

Управление качеством на проектных стадиях

Грибанов Д.Д. – к.т.н., профессор по кафедре «Стандартизация, метрология и сертификация» Московского политехнического университета; действительный член Академии проблем качества
Мартишкин В.В. – к.т.н., доцент кафедры СМиС Московского политехнического университета

Продолжение (начало см. в № 4(54)'2017)

2. Расчет качества базового образца изделия

Основной проблемой при определении качества является проблема определения качества технического изделия, принимаемого за базовое или за эталон. В большинстве случаев не существует эталонных образцов для конкретного оцениваемого изделия, поэтому мы принимаем за базовый образец реалистичный образец изделия, воплотивший в себе современные научно-технические достижения, соответствующие реальным возможностям производства. В нашем случае за базовый образец принимается изделие точно такой же структуры и функциональных возможностей, но с наилучшим достижимым качеством деталей. Так как состав и структура базового изделия такая же, то параметры, описывающие качество сборочных единиц и изделия в целом, принимаются такие же, как и у оцениваемого образца. Изменяются только параметры деталей и соответственно всего изделия в целом.

Таким образом, у базового изделия в расчет принимаются наилучшие базовые (достижимые в современных условиях) показатели, а у оцениваемого изделия в расчет принимаются показатели качества, полученные в результате фактических расчетов.

В таблице 7 представлен метод получения значений показателей базовых деталей. Этот метод заключается в назначении наилучших, реально достижимых параметров показателей деталям в зависимости от группы и типа детали. Метод представлен в виде матрицы расчета параметров показателей базовых деталей.

Таблица 7. Матрица расчета параметров показателей базовых деталей

Назначение и классификация деталей		Коэффициент сложности $K_{сл}$						Показатели категорий точности $K_{т.}$						Признаки категорий контроля $K_{к.}$					Показатель параметра базовых деталей $K_{баз}$
		1		2		3		1		2		3		4		Объекты контроля			
№	ШПРГ	1	2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5				
1	1а			*				*						*		0,824			
	1б		*				*						*			0,646			
2	2а		*				*						*			0,711			
	2б	*			*								*			0,551			
3	3а	*		*			*						*			0,795			
	3б	*					*						*			0,594			
4	4а			*					*				*			0,861			
	4б			*				*					*			0,723			
5	5а			*			*						*			0,748			
	5б		*		*		*						*			0,646			
6	6а		*		*		*						*			0,723			
	6б		*		*		*						*			0,723			
7	7а		*		*		*						*			0,711			
	7б	*		*		*	*						*			0,594			
8	8а	*		*		*	*						*			0,594			
	8б	*		*		*	*						*			0,594			

Формула расчета качества оцениваемого изделия:

$$Q_{изд} = \bar{K}_{изд} \left[\sum_{i=1}^m Q_{сб} + \sum_{i=1}^n Q_d \right] = \bar{K}_{изд} \left[\sum \beta_{сб} \left(\bar{K}_{сб} \sum_{i=1}^n Q_d \right) + \sum_{i=1}^n \beta_d \cdot \bar{K}_d \right] \quad (1)$$

Формула расчета качества базового образца изделия $Q_{б.изд}$:

$$Q_{б.изд} = \bar{K}_{изд} \left[\sum_{i=1}^m Q_{б.изд} + \sum Q_{б.d} \right] \quad (2)$$

Таблица 8. Базовые параметры показателей для различных групп и типов деталей (сводные данные по табл. 7)

Группы деталей	1. Корпусные	1а	Стандартизированные	0,824
		1б	Оригинальные	0,646
	2. Детали перемещения	2а	Стандартизированные	0,711
		2б	Оригинальные	0,551
	3. Соединительные	3а	Стандартизированные	0,795
		3б	Оригинальные	0,594
	4. Направляющие	4а	Стандартизированные	0,861
		4б	Оригинальные	0,723
	5. Уплотнительные	5а	Стандартизированные	0,748
		5б	Оригинальные	0,646
	6. Упругие элементы	6а	Стандартизированные	0,723
		6б	Оригинальные	0,723
	7. Детали отсчетных устройств	7а	Стандартизированные	0,711
		7б	Оригинальные	0,594
	8. Вспомогательные	8а	Стандартизированные	0,594
		8б	Оригинальные	0,594

Относительное качество оцениваемого технического изделия рассчитывают по формуле:

$$Y = \frac{Q_{изд}}{Q_{б.изд}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где Y – уровень качества оцениваемого изделия;

$Q_{изд}$ – качество оцениваемого изделия;

Об.изд – качество базового образца изделия.

