

## ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА, ГЕНЕРИРУЕМОГО ЗУБЧАТЫМИ ПЕРЕДАЧАМИ

**В.К. ШЕЛЕГ, МА МИНЬ, М.А. КРАВЧУК**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Разработаны технологические процессы формирования покрытий для улучшения виброакустических характеристик зубчатых передач. Для нанесения покрытий на торцы зубьев предложено использовать газопламенное напыление порошка ПЭТФ, а на рабочий профиль – нанесение бронзографита  $BrO_5C_5C_5Gr_1DM_{0,5}$  деформационным плакированием гибким инструментом.*

В современном станкостроении проблема снижения шума и вибраций становится чрезвычайно актуальной, поскольку у большинства металлорежущих станков нормированные уровни звукового давления находятся в пределах 84–100 дБ и более. Наиболее высокие уровни шума зарегистрированы у крупногабаритных токарных, револьверных, фрезерных и шлифовальных станков. Как показали исследования [1], основными узлами, определяющими виброакустические характеристики изделий машиностроения, являются зубчатые передачи приводных механизмов. Поэтому поиск путей и отработка конструкторско-технологических решений, направленных на снижение шума и вибраций, генерируемых зубчатыми передачами, являются важной задачей.

Улучшение виброакустических характеристик зубчатых передач обеспечивается изготовлением колес из сплавов с высокими демпфирующими свойствами, а также нанесением покрытий на торцы и/или рабочий профиль зубьев колес. Приклеенные куски холста, либо гальванические покрытия из меди, цинка, олова и никеля, при первоначальном уровне 90 дБ обеспечивают снижение уровня шума передачи до 81, 80, 78, 76 дБ соответственно [2]. Однако, нанесение покрытий на торцы колес дает эффект лишь в области высоких частот, где расположены собственные частоты колебаний обода и диска. Кроме того, несмотря на положительный эффект по снижению шума и демпфированию колебаний, гальванические покрытия обладают слабой адгезией к основе и поэтому быстро отслаиваются. К тому же технологии гальванического осаждения экологически небезопасны.

Покрытия на рабочий профиль зубьев колес наносят преимущественно с целью улучшения их нагрузочной способности. Вместе с тем в процессе работы зацепления покрытие может обеспечить и снижение шума, обусловленного пересопряжением зубьев. Например, медная пленка толщиной до 2 мкм способствует уменьшению уровня шума эвольвентных зубчатых пере-

дач в среднем на 15 % [3]. Однако покрытие на рабочем профиле зубьев иногда может приводить к ухудшению работоспособности зубчатых колес. Поэтому при нанесении покрытий на зубья колес чрезвычайно важным является обоснованный выбор состава и технологии нанесения покрытий.

Сотрудниками кафедры «Технология машиностроения» БНТУ разработаны технологические процессы формирования покрытий на зубьях колес для улучшения виброакустических характеристик зубчатых передач. Для нанесения покрытий на торцы зубьев предложено использовать газопламенное напыление полимерных порошков [4], а на рабочий профиль – деформационное плакирование гибким инструментом [5].

Установлено, что наилучшими диссипативными свойствами обладают покрытия, полученные газопламенным напылением порошком полиэтилен-терефталата ПЭТФ (ГОСТ Р 51695–2000) грануляцией 60 – 200 мкм с помощью термораспылителя ОИМ 050. Максимальная прочность сцепления на нормальный отрыв покрытий, нанесенных порошком ПЭТФ (10,5 МПа), достигается при использовании горючей смеси с соотношением пропана и воздуха 1:26 и последующим охлаждением со скоростью не более 3 град./с.

