

А.В. Яшин

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Л.В. Силин

Муромский институт Владимирского государственного университета

602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23

E-mail: Apmitrp@yandex.ru

Отделочно–упрочняющая ультразвуковая обработка

Любая, даже тщательно обработанная поверхность, является носителем концентраторов напряжений. Наиболее отрицательно влияют остаточные растягивающие напряжения, возникающие при некоторых видах механической обработки поверхностей, например, при шлифовании. Дефекты поверхностного слоя способствуют возникновению в нем микро- и макротрещин, приводящих к разрушению. Поэтому для повышения усталостной прочности необходимо применять такие методы обработки, которые улучшают ее физико-механические свойства, структуру, напряженное состояние и микрогеометрию.

Для улучшения качества поверхностного слоя после изготовления деталей машин применяются различные виды упрочняющих операций, но по своему принципу воздействия на поверхность они являются практически статическими и их эффективность ограничена.

Более полное использование резерва поверхностной прочности металла можно получить заменой статического способа деформирования импульсным. Наиболее перспективной является импульсная упрочняюще-чистовая обработка ультразвуковым (УЗ) инструментом.

Научной основой для разработки и применения этого метода явились современная теория пластической деформации и упрочнения, подтвержденная результатами исследований процессов, технологии и оборудования, основанных на использовании ультразвука.

Применение УЗ, как показывает многолетний технический опыт, является важным резервом повышения производительности различных технологических процессов и улучшения качества промышленной продукции. Промышленное применение УЗ развивается в основном по двум направлениям:

- использование волн очень малой амплитуды (низкоэнергетические колебания интенсивностью менее $0,1 \text{ Вт/см}^2$) для дефектоскопии, измерений, сигнализации, контроля и т.д.;

- использование волн большей амплитуды (интенсивность более нескольких Вт/см^2) для активного воздействия на вещества и интенсификации технологических процессов различных отраслей промышленности, таких как очистка и обезжиривание, сварка металлов и полимеров, пайка, механическая обработка деталей из труднообрабатываемых материалов, поверхностное упрочнение, улучшение структуры.

При УЗО, в значительной степени ликвидируются основные дефекты, возникающие практически при всех видах предварительной обработки (особенно при шлифовании). Поверхностный слой упрочняется, в нем создаются сжимающие остаточные напряжения, улучшается микрогеометрия и, как следствие, улучшается надежность, в частности, и по усталостной прочности.

Литература

1. Опыт применения ультразвуковой техники и технологии в машиностроении. Сборник. – Киев: Знание, 1986.
2. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1980. – 240с.
3. Д. Кумабе Вибрационное резание. – М.: Машиностроение, 1985. – 423 с.

А.С. Битюцких
Научный руководитель: к. т. н, доцент А.Л. Суменков
*Новомосковский институт Российского химико – технологического университета
им. Д.И.Менделеева
301650, г. Новомосковск, Тульской обл., ул. Дружбы, д. 8
E-mail: sumenal@rambler.ru*

Механические характеристики новых материалов на основе нанопорошков

В различных отраслях промышленности находят широкое использование оксидные материалы, в том числе оксид алюминия. Оксид алюминия применяется в качестве сырья для изготовления огнеупорных материалов, абразивных и керамических режущих инструментов, для получения элементов деталей оборудования, в том числе в машиностроении, как абразивный материал (корунд) для обработки стекла, камня, металла. Он также применяется как сырьё для специальных видов керамики, медицинских инструментов, лекарств и косметики, как катализатор, в хроматографии для разделения различных веществ, как фильтрующий материал и т.д.

