

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН

Белорусская государственная политехническая академия

Минск, Беларусь

Повышение качества зубчатых передач может быть достигнуто при соблюдении следующих условий при их проектировании и изготовлении:

1. Требования к качеству поверхностей шестерен должны устанавливаться исходя из условий эксплуатации передач.

2. Маршруты обработки зубчатых колес, а также условия выполнения каждой операции должны выбираться с учетом пооперационного изменения параметров качества поверхности и их формирования на отдельных операциях.

Для решения 2-й задачи применительно к цилиндрическим зубчатым колесам нами разработаны соответствующие методики и рекомендации по выбору маршрутов обработки зубчатых колес и требований к качеству их рабочих поверхностей на промежуточных операциях с учетом обеспечения требуемого качества готовых деталей [1].

Указанные рекомендации должны использоваться при проектировании процессов изготовления шестерен, а методики – при экспериментальной отладке этих процессов.

Отладка техпроцессов – необходимый этап организации производства новой продукции, так как она позволяет приспособить разработанную технологию к конкретным производственным условиям. Но до настоящего времени отсутствует обоснованная методика выполнения этого этапа, который обычно осуществляется интуитивным методом, что снижает качество, повышает стоимость продукции и увеличивает сроки ее освоения.

Предлагаемые нами методы изучения пооперационного изменения параметров качества поверхностей зубьев с учетом влияния на эти параметры условий обработки на разных операциях обеспечивают высокую точность моделирования указанных взаимосвязей ($\epsilon_{cp} = 1-30\%$, где ϵ_{cp} – средняя относительная ошибка уравнения связи).

Данные взаимосвязи могут быть описаны полиномом первой степени (1), а предлагаемые методы успешно использоваться при отладке техпроцессов изготовления цилиндрических шестерен,

$$\bar{y} = a + b\bar{x} \quad (1)$$

В рамках данной задачи были выполнены экспериментальные исследования пооперационного изменения 4-х параметров качества поверхности зубьев (R_z , H_v , s_1 , s_2)

цилиндрических шестерен тракторов и автомобилей ($m = 2-5$ мм; $z = 23-51$; материалы колес – стали 40Х, 25ХГТ, 20ХН3А) после шести операций обработки зубьев в производственных условиях Минских заводов шестерен и автомобильного. Были рассмотрены такие операции обработки шестерен как зубофрезерование червячной фрезой, шевингование, цементация и нитроцементация в безмуфельных агрегатах, зубообкатка, зубохонингование, зубошлифование червячным и коническим кругами.

Исследованные детали обработаны на современном оборудовании с использованием современной оснастки и оптимальных режимов резания. Была обеспечена возможность измерения на одних и тех же зубьях (или вырезанных сегментах зубьев) и сопоставления параметров качества поверхности зубьев до и после данной операции. Параметр шероховатости R_a измеряли на профилографе-профилометре, микротвердость H_{μ} – с помощью микротвердомеров ПМТ-3 и ПМТ-4; остаточные напряжения 1 и 2 родов σ_1 и σ_2 – рентгенографическим методом на установке ДРОН-05.

Для каждой операции обработки, материала колеса, характеристики качества поверхности зубьев были исследованы не менее 3-х – 5-ти партий колес с числом измерений в партии не менее 50.

Предварительно, на основании анализа законов распределения указанных параметров качества на перечисленных выше операциях оценки стационарности и эргодичности изученных процессов было показано, что моделирование этих процессов можно осуществлять статистическими методами по результатам одной выборки достаточной продолжительности.

Было установлено, что для исследованных параметров качества и операций их обработки имеет место технологическая наследственность (с предыдущих операций наследуется от 10 до 77% дисперсий изученных параметров).

Значения параметров качества, характеристики пооперационных взаимосвязей в рассмотренных условиях для одного процесса изменялись в пределах 70–100%. Поэтому указанные взаимосвязи наиболее точно можно описать лишь статистическими методами по результатам эксперимента.

Данные исследования позволили предложить методики выбора маршрута обработки цилиндрических зубчатых колес и требования к их качеству на промежуточных операциях.

Прислелмым с технической точки зрения можно считать такой процесс обработки шестерни, который обеспечивает для каждого из показателей качества зубчатого колеса, нормируемых по чертежу готовой детали, соблюдение условия

$$K_{\text{изм. об.}} \leq \prod_{i=1}^m K_{\text{изм. } i} \quad (2)$$

где $K_{\text{изм. об.}}$ – общий коэффициент изменения параметра качества при реализации технологического процесса; $K_{\text{изм. } i}$ – коэффициент изменения данного параметра на i -й операции; m – число операций технологического процесса.

$$K_{\text{итм.об.}} = X_{\text{дон.мах.заг.}} / Y_{\text{дон.мах.гол.}}, \quad (3)$$

где $X_{\text{дон.мах.заг.}}$ и $Y_{\text{дон.мах.гол.}}$ – максимально допустимые значения данной характеристики качества поверхности зубьев после 1-ой операции зубообработки шестерни и у готовой детали по чертежу.

$$K_{\text{итм.и}} = X_{(i-1)\text{мах.}} / Y_{i\text{мах.}}, \quad (4)$$

где $X_{(i-1)\text{мах.}}$ и $Y_{i\text{мах.}}$ – максимально допустимые значения параметров качества на предшествующей и выполняемой операциях техпроцесса.