Если качество оцениваемого изделия ниже качества базового, то в отношении оцениваемого изделия принимают научно-технические, производственно-технологические, организационные, коммерческие и другие управленческие решения, направленные на достижение уровня качества базового изделия.

3. Расчет качества изделия на этапе разработки рабочей конструкторской документации

На этом этапе рассчитывают только качество деталей, входящих в сборочные единицы и изделие в целом. Показатели, относящиеся к сборочным единицам и ко всему изделию в целом, остаются прежними, полученными на стадиях ЭП и ТП. Эти показатели вступают в силу после утверждения ТЗ и согласования ЭП и ТП с заказчиком.

Всего параметров, отражающих качество деталей, свыше 20. Однако для пояснения метода расчета достаточно использовать 2–3 параметра. Для примера мы приводим расчеты по наиболее важным: выбор оптимального материала для изготовления детали и выбор оптимальной технологии обработки. Выбор оптимального материала можно проводить методом сравнения и методом расчета моделей.

3.1. Выбор материала методом сравнения

Если функционирование объекта можно оценивать одним из его свойств, то для оптимизации выбора материала достаточно провести сопоставление этого свойства для различных материалов. Вся задача решается методом выбора из заранее составленного перечня.

Сравнительный анализ перечня сталей и сплавов с целью выявления наилучшего материала для заданных условий, производят по определяющему показателю и по стоимости.

Для конструкционных материалов в качестве определяющих показателей свойств используют характеристики прочности, жесткости и допустимой деформации. А также проводят сопоставление количественных уровней соответствующих показателей, взятые из справочников, ГОСТов и других нормативных и технических документов.

Для учета разницы в плотности материалов часто используют относительную (удельную) величину $K_{o,x}$:

$$K_{o,x} = \frac{\sigma_B}{\rho \cdot g}, \quad (4),$$

где ρ – плотность материала;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/сек².

В целях учета различий в однородности материалов, их сравнительную оценку проводят по критерию, связанному с надежностью предполагаемой детали (изделия). Характер этого критерия зависит от распределения рассматриваемого показателя свойств.

Критерий выбора материала с учетом плотности и надежности для случая нормального распределения в применении к пределу прочности рассчитывается по формуле (5):

$$K_{P,ob} = \frac{K_{o,ob}}{1 - U \cdot V_{ob}} \quad (5),$$

где $K_{P,ob}$ – критерий выбора материала с учетом плотности и надежности;

$K_{o,ob}$ – относительная (удельная) величина прочности;

U – параметр нормированной функции распределения (например, при $P = 0,977$ $U(P) = 2,0$, при $P = 0,999$ $U(P) = 3,0$);

V_{ob} – коэффициент вариации

$$V_{ob} = \frac{\sigma_x}{x} 100\% \quad (\text{разброс свойств материалов}). \quad (6)$$

Из этой зависимости видно, что оценка по удельной прочности без учета надежности справедлива лишь при условии полной однородности, т. е. отсутствия разброса свойств в материале ($V_{ob} = 0$).

В таблице 9 показаны результаты расчетов по указанному критерию для некоторых сталей и сплавов с учетом надежности.

Таблица 9. Удельная прочность некоторых материалов

Материал (марка)	σ_b , МПа	$K_o = \sigma_b$ /pg, кМ	K_o , кМ		$V_{обв}$, %	Термическая обработка
			P = 0,977 U = 2,0	P = 0,999 U = 3,0		
Стали:						
30ХГСА	1080	14,1	12,27	11,35	6,5	Закалка 880 °С, отпуск 540 °С
30ХГСН2А	1620	21,2	19,08	18,02	5,0	Закалка 900 °С, отпуск 200 °С
18Х2Н4МА	1130	14,8	12,43	11,25	8,0	Закалка 880 °С, отпуск 200 °С
Н18К9М5Т	2100	26,4	23,76	22,44	5,0	Закалка 820 °С, отпуск 540 °С
Сплавы:						
ДТ6	480	17,5	16,66	16,24	2,4	Закалка 500 °С, старение 7 суток
В95	600	21,9	20,32	19,53	3,6	Закалка 480 °С, отпуск 140 °С
ОТ4	800	18,1	16,27	15,34	5,1	Отжиг 750 °С
ВТ22	1100	24,7	21,93	20,55	5,6	Отжиг 760 °С

Таким образом, сопоставление конструкционных материалов по удельным показателям физико-механических свойств в общем случае должно проводиться с учетом их разброса и уровня надежности. Однако самым точным методом выбора материала по методу сравнения является сравнение интегральных показателей K_{omm} , рассчитываемых по формуле (7)

$$K_{omm} = \frac{K_{P,об}}{C} \quad (7)$$

где C – стоимость стали, усл. ед./кг

В таблице 10 показана стоимость некоторых видов сталей в условных единицах.

