

УДК 623.771.067

А.В.Соловьев (5 курс, каф. МиТОМД), Е.В.Шлемин, к.т.н.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАКАТЫВАНИЯ ЗУБЬЕВ

Наиболее ответственным и одновременно самым уязвимым местом инструмента для осевой накатки зубьев является его рабочий участок. Алгоритм проектирования рабочего участка строится на основе оптимизационного метода динамического программирования [1]. В алгоритме используются модели расчета напряженного и деформированного состояния заготовки и инструмента, а также феноменологическая модель повреждений накатника [2, 3].

В качестве целевой функции выбрана мера стойкости накатника, определяемая выражением: $n_{CP} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N n_j$, где n_j - количество циклов нагружений до разрушения в j -ом торцевом сечении заходного участка накатника; N - количество j -ых торцевых сечений.

Условием решения задачи является: $n_{OPT} = \max n_{CP}$

Задача решается при ограничении: $\Delta n_j / S_R < \xi$, где Δn_j - отклонение n_j от среднего значения n_{CP} , $\Delta n_j = n_{CP} - n_j$; S_R - средний квадрат отклонения, $S_R = \frac{1}{N} \sum_j \Delta n_j^2$; ξ - принятое допустимое значение, $\xi = 1,2$. Данное ограничение обеспечивает разброс значений n_j относительно n_{CP} в пределах 20%.

Процесс оптимизации управления методом динамического программирования начинается с последнего шага. В результате последовательного прохождения всех этапов от конца к началу находим на каждом этапе условное оптимальное управление. Для нахождения окончательного оптимального управления необходимо пройти снова всю последовательность шагов от начала к концу. Состояние системы S_j на j -ом шаге процедуры оптимизации характеризуем величиной суммарного обжатия заготовки. Фазовыми координатами системы, определяющими ее состояние выбираем величину обжатия Δh_j заготовки на j -ом этапе формообразования и радиус R_j сопряжения вершины и боковой поверхности зуба в j -ом торцевом сечении заходного участка накатника. Сочетание Δh_j и R_j представляют собой управление системы на j -ом шаге оптимизации $u_j = u_j(\Delta h_j, R_j)$. Под влиянием управлений u_1, u_2, \dots, u_k система переходит из начального состояния S_0 в конечное состояние S_k . Управление u_j переводит систему из состояния S_{j-1} достигнутого в результате $(j-1)$ -го шага в состояние S_j . Новое состояние зависит от S_{j-1} и управления u_j . Рекуррентное соотношение, связывающее максимальную норму стойкости n_{j-1}^* на $(j-1)$ -ом шаге оптимизации и на j -ом шаге - n_j^* , имеет вид

$$n_{j-1}^* = \max[n_{j-1}(S_{j-2}, u_{j-1}) + n_j^*]$$

Количество циклов нагружений n_j до разрушения зуба накатника в j -ом сечении заходного участка определяется на основании линейного закона суммирования повреждений теории предельных состояний материалов при произвольной системе напряжений:

$$n_j = a_{pj} / \sum_i \frac{1}{N}$$

где a_{rj} - величина повреждения приводящая к усталостному разрушению; N_i - число циклов до появления усталостного разрушения при действии переменных напряжений с амплитудой σ_{ai} .

Для оценивания величины повреждения необходимо знать спектр нагружения зубьев накатника. Спектр нагружения вычисляется с помощью математической модели объемного формообразования зубчатых венцов холодным осевым накатыванием.

По предлагаемой методике спроектирована оптимальная форма рабочего участка накатника с эвольвентными зубьями. Спектр нагружения $\sigma_{a1}, \dots, \sigma_{a4}$ и показатели стойкости K_H накатников традиционной и оптимальной формы модуля 2,5 мм из стали 20X13 (HRC 54...56), предназначенных для формообразования зубчатых венцов на заготовке из стали 20ХН ($\sigma_s = 320$ МПа) представлены в таблице 1. В расчете использованы: количество накатников $n_p=1$; ширина зуба $b=20$ мм; передаточное отношение между изготавливаемой деталью и накатником $i_{12}=3$; величина осевой подачи накатника $S_{OC}=0,4$ мм/об.

Таблица 1

Форма накатника	σ_{a1} , МПа	σ_{a2} , МПа	σ_{a3} , МПа	σ_{a4} , МПа	K_H , штук
Традиционная	960	800	670	480	3200
Рекомендуемая	810	760	660	470	7900

Выводы. На основе метода динамического программирования разработана методика проектирования зубонакатного инструмента. Оптимальная форма инструмента обеспечила повышение его стойкости в 2,0...2,5 раза и снижение уровня максимальных контактных напряжений в зоне разрушения накатников на 35...40% по сравнению с инструментом традиционной формы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Беллман Р. Динамическое программирование// М.: Мир, 1960. - 400 с.
2. Шекерджиев Э.Р., Востров В.Н. Холодное накатывание внутренних эвольвентных профилей большого модуля// СТИН. - № 8. - 1994. - С. 38-39.
3. Шекерджиев Э.Р., Востров В.Н. Многопроходное накатывание внутренних эвольвентных профилей // КШП № 1. - 1995. - С. 23-25.