

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛА

Белорусский национальный технический университет, ОАО «Амкодор-Белвар»

Минск, Беларусь

В данной статье рассмотрен размерный анализ вала используя теорию графов. В процессе анализа определяем межоперационные размеры, размеры припусков и заготовки, допуски, и отклонения всех выше перечисленных размеров. В первой части статьи даны краткие теоретические сведения по размерному анализу. Во второй части разрабатывается размерная схема тех. процесса. В третьей части статьи размерная схем тех процесса анализируется с помощью теории графов, составляются расчетные и исходные уравнения. В четвертой части определяются межоперационные размеры, припуски на обработки и размеры заготовки.

В [1, с. 41] сказано: «Методика размерного анализа предусматривает расчет операционных размеров проектируемых тех. процессов с использованием теории размерных цепей. В основу методики размерного анализа положен дифференциально-аналитический метод расчета припусков, который отличается от классического, широко представленного в научно-технической и учебной литературе, уменьшением числа составляющих, входящих в расчетный припуск».

Известно, что большое технико-экономическое значение имеет установление оптимальных припусков на обработку. Для обеспечения заданного качества поверхности, обработанной без следов предшествующей обработки и дефектного слоя, необходимо в минимальную толщину удаляемого слоя включать только высоту микронеровностей R_z и глубину дефектного слоя h , полученных на предшествующих операциях или переходах $z_{\min} \geq R_{z_{i-1}} + h_{i-1}$. Возможны случаи, когда $Z_{\min} = 0$ или даже $Z_{\min} < 0$. Для того, чтобы избежать подобных случаев необходимо следовать следующему: «При назначении припусков на обработку в случае применения размерного анализа рекомендовано качестве расчетной величины следует принимать минимально необходимый припуск» [1, с. 41].

Для вала, изображенного на рисунке 1, необходимо произвести размерный анализ технологического процесса механической обработки по линейным размерам.

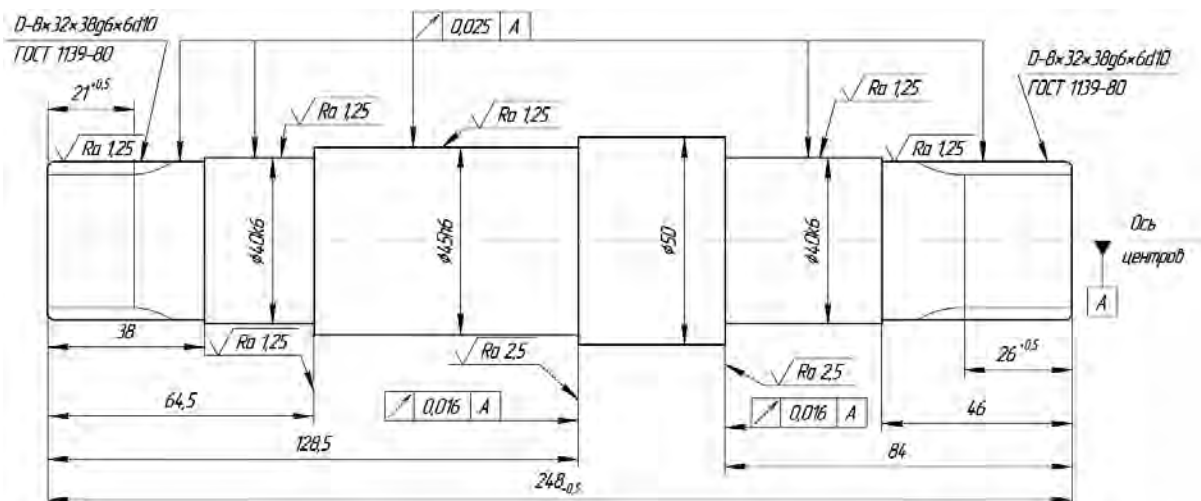


Рис. 1. Эскиз вала

Технологический процесс его изготовления включает следующие операции:

Фрезерно-центровая;

Токарно-винторезная;

Шлицифрезерная;

Круглошлифовальная.