Таблица 10. Ориентировочная стоимость некоторых сталей

Марка стали	C , усл. ед./кг
Ст 5	0,104
Сталь 45	
Сталь 50Г	

Марка стали	C , усл. ед./кг
30ХГСА	0,113
40ХН2МА	

В таблице 11 показан результат выбора оптимальной марки стали методом сравнения. Оптимальной маркой считается сталь с наименьшим интегральным показателем (обозначен знаком «*»).

Таблица 11. Подбор марки стали методом сравнения

Марка стали	$V_{\sigma B}$	$U(P)$	K_o, σ_B	K_P, σ_B	C , усл. ед./кг	Оптимальная марка стали K_{opt}
Ст 5	0,05	2,4	6,41	5,64	0.104	66.15
Сталь 45	0,05		7,82	6,88		
Сталь 50Г	0,05		8,46	7,44		
30ХГСА	0,065		13,94	9,00	0.113	47,3*
40ХН2МА	0,07		14,10	11,73		61,73
18ХН4МА	0,08		14,74	11,90		62,63

Если нет данных по стоимости сталей, то подбор материалов проводят методом математического моделирования.

3.2. Выбор материала на основе математического моделирования. Модель выбора материала

Лучшим (или оптимальным), считается вариант, учитывающий надежность (безотказность) изделий при определенных ограничениях. Эти ограничения и представляют собой модель выбора материалов:

$$\min G \quad P = \text{const} \quad (\text{a})$$

$$\max P \quad G = \text{const} \quad (\text{б})$$

Модель (а) означает, что материал для изделия может быть выбран по минимуму массы при постоянной надежности, модель (б) – по максимуму надежности при постоянной массе.

Мы решаем задачу на основе модели (а). Необходимо построить целевую функцию, описывающую работу детали и увязывающую работу со свойствами материала. В данном случае в качестве целевой функции выступает способность изделия выполнять заданные функции, при заданной надежности.

Целевая функция при выборе материалов в общем виде записывается так:

$$Ц.Ф. = \varphi[R, Q, U(P), G] \quad (8),$$

где $R(G)$ – несущая способность как функция массы детали (разрушающая нагрузка или предельно допустимое значение нагрузки);

$$R(G) = \frac{\sigma_B \cdot G}{l \cdot \rho} \quad (9),$$

где:

Q – эксплуатационная нагрузка;

$U(P)$ – функция надежности (при $P = 0,99$; $U(P) = 2,4$);

$G = \pi r^2 l \rho$ – масса детали (условного стержня);

σ_B – временное сопротивление;

l – длина (условная длина стержня);

ρ – плотность материала.

После определения величин R и Q , находят конкретный вид целевой функции. В данном случае вид целевой функции представляет собой функцию работоспособности при распределении нагрузок по нормальному закону:

$$P = p[(R - Q) = \Delta]0 \quad (10)$$

Если принять, что оптимальный запас прочности составляет $\eta = 1,4 \dots 1,5$, то целевая функция представляет собой обеспечение запаса прочности:

$$\eta = \frac{R}{Q} = 1,4 \dots 1,5$$

В таблице 12 результат выбора оптимальной стали на основе использования модели (а) и целевой функции.

Таблица 12. Подбор марки стали методом моделирования

Марка стали	σ_B	$R = \sigma_B \pi r_x^2$, кг	Q , кг	$\eta = \frac{R}{Q}$	Оптимальная марка стали
Сталь 45	610	6814	7000	-	
Сталь 50Г	660	7481		1,068	
Сталь 40Х	630	7141		1,02	
Сталь 40ХН	780	8841		1,263	
30ХГСА	1080	12242		1,74	*
40ХН2МА	1100	12468		1,78	

3.3. Контроль качества деталей на стадии разработки рабочей конструкторской документации

Как указывалось выше, на стадии разработки РКД мы рассчитываем качество только деталей, т.к. параметры, описывающие качество сборочных единиц и изделия в целом, остаются неизменными на всех стадиях разработки.

Таблица 13. Параметры, по которым ведется расчет.