Для всех изученных параметров качества и процессов изготовления зубчатых колес найдены значения $K_{\text{итм.и}}$, средние значения которых приведены в табл. 1.

В табл.2 в качестве примера приведены полученные нами значения R_a и НВ зубьев цилиндрических шестерен перед шевингованием, которые обеспечивают необходимые значения этих параметров после шевингования.

Подобные таблицы составлены нами также для операций ХТО (нитроцементация), зубохонингования, обкатки и зубошлифования для всех изученных параметров качества поверхности зубьев.

При проектировании техпроцесса с помощью табл.1 выбирается маршрут обработки зубьев, а с помощью табл. 2 – требования к качеству поверхности зубьев на промежуточных операциях обработки зубьев.

Эти требования могут выбираться также и с помощью табл.1 по формуле (5), начиная с последней операции обработки зубьев,

$$X_{(i-1)\text{мах.}} = Y_{i\text{мах.}} \cdot K_{\text{итм.и}}. \quad (5)$$

где все обозначения согласно формулы (4).

При отладке техпроцесса необходимо обработать одну-две партии шестерен по спроектированному маршруту, рассчитать для каждой операции коэффициенты a и b уравнения (1), а также значения $K_{\text{итм.и}}$ и по методике [2] рассчитать уточненные значения параметров качества поверхности зубьев на промежуточных операциях их обработки.

В реальных условиях необходимо учитывать изменения всех, нормируемых по чертежу готовой шестерни, параметров качества зубьев.

Рассмотрим пример выбора маршрута обработки зубьев и требований к параметрам качества их поверхностей на промежуточных операциях по предложенной нами методике, ограничиваясь задачами обеспечения требуемых значений параметров качества поверхности зубьев R_a и НВ (H_v).

Таблица 1

Усредненные значения коэффициентов изменения $K_{изм,i}$ параметров качества поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колес при их изготовлении

Последовательно выполняемые операции	Материалы зубчатых колес	Параметры качества поверхности			
		R_a , мкм	H_v , МПа	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа
Зубофрезерование червячной фрезой – шевингование на жесткой оправке	40X	2,53	1,24	-0,82	1,25
	25XГТ	1,99	1,17	-2,20	1,74
	20ХН3А	2,29	1,12	-1,62	1,69
Шевингование – ХТО (нитроцементация)	25XГТ	0,93	0,23	0,37	0,23
	20ХН3А	0,90	0,22	0,23	0,25
ХТО – обкатка зубьев	25XГТ	1,49	0,96	0,98	0,97
	20ХН3А	1,56	0,98	0,96	0,97
ХТО – зубохонингование	25XГТ	1,38	1,06	1,65	1,17
	20ХН3А	1,56	1,09	1,54	1,26
ХТО – зубошлифование червячным кругом	25XГТ	2,90	0,90	-0,80	1,04
	20ХН3А	2,98	0,95	-0,90	1,03
ХТО – зубошлифование коническим кругом	25XГТ	2,98	0,96	-0,70	0,99
	20ХН3А	3,10	0,98	-0,75	0,96

Примечание: R_a – параметр шероховатости поверхности, мкм; H_v – микротвердость поверхности, МПа; σ_1 и σ_2 – остаточные напряжения 1 и 2 рода, МПа.

Таблица 2

Допустимые значения показателей качества поверхностей зубьев шестерен перед шевингованием, обеспечивающие требуемые значения показателей качества после шевингования

Материал зубчатых колес	Степень точности зубчатых колес после шевингования по ГОСТ 1643-81			Требуемые значения твердости поверхностей зубьев после шевингования, НВ		
	7	8	9	Материал зубчатого колеса		
	Требуемая шероховатость R_a поверхностей зубчатого колеса после шевингования			25XГТ	20ХН3А	40X
	2,5	3,2	5,0	158-211	143-217	177-261
40X	(6,3) 4,3-8,3	(8,0) 6-10	(12,6) 10,6-14,6			226-312
25XГТ	(5) 3,5-6,5	(6,3) 4,3-8,3	(10) 8-12	184-246		
20ХН3А	(5,7) 3,9-7,5	(7,3) 5,3-9,3	(11,5) 9,5-13,5		156-226	

В табл. 2 меньшие значения параметров качества приведены для плохого состояния оборудования, большие – для хорошего и средние (в скобках) – для среднего состояния. Оценка состояния оборудования может быть выполнена с помощью коэффициента точности K_T [4]. Для хорошего состояния $K_T \leq 0,7$, для среднего – $K_T \leq 0,8$, для плохого $K_T \leq 0,9$.

Дано. Необходимо спроектировать техпроцесс обработки одновенцово́й цилиндрической прямозубой шестерни $m = 3$ мм, 7-ой степени точности, материал – сталь 25ХГТ. При зубофрезеровании может быть обеспечено $R_a = 6,3$ мкм и НВ = 156–226 (ср. знач. 191). По чертежу готовой детали необходимо обеспечить $R_a = 2,5$ мкм и $H_\mu = 6490$ –8679 МПа (ср. знач. 7580 МПа), что соответствует HRC₃ = 56–63 (ср. знач. 60). Состояние оборудования среднее.

Решение:

1. Определяем значения общего коэффициента изменения параметров качества.

Для $R_a - K_{изм.об} = 6,3/2,5 = 2,52$; для НВ – $K_{изм.об} = 191/758 = 0,25$.

2. С помощью таблицы 1 выбираем маршрут обработки зубьев по условию (2) для обеспечения каждого из рассматриваемых параметров качества поверхности зубьев.

Для $R_a - 2,52 < 1,99 \cdot 0,93 \cdot 1,38 = 2,55$,

где 1,99 – $K_{изм.1}$ при шевинговании; 0,93 – $K_{изм.1}$ при ХТО; 1,38 – $K_{изм.1}$ при зубохонинговании.

Для НВ – $0,25 \leq 1,17 \cdot 0,23 \cdot 0,96 = 0,258$,

где 1,17 – $K_{изм.1}$ при шевинговании; 0,23 – $K_{изм.1}$ при ХТО; 0,96 – $K_{изм.1}$ при обкатке зубьев; (1,06 – $K_{изм.1}$ при зубохонинговании).

3. Выбор общего маршрута обработки зубьев шестерни для обеспечения выбранных параметров качества.

Как видно из п.2 маршрут, найденный для параметра R_a , обеспечивает и требования к НВ, хотя для обеспечения только значения НВ достаточно выполнить операцию обкатки зубьев.

Таким образом, принимаем следующий маршрут обработки шестерни: зубофрезерование, шевингование, ХТО и зубохонингование.

Значения параметров качества поверхности зубьев на промежуточных операциях их обработки следующие.

Для параметра R_a :

– после зубохонингования $R_a = 2,5$ мкм (по чертежу детали);

– после ХТО $R_a = 2,5 \cdot 1,38 = 3,5$ мкм;

– после шевингования $R_a = 3,50 \cdot 0,93 = 3,2$ мкм;

– после зубофрезерования $R_a = 3,2 \cdot 1,99 = 6,3$ мкм.

Для параметра НВ (H_μ):

– после зубохонингования $H_\mu = (6490 - 8670)$ МПа (по чертежу детали);

– после ХТО $H_\mu = (6490 - 8670) \cdot 1,06 = (6879 - 9190)$ МПа;

- после шевингования $HV = (6879 - 9190) \cdot 0,23 = 158 - 211$;
- после зубофрезерования $HV = (158 - 211) \cdot 1,17 = 184 - 246$.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТП 930-1379-90. Технологическая подготовка производства. Выбор и обеспечение основных характеристик качества поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колес на различных операциях их изготовления. Разработчики Кане М.М., Медведев А.И. Изд-во МЗШ, 1999. – 84 с. 2. Кане М.М. Выбор рациональной точности цилиндрических зубчатых колес на различных операциях их обработки // Вестник машиностроения. – 1996. – № 8. – С. 3–8. 3. Кане М.М., Медведев А.И. Изменение параметров качества поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колес на различных операциях их изготовления // Вестник машиностроения. – 1997. – № 7. – С. 3–7. 4. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. ГОСТ 27.202-83. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 50 с.

УДК 621.791

Л.М. Кожуро, Н.Ф. Лугаков, В.С. Точило, М.Л. Хейфец

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ПОГРУЖЕНИЕМ В РАСПЛАВ

Белорусский государственный аграрный технический университет,

Минск, Беларусь,

Полоцкий государственный университет,

Новополоцк, Беларусь

Сущность процесса индукционной наплавки погружением заключается в том, что наплавляемый металл затвердевает на очищенной от оксидной пленки поверхности заготовки, погруженной в расплав этого металла [1]. Процесс применяется для наращивания поверхностных слоев заготовки. Вследствии разницы температур расплава и заготовки, задающей начальные условия процесса, локальный объем расплава, контактирующий с поверхностью заготовки и определяемый граничными условиями, охлаждается до затвердевания [2]. После кратковременной выдержки заготовку извлекают и на ее поверхности получают слой присадочного металла.

При индукционной наплавке погружением в расплав целесообразно формировать покрытие толщиной до 4 мм. Для этого можно рекомендовать следующий режим: температура стальной детали перед наплавкой – 850–900° С; температура расплава – 1500° С; время выдержки обрабатываемой детали в расплаве – 1,5–2,5 с. Исследования металлопокрытий стальных образцов сплавом ФБХ показывают, что для образ-