Оксид алюминия в современных технологиях часто используется в виде наноструктурных порошков. Это обусловлено тем, что при уменьшении размеров частиц до 0,1 мкм и менее проявляется изменение свойств наносистем: могут существенно снижаться температуры спекания и плавления, присутствовать неравновесные фазы, изменяться другие физические и химические свойства. При получении и переработке материалов на основе оксида алюминия осуществляются механические процессы: транспортирование, измельчение, смешение, дозирование, прессование и др. Эффективность проведения процессов с участием наносистем зависит от механических свойств порошков, важнейшими из которых являются аутогезия, коэффициенты внутреннего и внешнего трения. Следует отметить, что механические характеристики очень чувствительны к весьма незначительным изменениям параметров окружающей атмосферы (температуры, влажности, давления) и существенно зависят от гранулометрического и фазового состава порошков (которые обусловлены параметрами их синтеза). Таким образом, появляется возможность получать наносистемы с заранее заданными механическими свойствами, воздействуя на условия получения, хранения и дальнейшей их переработки. Это, в свою очередь, позволяет оптимизировать процессы переработки порошков в «конечный продукт». То есть, реальна возможность разработки технологии управления свойствами наноструктурных порошков, повышающей их эксплуатационные характеристики.

Однако информация о механических характеристиках нанопорошков в научно-технической литературе носит отрывочный характер или отсутствует.

В данной работе исследовалось влияние среднего размера частиц наноструктурных порошков (наносистем) на коэффициент внутреннего трения.

Исследовались порошки оксида алюминия, имевшие сферическую форму частиц и средний размер от 0,03 до 1,0 мкм. Порошки были получены плазмохимическим способом. Их дисперсный состав определяли по величине удельной поверхности (метод БЭТ) и на основе электронно-микроскопических исследований.

Предельное сопротивление сдвигу и коэффициенты внутреннего трения определялись на приборах линейного плоскостного сдвига по известной методике. Усилие фиксировалось чувствительным тензометрическим элементом.

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что при уменьшении среднего размера частиц наноструктурных порошков коэффициент внутреннего трения возрастает, причем особенно существенное увеличение наблюдается при величине среднего диаметра частиц менее 0,1 мкм. Это, по-видимому, можно объяснить увеличением доли поверхностной энергии и числа некомпенсированных связей на поверхности частиц наносистем.

Результаты работы могут быть использованы при получении современных энерго - и ресурсосберегающих материалов - с заранее заданными механическими свойствами.

Особенности распределения передаточного отношения двухступенчатого редуктора

Целью данной работы является анализ рекомендаций по распределению передаточного отношения трехосного двухступенчатого цилиндрического редуктора.

При проектировании редукторов распределению общего передаточного отношения между ступенями уделяют особое внимание. Это задача многовариантная и многопараметрическая.

Перед проектировщиком стоит задача выбрать такие передаточные отношения, которые обеспечат: удобство компоновки всех элементов редуктора в корпусе, оптимальные условия смазывания зубчатых колес, минимальную массу редуктора.

Приходится учитывать и другие критерии оптимизации в частности – оптимизацию габаритных размеров, например, длины или высоты редуктора.

Передаточное отношение редуктора (u) определяется по зависимости: $u = u_1 \cdot u_2$,

где u_1 и u_2 – соответственно передаточные отношения тихоходной и быстроходной ступеней редуктора.

Здесь в одно уравнение входят две переменные, при этом одно из них u_2 исключают, выражая как $u_2 = u/u_1$.

В данном случае задача сводится к нахождению оптимального значения u_1 , т.е. такого, которое удовлетворяло бы тому или другому предъявляемому требованию.

Однако удовлетворить одновременно всем вышеперечисленным требованиям не представляется возможным, т.к. даже если сравнивать варианты только по одному из перечисленных критериев приходится учитывать влияние большого числа переменных параметров и ограничений. Перечислим лишь некоторые из этих ограничений:

- передаточное отношение в одной ступени $u \in [2 \dots 8]$;
- число зубьев шестерни $z_1 \in [13 \dots 30]$;
- коэффициент ширины колес $\psi_{ba} \in [0,2 \dots 0,5]$;
- модули зацеплений $m \geq 1,5$ мм.

В учебной литературе используют следующие критерии оптимизации. В [1] предложена оптимизация массы редуктора. Этому критерию удовлетворяет передаточное отношение:

$$u_1 = \sqrt[3]{0,5u^2} - 0,333 \text{ (кривая 1 рис. 1.)}$$

Очевидно, что этот критерий является самым значимым, т.к. 85% стоимости редуктора – это стоимость материалов, из которых он изготовлен.