Сначала строится размерная схема техпроцесса, приведенная на рис. 2. На ней конструкторские размеры обозначены буквой A_i , где i – порядковый номер конструкторского размера. На эскизе наносятся припуски z_m , где m – промежуточная или окончательная поверхность, к которой относится припуск. Технологические размеры обозначены буквой S_k , где k – порядковый номер технологического перехода. Размеры заготовки обозначены Z_r , где r – порядковый номер поверхности заготовки.

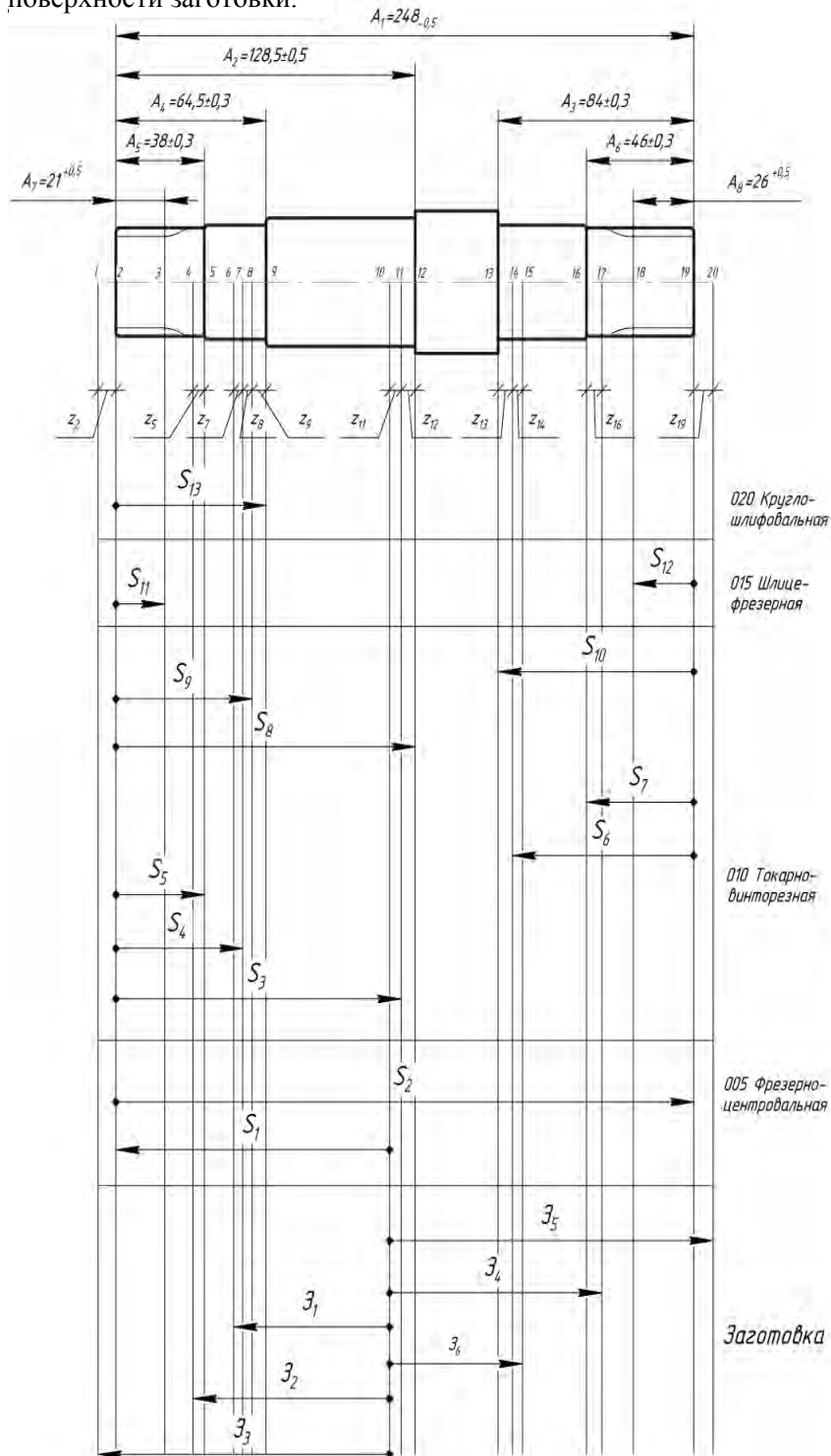


Рис. 2. Размерная схема техпроцесса механической обработки вала

Используя теорию графов составляют граф производного дерева, ребрами которого являются операционные технологические размеры и размеры заготовки, и граф исходного дерева, включающий конструкторские размеры и размеры припусков. Наложением одного графа на другой получают граф совмещенного дерева, по которому выявляют технологические размерные цепи. Граф совмещенного дерева изображен на рис. 3.

