

Cladding, and Direct 3D Metal Deposition // Journal of Thermal Spray Technology. – 2007. – V. 16, № 3. - P. 344-348. 8. Jiang Wu, Bo Gao, Hua Tan, Jing Chen, Chak-yin Tang, Chi-pong Tsui, A feasibility study on laser rapid forming of a complete titanium denture base plate // Lasers in Medical Science. – 2008. - № 8. - P. 107-108. 9. J. Mazumder, A. Schifferer, J. Choil, Direct materials deposition: designed macro and microstructure // Materials Research Innovations. – 1999. – V. 3, № 3. - P. 118-131. 10. E. Amsterdam, G.A. Kool, High Cycle Fatigue of Laser Beam Deposited Ti-6Al-4V and Inconel 718 in ICAF2009 // Bridging the Gap between Theory and Operational Practice, part 8, Springer Netherlands. - 2009, P. 1261-1274. 11. C.A. Brice, H.L. Fraser, Characterization of Ti-Al-Er alloy produced via direct laser deposition // Journal of Materials Science. – 2003. - V. 38, № 7. - p. 1517-1521. 12. J.H. Abbond, R.D. Rawlings, D.R.F. West, Functionally graded nickel-aluminide and iron-aluminide coatings produced via laser cladding // Journal of Materials Science. – 1995. - V. 30, № 23. - P. 5931-5938. 13. J.H. Abboud, D.R.F. West, E.D. Rawings, Functionally gradient titanium-aluminide composites produced by laser cladding // Journal of Materials Science. – 1994. – V. 29, № 13. - P. 3393-3398. 14. J.M. Pelletier, M.C. Sahour, M. Pilloz, A.B. Vannes, Influence of processing conditions on geometrical features of laser cladding obtained by powder injection // Journal of Materials Science. – 1993. – V. 28, № 19. - P. 5184-5188. 15. C. Lalas, K. Tsirbas, K. Salonitis, G. Chrysolouris, An analytical model of the laser clad geometry // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2007. – V. 32, № 1-2. - P. 34-41. 16. A.F.A. Hoadley, M. Rappaz, A thermal model of laser cladding by powder injection // Metallurgical and Materials Transactions B. – 1992. – V. 23, № 5. - P. 631-642. 17. Huan Qi, Magdi Azer, Prabhjot Singh, Adaptive toolpath deposition method for laser net shape manufacturing and repair of turbine compressor airfoils // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - 2009. - № 9. - P. 170-179.

УДК 621.9

Ильясевич Е.Г., Беляев Г.Я

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ ПРИПУСКОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Разработка технологических процессов изготовления различных деталей машин предусматривает расчет припусков и межоперационных размеров для выполняемых технологических переходов. Правильный расчет припусков и межоперационных размеров является одним из самых важных факторов, определяющих гарантированное достижение требуемой точности изготавливаемой детали на основе последовательного уточнения заготовки на каждой из проходимых технологических операций.

Увеличенные припуски на обработку вызывают необходимость введения дополнительных технологических переходов, увеличивают трудоемкость процессов обработки, расход металла, электроэнергии, инструмента и, как следствие, рост себестоимости продукции.

Уменьшенные припуски на обработку не обеспечивают удаления дефектных поверхностных слоев металла, получение требуемой точности и чистоты обрабатываемых поверхностей, а в ряде случаев создаются неблагоприятные условия для работы режущего инструмента в зоне твердой корки. В результате не обеспечивается возможность надлежащей механической обработки и повышается процент брака, что также приводит к увеличению себестоимости продукции.

Назначение минимальных достаточных и обоснованных припусков позволяет существенно сократить затраты на материал заготовки, уменьшить расходы на режущий инструмент и потребляемую электроэнергию, что в итоге приводит к значительному повышению эффективности использования оборудования, улучшению технико – экономических показателей предприятий, особенно массового и крупносерийного производства.

В настоящее время известны и применяются различные методики расчета припусков и межоперационных размеров для деталей различных классов – корпусных, тел вращения, рычажных, направляющих и др. Написано множество программ для автоматического расчета припусков, основанных на различных методах.

Рассмотрим некоторые методы расчета припусков, межоперационных размеров и размеров заготовок: опытно – статистический, расчетно – аналитический, уточненный расчетно – аналитический метод, предложенный в литературе [1], и метод размерного анализа технологического процесса.

