

Выводы.

1. В наилучшей степени распределение рассмотренных 13 показателей точности зубьев при зубофрезеровании и зубодолблении описывается распределением типа А и логарифмически нормальным распределением.

2. Для описания распределений всех рассмотренных показателей точности зубьев шестерен в изучаемых условиях обработки может быть использован также закон нормального распределения.

3. Процесс зубофрезерования цилиндрических шестерен червячной фрезой для основных показателей точности зубьев является стационарным и обладает эргодическим свойством.

4. Имеются предпосылки получения надежной модели влияния различных факторов на основные показатели точности зубьев цилиндрических шестерен статистическими методами при их зубофрезеровании червячной фрезой и зубодолблении по одной реализации достаточно большой продолжительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента: пер. с англ. / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1981. – 520 с.

2. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: справочное издание / С.А. Айвазян, Е.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

3. Кане М.М. Предпосылки эффективности применения статистических методов для моделирования технологических процессов / М.М. Кане: сб. научн. ст. Машиностроение, вып. 30.– Минск: БНТУ, 2017.

УДК 6.21.81:658

Косолапов И.Ю., Беляева Г.И.

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

ОБРАБОТКИ ВАЛА ПО ЛИНЕЙНЫМ РАЗМЕРАМ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Размерный анализ технологических процессов позволяет еще на стадии технологического проектирования решить важнейшие задачи, приводящие к значительной экономии материальных затрат на производство с улучшением качества проектируемых технологических процессов и изделия в целом. В работе приведен расчет технологических размерных цепей с использованием теории графов.

Главная задача размерного анализа технологического процесса – правильное и обоснованное определение промежуточных и окончательных размеров и допусков на них для обрабатываемой детали. Особенно важно это для линейных размеров, связывающих неоднократно обрабатываемые противоположные поверхности. Определение припусков на такие поверхности расчетно-аналитическим или табличным методами значительно затрудняет определение промежуточных технологических размеров и их отклонений.

Последовательный размерный анализ технологического процесса состоит из трех этапов:

1. разработка размерной схемы техпроцесса;
 2. выявление технологических размерных цепей;
 3. расчет технологических размерных цепей.
- На рис. 1. приведены эскизы вала-шестерни и заготовки.

