

УДК 669.15:620.178.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ГЛУБИННОЙ КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ
ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕСС. П. РУДЕНКО, А. Л. ВАЛЬКО, С. Г. САНДОМИРСКИЙ
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Экспериментальные исследования показывают, что предел глубинной контактной выносливости τ_{limb} поверхностно упрочненных стальных изделий определяется величиной твердости H в каждой зоне поверхностно упрочненного слоя [1]. Во всех известных случаях связь τ_{limb} с твердостью материала H представлена линейной зависимостью. В [2] представлены результаты экспериментальных исследований сопротивления контактной усталости зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных мобильных машин, изготавливаемых из цементуемых марок сталей. Получена зависимость между максимальными контактными напряжениями σ_n и циклической долговечностью N_u для испытанных зубчатых колес с бездефектной мартенситно-аустенитной структурой и разной величиной твердости в критической зоне диффузионного слоя. Полученные результаты экспериментальных исследований явились исходными данными для определения величины τ_{limb} с учетом величины твердости в опасной зоне диффузионного слоя, измеренной в единицах по шкале Виккерса с нагрузкой 1,961 Н.

Искомое значение τ_{limb} устанавливали по критерию равенства расчетного и экспериментально установленного в процессе стендовых испытаний ресурса зубчатых передач. Расчет ресурса выполняли по методике [3] с учетом экспериментально полученной величины углового коэффициента линии усталости $m_G = 6$ [2] и величины базового числа циклов $N_0 = 5 \cdot 10^7$. На основании экспериментальных и расчетных данных установлена зависимость $\tau_{limb} = 0,3 \text{ HRC}$, где HRC – значение твердости по Роквеллу в критической зоне диффузионного слоя. Твердость диффузионного слоя поверхностно упрочненных деталей принято оценивать в единицах по Виккерсу (HV), которые связаны с твердостью по Роквеллу нелинейной зависимостью [4]. С учетом соотношения между HV и HRC получили зависимость предела глубинной контактной выносливости τ_{limb} по толщине поверхностно упрочненного слоя от величины твердости

$$\tau_{limb} = 3,15 \cdot HV^{0,616}, \quad (1)$$

где HV – величина твердости HV 0,2 с малой нагрузкой 1,961 Н.

Результаты расчета ресурса испытанных шестерен по режимам стендовых испытаний в виде гистограммы приведены на рис. 1 в сравнении с экспериментальными данными.

Анализ полученных данных показал, что при сравнении расчетных и экспериментальных данных необходимо учитывать предельное состояние по глубинному контактному выкрашиванию зубьев испытанных шестерен.

Это связано с особенностями стендового оборудования, не позволяющими достаточно точно устанавливать начало образования выкрашивания контактирующих поверхностей зубьев. Поэтому расчетный ресурс в некоторых случаях не совпадал с экспериментальными данными.

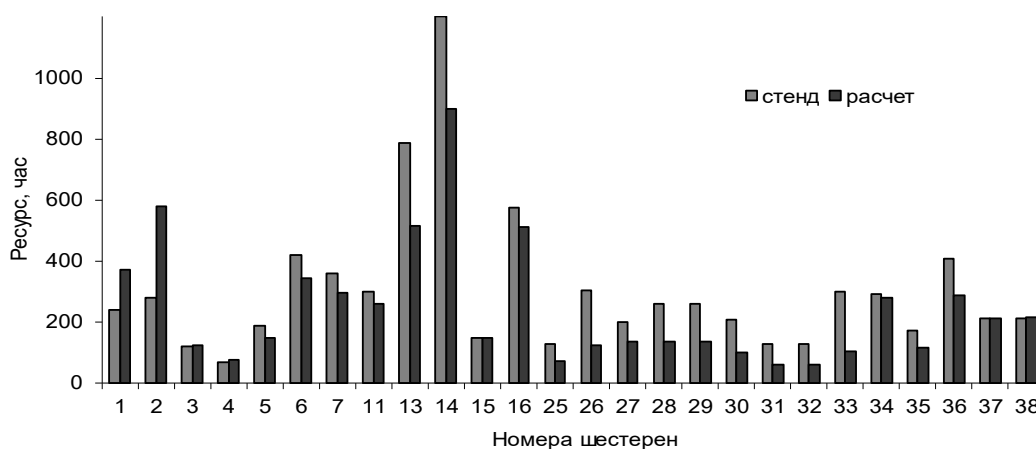


Рис. 1. Распределение твердости по толщине упрочненного слоя исследованного образца при испытаниях с разной нагрузкой

Для установления идентичности предельного состояния зубьев зубчатых передач при сравнении расчетных и экспериментальных данных была выполнена выбраковка данных по критерию глубинного контактного выкрашивания активных поверхностей зубьев. В частности, были исключены из анализа шестерни, недоработанные и переработанные в процессе ресурсных стендовых испытаний. Получено близкое соответствие результатов расчета с экспериментальными данными. Линейный коэффициент корреляции достиг высокого значения 0,964. Среднее стандартное отклонение равно 13, что допустимо для расчетных данных.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что полученная для определения предела глубинной контактной выносливости формула (1) может быть с высокой степенью достоверности применена для расчета ресурса зубчатых колес, обеспечиваемого глубинной контактной усталостью активных поверхностей зубьев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тескер, Е. И. Современные методы расчета и повышения несущей способности поверхностно упрочненных зубчатых передач трансмиссий и приводов / Е. И. Тескер. – Москва: Машиностроение, 2011. – 434 с.
2. Руденко, С. П. Построение кривых глубинной контактной усталости поверхностно упрочненных зубчатых колес / С. П. Руденко, А. Л. Валько // Механика машин, механизмов и материалов. – 2022. – № 2. – С. 48–54.
3. Руденко, С. П. Расчет ресурса зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин с учетом качества химико-термического упрочнения / С. П. Руденко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2010. – № 4. – С. 58–60.
4. Кальнер, В. Д. Переводные таблицы твердости / В. Д. Кальнер, Ф. И. Шор // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1977. – № 9. – С. 59–61.