На рис. 1 представлена деталь «Вал», поверхность А которого выполнена по 6 – му классу точности и с шероховатостью $Ra\ 0,8$. Заготовкой для данного вала является прокат, обычного класса точности, материал – сталь 45.

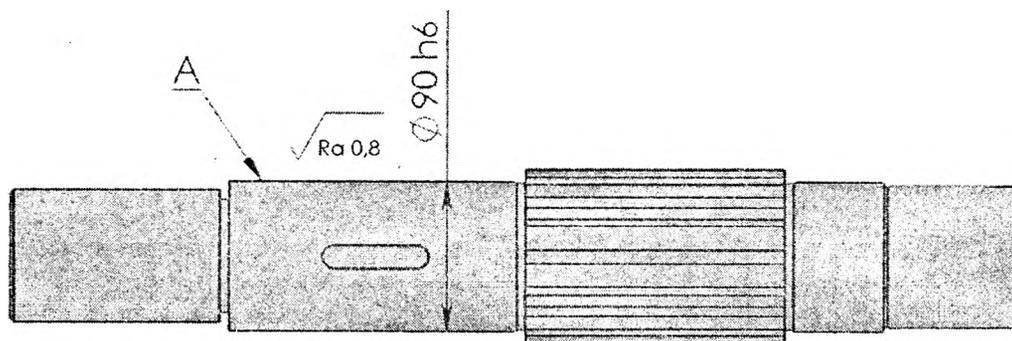


Рис. 1. Вал

Для данной поверхности предлагается следующий маршрут обработки:

- Точение однократное
- Точение чистовое
- Шлифование предварительное
- Шлифование чистовое

1 Опытно – статистический метод расчета припусков на механическую обработку

В настоящее время в машиностроении широкое применение получил опытно – статистический метод расчета припусков, который также называют табличным. При этом методе общие и промежуточные припуски берут из соответствующих справочных таблиц, приведенных в государственных стандартах, обобщающих производственный опыт машиностроительной отрасли промышленности.

Этот метод прост и удобен, требует крайне мало времени для назначения всех припусков. Однако припуски на обработку, установленные по таблицам, являются завышенными, что приводит к повышению расхода металла и увеличивает время, затрачиваемое на обработку. Кроме этого, назначение припусков данным методом происходит без учета конкретных условий построения технологических процессов (схем установки заготовки, погрешностей, полученных на предшествующей обработке и т.д.). Поэтому в таблицах указывается наибольшее значение припуска, чтобы учесть все возникающие погрешности и избежать возможного брака изготавливаемой детали. Т.к. таблицы представляют собой лишь некоторую часть систематизированных заводских данных и базируются на широко используемых технологических процессах, то их применение сужает круг возможных решений технолога.

Определим табличным методом значения межоперационных припусков на механическую обработку поверхности $\varnothing 90h6$ детали «Вал». Пользуемся справочными данными, приведенными в литературе [4]. Значения припусков для отдельных операций сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Значения межоперационных припусков

Операция механической обработки	Значение припуска $2z$, мм
Точение однократное	5,2
Точение чистовое	1,5 _{-0,3}
Шлифование предварительное	0,8 _{-0,27}
Шлифование чистовое	0,2 _{-0,12}

Значения межоперационных припусков принимались в зависимости от вида заготовки, механической обработки, габаритов обрабатываемой заготовки по нормативным данным, приведенным в литературе [1].

Общий припуск, получаемый суммированием межоперационных, при опытно – статистическом методе определения припусков, будет равен $2z_0 = 7,7_{-1,26}$ мм.

2 Расчетно – аналитический метод определения припусков на обработку

Расчетно – аналитический метод был предложен проф. В.М.Кованом и лишен недостатков опытно – статистического метода расчета припусков. Этот метод базируется на анализе факторов, влияющих на припуски на предшествующем и выполняемом технологическом переходе процесса обработки поверхностей. Значение общего припуска определяется методом расчета по элементам, составляющим припуск. Расчет промежуточных (межоперационных) припусков происходит по всем последовательно выполняемым технологическим переходам механической обработки поверхности. Общий припуск определяется суммированием межоперационных припусков, а затем следует определение межоперационных размеров и размеров заготовки.

При данном методе рассчитывается минимальный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующем переходе, и компенсации погрешностей, возникающих на выполняемом переходе. Межоперационные размеры и размеры заготовки рассчитываются с использованием минимального припуска.