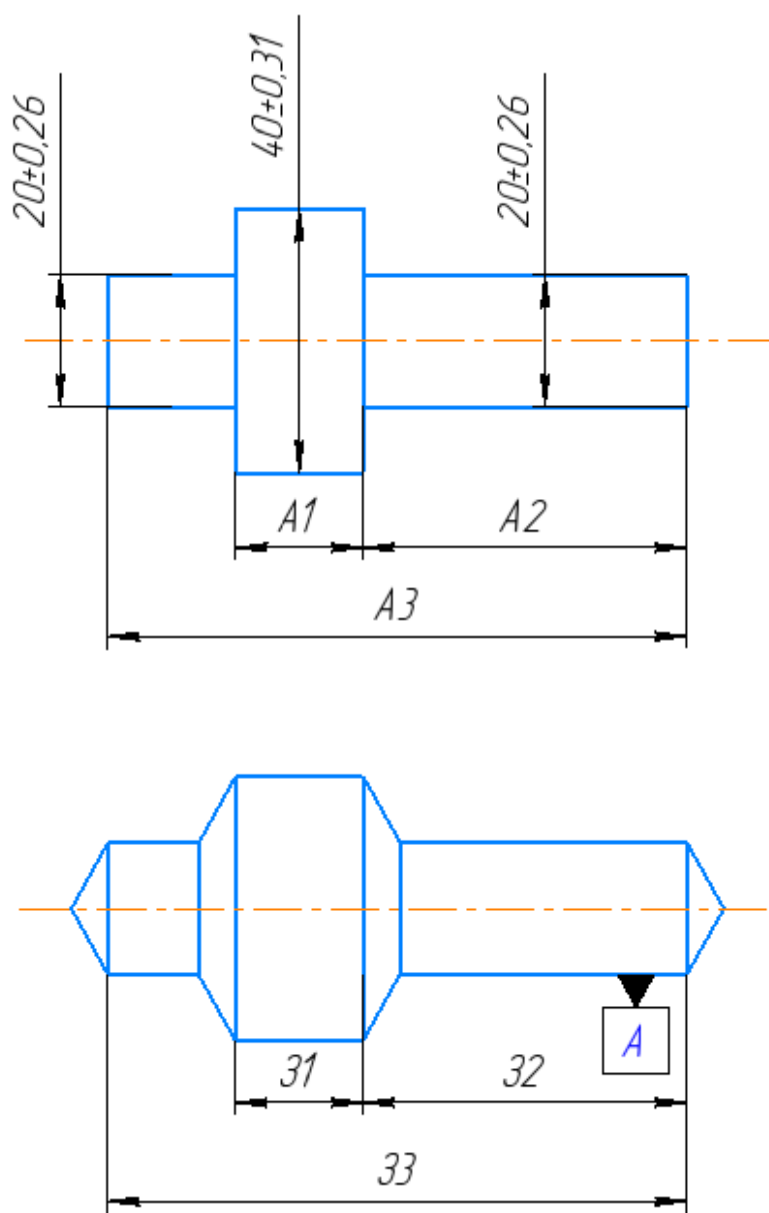


Рис. 1. Эскизы вала-шестерни и заготовки

Маршрут обработки состоит из 5 операций (рис. 2.):

- 1) фрезерно-центровальная;
- 2) токарная – обточка вала с правого конца на гидроконтрольном полуавтомате;
- 3) токарная – обточка вала с левого конца на аналогичном станке;
- 4) шлифовальная – шлифование ступени и правого торца на торцевкруглошлифовальном станке;
- 5) шлифовальная – шлифование ступени и левого торца на торцевкруглошлифовальном станке.

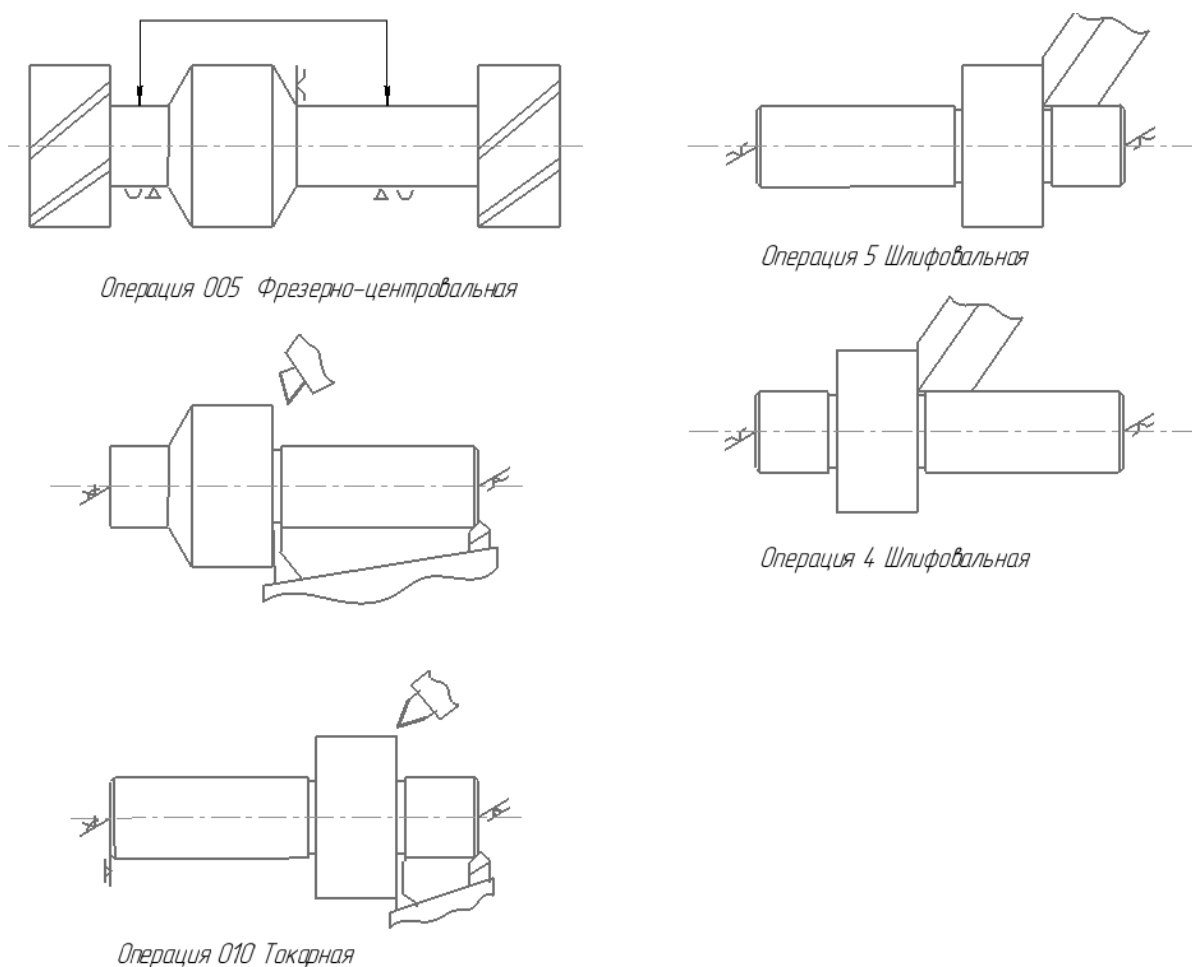


Рис. 2. Маршрут обработки вала.

1. Построение размерной схемы технологического процесса и выявление технологических размерных цепей.

Размерную схему техпроцесса составляют и оформляют следующим образом.

1.1. Вычерчивают эскиз детали в одной, двух или трех проекциях. Для тел вращения обычно достаточно одной, а для корпусной детали может потребоваться и три (в зависимости от расположения длин) (рис. 3.).

1.2. Над деталью указывают размеры длин с допусками, установленными конструкторами. Для удобства конструкторские размеры обозначаются буквой A_i , где i – порядковый номер конструкторского размера.

1.3. На эскиз детали условно наносят припуски Z_m , где m – промежуточная или окончательная поверхность, к которой относится припуск.

1.4. Все поверхности детали нумеруются по порядку слева направо. Через пронумерованные поверхности проводят вертикальные линии. Между вертикальными линиями по порядку снизу вверх указывают технологические размеры, получаемые при выполнении каждого технологического перехода. Технологические размеры обозначают Sk , где k – порядковый номер технологического перехода. Размеры же заготовки обозначают буквой Zr , где r – порядковый номер поверхности заготовки.

Справа от размерной схемы техпроцесса для каждой операции составляют схемы технологических размерных цепей.

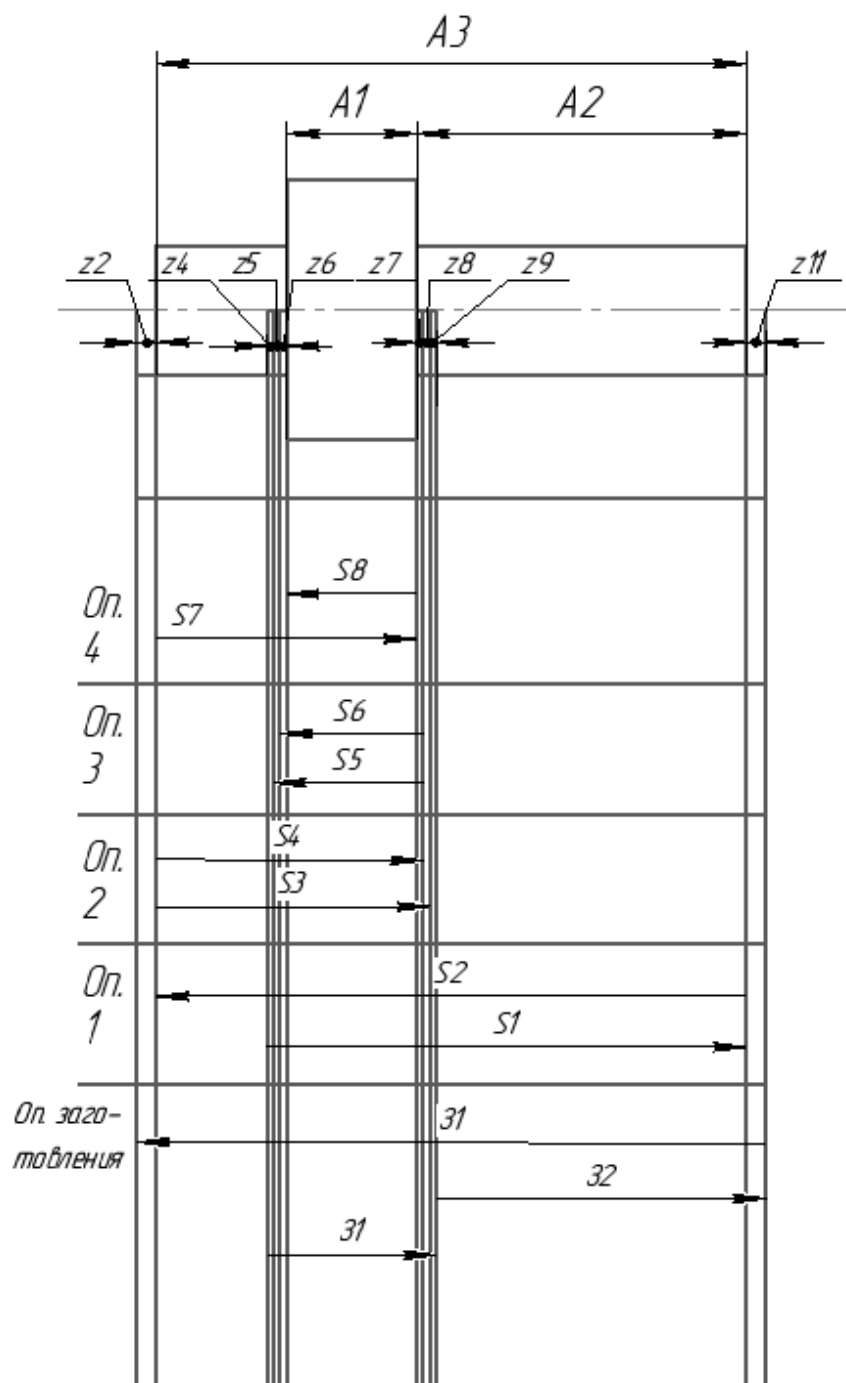


Рис. 3. Размерная схема техпроцесса

2. Выявление технологических размерных цепей с помощью теории графов.

В связи со сложностью выявления технологических размерных цепей, не выступающих в явном виде, обычным для теории размерных цепей способом, чаще всего используют теорию графов.

Ребрами графа производного дерева (рис. 4.) являются операционные технологические размеры и размеры заготовки, исходного графа (рис. 5.) – конструкторские размеры и размеры припусков. Наложением одного графа на другой получают граф совмещенного дерева (рис. 6.), по которому и выявляют технологические размерные цепи (рис. 7.).

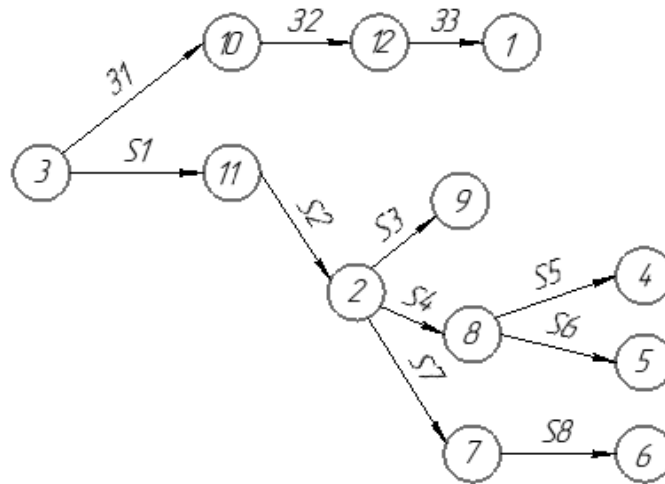


Рис. 4. Граф производного дерева

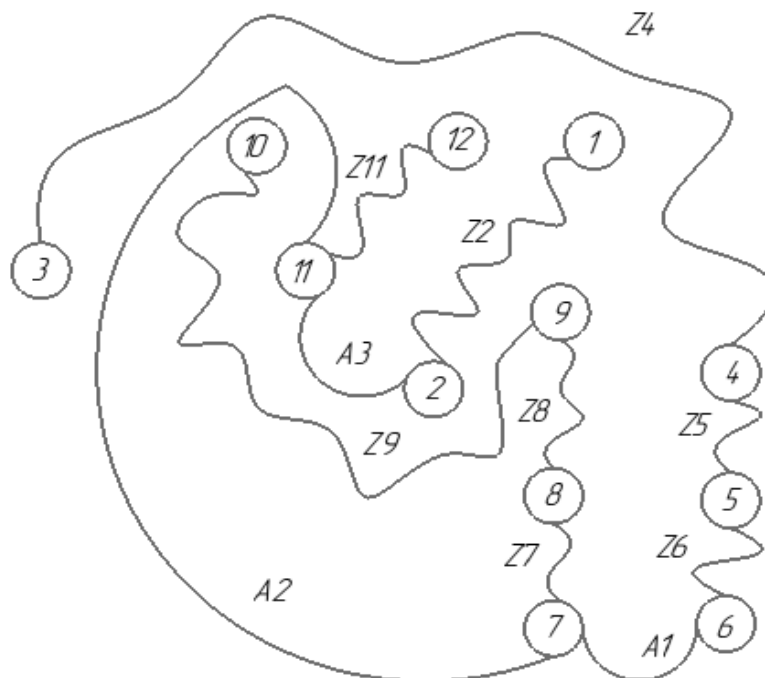


Рис. 5. Граф исходного дерева

При построении графов производного и исходного деревьев необходимо соблюдать следующие правила:

1. На обоих графах не должно быть оторванных вершин (в этом случае на графе не хватает размеров).
2. Не должно быть замкнутых контуров, что значило бы о наличии лишних размеров.
3. Количество размерных линий на каждом графе должно быть на единицу меньше количества вершин.
4. К каждой вершине производного дерева, кроме корневой, должна подходить только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой вершине – ни одной.
5. Число вершин у каждого дерева должно быть равно числу поверхностей на размерной схеме техпроцесса.

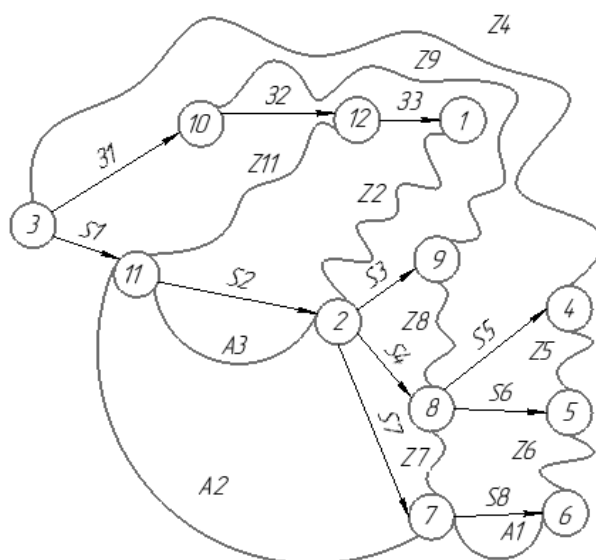


Рис. 6. Граф совмещенного дерева

На совмещенном графе количество размерных линий, обозначающих операционные размеры, размеры заготовок, конструкторские размеры и припуски, должно быть равным $(2n - 2)$, где n – количество вершин. Все контуры должны быть замкнуты, отсутствовать оторванные вершины.

Выявление технологических размерных цепей начинают с двухзвенных размерных цепей, т. е. таких, в которых имеется только одно замыкающее звено (конструкторский размер или припуск) и одно неизвестное составляющее звено (операционный размер или размер заготовки). В качестве технологической размерной цепи может быть принят любой замкнутый контур размеров, в котором имеется только одно исходное (замыкающее) звено, а все остальные составляющие. Причем, только одно составляющее звено может быть неизвестным. Размерные характеристики всех остальных составляющих звеньев должны быть определены ранее.

Заключительным этапом построения технологической схемы техпроцесса, трех графов, выявления с их помощью технологических размерных цепей и составления соответствующих уравнений является заполнение табл. 1.

Таблица 1

Расчетные зависимости для определения размерных параметров составляющих звеньев технологических размерных цепей

№ п/п	Расчетное уравнение	Исходное уравнение	Определяемый размер
1	$S2 - A3 = 0$	$A3 = S2$	$S2$
2	$S8 - A1 = 0$	$A1 = S8$	$S8$
3	$-S7 + S2 - A2 = 0$	$S7 = S2 - A2$	$S7$
4	$-S7 + S4 - Z7 = 0$	$Z7 = S4 - S7$	$Z7$
5	$-S4 + S3 - Z8 = 0$	$Z8 = S3 - S4$	$Z8$
6	$S6 - S4 + S7 - S8 - Z6 = 0$	$Z6 = S6 - S4 + S7 - S8$	$Z6$
7	$S5 - S6 - Z5 = 0$	$Z5 = S5 - S6$	$Z5$
8	$S1 - S2 + S4 - S5 - Z4 = 0$	$Z4 = S1 - S2 + S4 - S5$	$Z4$
9	$-S3 + S2 - S1 + S1 - Z9 = 0$	$31 = S3 - S2 + S1 + Z9$	31
10	$-S1 + S1 + S2 - Z11 = 0$	$32 = S1 - S1 + S2 + Z11$	32
11	$33 - S2 - S1 + S1 - S2 - Z2 = 0$	$33 = 32 + S1 - S1 + S2 + Z2$	33