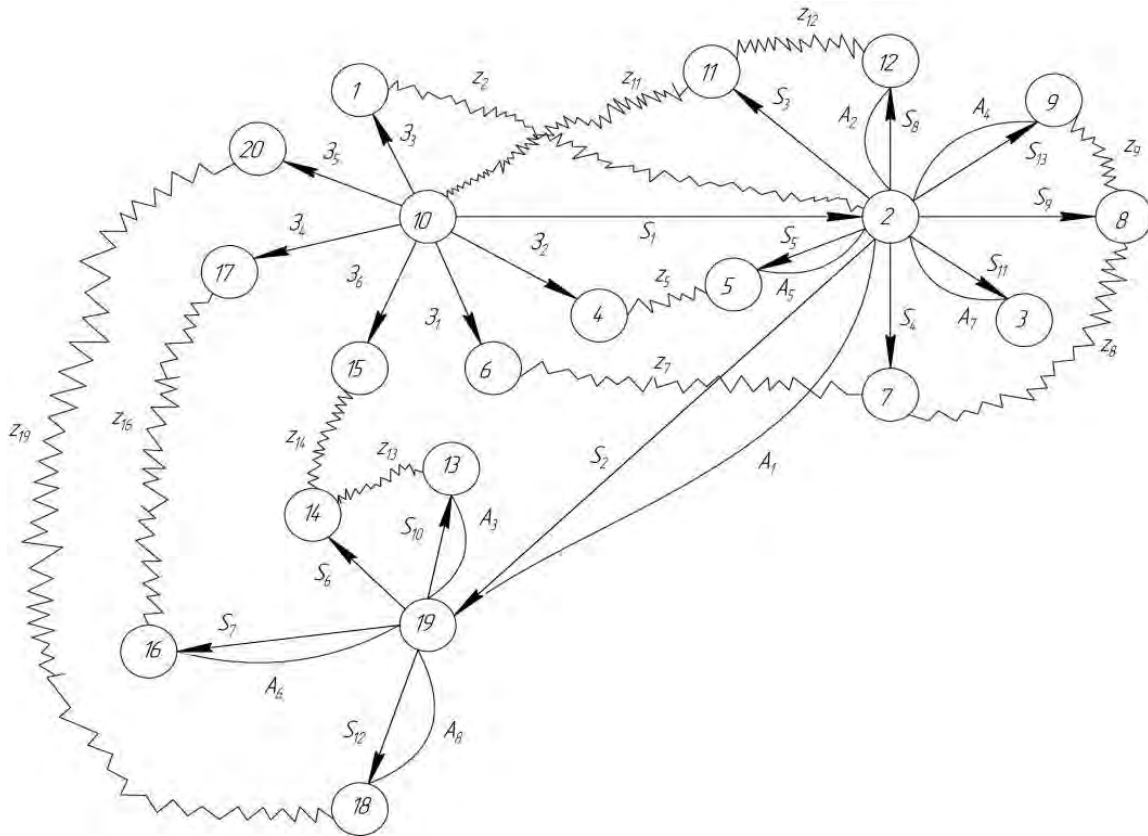


Рис. 3. Граф совмещенного дерева

По графу совмещенного дерева выявляют технологические размерные цепи по методике, изложенной [1, с. 80].

Далее составляют расчетные уравнения размерных цепей, исходя из условия, что алгебраическая сумма номинальных размеров всех звеньев размерной цепи, включая и замыкающее, равна нулю.