Вторым по значимости критерием является обеспечение оптимальных условий смазывания зубчатых зацеплений, т.к. от качества смазки напрямую зависит интенсивность износа рабочих поверхностей зубьев, ресурс зубчатых передач, а также КПД редуктора. Оптимальными условиями является равенство диаметров второго и четвертого колес редуктора $d_2 = d_4$ и погружение их в масло на высоту зуба, т.е. обеспечивается оптимальное смазывание обеих ступеней и потери на разбрызгивание масла при этом минимальны. Этот критерий используется авторами [2, 3].

Однако рекомендации [2] обеспечивают отношение межосевых расстояний $a_2/a_1 = 1,5$ и погружение зубчатого колеса тихоходной ступени в масло примерно на 1/3 радиуса. Это приводит к повышенным потерям на разбрызгивание масла, хотя практически полностью удовлетворяет критерию минимизации массы:

$$u_1 = 1,176\sqrt{u} \text{ (кривая 2 рис. 1.)}$$

В работе [3] исходя из того же критерия, рекомендуется следующая зависимость:

$$u_1 = \sqrt[3]{u^2} - 0,015u \text{ (кривая 3 рис.1)}$$

Автором [4] предложена разбивка, которая при $u < 20$ практически совпадает с рекомендацией [3], а при $u > 20$ практически полностью совпадает с рекомендацией [2]:

$$u_1 = \sqrt[3]{u^2}, u \leq 20; \quad u_1 = 1,2\sqrt{u}, u > 20 \text{ (кривая 4 рис.1)}$$

В работе проанализировано распределение передаточного отношения в типовых редукторах, выпускаемых промышленностью. Как видно (кривая 5 рис.1), они не всегда согласуются с упомянутыми рекомендациями. Это объясняется необходимостью согласования передаточных чисел со стандартными значениями, установленными ГОСТ 2185.

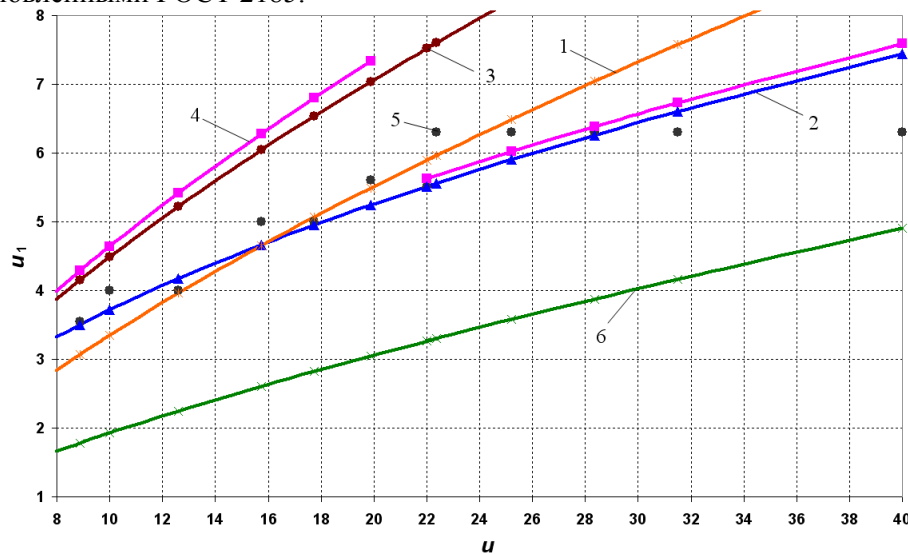


Рис. 1. Рекомендации по распределению передаточных отношений двухступенчатого редуктора

Нами проведено распределение передаточных отношений, обеспечивающее оптимизацию длины редуктора. Известно, что основной причиной выхода из строя таких передач является усталостное выкрашивание рабочих поверхностей. Основной вид расчета в этом случае – расчет по контактным напряжениям. При этом сумма межосевых расстояний определяется по зависимости:

$$A = K_a(u_1 + 1) \sqrt[3]{\frac{K_{H1}T_2}{[\sigma_H]_1^2 u_1^2 \psi_{ba1}}} + K_a(u_2 + 1) \sqrt[3]{\frac{K_{H2}T_4}{[\sigma_H]_2^2 u_2^2 \psi_{ba2}}}$$