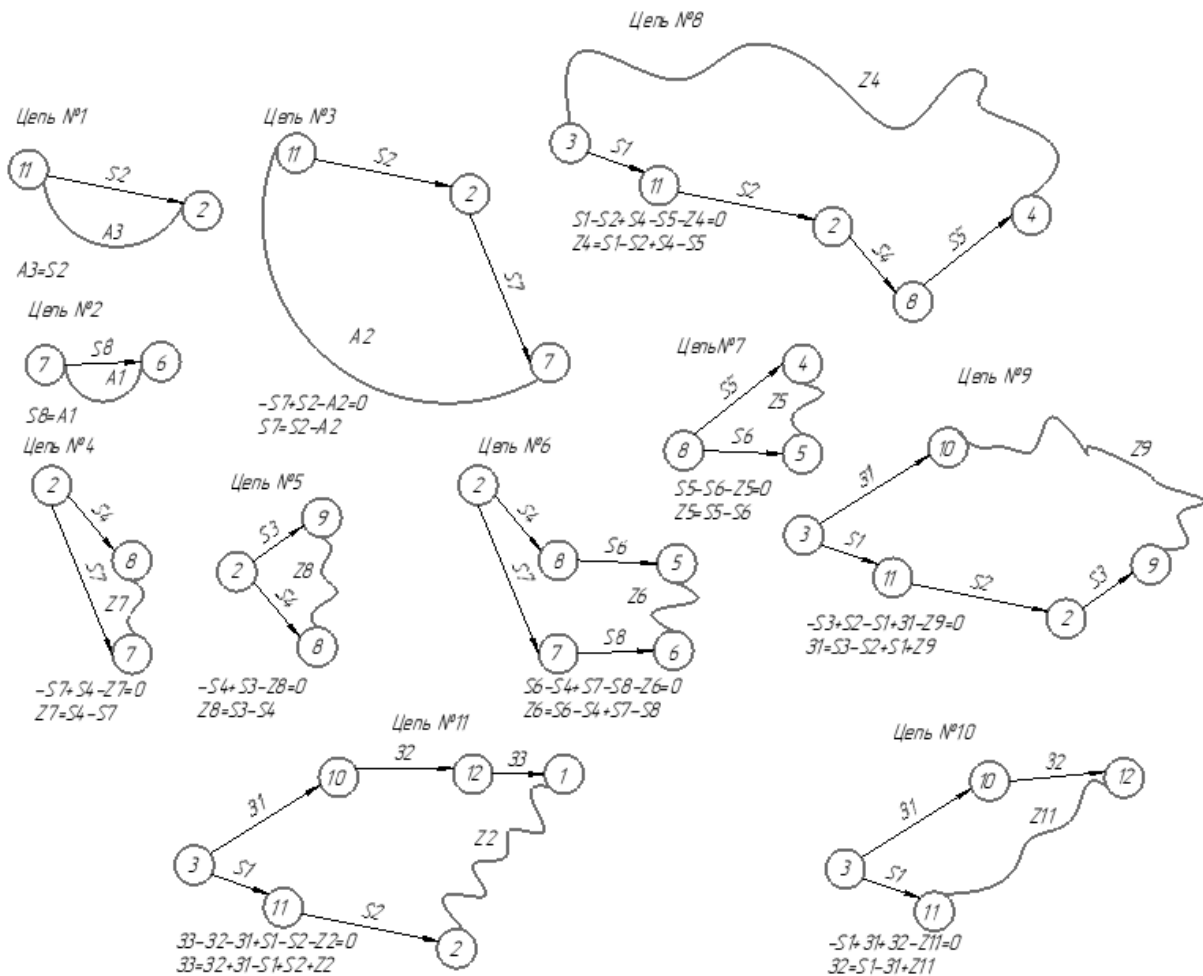


Рис. 7. Технологические размерные цепи

3. Расчет технологических размерных цепей

Методика расчета технологических размерных цепей зависит от того, что является замыкающим звеном размерной цепи. Если замыкающее звено представлено припуском, расчеты значительно сложнее.

Примем:

$$Z2=Z11=Z9=Z4=2\text{мм}$$

$$Z5=Z8=0.5\text{мм}$$

$$Z7=Z6=0.35\text{мм}$$

Расчеты начинаем с двухзначных цепей:

Цепь №1:

$$A3=S2$$

$$S2=90h14=90_{-0.87}$$

Цепь №2:

$$A1=S8$$

$$S8=18\pm 0.2$$

Цепь №3:

$$S7=S2-A2$$

$$S7=90_{-0.87}-56\pm 0.2=34_{-1.07}^{+0.2}$$

Цепь №4:

$$Z7=S4-S7$$

Так как расчетный припуск является всегда величиной минимальной, исходное уравнение перепишем в следующем виде:

$$Z7_{min}=S4_{min}-S7_{max}$$

$$S4_{min}=S7_{max}+Z7_{min}=34.2+0.35=34.55 \text{ мм}$$

Для операции чернового точения принимаем допуски по 12-14 качеству по посадке "h" $TS4=0.25$

$$S4_{max}=S4_{ном}=34.55+0.25=34.8$$

$$\text{Окончательно на операционном эскизе } S4=34.8_{-0.25}$$

Предельное значение припуска $Z7$ определяется из выражения

$$Z7=S4-S7=34.8_{-0.25}-34_{-1.07}^{+0.2}=0.8_{-0.45}^{+1.07}$$

Цель №5:

$$Z8=S3-S4$$

$$Z8_{min}=S3_{min}-S4_{max}$$

$$S3_{min}=Z8_{min}+S4_{max}=0.5+34.8=35.35 \text{ мм}$$

Для операции полустачного точения принимаем допуски по 10-12 качеству по посадке "h". $TS3=0.1$

$$S3_{max}=35.35+0.1=35.45$$

$$\text{Окончательно на операционном эскизе } S3=35.45_{-0.1}$$

Предельное значение припуска $Z7$ определяется из выражения

$$Z8=S3-S4=35.45_{-0.1}-34.8_{-0.25}^{+0.25}=0.65_{-0.1}^{+0.25}$$

Цель №6:

$$Z6=S6-S4+S7-S8$$

$$Z6_{min}=S6_{min}-S4_{max}+S7_{min}-S8_{max}$$

$$S6_{min}=Z6_{min}+S4_{max}-S7_{min}+S8_{max}=0.35+34.8-32.93+18.2=20.42 \text{ мм}$$

Для операции полустачного точения принимаем допуски по 10-12 качеству по посадке "h". $TS6=0.084$

$$S6_{max}=20.42+0.084=20.504$$

$$\text{Окончательно на операционном эскизе } S6=20.504_{-0.084}$$

Предельное значение припуска $Z6$ определяется из выражения

$$Z6=S6-S4+S7-S8=20.504_{-0.084}-34.8_{-0.25}^{+0.2}+34_{-1.07}^{+0.2}-18\pm 0.2=1.704_{-1.354}^{+0.65}$$

Цель №7:

$$Z5=S5-S6$$

$$Z5_{min}=S5_{min}-S6_{max}$$

$$S5_{min}=Z5_{min}+S6_{max}=0.5+20.504=21.004 \text{ мм}$$

Для операции чернового точения принимаем допуски по 12-14 качеству по посадке "h". $TS5=0.21$

$$S5_{max}=21.004+0.21=21.214$$

$$\text{Окончательно на операционном эскизе } S5=21.214_{-0.21}$$

Предельное значение припуска $Z5$ определяется из выражения

$$Z5=S5-S6=21.214_{-0.21}-20.504_{-0.084}^{+0.084}=0.71_{-0.21}^{+0.084}$$

Цель №8:

$$Z4=S1-S2+S4-S5$$

$$Z4_{min}=S1_{min}-S2_{max}+S4_{min}-S5_{max}$$

$$S1_{min}=Z4_{min}+S2_{max}-S4_{min}+S5_{max}=2+90-34.55+21.214=78.714 \text{ мм}$$

Для операции чернового точения принимаем допуски по 12-14 качеству по посадке "h". $TS1=0.3$

$$S1_{max}=78.714+0.3=79.014$$

$$\text{Окончательно на операционном эскизе } S1=79.014_{-0.3}$$

Предельное значение припуска $Z4$ определяется из выражения

$$Z4 = S1 - S2 + S4 - S5 = 79.014_{-0.3} - 90_{-0.87} + 34.8_{-0.25} - 21.214_{-0.21} = 2.6_{-0.55}^{+1.08}$$

Цель №9:

$$Z9 = 31 + S2 - S3 - S1$$

$$Z9_{min} = 31_{min} + S2_{min} - S3_{max} - S1_{max}$$

$$31_{min} = Z9_{min} - S2_{min} + S3_{max} + S1_{max} = 2 - 89.13 + 35.45 + 79.014 = 27.334 \text{ мм}$$

Для заготовки допуск принимаем по ГОСТ 7505-89

$$31_{ном}(\text{номинальный}) = 31_{min} + T31' = 27.334 + 0.3 = 27.634$$

$$31_{max} = 31_{ном} + 0.7 = 28.334$$

При назначении допусков на размеры штампованных заготовок не всегда значность расчетных размеров соответствует значности допусков. В этом случае размер округляют до значности допуска в сторону увеличения припуска. Стремятся, чтобы размер заготовки был или целым числом, или кратным 0.5.

$$T31 = 27.634_{-0.3}^{+0.7} = 28_{-0.3}^{+0.7}$$

Предельное значение припуска $Z9$ определяется из выражения

$$Z9 = 31 + S2 - S3 - S1 = 28_{-0.3}^{+0.7} + 90_{-0.87} - 35.45_{-0.1} - 79.014_{-0.3} = 3.536_{-1.17}^{+1.1}$$

Цель №10:

$$Z11 = 32 - S1 + 31$$

$$Z11_{min} = 32_{min} - S1_{max} + 31_{min}$$

$$32_{min} = Z11_{min} + S1_{max} - 31_{min} = 2 + 79.014 - 28.2 = 52.814 \text{ мм}$$

Для заготовки допуск принимаем по ГОСТ 7505-89

$$32_{ном} = 32_{min} + T32' = 52.814 + 0.4 = 53.214$$

$$32_{max} = 32_{ном} + 0.8 = 54.014$$

При назначении допусков на размеры штампованных заготовок не всегда значность расчетных размеров соответствует значности допусков. В этом случае размер округляют до значности допуска в сторону увеличения припуска. Стремятся, чтобы размер заготовки был или целым числом, или кратным 0.5.

$$T32 = 53.5_{-0.4}^{+0.8}$$

Предельное значение припуска $Z11$ определяется из выражения

$$Z11 = 32 - S1 + 31 = 53.5_{-0.4}^{+0.8} - 79.014_{-0.3} + 28_{-0.3}^{+0.7} = 2.486_{-0.7}^{+1.8}$$

Цель №11:

$$Z2 = 33 - 32 - 31 + S1 - S2$$

$$Z2_{min} = 33_{max} - 32_{max} - 31_{max} + S1_{min} - S2_{max}$$

$$33_{min} = Z2_{min} + 32_{max} + 31_{max} - S1_{min} + S2_{max} = 2 + 55.3 + 29.2 - 78.714 + 90 = 97.786 \text{ мм}$$

Для заготовки допуск принимаем по ГОСТ 7505-89

$$33_{ном} = 33_{min} + T33' = 97.786 + 0.5 = 98.286$$

$$33_{max} = 33_{ном} + 0.9 = 99.186$$

При назначении допусков на размеры штампованных заготовок не всегда значность расчетных размеров соответствует значности допусков. В этом случае размер округляют до значности допуска в сторону увеличения припуска. Стремятся, чтобы размер заготовки был или целым числом, или кратным 0.5.

$$T33 = 98.5_{-0.5}^{+0.9}$$

Предельное значение припуска $Z2$ определяется из выражения

$$Z2 = 33 - 32 - 31 + S1 - S2 = 98.5_{-0.5}^{+0.9} - 53.5_{-0.4}^{+0.8} - 28_{-0.3}^{+0.7} + 79.014_{-0.3} - 90_{-0.87} = 6.014_{-2.3}^{+2.47}$$

Результаты сводим в таблицу 2:

Результаты расчета технологических размерных цепей

Исходное звено	Размер исходного звена	Исходное уравнение	Определяемые размеры, мм			
			Номинальный размер	Допуск	Технологический размер	Предельные значения припуска
A3	$A3 = S2$	$A3 = S2$	90	0,87	$S2 = 90-0.87$	90
A1	$A1 = S8$	$A1 = S8$	18,2	0,4	$S8 = 18 \pm 0.2$	18,2
A2	$A2 = S2-S7$	$S7 = S2-A2$	56,2	0,4	$S7 = 34^{+0.2}_{-1.07}$	34,2
Z7	$Z7 = S4-S7$	$Z7 = S4-S7$	1,87	1,52	$S4 = 34.8-0.25$	34,8
Z8	$Z8 = S3-S4$	$Z8 = S3-S4$	0,85	0,35	$S3 = 35.45-0.1$	35,45
Z6	$Z6 = S6-S4+S7-S8$	$Z6 = S6-S4+S7-S8$	2,354	2,004	$S6 = 20.504-0.084$	20,504
Z5	$Z5 = S5-S6$	$Z5 = S5-S6$	0,794	0,294	$S5 = 21.214-0.21$	21,214
Z4	$Z4 = S1-S2+S4-S5$	$Z4 = S1-S2+S4-S5$	3,68	1,63	$S1 = 79.014-0.3$	79,014
Z9	$Z9 = 31+S2-S3-S1$	$31 = S3-S2+S1+Z9$	5,136	2,27	$31 = 28^{+0.7}_{-0.3}$	28,7
Z11	$Z11 = 32-S1+31$	$32 = S1-31+Z11$	5,786	2,5	$32 = 53.5^{+0.8}_{-0.4}$	54,3
Z2	$Z2 = 33-32-31+S1-S2$	$33 = 32+31-S1+S2+Z2$	7,984	4,77	$33 = 98.5^{+0.9}_{-0.5}$	99,4

ЛИТЕРАТУРА

1. Размерный анализ технологических процессов: сборник практических работ/ сост.: Г.Я. Беляев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010.-351с.
2. Размерный анализ технологических процессов: курс лекций / Г. Я. Беляев. – Минск: БНТУ, 2010. – 164 с. : ил., табл.

УДК 6.21.81:658.512

Крыжченко А.П., Беляев Г.Я.

**РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ
ВАЛА-ШЕСТЕРНИ ПО ЛИНЕЙНЫМ РАЗМЕРАМ**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Размерный анализ технологических процессов позволяет еще на стадии технологического проектирования решить важнейшие задачи, приводящие к значительной экономии материальных затрат на производство с улучшением качества проектируемых технологических процессов и изделия в целом.