможностей повышения

ресурса работы торсионных валов технологическими методами // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 85-90.

7. Блуриян Р.Ш, Блуриян Д.Р., Блуриян И.Р. Исследование влияния режимов резания на качество поверхностей при врезном бесцентровом шлифовании // Машиностроение и

безопасность жизнедеятельности. 2010. № 7. С. 89-94.

8. Карпов А.В. К вопросу управления процессом резания на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения твёрдых тел // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №1(8), 2011. – с. 37-49.

Статья поступила в редакцию 7 ноября 2011 г.

This paper considers the peculiarities of the energy balance of process equipment, discusses the definition of energy and power losses in the elements of the transmission system of technological equipment. We give a calculation of energy intensity of heat treatment of billets of machine parts.

Keywords: energy balance, energy, power loss.

Шлапак Людмила Сергеевна – ассистент кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»