После чего эти уравнения преобразуют в исходные, т.е. составленные относительно замыкающего звена. В правой части исходного уравнения звенья, имеющие знак «плюс», являются увеличивающими, а знак «минус» - уменьшающими. Полученные зависимости заносят в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчетные зависимости составляющих звеньев технологических размерных цепей

№ п/п	Расчетное уравнение	Исходное уравнение	Определяемый размер
1	2	3	4
1	$-A_2 + S_8 = 0$	$S_8 = A_2$	S_8
2	$-A_4 + S_{13} = 0$	$S_{13} = A_4$	S_{13}
3	$-A_7 + S_{11} = 0$	$S_{11} = A_7$	S_{11}
4	$-A_5 + S_5 = 0$	$S_5 = A_5$	S_5
5	$-A_3 + S_{10} = 0$	$S_{10} = A_3$	S_{10}
6	$-A_8 + S_{12} = 0$	$S_{12} = A_8$	S_{12}
7	$-A_6 + S_7 = 0$	$S_7 = A_6$	S_7
8	$-z_{12} - S_3 + S_8 = 0$	$z_{12} = -S_3 + S_8$	S_3
9	$-z_{11} + S_3 - S_1 = 0$	$z_{11} = S_3 - S_1$	S_1
10	$-z_9 + S_{13} - S_9 = 0$	$z_9 = S_{13} - S_9$	S_9

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
11	$-z_8 - S_4 + S_9 = 0$	$z_8 = -S_4 + S_9$	S_4
12	$-z_7 + Z_1 - S_1 + S_4 = 0$	$z_7 = Z_1 - S_1 + S_4$	Z_1
13	$-z_5 + Z_2 + S_5 - S_1 = 0$	$z_5 = Z_2 + S_5 - S_1$	Z_2
14	$-z_{13} - S_6 + S_{10} = 0$	$z_{13} = -S_6 + S_{10}$	S_6
15	$Z_6 - z_{14} + S_6 - S_2 + S_1 = 0$	$z_{14} = Z_6 + S_6 - S_2 + S_1$	Z_6
16	$S_2 - A_1 = 0$	$S_2 = A_1$	S_2
17	$-z_{16} + S_7 - S_2 + S_1 + Z_4 = 0$	$z_{16} = S_7 - S_2 + S_1 + Z_4$	Z_4
18	$Z_3 - S_1 - z_2 = 0$	$z_2 = Z_3 - S_1$	Z_3
19	$Z_5 + S_1 - S_2 - z_{19} = 0$	$z_{19} = Z_5 + S_1 - S_2$	Z_5

По методике, приведенной в [2, с. 89], рассчитывают минимальные припуски на обработку.

Они равны: $z_{2min} = z_{19min} = 0.89$ мм, $z_{5min} = z_{7min} = z_{11min} = z_{14min} = z_{16min} = 0.75$ мм,

$z_{8min} = z_{12min} = z_{13min} = 0.124$ мм, $z_{9min} = 0.06$ мм.

Цепь №1

$$S_8 = A_2 = 128.5 \pm 0.5 \text{ мм.}$$

Цепь №2

$$-z_{12} - S_3 + S_8 = 0; z_{12} = -S_3 + S_8; z_{12min} = S_{8min} - S_{3max}.$$

$$S_{3max} = S_{8min} - z_{12min} = 128 - 0.124 = 127.876 \approx 127.88 \text{ мм.}$$

Допуск на размер S_3 принимаем по 11-му качеству. Поле допуска принимаем [3, с. 7]

h11. Номинальный размер равен $S_3 = 127.88_{-0.25}$ мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_{12} = -S_3 + S_8 = -127.88_{-0.25} + 128.5 \pm 0.5 = 0.62_{-0.5}^{+0.75} \text{ мм.}$$

Цепь №3

$$-z_{11} + S_3 - S_1 = 0; z_{11} = S_3 - S_1; z_{11min} = S_{3min} - S_{1max}.$$

$$S_{1max} = S_{3min} - z_{11min} = 127.63 - 0.75 = 126.88 \approx 126.9 \text{ мм.}$$

Допуск на размер S_1 принимаем по 12-му качеству. Поле допуска принимаем [3, с. 7]

h12. Номинальный размер равен $S_1 = 126.9_{-0.4}$ мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_{11} = S_3 - S_1 = 127.88_{-0.25} - 126.9_{-0.4} \approx 1_{-0.25}^{+0.4} \text{ мм.}$$