Проведем расчет припусков на механическую обработку поверхности $\varnothing 90h6$ детали «Вал». Расчет проводим по методике и справочным данным, приведенным в литературе [2], [3].

Минимальный припуск для тел вращения определяется по формуле:

$$2z_{imin} = 2 \left((Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\varepsilon_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$$

где Rz_{i-1} – высота микронеровностей профиля на предшествующем переходе;

h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе;

$\Delta_{\varepsilon_{i-1}}$ – суммарные отклонения расположения поверхности (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционное) и отклонения формы поверхности (отклонения от плоскостности, прямолинейности) на предыдущем переходе;

ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Номинальный припуск на обработку определяется по формуле:

$$2z_i = 2z_{imin} + \sigma_{D_{i-1}} + \sigma_{D_i}$$

где $\sigma_{D_{i-1}}$, σ_{D_i} – нижние отклонения размеров на предшествующем и выполняемом переходе соответственно.

Максимальный припуск находим по формуле:

$$2z_{i\max} = 2z_{i\min} + TD_{i-1} + TD_i$$

где TD_{i-1} и TD_i – допуски размеров на предшествующем и выполняемом переходе.

Расчет минимальных припусков на механическую обработку, выполненный по данной методике, сведен в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет припусков на механическую обработку и предельных размеров по операциям техпроцесса

Технологический маршрут обработки	Элементы припуска, мкм				$2z_{i\min}$, мкм
	Rz	h	Δ	ε	
Заготовка	200	300	652	-	-
Точение однократное	63	60	38	-	2304
Точение чистовое	25	25	-	-	322
Шлифование предварительное	3,2	10	-	-	100
Шлифование чистовое	0,8	2	-	-	26,4

Знать номинальные значения припусков необходимо для определения номинальных размеров технологической оснастки. Максимальные припуски используются для определения режимов резания и выбора оборудования по мощности.

Продолжение таблицы 2

Технологический маршрут обработки	Расчетный минимальный размер	Допуск Td , мкм	Принятые размеры, мм		Полученные предельные припуски, мм	
			d_{\max}	d_{\min}	$2z_{i\max}$	$2z_{i\min}$
Заготовка	92,726	1800	94,5	92,7	-	-
Точение однократное	90,422	540	90,96	90,42	4,08	1,74
Точение чистовое	90,1004	140	90,24	90,10	1	0,32
Шлифование предварительное	90,004	54	90,058	90,004	0,29	0,096
Шлифование чистовое	89,978	22	90	89,978	0,102	0,026

Номинальные припуски:

$$2z_{ш.ч.} = 26,4 + 54 = 80,4 \text{ мкм};$$

$$2z_{ш.п.} = 96 + 140 = 236 \text{ мкм};$$

$$2z_{т.ч.} = 320 + 540 = 860 \text{ мкм};$$

$$2z_{т.черн.} = 1740 + 1800 = 3540 \text{ мкм};$$

Общий минимальный припуск $2z_{о\min}$ определяем как сумму минимальных промежуточных припусков, $2z_{о\min} = 2,182 \text{ мм}$.

Общий номинальный припуск $2z_0$ определяем как сумму номинальных промежуточных припусков, $2z_0 = 4,716 \text{ мм}$.

Преимущества данного метода заключаются в том, что он предлагает разработанный алгоритм определения припусков и межоперационных размеров для деталей определенного класса, который впоследствии можно использовать для всего многообразия деталей данного класса, заменяя только значения исходных данных.

3 Уточненный расчетно – аналитический метод определения припусков на обработку

В литературе [1] изложен расчетно – аналитический метод определения припусков на обработку, основывающийся на методике В.М. Кована, однако имеющий свои особенности. По данному методу расчету припусков на механическую обработку предшествуют два определяющих этапа разработки технологического процесса, результаты которых непосредственно влияют на расчет припусков и межоперационных размеров.

Этап I – выбор метода получения заготовки.

Этап II – определение необходимых технологических операций (переходов), обеспечивающих достижение требуемой точности при обработке рассматриваемой поверхности.