<p>Коэф. точности $K_{мч}$</p>	<p>Отношение типовой (наиболее распространенной) точности деталей IT_6 (допуск по 6-му качеству), взятой для любого произвольного размера, к среднему значению допусков IT_{cp} всех поверхностей детали того же размера:</p> $k_{мч} = \frac{IT_6}{IT_{cp}}, \quad IT_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n IT_{Ni} \cdot P_{Ni}}{n}$ <p>n – общее число обрабатываемых поверхностей детали, ($n = 1, 2, \dots$); N_i – номера классов точности обрабатываемых поверхностей; P_{Ni} – количество поверхностей, имеющих точность соответствующего качества; IT – класс, степень точности изготовления детали</p>
<p>Коэф. технологического запаса точности $K_{зм}$</p>	$k_{зм} = \frac{T_{\partial}}{T_u}$ <p>T_{∂} – допустимая погрешность детали ($[\Delta]$); T_u – действительная (измеренная) погрешность изделия (Δ)</p>
<p>Коэф. шероховатости K_u</p>	<p>2,5 мкм – значение базового параметра шероховатости Rz для 8-го класса шероховатости (Rz – наибольшая высота профиля); Rz_{cp} – среднее значение параметра шероховатости Rz на всех обрабатываемых поверхностях:</p> $Rz_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{zi} \cdot P_i$ <p>где n – общее число обрабатываемых поверхностей; P_i – кол-во поверхностей детали, имеющих соответствующую шероховатость Rz; R_{zi} – параметр шероховатости i-й поверхности</p>

В таблице 14 рассчитаны эти параметры для условных деталей. Результаты представляют собой относительные безразмерные величины, и говорят о

том, что оцениваемые детали необходимо доработать до параметров, соответствующих базовым показателям. В этом случае оцениваемое изделие может достигнуть уровня качества базового изделия.

Таблица 14.

<p>Фактические параметры по чертежу</p>	<p>Деталь имеет количество обрабатываемых поверхностей $n = 7$. Квалитеты поверхностей $IT_{12}, P_{12}; IT_8, P_8; IT_6, P_6; IT_5, P_5$. Необходимо определить $K_{мч}$</p>
<p>Сравнение с параметрами базового образца детали</p>	<p>В данном случае среднее значение квалитетов всех поверхностей будет равно: $IT_{ср} = \frac{IT_{12} \times P_{12} + IT_8 \times P_8 + IT_6 \times P_6 + IT_5 \times P_5}{n} = \frac{IT(12 \times 2 + 8 \times 1 + 6 \times 3 + 5 \times 1)}{7} = IT_8$ Значение допуска квалитета $IT_{ср}$ составляет $IT_8 = 46$ мкм, а $IT_6 = 19$ мкм. Эти значения допусков находим из таблицы ГОСТ 25346–2013. Получаем: $k_{мч} = \frac{IT_6}{IT_{ср}} = \frac{19 \text{ мкм}}{46 \text{ мкм}} = 0,4$ Таким образом, оцениваемая деталь имеет меньшую точность, чем базовое значение точности, соответствующее квалитету IT_6</p>
<p>Фактические параметры по чертежу</p>	<p>Определить коэффициент шероховатости $K_{ш}$ по параметру Rz для детали с количеством поверхностей $n = 8$. При этом у пяти поверхностей $Rz = 25$ мкм, у двух $Rz = 3,2$ мкм и у одной – $Rz = 6,3$ мкм.</p>
<p>Сравнение с параметрами базового образца детали</p>	<p>Тогда: $Rz_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Rz_j P_j = \frac{Rz(25 \times 5 + 6.3 \times 1 + 3.2 \times 2)}{8} = Rz 15,6$ Коэффициент шероховатости при базовом (заданном) значении шероховатости восьмого класса $Rz = 2,5$ мкм будет равен: $K_{ш} = \frac{Rz_{2,5}}{Rz_{15,6}} = 0,16$</p>

Фактические параметры по чертежу	Фактическая точность диаметра разгрузочной канавки характеризуется отклонениями в 5 мкм. Отклонение по базовым нормам не должно превышать 8 мкм.
Сравнение с параметрами базового образца детали	<p>Определить коэффициент технологического запаса точности K_{3m}</p> $K_{3m} = \frac{8 \text{ мкм}}{5 \text{ мкм}} = 1,6$

В таблице 15 показаны значения параметров, которые должны иметь оцениваемые детали, адекватные качеству базового изделия.

Таблица 15.

Наименование параметров детали	Значения параметров, заложенных на стадии РД	Значения параметров, рекомендуемых в результате предварительного определения качества
Материал детали	Сталь 45	30ХГСА
Коэфф. точности $K_{mч}$	$K_{mч} = 1,0$ ($IT_{ср} = 46$ мкм)	$K_{mч} = 2,42$ ($IT_{IT6} = 19$ мкм)
Коэфф. шероховатости $K_{ш}$	$K_{ш} = 2,5$ мкм	$K_{ш} = 0,16$ мкм
Коэфф. технологического запаса точности K_{3m}	$K_{3m} = 1,0$ (8 мкм-допуст.)	$K_{3m} = 1,6$ (5 мкм-фактич.) (Коэфф. технологического запаса точности обеспечен и не требует корректировки)

Продолжение следует