

А.М. Медведев, Г.В. Литовка, А.В. Станийчук

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований с использованием инновационных подходов снижения шума зубчатых передач редукторных систем, позволяющих на ранних стадиях проектирования добиться уменьшения шумоизлучения оборудования. Реализация результатов экспериментальных исследований воплощена в увеличении звукоизолирующей способности зубчатых колес, боковые поверхности которых облицованы полимерной пленкой. Спроектирована и изготовлена технологическая установка для нанесения полимерных облицовок методом электроосаждения, исследованы полимерные материалы облицовок и технологические режимы.

Ключевые слова: технологическое оборудование, шум и вибрация зубчатых передач, металлополимерные зубчатые колеса.

INNOVATIVE APPROACH TO REDUCE NOISE AND VIBRATION IN MECHANICAL DRIVES PROCESS EQUIPMENT

The article presents the results of experimental studies using an innovative approach noise reduction gears and gear systems, allowing the early design stages to achieve reduction of noise emissions equipment. Implementation of experimental results embodied in increasing the sound transmission gears, the side surfaces of which are lined with a polymeric film. Designed and manufactured a processing unit for polymer electrodeposition facings, linings investigated polymer materials and process conditions.

Key words: technological equipment, noise and vibration gear, steel-toothed wheels.

Введение

Развитие станкостроения определяет уровень всего машиностроительного производства. Проблемы научно-технического прогресса однозначно связаны с постоянным улучшением качества продукции и оборудования. Динамическое качество станков оценивается в совокупности технико-эксплуатационных, технологических и других параметров и определено критериями международных стандартов качества. Одним из важнейших показателей динамического качества оборудования, определяющего условия труда обслуживающего персонала и конкурентоспособность на рынке, является шум. Однако проблема обеспечения заданного динамического качества далека от решения, что объясняется, прежде всего, ее сложностью и недостаточной изученностью. Кроме того, положение, пола-

гаем, связано со сложными кинематическими и конструктивно-технологическими особенностями технологического оборудования.

Постановка задачи

По результатам многочисленных исследований установлено, что интенсивность и спектральный состав вибраций и шума в значительной мере определяются величинами и характером распределения точностных дефектов зубчатых колес [1, 2, 4]. Естественным и эффективным путем снижения виброактивности зубчатых передач является повышение точности изготовления зубчатых колес. Однако требует значительных экономических затрат, поэтому работы в данном направлении обычно совмещают с введением селективного подбора зубчатых пар на обкатных станках, который часто обеспечивает при той же точности зубчатых колес значительное снижение их виброактивности и повышение долговечности [3].

Существенное снижение виброактивности зубчатых передач может быть достигнуто за счет применения технологических методов окончательной обработки, обеспечивающих рациональную шероховатость рабочих поверхностей зубьев. Известен ряд методов окончательной обработки рабочих поверхностей, основными из которых являются шевингование, шлифование, хонингование, притирка и обкатка зубьев. *Шевингование* обеспечивает повышение класса чистоты рабочих поверхностей зубьев и точности, главным образом, их профиля. В настоящее время это наиболее разработанный и распространенный метод окончательной обработки цилиндрических зубчатых колес средних степеней точности. *Шлифование* – самый распространенный метод окончательной обработки закаленных зубчатых колес, обеспечивающий достижение высоких степеней точности. Большой недостаток шлифования – возможность образования на рабочих поверхностях зубьев прижогов. Экспериментальные исследования влияния прижогов на усталостную прочность зубчатых колес показали, что нагрузочная способность и долговечность шлифованных зубчатых колес в значительной мере зависят от степени прижогов, следовательно, от режимов шлифования. *Зубопритирка и зубохонингование* применяются для окончательной доводки зубчатых колес ответственных передач после химикотермической обработки и шлифования. Притиркой достигается снижение отклонений профиля, повышение класса чистоты поверхностей зубьев на один-два разряда, уменьшение шума передачи и пятна контакта, а значит, и повышение долговечности и плавности работы передачи. Хонингование позволяет повысить класс точности поверхностей зубьев и снизить шум передачи на 3 – 4 дБ. *Обкатка* зубьев цилиндрических колес производится на специальных зубообкатных станках или в приспособлениях на горизонтально-фрезерных, токарных и других станках совместным вращением обрабатываемого зубчатого колеса и одного или нескольких закаленных до большой твердости эталонных колес под распоркой или окружающей нагрузкой. Обкатка незакаленных колес позволяет уменьшить шероховатость, устранить заусеницы и забоины, несколько улучшить геометрию профильных поверхностей. Как развитие метода обкатки можно рассматривать *метод холодного калибрования* обкатыванием калибровочными зубчатыми накатниками при значительных $80 - 90 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ калибрующих усилиях, вызывающих локальное пластическое течение поверхностных слоев металла зубьев. Однако реализация этих разработок в условиях производств весьма трудоемка и, кроме того, путем повышения точности зубчатых профилей виброактивность зубчатых передач эффективно снижается лишь до степеней точности, при которых погрешности изготовления становятся соизмеримыми с величинами других деформаций зубьев под нагрузкой. Акустическая эффективность составляет 1 – 3 дБА и требует значительных экономических затрат [5].