Используя особенности конструкции полимерного термораспылителя модели ОИМ 050 можно управлять насыщением воздушными пузырьками (процесс аэрирования) напыляемых полимерных покрытий и, таким образом, увеличивать их диссипативные свойства [4]. При увеличении количества воздуха, подаваемого в спутный поток, проходящий через кольцевой зазор соплового наконечника, в покрытии образуются воздушные пузырьки, количество которых пропорционально объему воздуха, проходящего через зазор. Регулируя объем воздуха, проходящий в спутном потоке, получают покрытия с достаточно большой степенью аэрирования. Использование аэрирования при формировании шумопоглощающих покрытий позволяет увеличить их логарифмический декремент затухания на 18 – 26%. Насыщение пузырьками воздуха в количестве 15 – 20% от общего объема полимерных покрытий позволяет сохранить величину их адгезии со стальными подложками до 6 МПа.

Для снятия поверхностного окисного слоя и придания необходимой шероховатости использовали струйно-абразивную обработку дробью чугуна колотой ДЧК 1 545 ГОСТ 11964-81 при давлении воздуха сжатого ГОСТ 9.010-80 около 0,6 МПа и расходах 40 – 50 м<sup>3</sup>/ч. Параметр шероховатости после обработки составлял  $R_z = 50 \dots 60$  мкм. Для защиты поверхностей, не требующих нанесения покрытий, использовали кремнийорганический лак типа КО 815 ГОСТ 11066-74. Режимы газопламенного напыления: давление и расход пропана – 0,19 МПа, 1,1 м<sup>3</sup>/ч; воздуха на горение факела – 0,40 МПа, 18 м<sup>3</sup>/ч; воздуха, подаваемого в спутный поток, проходящий через кольцевой зазор соплового наконечника – 0,40 МПа, 2,0 м<sup>3</sup>/ч; воздуха на транспортировку порошка – 0,40 МПа, 1,5 м<sup>3</sup>/ч. Толщина наносимых покрытий – около 1 мм.

Анализ условий и характера фрикционного взаимодействия типовых конструкций пар трения скольжения, включая зубчатые передачи приводных

механизмов показывал, что для формирования покрытий на их рабочих поверхностях с целью снижения трения и улучшения демпфирования колебаний целесообразно использовать материалы, обладающие низким коэффициентом трения, устойчивостью к заеданию и схватыванию, малым износом, а также высокими демпфирующими свойствами [5]. На основании результатов триботехнических испытаний был выбран состав спеченного материала-донора – бронзографит БрО5С5Ц5Гр1ДМ0,5. Определены технологические режимы плакирования: соотношение линейной скорости вращения обрабатываемой детали и линейной скорости вращения щетки  $v_d/v_{щ} = 0,006–0,009$ , натяг  $N = 1,5–2,0$  мм, число проходов  $n = 6–8$ . Установлено, что использование выбранных режимов способствует формированию покрытия толщиной 10–12 мкм – это достаточно для обеспечения антифрикционных и демпфирующих свойств зубчатой передачи. Результаты экспериментальной оценки относительной сплошности  $\lambda$  покрытий, сформированных с использованием установленных диапазонов значений  $n$ ,  $N$  и  $v_d/v_{щ}$ , подтвердили, что выбранные оптимальные интервалы варьирования факторов обеспечивают получение сплошного ( $\lambda = 100\%$ ), прочно сцепленного с основой покрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев, А. М. Проектирование акустически оптимальной архитектуры редукторных систем станков / А. М. Медведев, Г. В. Литовко // Ученые записки. 2013. Т. 14, № II-1. С. 64–75.
2. Берестнев, О. В. Зубчатые передачи с повышенной податливостью зубьев / О. В. Берестнев, И. В. Жук, А. Н. Неделькин. Минск: Навука і тэхніка, 1993. 183 с.
3. Берсудский, А. Л. Повышение работоспособности эвольвентных поверхностей зубчатых колес // Вестник машиностроения. 2005. № 1. С. 10–13.
4. Шелег, В. К. Технология получения и демпфирующие свойства азрированных полимерных покрытий / В. К. Шелег, Ма Минь, М. А. Белоцерковский // Наука и техника. 2021. Т. 20, № 5. С. 375–382.