

Введение

Выполнение размерного анализа технологического процесса обработки позволяет определить номинальные и предельные технологические размеры, которые проставляются на операционных эскизах и обеспечивают требуемую точность получения размеров детали. Разновидности размерного анализа технологических процессов и обзор методов подробно представлен в [1, 2, 3]. Проведение размерного анализа необходимо при разработке технологического процесса изготовления детали, поскольку позволяет выявить ошибки простановки размеров как при выполнении чертежа конструктором, так и в составленном технологическом процессе обработки изделия. Необходимо исключить из практики такие ситуации, когда технолог вносит исправления в картах эскизов технологических процессов после пробной обработки партии заготовок со слов наладчика. Анализ метода расчета технологических размеров по литературным данным

Приведем пример расчета технологических размеров при обработке вала-шестерни из литературы [2]. На рис 1. представлена размерная схема технологического процесса обработки торцевых поверхностей вала-шестерни, полученной методом горячей штамповки. На рис 2 представлен совмещенный граф, который определяет размерные связи всех исходных и производных размеров. На основе размерной схемы и совмещенного графа производится расчет искомых размеров – технологических S и заготовки Z (табл. 2). На наш взгляд, описанные в литературе методики имеют следующие существенные недостатки:

Рис. 1 – Размерная схема технологического процесса обработки торцевых поверхностей вала-шестерни [2]: A – конструкторские размеры, Z – величины припусков, Z – размеры заготовок, S – технологические размеры

Рис. 2 – Совмещенный граф, определяющий связи размеров вала-шестерни [2] а) расчет ведется методом максимума-минимума, что приводит к неоправданно большим значениям наибольшего припуска $Z_i \max$, поскольку в значение допуска на припуск (замыкающее звено) входят допуски размеров заготовки, которые для грубых степеней точности могут быть большими, а также допуски технологических размеров на уровне грубых 12 – 14 квалитетов точности; б) определять $Z_i \max$ на основе многозвенных технологических цепей не корректно. Наибольший припуск, соответствующий физической природе обработки резанием на станках, определяется по соотношению: $Z_i \max = Z_i \min + T(i-1) - T(i)$, где $T(i-1)$, $T(i)$ – допуски размеров обрабатываемой поверхности на предшествующем $(i-1)$ и данном (i) переходах [3]. Кроме того, допуск припуска в прямой задаче расчета размерных цепей должен являться исходным параметром; в) величина номинального припуска в расчетах номинальных размеров должна определяться по выражению $Z_i = Z_i \min + e_i(i-1) - e_i(i)$, где $e_i(i-1)$, $e_i(i)$ – нижние отклонения размеров соответственно на предшествующем и выполняемом переходах. В [2] предлагается варьировать величиной номинального припуска во избежание получения отрицательных значений минимального припуска и для того, чтобы уравнения размерных цепей были

справедливы. Эта "подгонка" величины номинального припуска приводит к необходимости выполнять вручную вариационные расчеты, что увеличивает трудоемкость и делает не приемлемой данную "идеологию" в технологической практике; г) по расчетным данным [2] должно выполняться условие для определения общего припуска через разность размеров заготовки ЛЗАГ и готовой детали ЛДЕТ в виде известного соотношения (основное уравнение номинальных размеров теории размерных цепей): $L_{ЗАГ} - L_{ДЕТ} = \sum Z_i$, где $\sum Z_i$ – сумма номинальных припусков. По полученным авторами результатам это равенство не соблюдается (см. табл. 2.10 [2]); Таблица 1 – Фрагменты результатов расчета технологических размеров по данным [2, табл. 2.10]

Исходный размер	Определяемые размеры	Обозначение	Величина, мм
Исходное уравнение	Номинальный размер, мм	До-пуск, мм	Технологический размер
Предельное значение припуска	1 2 3 4 5 6 7	A1	$A1 = S10$ $A1 = S10 = 60$ $0,03 - A4$ $170 \pm 0,15$ $A4 = S8$ $A4 = S8 = 170$ $0,30$ $S9 = 170 \pm 0,15$ $- Z11$ $\min 0,05$ $Z11 - S2 + S4 = 0$ $Z11 \min = S4 \min - S9 \max$ $S4 \min - S9 \max + Z11 \min = 170,15 + 0,05 = 170,2$ $S4 = 170,2 + 0,13 = 170,33$ $0,26$ $S4 = 170,33 \pm 0,13$ $Z11 = 170,33 \pm 0,13 - 170 \pm 0,15 = 0,33 \pm 0,28$ $A3$ $140 \pm 0,41$ $- A3 = S6 - S4 + S9 = 0$ $A3 = S6 - S4 + S9$ $S5 = A3 + S4 - S3 = 140 + 170,33 - 170 = 140,33$ $\Delta BS5 = 0,41 - 0,13 - 0,15 = 0,13$ $\Delta HS5 = -0,41 + 0,13 + 0,15 = -0,13$ $0,26$ $S4 = 140,33 \pm 0,13$

д) проведенные многочисленные практические расчеты по описанной методике [2] давали устойчиво завышенные величины номинальных наружных торцевых размеров штампованных заготовок в сравнении с номинальными размерами по чертежам, которые разработаны и апробированы на практике для условий массового производства. Предлагаемая методика размерного анализа Прежде всего, отметим, что размерный анализ технологического процесса обработки поверхностей резанием является эффективным инструментом, позволяющим на этапе проектирования операционной технологии назначить технологические размеры, которые следует проставлять в операционных эскизах и определить, при необходимости, номинальные размеры заготовок. Вполне понятно, что наиболее точным методом определения межоперационных размеров и припусков является известный расчетно-аналитический метод проф. В.М. Кована. Его обычно применяют для обоснования величины припусков и технологических размеров для точных цилиндрических поверхностей в условиях массового производства. Торцевые поверхности деталей вращения обычно имеют точность средних или грубых квалитетов. Для ряда плоских поверхностей корпусных или подобного типа деталей высокая точность размеров не требуется, но в ряде случаев выставляется жесткое требование обеспечения отклонений от плоскостности или отклонений расположения. При размерном анализе технологического процесса обработки корпусных деталей со сменой баз расчет на основе теории графов наверняка позволит избежать ошибок. Основные положения