Дальнейшие исследования проводились с целью уменьшить шумоизлучение механических приводов оборудования за счет применения полимерных покрытий на боковых поверхностях зубчатых колес редукторных систем технологического.

Методика экспериментального исследования увеличения звукоизолирующей способности зубчатых колес, боковые поверхности которых облицованы полимерной пленкой

С акустической точки зрения, приводы технологического оборудования необходимо рассматривать как систему элементов (пластин и воздушных объемов, обладающих сложными резонансными свойствами), акустически связанных между собой в соответствии с геометрией передач. Один из эффективных способов увеличения звукоизоляции зубчатых колес редукторных систем – применение легких звукопоглощающих материалов, ровным слоем покрывающих всю изолируемую поверхность преграды [3, 6]. Перспективным для снижения шума зубчатых передач представляется увеличение механического импеданса в местах излучения. При разработке данного направления были реализованы конструкции зубчатых колес с полимерной облицовкой, наносимой на стальную арматуру методом электроосаждения. Объектом исследований был выбран механический привод крутильно-вытяжной машины КВЗ-250-КА (рис. 1).

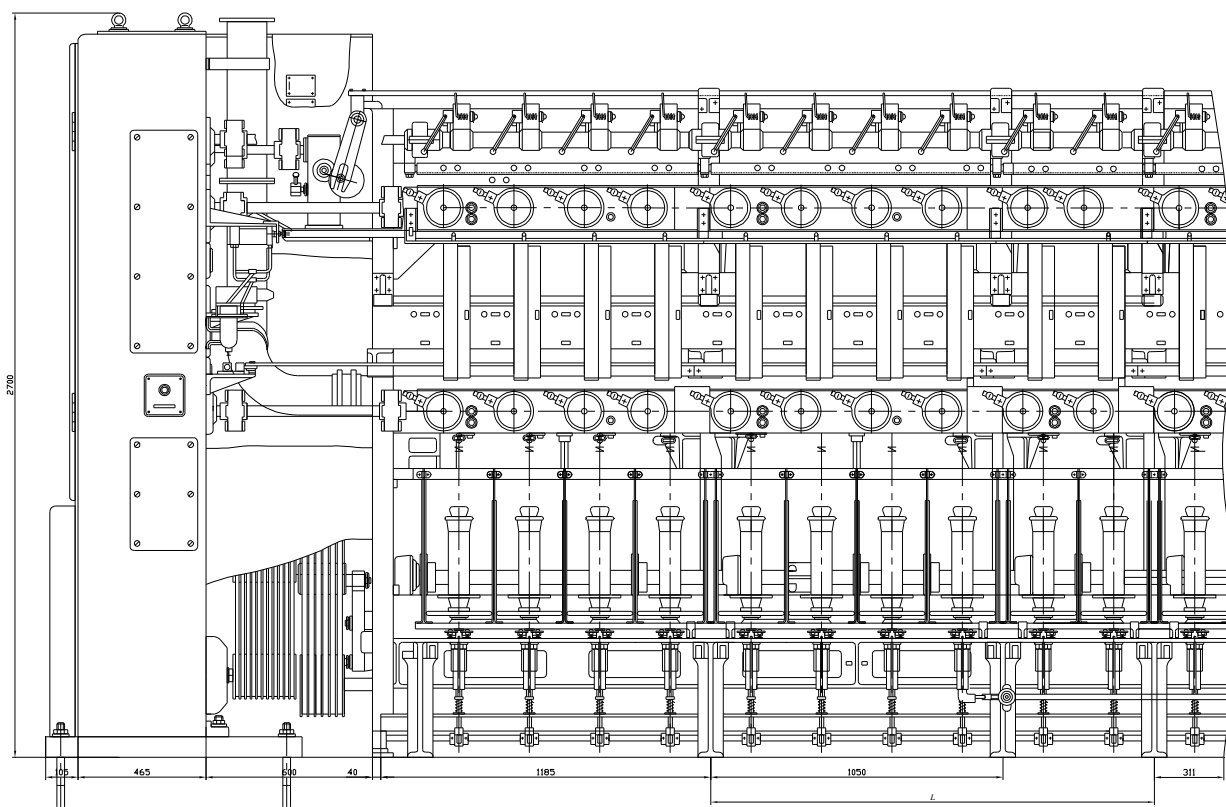