Нами использованы все перечисленные ограничения, которые характерны для вышеизложенных методов. В частности, зубчатые колеса обеих ступеней изготовлены из одинаковых материалов и одинаковы методы термообработки, т.е. значения допускаемых контактных напряжений равны. Равны коэффициенты ширины колес ступеней редуктора. Коэффициенты долговечности и КПД не учитываем: $[\sigma_{H1}] = [\sigma_{H2}]$, $\psi_{ba1} = \psi_{ba2}$, $K_{H1} = K_{H2}$, $T_2 = T_1 u_2$, $T_4 = T_1 u_1 u_2$. Такие же упрощения применяются и упомянутыми выше авторами.

После проведения математических операций получим окончательную зависимость:

$$u_1 = \frac{\sqrt[3]{u} + u}{2(\sqrt[3]{u} + 1)} \quad (\text{кривая 6 рисунок 1})$$

Проведенный анализ подтвердил, что одновременно удовлетворить всем указанным требованиям не представляется возможным. Таким образом, подбор оптимальных значений передаточных отношений двухступенчатого трехосного цилиндрического редуктора, как и большинство задач проектирования, имеет много вариантов решения.

Литература

1. Иосилевич Г.Б. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 496 с.
3. Чернавский С. А. и др. Курсовое проектирование деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 416 с.
4. Ерохин М.Н. Детали машин и основы конструирования. – М.: Колос, 2005. – 462 с.

А.А. Волков, В.В. Гарбузов
 Научный руководитель: к.т.н. С.А. Силантьев
 Муромский институт Владимирского государственного университета
 602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23
 E-mail: ppsio@ya.ru

Модернизация машины трения МИ-1М для испытания в условиях трения с присутствием водно-абразивной суспензии

Проблема абразивного износа деталей транспортных машин, дорожных, строительных существовала всегда, и по-видимому окончательно решить ее невозможно, одна возможно использовать материалы, наиболее обладающие наибольшей абразивной износостойкостью. Износостойкость возможно повысить также используя покрытия из твердых металлов, таких как хром, используя полимерные и комбинированные неметаллические покрытия.

Для оценки износостойкости деталей, работающих в условиях трения с присутствием абразива (глина, песок, скальные породы) предлагается воспроизвести в лабораторных условиях воздействие внешней среды на подвижное соединение. Испытательная машина типа МИ-1М позволяет воспроизвести кинематический тип сопряжения «вал-колодка», «вал втулка», «вал-вал». Для приближения к реальным условиям эксплуатации предлагается подавать в зазор суспензию, приготовленную из воды и кварцевого песка, соответствующего требованиям ГОСТ 2138-84.