предлагаемой методики размерного анализа можно представить в виде следующего алгоритма: 1. Величины минимальных припусков $Z_i \min$ принимаются на основе опытных данных из справочной литературы. 2. Величина номинального припуска принимается равной величине минимального, т.е. рассчитывается по уравнению [3]: $Z_i = Z_i \min$. Отметим, различие в значениях $e_i (i-1)$, $e_i (i)$ оказывается не значительным и часто определяется субъективным фактором. Общий номинальный припуск приводится в справочных таблицах и является основой расчета номинальных размеров заготовок по номинальным размерам поверхностей деталей. В таблицах также можно найти номинальные значения припуска при выполнении технологических переходов, например, черновое фрезерование, чистовое и т.д. Величину наибольшего припуска $Z_i \max$ по переходам находить на основе расчета технологических размерных цепей с использованием совмещенного графа не целесообразно, потому что это приводит к многозвенным размерным цепям и обуславливает те недостатки, которые описаны выше. Так например, если принять степень точности штамповки класса точности Т4, Т5 (штамповка на горизонтально-ковочной машине), то допуски на размеры заготовки возрастут и $Z_i \max$ примет не правдоподобные большие значения. Причем в примерах расчета [2, табл. 2.10] для заготовки принята степень точности Т2, которую не всегда обеспечит производственное кузнечно-штамповочное оборудование. 3. Величину наибольшего припуска по переходам рекомендуется не определять. При необходимости величину наибольшего припуска определять по формуле: $Z_i \max = Z_i \min + T (i - 1) - T (i)$. Отметим, что в расчетах межоперационных размеров и размеров заготовки табличным методом величиной $Z_i \max$ не оперируют. 4. Проводить проверку допусков размеров поверхностей детали по уравнению: $TA_i \geq \sum TS_i$, где TA_i допуск на конструкторский размер по чертежу, TS_i – допуски увеличивающих и уменьшающих технологических размеров, образующих размерную цепь. Эта проверка гарантирует правильность назначения допусков на настроечные межоперационные размеры для размерных цепей, в которых замыкающим звеном является конструкторский размер. Следует отметить, что суммирование допусков составляющих звеньев целесообразно провести через сумму квадратов, как это принято в теоретико-вероятностном методе расчета размерных цепей. Порядок и результаты расчета технологических размерных цепей вала-шестерни по предлагаемой методике на базе данных [2 табл. 2.10] представлен в табл. 2. На 7 столбце таблицы приведены расчетные уравнения и цифровые данные для проверки правильности проведенных вычислений. Выполненные нами расчеты по предлагаемой методике показали хорошую, не превышающую $\pm 0,5\%$ сходимостр расчетных значений номинальных размеров торцевых поверхностей заготовок валов-шестерен, полученных методом горячей объемной штамповки, с таковыми по чертежам заготовок. К сожалению, авторы [2, 4, 5] расчетов номинальных размеров с помощью теории графом такое

сопоставление не приводят, предполагая, что приведенная ими модель совершенна. Сопоставление расчетов для номинальных размеров торцевых поверхностей поковок по приведенной методике [2] и предлагаемой показало незначительное расхождение, в основном, сторону увеличения в пределах 1 ... 1,5% по сравнению с первой. Возможно, это обусловлено указанными выше недостатками методики [2].

Таблица 2 – Результаты расчета технологических размеров вала-шестерни [2] по предлагаемой методике

Исходный размер	Исходное уравнение	Номинальный искомый размер	До-пуск	Технологический размер	Проверка																														
Обозначение	Величина	1	2	3	4	5	6	7	A1	60(-0,01;-0,06)	- A1 + S10 = 0	S10 = A1 - 0,05	S10 = 60(-0,01;-0,06)	TA1 = T	S10	A4	170 ± 0,05	- A4 + S9 = 0	S9 = A4 - 0,3	S9 = 170 ± 0,05	TA4 = T	S9	Z11	0,05	- Z11 - S9 + S4 = 0	S4 = S9 + Z11 = 170 + 0,05 = 170,05	0,26	S4 = 170,05 ± 0,13	- A3	140 ± 0,41	- A3 + S5 - S4 + S9 = 0	S5 = A3 + S4 - S9 = 140 + 170,05 - 170 = 140,05	0,26	S5 = 140,05 ± 0,13	TA3 = TS4 + TS5 + TS9; 0,82 = 0,26 + 0,26 + 0,3 = 0,82

Далее расчет выполняется в такой же последовательности, аналогично [2, табл. 2.10]

Еще одним преимуществом предлагаемой методики является значительное снижение трудоемкости расчетов, устранение необходимости подбора расчетным путем номинальных размеров припуска и возможности простой реализации расчетов на компьютерах. Практическое использование данной методики позволит повысить качество и производительность труда инженеров-технологов при проектировании технологических процессов механической обработки деталей машин, в частности, при определении припусков на механическую обработку и размеров заготовок, что, в конечном счете, обеспечит снижение себестоимости и металлоемкости обрабатываемых заготовок, а также повышение конкурентоспособности отечественной машиностроительной продукции [6 – 8].