Рис. 1. Механический привод крутильно-вытяжной машины КВЗ-250-КА.

Схема установки для нанесения полимерных облицовок методом электроосаждения представлена на рис. 2.

Формирование покрытия данным методом происходит в две стадии. На первой стадии на аноде (зубчатое колесо) выделяется осадок пленкообразователя. При последующем термоотверждении в условиях повышенных температур образуется трехмерная сетка из практически обезвоженной олигомерной системы (сухой остаток пленки составляет 98 – 99%). Вода из осадка удаляется за счет электроосмотического обезвоживания.

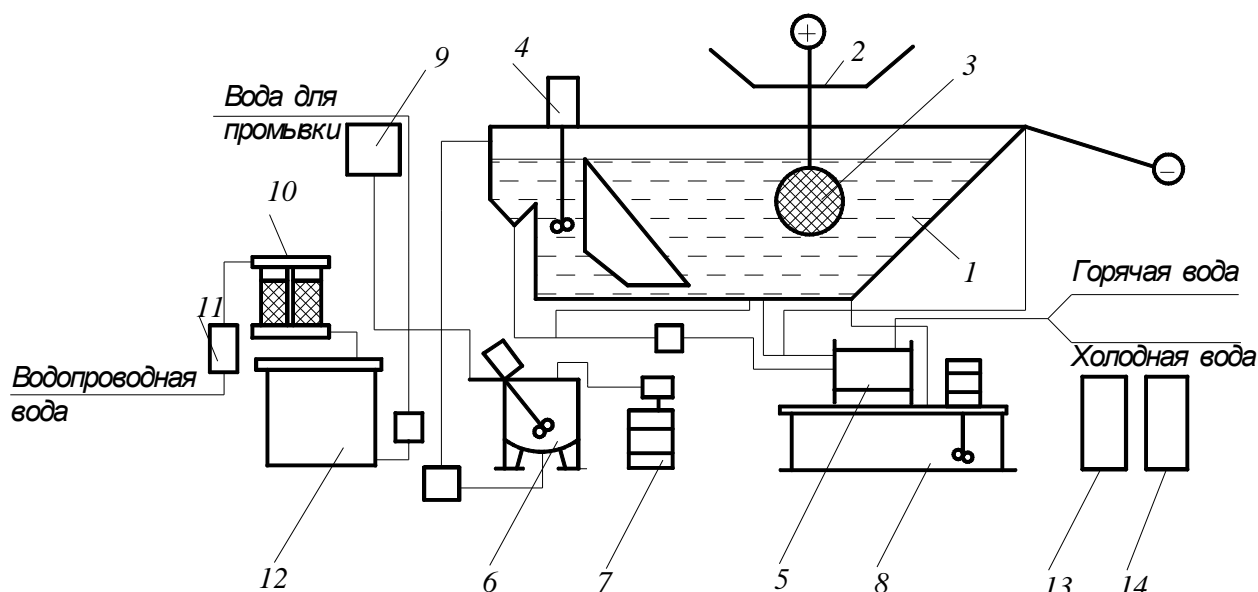


Рис. 2. Схема установки для нанесения полимерных облицовок методом электроосаждения: 1 – ванна электроосаждения; 2 – токосъемная шина; 3 – зубчатое колесо; 4 – мешалка; 5 – теплообменник; 6 – смеситель; 7 – бочка с исходным материалом; 8 – резервная емкость; 9 – бачок для нейтрализатора; 10 – установка для обессоливания воды; 11 – фильтр; 12 – резервная емкость для обессоленной воды; 13 – пульт управления; 14 – источник постоянного тока.

В результате происходят уплотнение пленки и увеличение ее электросопротивления. Таким образом, при электроосаждении из низкоконцентрированных растворов образуются осадки, представляющие собой высококонцентрированные системы.