Достижение требуемой точности детали осуществляется путем последовательной механообработки заготовки на различных станках. В результате прохождения заготовки через каждую технологическую систему происходит уточнение по одному или нескольким параметрам точности детали, характеризующиеся коэффициентом уточнения ε_i :

$$\varepsilon_i = \frac{T_{i-1}}{T_i},$$

где T_{i-1} – допуск на размер или на любой другой рассматриваемый параметр точности детали, полученный на предшествующей технологической операции;

T_i – допуск на размер, полученный на выполняемой технологической операции.

Отношение допуска на размер заготовки T_z к допуску на соответствующий размер детали T_d определяет требуемое уточнение $\varepsilon_{тo}$, которое необходимо обеспечить в результате выполнения операций технологического процесса:

$$\varepsilon_{тo} = \frac{T_z}{T_d}.$$

Зная метод получения заготовки, можно по справочным данным определить качество, предельные отклонения и допуск на рассматриваемый размер заготовки. Для рассматриваемого примера (поверхность $\varnothing 90h6$ детали «Вал») метод получения заготовки – прокат, допуск заготовки на рассматриваемый размер 2 мм, верхнее предельное отклонение $es_3 = 0,5$ мм, нижнее предельное отклонение $ei_3 = 1,3$ мм, допуск детали – 0,022 мм. Таким образом, требуемое уточнение будет равно:

$$\varepsilon_{тo} = \frac{1,8}{0,022} = 81,8.$$

Выбор необходимых технологических операций (переходов) начинают с последней операции, обеспечивающей достижение конечной точности детали. Далее идут к началу технологического процесса, последовательно переходя от отделочной обработки к чистовой, предварительной и черновой.

Так, на диаметре вала получить точность по 6 качеству возможно путем чистового шлифования. Выполнение чистового шлифования возможно при условии выполнения предварительного шлифования, которое согласно табл. 2.1 [1] обеспечивает точность по 8 качеству. Операции предварительного шлифования предшествует операция чистового точения вала, на которой согласно табл. 2.1 [1] достигается 10 качество точности. В свою очередь, перед чистовым точением необходимо выполнить операцию чернового точения, которая обеспечивает 13 качество точности.

Правильность выбора состава технологических операций оценим путем проверки общего уточнения ε_o , которое должно быть больше или равно требуемому уточнению $\varepsilon_{тo}$:

$$\varepsilon_o = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4.$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ – коэффициенты уточнения заготовки к черновому точению, черного точения к чистовому, чистового точения к предварительному шлифованию, предварительного шлифования к чистовому.

$$\varepsilon_0 = \frac{1,8}{0,54} \cdot \frac{0,54}{0,14} \cdot \frac{0,14}{0,054} \cdot \frac{0,054}{0,022} \geq 81,8.$$

В данном примере общее уточнение равно требуемому, а, значит, нет необходимости вводить дополнительные переходы механической обработки. Таким образом, оставляем принятый маршрут механической обработки без изменений.

После определения необходимого количества операций выполняем расчет минимальных припусков по формулам:

для черного и чистового точения

$$2z_{\text{мин}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + 2(\Delta_{\varepsilon_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2)^{0,5},$$

где Rz_{i-1} – высота микронеровностей профиля на предшествующем переходе;

h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе;

$\Delta_{\varepsilon_{i-1}}$ – суммарные отклонения расположения поверхности (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционное) и отклонения формы поверхности (отклонения от плоскостности, прямолинейности) на предыдущем переходе;

ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

для предварительного и чистового шлифования

$$2z_{\text{мин}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\varepsilon_{i-1}});$$

Для расчетов минимальных припусков используем справочные данные, изложенные в литературе [1].

Расчеты значений припусков на механическую обработку и предельных размеров по операциям технологического процесса сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет припусков на механическую обработку и предельных размеров по операциям техпроцесса

Технологический маршрут обработки	Элементы припуска, мкм				$2z_{\text{пр.тн}}$, МКМ
	Rz	h	Δ	ε	
Заготовка	200	300	658	-	-
Точение однократное	63	60	39,5	-	2316
Точение чистовое	20	25	-	-	325
Шлифование предварительное	3,2	12	-	-	90
Шлифование чистовое	0,8	2	-	-	30,4

Продолжение таблицы 3

Технологический маршрут обработки	Расчетный минимальный размер	Допуск Td, мкм	Принятые размеры, мм		Полученные предельные припуски, мм	
			d_{max}	d_{min}	$2z_{\text{max}}$	$2z_{\text{мин}}$
Заготовка	92,739	1800	94,5	92,7	-	-
Точение однократное	90,423	540	90,96	90,42	4,08	1,74
Точение чистовое	90,098	140	90,24	90,10	1	0,32
Шлифование предварительное	90,008	54	90,062	90,008	0,286	0,092
Шлифование чистовое	89,978	22	90	89,978	0,106	0,03