Цепь №4

$$Z_3 - S_1 - z_2 = 0; z_2 = Z_3 - S_1; z_{2min} = Z_{3min} - S_{1max}.$$

$$Z_{3min} = S_{1max} + z_{2min} = 126.9 + 0.89 \approx 127.8 \text{ мм.}$$

Допуск на размер Z_3 принимаем по [4, с. 11]. Номинальный размер равен $Z_3 = 127.8 + 0.5 = 128.3$ мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_2 = Z_3 - S_1 = 128.3_{-0.5}^{+1.1} - 126.9_{-0.4} = 1.4_{-0.5}^{+1.5} \text{ мм.}$$

Цепь №5

$$S_{13} = A_4 = 64.5 \pm 0.3 \text{ мм.}$$

Цепь №6

$$-z_9 + S_{13} - S_9 = 0; z_9 = S_{13} - S_9; z_{9\min} = S_{13\min} - S_{9\max}.$$

$$S_{9\max} = S_{13\min} - z_{9\min} = 64.2 - 0.06 = 64.14 \text{ мм.}$$

Допуск на размер S_9 принимаем по 9-му качеству. Поле допуска принимаем [3, с. 7] $h9$.

Номинальный размер равен $S_9 = 64.14_{-0.074} \text{ мм.}$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_9 = S_{13} - S_9 = 64.5 \pm 0.3 - 64.14_{-0.074} \approx 0.36_{-0.30}^{+0.37} \text{ мм.}$$

Цепь №7

$$-z_8 - S_4 + S_9 = 0; z_8 = -S_4 + S_9; z_{8\min} = -S_{4\max} + S_{9\min}.$$

$$S_{4\max} = S_{9\min} - z_{8\min} = 64.04 - 0.124 \approx 63.9 \text{ мм.}$$

Допуск на размер S_4 принимаем по 11-му качеству. Поле допуска принимаем [3, с. 7]

$h11$. Номинальный размер равен $S_4 = 63.9_{-0.19} \text{ мм.}$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_8 = -S_4 + S_9 = -63.9_{-0.19} + 64.14_{-0.074} \approx 0.24_{-0.19}^{+0.08} \text{ мм.}$$

Цепь №9

$$-z_7 + 3_1 - S_1 + S_4 = 0; z_7 = 3_1 - S_1 + S_4; z_{7\min} = 3_{1\min} - S_{1\max} + S_{4\min}.$$

$$3_{1\min} = S_{1\max} - S_{4\min} + z_{7\min} = 126.9 - 63.73 + 0.75 \approx 63.9 \text{ мм.}$$

Допуск на размер 3_1 принимаем по [4, с. 11]. Номинальный размер равен

$$3_1 = 63.9 + 0.5 = 64.4 \text{ мм.}$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_7 = 3_1 - S_1 + S_4 = 64.4_{-0.5}^{+0.9} - 126.9_{-0.4} + 63.9_{-0.19} \approx 1.4_{-0.3}^{+1.3} \text{ мм.}$$

Цепь №10

$$A_5 = S_5 = 38 \pm 0.3 \text{ мм.}$$

Цепь №11

$$-z_5 + 3_2 + S_5 - S_1 = 0; z_5 = 3_2 + S_5 - S_1; z_{5\min} = 3_{2\min} + S_{5\min} - S_{1\max}.$$

$$3_{2\min} = S_{1\max} - S_{5\min} - z_{5\min} = 126.9 - 37.7 - 0.75 \approx 88.4 \text{ мм.}$$

Допуск на размер 3_2 принимаем по [4, с. 11]. Номинальный размер равен

$$3_2 = 88.4 + 0.5 = 88.9 \text{ мм.}$$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_5 = 3_2 + S_5 - S_1 = 88.9_{-0.5}^{+0.9} + 38 \pm 0.3 - 126.9_{-0.4} =$$