Одновременно с формированием пленки за счет взаимодействия частиц пленкообразователя друг с другом и с поверхностью анода формируются когезионные и адгезионные связи. При этом наблюдается возрастание электросопротивления анода в местах осаждения полимерного материала, в результате чего силовые линии поля перераспределяются. На участках зубчатого колеса, на которых в начальный момент была пониженная плотность тока, также происходит осаждение материала, и в конечном счете на всех поверхностях зубчатого колеса образуется равномерный по толщине слой покрытия.

Особое внимание было уделено процессу предварительной обработки поверхностей зубчатых колес. Выбор метода подготовки поверхностей определялся видом металла и полимерного покрытия, а также условиями эксплуатации. Технологический процесс подготовки поверхностей зубчатых колес включал следующие операции: обезжиривание, промывку, фосфотирование, промывку, пассивацию, промывку, сушку.

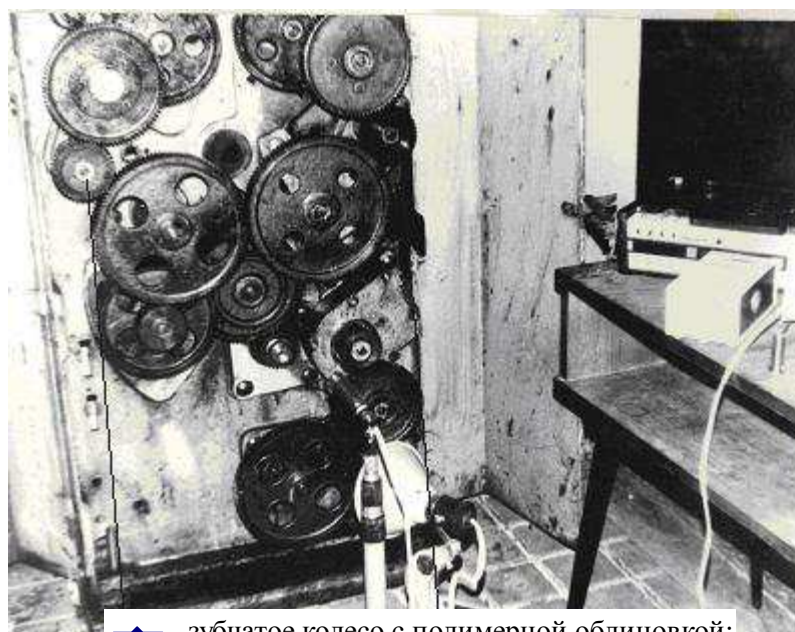
В таблице приведены параметры технологического процесса получения покрытия на боковых и образующих поверхностях зубчатых колес [7].

Технологические параметры электроосаждения и сушки

Материал	Концентрация рабочего раствора, %	Температура ванны, С°	Постоянное напряжение, В	Продолжительность нанесения, мин.	Режим сушки С°, мин.	Толщина покр., мкм
ВКЧ-0207	10	23	150	2	190, 25	20

Для проведения исследований шумоизлучения и работоспособности была изготовлена экспериментальная установка, уменьшенная копия головной передачи крутильно-вытяжной машины КВЗ-250-КА (рис. 3).

Рис. 3. Стенд для испытаний металлополимерных зубчатых колес:



◆ - зубчатое колесо с полимерной облицовкой;

● - серийное исполнение.

1 – металлополимерные зубчатые колеса.

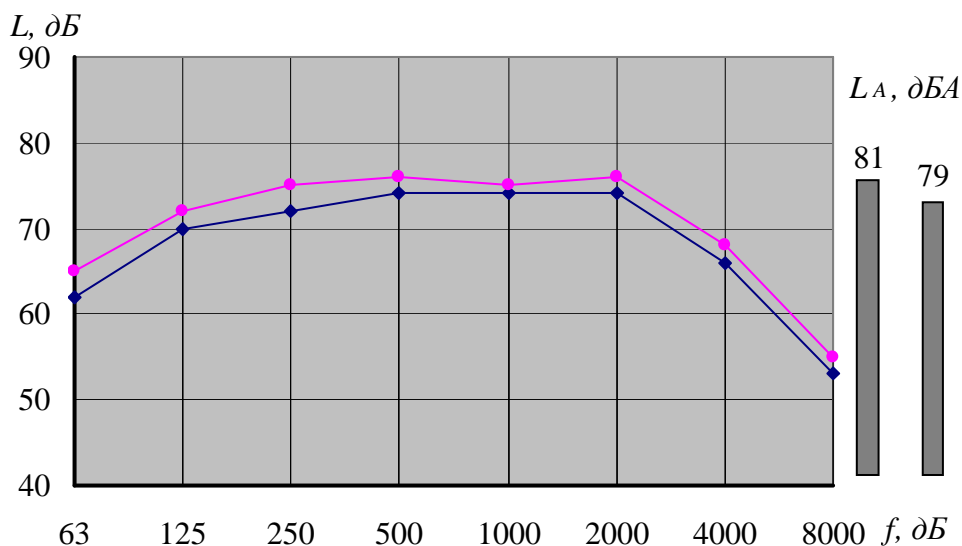
Исследования выполнены на базе серийных цилиндрических прямозубых зубчатых колес $Z=40$. С целью уменьшения технологических факторов, влияющих на рассеивание результатов, зубчатые колеса нарезались на одном и том же оборудовании, с одинаковыми нормами точности. Геометрические параметры опытных колес (боковые поверхности) были уменьшены на 20 мкм – толщину полимерной облицовки.

Экспериментальные исследования шумоизлучения металлополимерных зубчатых колес проводились в заглушенной камере 1-го класса. Целью испытаний являлась экспериментальная оценка ожидаемого снижения уровня шума передачи за счет использования зубчатого колеса, боковые поверхности которого облицованы полимерной пленкой. Испытания проводились в диапазоне скоростей и нагрузок, охватывающем наиболее типовые режимы эксплуатации механических приводов металлорежущих станков. Частота вращения зубчатых колес контролировалась стробоскопическим тахометром 2ТС 32 – 45С. В ходе эксперимента были исследованы уровни звукового давления (УЗД) в октавных полосах частот 63 – 8000 Гц и уровни звука (УЗ) серийных и опытных зубчатых колес.

Наиболее характерные спектры шума, полученные при сравнительных испытаниях, представлены на рис. 4. Характер спектра УЗД экспериментальной зубчатой передачи практически не изменялся. Однако УЗД опытной передачи ниже, чем серийный, на 2 – 3 дБ. Особо следует отметить, что снижение наблюдается во всем исследуемом диапазоне частот.

Снижение шумоизлучения зубчатой передачи может быть объяснено следующим образом: во-первых, полимерная облицовка в определенной степени выполняет функции виброизолирующей оболочки, в которой находится зубчатое колесо, и, во-вторых, введение полимерной облицовки существенно влияет на излучающую способность боковых поверхностей колес. Существенно повысить виброизолирующий эффект полимерной облицовки могло быть введение в конструкцию колеса виброгасящего, вибродемпфирующего устройства, но увеличение акустической эффективности не входило в план исследований.

Рис. 4. Спектр звукового давления и уровень звука зубчатой передачи:



Важнейшим аспектом разработки и эксплуатации металлополимерных зубчатых колес является исследование износостойкости облицовок. После 600 часов непрерывной наработки разрушения целостности полимерной облицовки на боковых поверхностях зубчатых колес не отмечены.

Выводы

Как видно из изложенного, использование металлополимерных зубчатых колес рационально в передачах, работающих с относительно мягкими режимами эксплуатации. Данный тип зубчатых колес обладает сравнительно неплохими виброакустическими характеристиками, высокой технологичностью при массовом производстве, обеспечивает снижение массы передач. Однако применяемые для их изготовления полимерные материалы в настоящее время еще существенно уступают конструкционным сталям по прочностным характеристикам. Вопрос разработки и исследования новых полимерных облицовок образует самостоятельное направление и в данной работе не рассматривался.

1. Иванов, Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: Учебник. – М.: Логос, 2008. – 423 с.
2. Месхи, Б.Ч. Улучшение условий труда операторов металлорежущих и деревообрабатывающих станков за счет снижения шума в рабочей зоне (теория и практика). – Ростов н/Д.: ДГТУ, 2003. – 131 с.
3. Юдин, Е.Я. Борьба с шумом на производстве. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
4. Фолкнер, Л. Справочник по контролю промышленных шумов. – М.: Машиностроение, 1979. – 448 с.
5. Справочник по технической акустике / пер. с нем., под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера. – Л.: Судостроение, 1980. – 440с.
6. Боголепов, И.И. Промышленная звукоизоляция. – Л.: Судостроение, 1986. – 368 с.
7. Медведев, А.М., Бородин, Н.И. Опыт применения новых защитных пленочных покрытий // Акустическая экология-90. – Л., 1990. – С. 79-81.