Номинальные припуски:

$$2z_{ш.ч.} = 30 + 54 = 84 \text{ мкм};$$

$$2z_{ш.н.} = 92 + 140 = 232 \text{ мкм};$$

$$2z_{т.ч.} = 320 + 540 = 860 \text{ мкм};$$

$$2z_{т.верн.} = 1740 + 1800 = 3540 \text{ мкм};$$

Общий минимальный припуск $2z_{\text{мин}}$ определяем как сумму минимальных промежуточных припусков, $2z_{\text{мин}} = 2,182 \text{ мм}$.

Общий номинальный припуск $2z_0$ определяем как сумму номинальных промежуточных припусков, $2z_0 = 4,716 \text{ мм}$.

4 Расчет припусков методом размерного анализа технологического процесса

Одной из задач, решаемых размерным анализом, является правильное и обоснованное определение припусков на механическую обработку. Методика размерного анализа предусматривает расчет припусков и технологических размеров с использованием теории размерных цепей. В основу методики расчета размерного анализа положен дифференциально – аналитический метод расчета припусков, который отличается от классического уменьшением числа составляющих, входящих в расчетный припуск.

Считается, что для обеспечения заданного качества поверхности, обработанной без следов предшествующей обработки и дефектного слоя, необходимо в минимальную толщину удаляемого слоя включать только высоту микронеровностей и глубину дефектного слоя, полученных на предшествующих операции или переходе:

$$z_{\text{мин}} \geq Rz_{i-1} + h_{i-1},$$

Прочие составляющие припуска, в отличие от других методик, учитываются отдельно при расчете допусков на операционные размеры. Это позволяет упростить расчеты и повысить их точность.

При назначении операционного допуска $T_{\text{оп}}$ на расстояние между обработанной и измерительной базой для случая обработки на настроенном станке в состав допуска следует включать пространственные отклонения $\rho_{\text{н}}$ измерительной базы, а также погрешность $\varepsilon_{\text{б}}$ от несовпадения установочной и измерительных баз; $\omega_{\text{ст}}$ – статистическая точность обработки.

$$T_{\text{оп}} = \omega_{\text{ст}} + \rho_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{б}};$$

При назначении операционного допуска $T_{\text{оп}}$ на размер между обработанной поверхностью и измерительной базой для случая обработки методом пробных проходов и промеров в состав допуска следует включать только пространственные отклонения $\rho_{\text{н}}$ измерительной базы.

$$T_{\text{оп}} = \omega_{\text{ст}} + \rho_{\text{н}};$$

При назначении операционного допуска $T_{\text{оп}}$ на размер замкнутых поверхностей (цилиндров), обрабатываемых на настроенных станках, и при обработке методом пробных проходов пространственные отклонения $\rho_{\text{н}}$ предшествующего перехода, а также погрешность $\varepsilon_{\text{б}}$ от несовпадения установочной и измерительных баз не следует включать в состав допуска;

$$T_{\text{оп}} = \omega_{\text{ст}};$$

Размерный анализ технологического процесса состоит из трех этапов: разработки размерной схемы технологического процесса, выявления технологических размерных цепей и расчета технологических размерных цепей.

Размерная схема технологического процесса механической обработки поверхности $\varnothing 90h6$ детали «Вал» представлена на рис. 2.

На рис. 2: 3 – размер заготовки, R1, R2, R3, R4 – технологические размеры, A – конструкторский размер, z1, z2, z3, z4 – припуски, снимаемые на соответствующей операции, 2e – смещение оси поверхности вала.

В классических методиках расчета припусков на диаметральные размеры находят удвоенную величину припуска (2z), а затем значение припуска z получают как половину от величины 2z. Значения z, полученные при расчете через удвоенный припуск, будут неточными. Поэтому с целью повышения точности результатов построение размерной схемы технологического процесса и решение выявленных технологических цепей проводится через радиусы. При построении размерной схемы также учитываются возможные эксцентриситеты 2e.

По размерной схеме технологического процесса строят три графа: производного дерева, на котором технологические размеры и размеры заготовки показываются ориентированными стрелками, исходного дерева, ребрами которого выступают конструкторские размеры (в данном случае радиусы) и припуски на обработку, совмещенный, получаемый наложением графов производного дерева и исходного дерева.

Совмещенный граф технологического процесса обработки поверхности $\varnothing 90h6$ детали «Вал» показан на рис. 3.

На рис. 3 вершинами графа являются поверхности обрабатываемой детали, ориентированные стрелки – технологические размеры и размеры заготовки, дуга – конструкторский размер, волнистые линии – припуски.

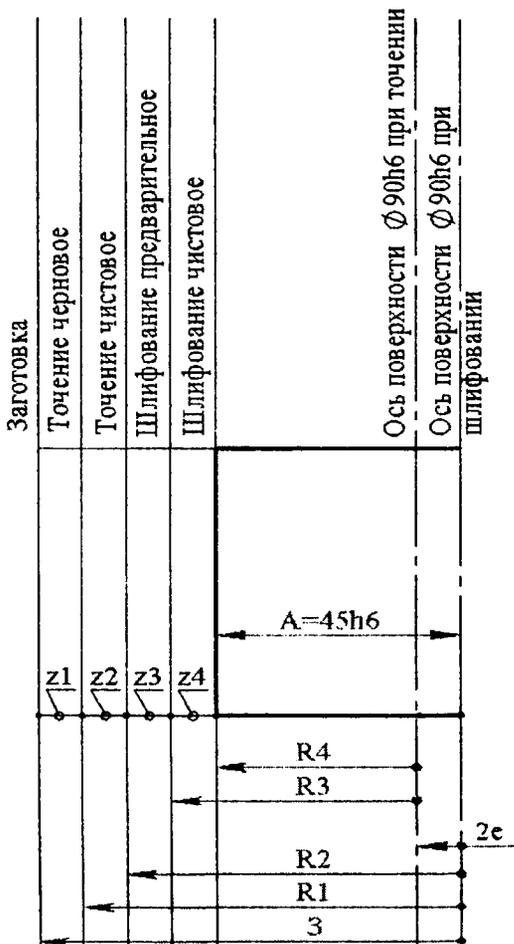


Рис. 2. Размерная схема технологического процесса механической обработки поверхности $\varnothing 90h6$

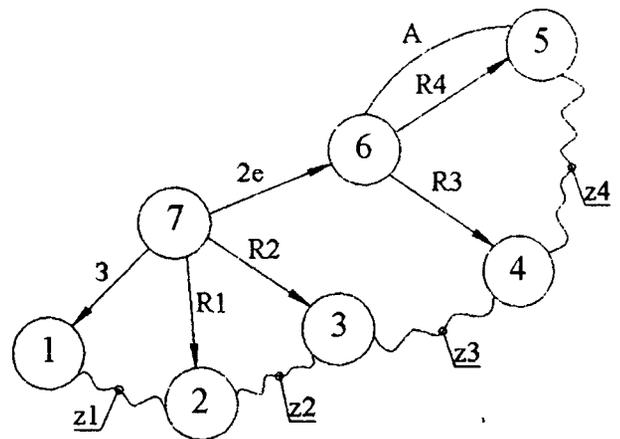


Рис. 3. Совмещенный граф

Далее выявляем технологические размерные цепи на совмещенном графе. Сначала необходимо выявить двухзвенные технологические цепи. Выявленные технологические размерные цепи приведены на рис. 4.

Составленные уравнения технологических размерных цепей сводим в таблицу 4.

Таблица 4 – Уравнения технологических размерных цепей

№ цепи	Расчетное уравнение
Цепь 1	$-R4+A=0$
Цепь 2	$-z4+R3-R4=0$
Цепь 3	$-z3+R2-2e-R3=0$
Цепь 4	$-z2+R1-R2=0$
Цепь 5	$-z1+3-R1=0$

Расчет минимальных припусков сведем в таблицу 5. При расчете пользуемся справочными данными, приведенными в литературе [1].

Таблица 5 – Расчет минимальных припусков

Технологический маршрут обработки	Rz	h	z_{\min} , МКМ
Заготовка	200	300	-
Точение однократное	63	60	$z_{\min} = 500$
Точение чистовое	20	25	$z_{\min} = 123$
Шлифование предварительное	3,2	12	$z_{\min} = 45$
Шлифование чистовое	0,8	2	$z_{\min} = 15,2$

По справочным данным, приведенным в литературе [1], определяем величину смещения осей $2e$, $2e = 38$ мкм.

После определения минимального значения припуска составляем исходное уравнение размерной цепи относительно величины z_{\min} . Так как приведенные технологические размерные цепи содержат не более четырех звеньев, то расчет проводим по методу минимума – максимума. Составленные исходные и расчетные уравнения размерных цепей и расчеты технологических размеров сводим в таблицу 6.

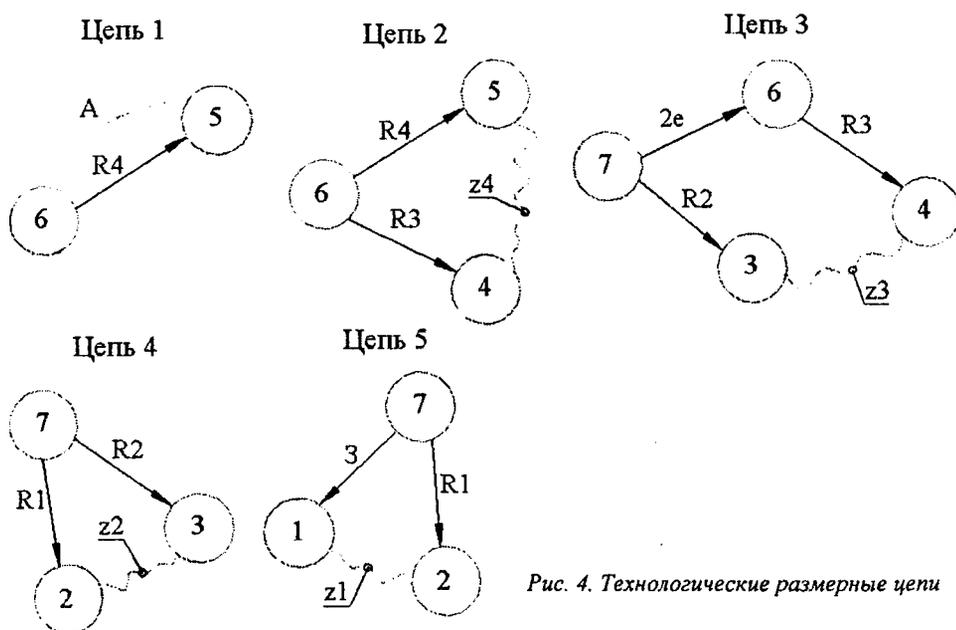


Рис. 4. Технологические размерные цепи

Таблица 6 – Исходные и расчетные уравнения технологических размерных цепей

Исходное уравнение	Определяемый размер	Расчетное уравнение
$R4 = A$	R4	$R4=A$
$z4_{min} = R3_{min} - R4_{max}$	R3	$R3_{min} = z4_{min} + R4_{max}$
$z3_{min} = R2_{min} - 2e - R3_{max}$	R2	$R2_{min} = z3_{min} + 2e + R3_{max}$
$z2_{min} = R1_{min} - R2_{max}$	R1	$R1_{min} = z2_{min} + R2_{max}$
$z1_{min} = 3_{min} - R1_{max}$	3	$3_{min} = z1_{min} + R1_{max}$

В таблице 7 приведены минимальные и номинальные значения технологических размеров и размера заготовки.

Таблица 7 – Минимальные и номинальные значения операционных размеров и размера заготовки

Определяемый размер	Минимальное значение	Квалитет точности	Номинальное значение
R4	44,989	h6	$45_{-0,011}$
R3	45,0152	h8	$45,042_{-0,027}$
R2	45,0982	h10	$45,16_{-0,07}$
R1	45,283	h13	$45,55_{-0,27}$
3	46,05	$es = +0,25 ei = -0,65$	$46,7_{-0,65}^{+0,25}$

Найденные размеры являются радиусами, которые необходимо пересчитать на диаметральные размеры для определения номинального припуска и предельных отклонений припуска.

Продолжение таблицы 7

Диаметральные размеры	Уравнение номинального значения припуска	Номинальные значения припусков $2z$, мм	Полученные минимальные значения припусков $2z$, мм
$R4 = 90_{-0,022}$	-	-	-
$R3 = 90,084_{-0,054}$	$2z4 = R3 - R4$	$2z4 = 0,084_{-0,054}^{+0,022}$	$2z4 = 0,03$
$R2 = 90,32_{-0,14}$	$2z3 = R2 - 2e - R3$	$2z3 = 0,231_{-0,14}^{+0,054}$	$2z3 = 0,096$
$R1 = 91,10_{-0,54}$	$2z2 = R1 - R2$	$2z2 = 0,78_{-0,54}^{+0,14}$	$2z2 = 0,24$
$3 = 93,4_{-1,2}^{+0,5}$	$2z1 = 3 - R1$	$2z1 = 2,3_{-1,2}^{+0,05}$	$2z1 = 1$

Общий припуск $2z_{сум}$ определяем как сумму промежуточных припусков, $2z_{сум} = 1,366$ мм.

Общий номинальный припуск $2z_0$ определяем как сумму номинальных промежуточных припусков, $2z_0 = 3,395$ мм.

5 Сравнение значений припусков, полученных различными методами

Номинальная величина припуска необходима для определения размеров заготовки. В качестве сравниваемой величины для анализа различных методов определения припусков выберем номинальные значения припусков.

При опытно – статистическом методе определения припусков назначенный припуск является максимальным. Для определения минимального значения припуска необходимо учитывать предельные отклонения припусков.

В расчетно – аналитическом методе и методе размерного анализа технологического процесса минимальное значение припуска является расчетной величиной.

Сведем полученные разными методами значения припусков в таблицу 8.

Таблица 8 – Номинальные значения припусков, полученные различными методами

	Опытно – статистический, $Zz_{\text{вон}}$, мм	Расчетно – аналитический, $Zz_{\text{вон}}$, мм	Расчетно – аналитический по [1], $Zz_{\text{вон}}$, мм	Метод размерного анализа, $Zz_{\text{вон}}$, мм
Точение однократное	5,2	3,54	3,5	2,3
Точение чистовое	1,5	0,86	0,86	0,78
Шлифование предварительное	0,8	0,236	0,232	0,231
Шлифование чистовое	0,2	0,084	0,084	0,084
Общий припуск, $Zz_{\text{общ}}$, мм	7,7	4,716	4,716	3,395

Из данных, приведенных в таблице 8, видно, что номинальные значения припусков и общий припуск, полученные расчетно – аналитическими методами, являются одинаковыми. Однако расчетно – аналитический метод, изложенный в литературе [1], позволяет проверить правильность построение технологического маршрута обработки.

Данные методы являются удобными в применении, получаемые значения припусков являются достаточно точными. Одним из главных преимуществ расчетно – аналитического метода заключаются в том, что он предлагает разработанный алгоритм определения припусков и межоперационных размеров для деталей определенного класса, который впоследствии можно использовать для всего многообразия деталей данного класса, заменяя только значения исходных данных. Методы широко применяются в условиях крупносерийного и массового производства.

Значения припусков, полученные опытно – статистическим методом, в 1,6 раз превышают значения припусков, полученные расчетно – аналитическим методом, и в 2,3 раза – методом размерного анализа. Однако преимущество данного метода заключается в малой трудоемкости и скорости назначения припусков, что позволяет широко применять в условиях индивидуального производства.

Метод размерного анализа технологических процессов позволяет получить самые точные достаточные значения припусков. Данный метод особенно удобен при расчете припусков на сложные, корпусные детали, где затруднено определение операционных размеров. Широкому распространению метода размерного анализа препятствует его трудоемкость. Его применение целесообразно в случае изготовления высокоточных деталей. Широкое распространение метод размерного анализа получил в авиастроении, ракетостроении, военной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов/ Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский; под ред. В.А. Тимирязева. – М.: Высш. Шк., 2004. – 272 с. 2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под Ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова. - М. ; Машиностроение, 1986. - 656 с. 3. Кован В.М. Расчет припусков на обработку в машиностроении. М.: Машгиз, 1953. 207с. 4. Справочник технолога по механической обработке металлов. Справочник. Под ред. Г.А. Долматовского. М.: Машгиз, 1949. 1094с. 5. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов/ И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро и др.; Под общ. ред. И.П. Филонова; +CD. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с. 6. Матвеев В.В., Бойков Ф.И., Свиридов Ю.Н. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1979, 111 с. 7. Размерный анализ технологических процессов: сборник практических работ/ сост.: Г.Я. Беляев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010. – 351 с.