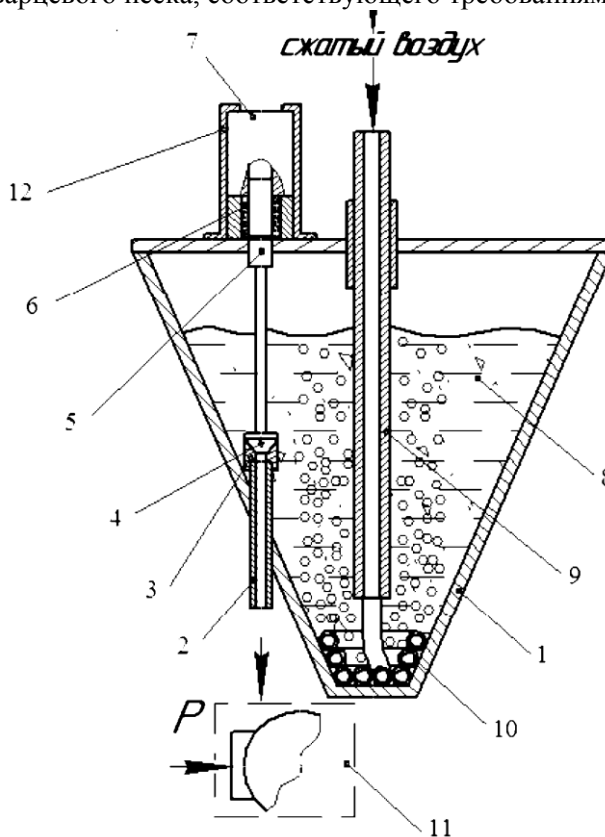


Рис. 1 Устройство подачи абразивной суспензии

В основе принципа действия устройства подающего суспензию (рис 1) лежит явление барботирования, возникающее в неоднородной смеси воды и абразива 8 при подаче сжатого воздуха по трубке 9 в эжектор 10 в нижней части резервуара-накопителя 1. Частицы абразива увлекаются током воздуха и воды в верхнюю часть резервуара, и самотеком подаются по выпускной трубке в узел трения. Для регулирования и остановки подачи суспензии используется клапан 4, прилегающий к седлу 3. Клапан управляется расположенным в корпусе 12 электромагнитом 7 через толкатель 5, возврат толкателя обеспечивается пружиной 6.

Секция 7. Инновационные технологии в машиностроении

При постоянной подаче напряжения на электромагнит осуществляется полное открытие клапана. Импульсная подача напряжения позволяет добиться изменения подачи суспензии в узел трения.

Таким образом машина трения МИ-1М расширяет свои возможности и позволяет проводить испытания с различными абразивными материалами различной зернистости.

Способы повышения износостойкости рабочих деталей штампов

Повышение износостойкости рабочих деталей штампов позволяет сократить технологические затраты, повысить производительность труда, а также уменьшить себестоимость готовых деталей. В современном производстве существует множество методов повышения износостойкости деталей штампов, рассмотрим основные из них:

1. Метод финишного плазменного упрочнения. На рабочую поверхность наносят тонкий слой алмазоподобного тонкопленочного покрытия. Толщина нанесенного покрытия не превышает 2 мкм. Процесс является финишной операцией и осуществляется при изготовлении матриц и пуансонов на заводе-изготовителе. Поверхностный слой такой рабочей поверхности достигает твердости 52 ГПа, низким коэффициентом трения, эрозионстойким и устойчивым к воздействию агрессивных сред. Что приводит к уменьшению усилия выталкивания, снижению прилипания заготовки к матрице и пуансону, предотвращение образования царапин и задиров на стенках матриц и пуансонов.

2. Метод комплексной технологии упрочнения вырубных штампов состоящий из трех последовательно проводимых операций: закалки с отпуском на вторичную твердость, которая обеспечивает правильное сочетание структуры и свойств поверхности штампов; финишную размерную электрофизическую обработку, обеспечивающую формирование исполнительных размеров штампа, а также минимальную дефектность поверхности; ионное азотирование в установках с комбинированным нагревом. Температура изделия поддерживается внешними нагревателями сопротивления и заметно уменьшается плотность тока тлеющего разряда по сравнению с обычным ионным азотированием. Износостойкость инструмента, обработанного по указанной технологии, возрастает в 2-4 раза.

3. Метод электроискрового упрочнения в основном применяется для пробивных и высадочных матриц и пуансонов, гибочного и другого инструмент. Сущность процесса заключается в многократном действии на поверхность детали импульсных электрических разрядов, вызывающих оплавление небольших участков поверхности. При этом происходит сверхскоростная закалка тонкого поверхностного слоя; азотирование — диссоциация азота воздуха с образованием атомарного азота, соединяющегося с материалом инструмента с образованием нитридов; цементация - соединение углерода, содержащегося в электроде, с материалом инструмента. Прочность и износостойкость деталей после обработки значительно повышается, а ударная вязкость и усталостная прочность снижаются. Повышается в несколько раз твердость, кавитационная, тепловая и эрозионная стойкость.

Литература

1. Фукс-Рабинович Г.С. Комплексная технология упрочнения пробивных штампов // Кузнечно-штамповое производство. 1993. N 1. – С. 17-19.
2. Зотьева А.С., Коцюбинский О. Ю. Прогнозирование деформации при азотировании // Металловедение и термическая обработка металлов. 1977. N 11. – с. 67-69.

И.И. Клименков

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Л.Г. Никитина

Муромский институт Владимирского государственного университета

602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23

E-mail: Apmirp@yandex.ru

Интенсификация охлаждения корпуса мотор-шпинделя

Перспективным приводом многоцелевых станков является электромеханический привод - мотор-шпиндель (МШ), представляющий собой шпиндельную бабку со встроенным асинхронным электродвигателем, ротор которого установлен непосредственно на шпинделе. [1].

Наличие в корпусе шпиндельной бабки дополнительных источников тепловыделения (ротора и статора) увеличивают теплонапряженность шпиндельного узла[2]

Для уменьшения влияния тепловыделения в роторе и статоре на нагрев шпиндельных опор узла, в опытном образце МШ180 (высота центов 180 мм, выходная мощность 7.5 кВт) предусмотрена двухконтурная аксиальная вентиляция. В задней стенке корпуса МШ встроены 4 осевых вентилятора с производительностью каждого 0.077 м³/с и развиваемом давлении равном 60 Па. При этом суммарный расход воздуха через каналы МШ составляет 0.14 м³/с, с соответствующим распределением по контурам: 0.11 м³/с – через внешний контур охлаждения; 0.03 м³/с – через внутренний контур охлаждения. Такое распределение расходов подтвердилось экспериментально при стендовых испытаниях опытного образца МШ. Геометрические параметры каналов и распределение расходов воздуха по контурам обеспечивают среднюю скорость движения воздуха, равную 5-6 м/с. При этом температура обмотки статора не превышает 60 °С, а нагрев опор ШУ позволяет обеспечить параметр быстроходности $d \cdot n =$

$5 \cdot 10^5$ мм·об/мин (d - диаметр шпинделя, мм; n - частота вращения шпинделя, об/мин.). Изменение расходов продуваемого воздуха показало следующее: уменьшение расхода приводит к резкому увеличению нагрева узла и прежде всего опор ШУ; увеличение расхода от 0.14 до 0.4 м³/с обеспечивает снижение температуры шпиндельных опор на 6-8%. Увеличение расхода воздуха требует более мощных вентиляторов и не оправдано экономически.

Интенсифицировать теплоотдачу во внешнем корпусе возможно за счет оребрения корпуса статора. В этом случае, тепловой поток, отводимый с оребренной поверхности корпуса, состоит из части, рассеиваемой с поверхности корпуса, включающей промежутки между ребрами и части, рассеиваемой поверхностью ребер. Для МШ180 имеющего ширину ребра 4 мм, высоту ребра 25 мм, расстояние между ребрами 20 мм коэффициент теплоотдачи корпуса равен 196 Вт/см² · °С. (коэффициент теплоотдачи цилиндрического корпуса равен 70 Вт/см² · °С). Повышение теплоотдачи оребренного корпуса возможно при условии, что характер движения воздуха в межреберных каналах подобен движению воздуха при цилиндрическом исполнении корпуса статора. Это возможно, если расход воздуха через оребренную поверхность корпуса статора будет соответствовать 0.124 м³/с.

Расчет вентиляционных цепей, состоящих из сопротивлений входа, кожуха, оребренного корпуса, выхода, показывает, что для обеспечения данного расхода достаточно использовать четыре осевых вентилятора с производительностью каждого 0.08 м³/с, при давлении 60 Па.

Оребрение корпуса статора увеличивает теплоотвод от сердечника статора, отводя в среднем 60-70% потерь, образующихся в обмотке и сердечнике статора, что обеспечивает меньший теплоотвод от статора в стенки корпуса и шпиндельные опоры узла. Выполнение оребрения на всей длине корпуса статора улучшает теплоотвод от шпиндельных опор узла МШ: температура в передней опоре в области больших частот вращения снижается на 8-10% по сравнению с нагревом опоры в базовой конструкции; температура обмоток статора снижается на 25-30% по сравнению с температурой обмоток статора, размещенного в цилиндрическом корпусе.

Оребрение корпуса статора повышает теплоотвод и снижает температурные деформации МШ. Для МШ180 величина углового поворота снижается на 55% на номинальной частоте вращения (750 об/мин) и на 35% на максимальной частоте вращения (7500 об/мин).

Анализ полученных результатов формирования температурного поля и температурных деформаций говорит о перспективности использования данного узла в качестве привода главного движения многоцелевых станков.

Секция 7. Инновационные технологии в машиностроении

Литература

1. Королев Э. Г., Юденков Н. П., Арапов А. Н. Мотор - шпиндели для станков с ЧПУ // Станки и инструмент. –1986. – № 2. – С. 8-9.
2. Никитина Л.Г. Сегидя А.П. Снижение тепловых деформаций мотор-шпинделей //СТИН. – 1993. - №6.- С.8 -11.

Е.А. Матвеев
Научный руководитель к.т.н., доцент. А.В. Волченков
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23
E-mail: armitp@yandex.ru

Исследование адаптации материалов при приработке

Приработка трущихся поверхностей проходит в несколько этапов. Сначала за счет поверхностной пластической деформации и интенсивного износа возрастают контурная, а затем и фактическая площади контакта. В это время вступают в контакт наиболее высокие микровыступы, которых сравнительно не много; на их вершинах возникают большие напряжения, превосходящие предел упругости. Вследствие многократных пластических передеформаций происходит быстрое разрушение микровыступов, их вершины сглаживаются, высота уменьшается, микротвердость при этом увеличивается. Процесс взаимной адаптации в этот период происходит очень быстро, безопасны даже очень высокие скорости роста нагрузки так как из-за большой удаленности очагов схватывания друг от друга схватывание как процесс не может принять опасного лавинообразного характера. Далее в контакт вступают более низкие микровыступы. При этом более интенсивно изменяется микрогеометрия поверхностей, по мере снижения микроконтактных напряжений в пятнах контакта пластическая деформация уступает место упруго пластической, интенсивность изнашивания существенно уменьшается. К моменту времени высоких нагрузок, первичная приработка материалов уже произошла, отдельные участки поверхности приобрели более высокую микротвердость. Дальнейшее увеличение площади контакта, которое необходимо для восприятия более высоких нагрузок, за счет изнашивания и формирования адекватных триботехнических свойств поверхностей, все более затрудняется, а вероятность заедания с ростом фактической площади контакта возрастает. В этой связи время приработки на каждой последующей ступени становится продолжительнее, а безопасные приросты нагрузки меньше. Адаптация завершена, когда дальнейшее изменение микрогеометрии шероховатостей и соответствующих физико-химико-механических свойств поверхностей блокируется микрозадирами в отдельных пятнах контакта и усталостным износом приповерхностных слоев. Устанавливается «равновесная» шероховатость и соответствующие текущему значению нагрузочно-скоростного режима триботехнические свойства материалов поверхностей.[1] Следовательно, для обеспечения адекватности изменения нагрузочно-скоростного режима обкатки изменению физико-химико-механических свойств поверхностей деталей при приработке, необходимо, чтобы скорость роста тормозного момента снижалась со временем, причем, [2] величина прироста нагрузки не превышала на каждой ступени приработки сформированной ранее нагрузочной способности сопряжений. Для оценки величины прироста нагрузки предложен показатель k_j , который равен отношению величины прироста нагрузки на данной ступени обкатки к запасу до заедания данного сопряжения. Применительно к производственным условиям обкатки ДВС границей заедания целесообразно принять его внешнюю характеристику, которая по сути является максимально допустимыми параметрами его работы. На основании практического опыта проведения обкаток, безопасную величину k_j следует принять равной для разного типа двигателей и степени их энергонапряженности $k_j = 0,1-0,25$.

Литература

1. Волченков А.В. Исследование антифрикционных материалов узлов трения на прирабатываемость // Современные проблемы науки и образования. 2014. – № 6
2. Волченков А.В., Матвеев Е.А. Режим приработки как функция триботехнических свойств материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. № 4 (306). – С. 144-148.