Цепь №12

$$S_{10} = A_3 = 84 \pm 0.3 \text{ мм.}$$

Цепь №13

$$S_2 = A_1 = 248_{-0.5} \text{ мм.}$$

Цепь №14

$$-z_{13} - S_6 + S_{10} = 0; z_{13} = -S_6 + S_{10}; z_{13\min} = -S_{6\max} + S_{10\min}.$$

$$S_{6\max} = S_{10\min} - z_{13\min} = 83.7 - 0.12 = 83.58 \text{ мм.}$$

Допуск на размер S_6 принимаем по 11-му качеству. Поле допуска принимаем [3, с. 7]

$h11$. Номинальный размер равен $S_6 = 83.58_{-0.22} \text{ мм.}$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_{13} = -S_6 + S_{10} = -83.58_{-0.22} + 84 \pm 0.3 = 0.42_{-0.30}^{+0.52} \text{ мм.}$$

Цепь №15

$$z_6 - z_{14} + S_6 - S_2 + S_1 = 0; \quad z_{14} = z_6 + S_6 - S_2 + S_1;$$

$$z_{14\min} = z_{6\min} + S_{6\min} - S_{2\max} + S_{1\min}.$$

$$z_{6\min} = S_{2\max} - S_{6\min} - S_{1\min} + z_{14\min} = 248 - 83.36 - 126.5 + 0.75 \approx 38.7 \text{ мм.}$$

Допуск на размер z_6 принимаем по [4, с. 11]. Номинальный размер равен $z_6 = 38.7 + 0.3 = 39 \text{ мм.}$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_{14} = z_6 + S_6 - S_2 + S_1 = 39_{-0.3}^{+0.7} + 83.58_{-0.22} - 248_{-0.5} + 126.9_{-0.4} = 1.48_{-0.92}^{+1.20} \text{ мм.}$$

Цепь №16

$$S_7 = A_6 = 46 \pm 0.3 \text{ мм.}$$

$$-z_{16} + S_7 - S_2 + S_1 + z_4 = 0; \quad z_{16} = S_7 - S_2 + S_1 + z_4;$$

$$z_{16\min} = S_{7\min} - S_{2\max} + S_{1\min} + z_{4\min}.$$

$$z_{4\min} = z_{16\min} - S_{7\min} + S_{2\max} - S_{1\min} = 0.75 - 45.7 + 248 - 126.5 \approx 76.6 \text{ мм.}$$

Допуск на размер z_4 принимаем по [4, с. 11]. Номинальный размер равен $z_4 = 76.6 + 0.5 = 77.1 \text{ мм.}$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_{16} = S_7 - S_2 + S_1 + z_4 = 46 \pm 0.3 - 248_{-0.5} + 126.9_{-0.4} + 77.1_{-0.5}^{+0.9} = 2_{-1.2}^{+1.7} \text{ мм.}$$

Цепь №17

$$z_5 + S_1 - S_2 - z_{19} = 0; \quad z_{19} = z_5 + S_1 - S_2; \quad z_{19\min} = z_{5\min} + S_{1\min} - S_{2\max}.$$

$$z_{5\min} = z_{19\min} - S_{1\min} + S_{2\max} = 0.89 - 126.5 + 248 \approx 122.4 \text{ мм.}$$

Допуск на размер z_5 принимаем по [4, с. 11]. Номинальный размер равен $z_5 = 122.4 + 0.5 = 122.9 \text{ мм.}$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$z_{19} = z_5 + S_1 - S_2 = 122.9_{-0.5}^{+1.1} + 126.9_{-0.4} - 248_{-0.5} = 1.8_{-0.9}^{+1.6} \text{ мм.}$$

Цепь №18

$$S_{11} = A_7 = 21^{+0.5} \text{ мм.}$$

Цепь №19

$$S_{12} = A_8 = 26^{+0.5} \text{ мм.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Размерный анализ технологических процессов: сборник практических работ / сост.: Г.Я. Беляев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010. – 351 с.
2. Технология машиностроения. Курсовое проектирование: учеб. пособие / М.М. Кане [и др.]; под ред. М.М. Кане, В.К. Шелега. – Минск: Выш. шк., 2013. – 311 с.
3. ГОСТ 25346 – 89 «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основные отклонения»
4. ГОСТ 7505 – 89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски».