

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ярославский государственный технический университет»



О. Н. Калачев, Д. А. Калачева

**РАЗМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАНООБРАБОТКИ**

Рекомендовано
редакционно-издательским советом университета
в качестве учебно-методического пособия

Ярославль
Издательство ЯГТУ
2024

УДК 621.9.014.001.24:681.3

ББК 34.5

К17

К17 Калачев, О.Н. Размерные расчеты на основе анализа структуры технологических процессов механообработки: учебно-методическое пособие / О.Н. Калачев, Д.А. Калачева. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2024. – 114 с.

ISBN 978-5-9914-1034-2

Рассматривает методику анализа вариантов и выбора размерной структуры технологического процесса механообработки с применением компьютерной программы «KON7 плюс». Последовательно описываются различные ситуации и действия технолога, направленные на обеспечение заданной точности конструкторских размеров детали. Особое внимание уделяется обоснованию необходимости соблюдения классического принципа «единства баз». Математически показано, как повышается точность технологических размеров от черновых к чистовым этапам обработки. Примеры вариантов размерных структур сопровождаются подробными распечатками результатов расчет размерных цепей, позволяющими проверить баланс точности. Приводится удобная для классификации размерных структур и сравнения вариантов обработки методика их графического оформления.

Предназначено студентам и аспирантам направления 15.03.05 и 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», а также научно-техническим работникам машиностроительных предприятий.

Ил. 65. Табл.1. Библиогр. 36

Рецензенты: О.М. Епархин, д-р техн. наук, профессор, директор Ярославского филиала ПГУПС; А.В. Комиссаров, канд. техн. наук, начальник УИТ АО ГМЗ «Агат»

УДК 621.9.014.001.24:681.3

ББК 34.5

ISBN 978-5-9914-1034-2

© Ярославский государственный технический университет, 2024

Содержание

Введение	5
1 Основные понятия и расчетные формулы.....	7
2 Понятие о технологическом и расчетном допуске.....	11
3 Понятие о погрешности базирования и ее влиянии на точность технологических размеров.....	14
4 Методика расчета технологических размеров в программе «KON7 плюс».....	15
4.1 Маршрут обработки первого варианта ТП	15
4.2 Построение размерной схемы	17
4.3 Выявление технологических РЦ с помощью графовой модели.....	19
4.4 Качественный анализ варианта ТП на основе графа размерной структуры	22
4.5 Расчет по программе KON7 плюс для первого варианта ТП.....	23
4.6 Результаты расчета для первого варианта ТП.....	28
4.7 Результаты расчета измененного первого варианта ТП.....	33
5 Второй вариант ТП изготовления детали.....	37
6 Третий вариант ТП «валика» без погрешности базирования.....	42
7 Четвертый вариант с допуском 0,1 мм на конструкторские размеры	45
8 Пятый вариант: дополнительная обработка для выполнения допуска 0,1 мм .	48
9 Шестой вариант: выполнение допусков конструкторских размеров (заготовка отливка).....	52
10 Седьмой вариант: метод получения заготовки – круглый прокат.....	56
11 Восьмой вариант: заготовка – пруток, двукратная обработка справа.....	59
12 Девятый вариант: заготовка пруток, двукратная обработка правого торца	61
13 Десятый вариант: заготовка – пруток, двукратная обработка правого торца при соблюдении принципа единства баз.....	64
14 Одиннадцатый вариант: заготовка – пруток, двукратная обработка среднего и правого торцов	67
15 Ассоциативные схемы отображения вариантов обработки	71
16 Классификация и особенности расчета припусков при размерном анализе ТП.....	74
17 Величина допуска на припуск как целевая функция выбора рациональной размерной структуры ТП	80
18 Пример размерного анализа заводской детали.....	81
19 Обобщение представления о размерном анализе.....	99
Заключение	102
Список литературы	105
Приложение А - Избранные страницы некоторых источников по размерным расчетам	109

Введение

Важным этапом проектирования технологического процесса (ТП) механической обработки при изготовлении деталей является расчет операционных (технологических) размеров. Данный расчет необходим, поскольку технологу по различным причинам приходится обеспечивать конструкторские размеры косвенно, выполняя другие размеры, часто заданные не от конструкторских баз. Расчет технологических размеров для получения отдельной поверхности от одной и той же базы достаточно хорошо проработан, и его методика приводится в технологических справочниках и пособиях.

Расчет технологических размеров при многократной смене баз требует построения технологических размерных цепей и их совместного решения.

При этом возникает дополнительная погрешность базирования, которая описана в работах отечественных и зарубежных авторов.

Второй проблемой при проектировании ТП и при размерных расчетах является стремление уменьшить разброс размеров заготовки, который возникает, если критически не оценивать точность взаимосвязанных технологических размеров и ее влияние на расчетные значения припусков на обработку.

Поскольку в ходе проектирования ТП обычно предлагается несколько вариантов ТП с разной размерной структурой, возникает необходимость многократного повторения расчетов с последующим анализом результатов и выбором оптимальной размерной структуры. В результате размерного анализа выбирается такой вариант ТП (и принимаются окончательно технологические размеры), который обеспечивает выполнение заданной конструктором точности размеров детали с наибольшей эффективностью.

Наиболее плодотворный теоретический подход к размерному анализу ТП с использованием графовых математических моделей был предложен Б.С. Мордвиновым [5] и развит в трудах В.Б. Масягина [6] и многочисленных последователей, например, И.А. Иващенко, М.А. Марасинова [28, 29]. Обширные публикации по этому вопросу имеются также за рубежом, например [34, 35].

Исследование вопросов компьютерных расчетов технологических РЦ на кафедре КИ ТМС ЯГТУ началось в 1982 г. сначала с применением ЕС ЭВМ [7, 8], а затем в 1990-х годах – на персональной компьютерной технике [9-11]. Мощный толчок развитию нашей программы «KON7» на базе идей Б.С. Мордвинова и И.А. Иващенко [28] дал выполненный в 2000 г. хоздоговор [12-19] с ПАО «Автодизель» (ЯМЗ),

связанный с анализом размерных проблем на итальянской линии изготовления поршней. Опыт, приобретенный при расчетах проблемных деталей ЯМЗ, жесткие требования завода к интерфейсу, период опытной эксплуатации, – все это способствовало углублению в специфику анализа технологических РЦ и появлению графического модуля «GraKON Pro» [21, 32, 33] для экранного построения плоской размерной схемы технологического процесса в среде базовой для ЯМЗ системы AutoCAD, а затем – «GraKON-3D» [31] построения размерной схемы на объемной модели в среде Autodesk Inventor.

В данной работе рассматриваются методика и примеры расчета линейных размерных цепей (РЦ) по методу полной взаимозаменяемости с применением версии программы «KON7 плюс» [20-26]. Однократный расчет по программе не дает сразу оптимального результата, программа является инструментом поиска технологом наилучшего варианта путем осмысленного перебора вариантов ТП, отличающихся числом припусков, удаляемых на каждой поверхности детали, топологией технологических размеров, связанной с последовательностью смены технологических баз.

В подготовке иллюстраций участвовали студенты бакалавриата К.Тележкина и А.Калугин, за что авторы выражают им благодарность.

1 Основные понятия и расчетные формулы

РЦ – совокупность размеров (звеньев), образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи. Каждая РЦ имеет только одно замыкающее звено и, как правило, несколько составляющих звеньев.

Технологическими называются РЦ, звеньями которых являются технологические (операционные) размеры и припуски, а также размеры детали, заданные конструктором.

В технологических цепях замыкающее звено – это конструкторские (3D или чертежные) размеры и припуски на обработку, а составляющие звенья – технологические (операционные) размеры.

Замыкающее звено конструкторский размер, непосредственно связывает поверхности или оси, расстояние между которыми необходимо обеспечить в результате обработки (непосредственно или косвенно) одним или несколькими технологическими размерами. Технологические цепи могут быть двухзвенными, когда выполняется принцип единства баз (отсутствует погрешность базирования)

Замыкающее звено припуск на обработку должно компенсировать различные погрешности заготовки и предыдущих этапов обработки.

Конструкторские размеры детали, будь то чертеж или 3D-модель, известны технологу, припуски могут быть выбраны из нормативов или определены аналитически [1]. Технологические размеры необходимо рассчитать на основе известных конструкторских размеров и припусков различных этапов обработки.

В дальнейшем будем различать технологические размеры двух видов: исходной заготовки и механообработки с удалением припуска (напуска).

Каждое из составляющих звеньев цепи при изготовлении партии деталей может изменяться в пределах заданного допуска. Это колебание технологических размеров вызывает изменение величины замыкающего звена. Допуск замыкающего звена $\delta\Delta$ при расчете по методу максимума-минимума равен арифметической сумме допусков составляющих звеньев δ_i .

По характеру влияния на замыкающее звено составляющие звенья (технологические размеры) разделяются на увеличивающие и уменьшающие.

Для расчета РЦ необходимо составить ее уравнение. В программе «KON7 плюс» построение уравнений выполняется автоматически. С этой целью на воображаемой графической схеме цепи выбирают точку начала отсчета и, обходя цепь по контуру, записывают в уравнение все

ее звенья. При этом перед увеличивающими звеньями ставят знак «+», а перед уменьшающими – знак «-». Тогда уравнение РЦ будет иметь следующий вид:

$$A_{\Delta} = \sum_m \vec{A}_l - \sum_n \overleftarrow{A}_l ,$$

где A_{Δ} – замыкающее звено РЦ;

$\vec{A}_l, \overleftarrow{A}_l$ – увеличивающее и уменьшающее звено соответственно,

m, n – число увеличивающих и уменьшающих звеньев в цепи соответственно.

Звенья РЦ (технологические размеры, в том числе и размеры заготовки) необходимо рассчитать путем решения уравнения РЦ. При этом важно понимать, что одно и то же составляющее звено (технологический размер) может входить в разные уравнения РЦ, т.е. РЦ взаимосвязаны. Точность выполнения одного технологического размера влияет на точность другого в той же или в связанной цепи.

Расчет РЦ по номинальным размерам выполняется на основе общего уравнения (1), которое может быть записано через предельные значения замыкающего звена:

$$A_{\Delta\max} = \sum_m \vec{A}_{l\max} - \sum_n \overleftarrow{A}_{l\min} \quad (2)$$

$$A_{\Delta\min} = \sum_m \vec{A}_{l\min} - \sum_n \overleftarrow{A}_{l\max} \quad (3)$$

где $A_{\Delta\max}, A_{\Delta\min}$ – максимальное и минимальное значения замыкающего звена;

$\vec{A}_{l\max}, \vec{A}_{l\min}$ – максимальное и минимальное значения увеличивающего звена соответственно;

$\overleftarrow{A}_{l\max}, \overleftarrow{A}_{l\min}$ – максимальное и минимальное значения уменьшающего звена соответственно.

В дальнейшем мы будем иметь дело с РЦ двух типов: типа «Р» и типа «Z».

Применим уравнения для расчета технологических РЦ с замыкающими звеньями этих типов.

В размерной цепи типа «Р» замыкающее звено A_{Δ} – это конструкторский размер Р. Для этого типа РЦ рассчитываются предельные значения неизвестного в данной цепи технологического размера (звена) с использованием (2) и (3).

Для увеличивающего звена:

$$\vec{A}_{l_{\max}} = P_{\max} + \sum_n \overleftarrow{A}_{l_{\min}} - \sum_{m-1} \vec{A}_{l_{\max}} \quad (4)$$

$$\vec{A}_{l_{\min}} = P_{\min} + \sum_n \overleftarrow{A}_{l_{\max}} - \sum_{m-1} \vec{A}_{l_{\min}} \quad (5)$$

Для уменьшающего звена:

$$\overleftarrow{A}_{l_{\max}} = \sum_m \vec{A}_{l_{\min}} - P_{\min} - \sum_{n-1} \overleftarrow{A}_{l_{\max}} \quad , \quad (6)$$

$$\overleftarrow{A}_{l_{\min}} = \sum_m \vec{A}_{l_{\max}} - P_{\max} - \sum_{n-1} \overleftarrow{A}_{l_{\min}} \quad . \quad (7)$$

Затем определяется расчетный допуск технологического размера, необходимый для обеспечения допуска конструкторского размера:

$$\delta_p = A_{i_{\max}} - A_{i_{\min}} \quad (8)$$

Далее расчетный технологический допуск δ_p сравнивается с задаваемым технологом производственный допуском δ_T , соответствующим экономической точности используемого метода (характера: черновая, чистовая, тонкая...) обработки. В первую очередь проверяется условие $\delta_p > \delta_T$.

Если оно выполняется, т.е. допуск метода (характера) обработки достаточен для обеспечения точности технологического размера, то допуск на размер искомого технологического размера принимается равным экономическому допуску, т.е. $\delta_i = \delta_T$.

Если условие $\delta_p > \delta_T$ не выполняется, то проверяется второе условие $\delta_p > \frac{1}{2} \delta_T$. Программа, встретившись с проблемной ситуацией пытается продолжить расчет, предупреждая технолога о необходимости повышения точности обработки.

Если условие $\delta_p > \frac{1}{2} \delta_T$ выполняется, то допуск на искомый размер принимается равным расчетному, т.е. $\delta_i = \delta_p$. При этом следует иметь в виду, что такое уменьшение допуска δ_i уже влечет за собой увеличение времени на обработку и ее стоимости. Особенно значительно растет стоимость операции при работе с допусками, соответствующими областям технически достижимой точности применяемого метода обработки.

Если эти условия не выполняются или расчетный допуск технологического размера $\delta_p < 0$, то расчет прерывается, и требуются

технологические решения: либо каким-то образом уменьшить допуски на другие составляющие технологические размеры цепи, либо пере-строить ТП. Заметим, что примитивный подход – задать необосно-ванно более точный метод для какого-либо размера – это не решение проблемы!

В размерной цепи типа «Z», решаемой относительно неизвестного технологического размера, замыкающее звено – припуск Z, оставляе-мый для последующего перехода, Z_i . Для этого типа РЦ сначала авто-матически определяется его минимальная величина $Z_{i\min}$. Она расчи-тывается аналитическим методом по формуле проф. В.М. Кована []

$$Z_{i\min} = (R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma(i-1)} + \varepsilon_i, \quad (9)$$

где $R_{z(i-1)}$ – высота неровностей профиля на предшествующем пере-ходе;

$h_{(i-1)}$ – глубина дефектного поверхностного слоя на предшеству-ющем переходе (обезуглероженный или отбеленный слой);

$\Delta_{\Sigma(i-1)}$ – суммарные отклонения расположения поверхности (от-клонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симмет-ричности, пересечения осей) на предшествующем переходе;

ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Значения R_z , h , Δ_{Σ} , ε приведены в соответствующих таблицах ра-бот [2, 3].

Определив $Z_{i\min}$, составляется исходное уравнение РЦ относи-тельно $Z_{i\min}$, используя (3):

$$Z_{i\min} = \sum_m \vec{A}_{l\min} - \sum_n \overleftarrow{A}_{l\max}. \quad (10)$$

Если исходный размер – уменьшающее звено,

$$\overleftarrow{A}_{l\max} = \sum_m \vec{A}_{l\min} - \sum_{n-1} \overleftarrow{A}_{l\max} - Z_{i\min}. \quad (11)$$

Если исходный размер – увеличивающее звено,

$$\vec{A}_{l\min} = Z_{i\min} + \sum_n \overleftarrow{A}_{l\max} - \sum_{m-1} \vec{A}_{l\min}. \quad (12)$$

После этого на рассчитанный размер A_i устанавливаются допуск δ_T ,

соответствующий экономической точности заданного технологом на данном переходе метода (характера) обработки [3].

Затем рассчитывается номинальный размер и предельные отклонения.

Зная допуск на размер ($\delta_i = \delta_T$ или $\delta_i = \delta_p$) и заданное технологом его расположение относительно этого размера (система отверстия – поле допуска H , система вала – поле допуска h , система ось – поле допуска J_s), определяют номинальный размер A_i и предельное отклонение по одной из следующих формул.

Для первого типа РЦ:

1. Система отверстия: $A_i = A_{i\min}; \Delta_B = +\delta_i; \Delta_H = 0.$ (13)

2. Система вала: $A_i = A_{i\max}; \Delta_B = 0; \Delta_H = -\delta_i.$ (14)

3. Система ось:

$$A_i = \frac{A_{i\max} + A_{i\min}}{2}; \Delta_B = +\frac{\delta_i}{2}; \Delta_H = -\frac{\delta_i}{2};$$
 (15)

Для типа РЦ:

4. Система отверстия: $A_i = A_{i\max} - \delta_i; \Delta_B = +\delta_i; \Delta_H = 0.$ (16)

5. Система вала: $A_i = A_{i\min} + \delta_i; \Delta_B = 0; \Delta_H = -\delta_i.$ (17)

6. Система ось:

$$A_i = \frac{A_{i\max} - A_{i\min}}{2}; \Delta_B = +\frac{\delta_i}{2}; \Delta_H = -\frac{\delta_i}{2},$$
 (18)

где Δ_B и Δ_H – верхнее и нижнее предельные отклонения.

2 Понятие о технологическом и расчетном допуске

В дальнейшем нам потребуется анализировать производственный технологический допуск (ПТД) на размер – δ_T , обеспечиваемый оборудованием, и расчетный технологический допуск (РТД) размера – δ_p , получаемый решением размерной цепи.

ПТД – это предполагаемая точность технологического размера заготовки, которая может быть обеспечена оборудованием на данном этапе обработки. Под ПТД иногда понимают средне-экономическую точность оборудования и связывают с характером механообработки: черновая, получистовая, чистовая и тонкая. Очевидно, что допуск технологического размера, получаемого, например, черновым точением, шире допуска тонкого точения. В справочниках и методических материалах приводятся ориентировочные значения ПТД для каждого метода и характера обработки с учетом длинных интервалов

выполняемых размеров. Таблицы такого рода обычно актуализируются для конкретного предприятия с учетом наличного оборудования и производственного опыта.

ПТД фактически отражает ту очевидную закономерность технологии машиностроения, согласно которой обработка поверхности грубой заготовки не может обеспечить сразу высокую точность выполняемого технологического размера, поэтому иногда необходима многократная обработка (уточнение) одной и той же поверхности, чтобы обеспечить узкий допуск и требуемую шероховатость поверхности. В то же время обработка «точной» заготовки сокращает штучное время, поскольку отпадает необходимость в предварительной обработке с черновыми допусками.

РТД – это та точность технологического размера, которая должна достигаться при выполнении технологического размера для обеспечения точности конструкторского размера. РТД определяется в общем случае решением технологических размерных цепей.

В ходе размерных расчетов необходимо постоянно сопоставлять РТД и ПТД, т.е. требуемую точность обработки и возможности оборудования на данном этапе обработки в проектируемом ТП. При этом возникают ситуации, когда РТД не соответствует ПТД: если меньше, то оборудование не способно обеспечить точность и требуется изменение ТП. Если наоборот, то излишняя точность обработки приведет к неоправданному удорожанию производства детали.

Таким образом, технологу в ходе размерного анализа приходится рассматривать разные варианты размерной структуры ТП с целью выбора оптимальной при соблюдении точности конструкторских размеров, минимизации времени и себестоимости обработки.

На рисунке 1 показаны две характерные ситуации, которые возникают в ходе анализа вариантов ТП. В случае **а** станок не может обеспечить расчетную точность анализируемого технологического размера на каком-то этапе обработки по одному из вариантов, поскольку РТД «уже», чем ПТД.

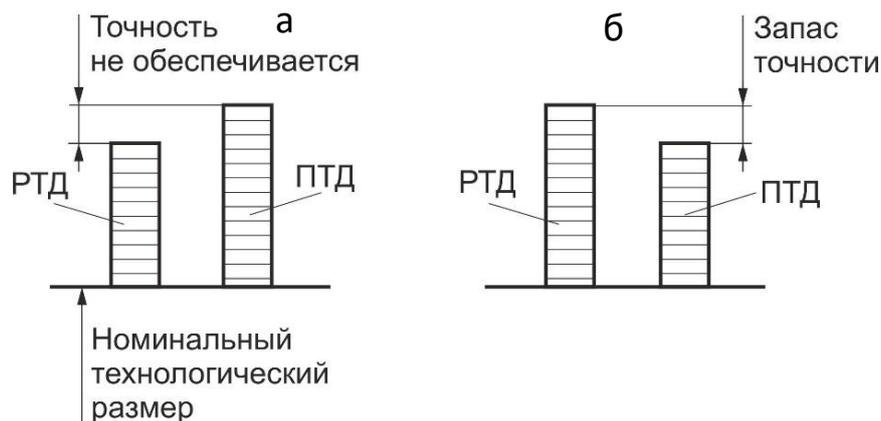


Рисунок 1 – Две ситуации при выполнении технологического размера механообработки (а – расчетный технологический допуск (РТД) меньше производственного; б – производственный технологический допуск (ПТД) меньше расчетного)

В случае *б* наоборот, расчетная точность «грубее», чем достигаемая после обработки на данном этапе ТП, возникает запас точности.

В дальнейшем мы будем рассматривать три технологических решения, которыми можно преодолеть ситуацию *а* (см. рисунок 1).

Во-первых, повысить точность технологического размера, например, выбором более точного станка для данного этапа обработки, что, к сожалению, не всегда выполнимо и целесообразно на практике.

Во-вторых, изменить технологические базы – размерную структуру (топологию) ТП, добиваясь, в частности, соблюдения известного «принципа единства баз», когда устраняется погрешность базирования.

В-третьих, ввести дополнительную обработку поверхности от той же базы или от другой, предварительно дополнительно обработанной, базы. Например, для токарного оборудования с ЧПУ характерна подрезка правого торца и последующий отсчет получаемых технологических размеров от «свежей» поверхности торца – настроечной базы [35].

Важно отметить, что маршрут обработки поверхности (МОП) назначается технологом, который предопределяет последовательность уточняющих поверхность переходов от черновых к чистовым в зависимости от состояния исходной заготовки. МОП грубой заготовки и заготовки с узкими допусками будет отличаться начальными этапами обработки. С другой стороны, конечные этапы МОП зависят от требуемой точности поверхности детали, регламентированной конструктором.

3 Понятие о погрешности базирования и ее влиянии на точность технологических размеров

Как известно, погрешность базирования (ε_b) – разность предельных расстояний от измерительной базы до настроенного на размер инструмента. Возникает при не совмещении измерительной и технологической баз заготовки.

При совпадении конструкторской, технологической и измерительной баз погрешности базирования не возникает.

На рисунке 2 показаны две ситуации. Для выполняемого размера на рисунке слева погрешность базирования отсутствует, поскольку фреза выставлена на размер, который стабилен при обработке партии заготовок, при этом нижняя поверхность заготовки является одновременно конструкторской, измерительной и технологической базой. Принцип единства баз здесь выполняется.

На рисунке 2 справа технологическая база та же, а измерительная база выполняемого размера – верхняя плоскость детали. Ее положение у заготовок партии будет меняться в пределах допуска на размер между ней и технологической базой. Поэтому погрешность базирования для выполняемого размера будет равна допуску на габаритный размер заготовки по вертикали.

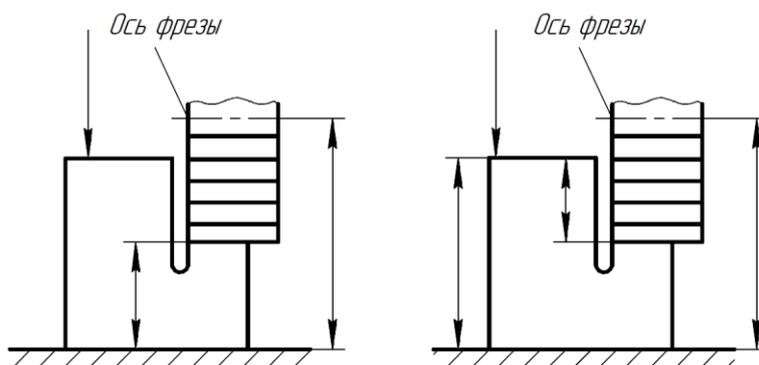
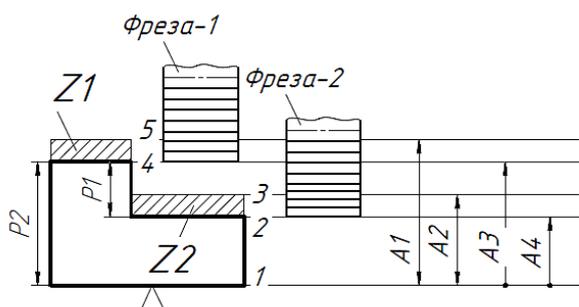


Рисунок 2 – К определению погрешности базирования

Выше мы дали словесное определение и пример появления погрешности базирования. Покажем теперь, как рассчитывается погрешность базирования для ситуации справа (см. рисунок 2) решением технологических РЦ с использованием размерной схемы и графа размерной структуры ТП.



$$\delta P1 = \delta A3 + \delta A4 \quad \varepsilon_b P1 = \delta A3$$

$$P1 = A3 A4$$

$$P2 = A3$$

$$Z1 = A2 A4$$

$$Z2 = A1 A3$$

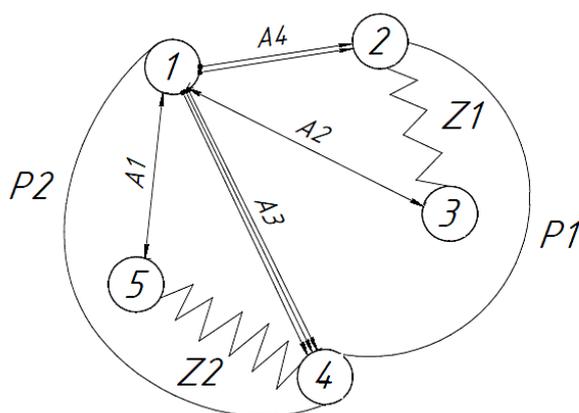


Рисунок 3 – Размерная схема и граф для определения погрешности базирования

Построив размерную схему и граф обработки уступа на рисунке 3, выявим уравнения РЦ. Видим, что допуск на конструкторский размер P_1 определяется не только допуском получения технологического размера A_4 фрезерованием, но и дополнительным допуском – погрешностью базирования – при выполнении размера P_1 , точность которого определяется допуском технологического размера A_3 .

Таким образом, словесная формулировка погрешности базирования находит математическое объяснение при графовом анализе размерной цепи.

В последующих разделах подобная ситуация с влиянием погрешности базирования на точность технологических размеров будет встречаться при анализе токарной обработки на настроенных станках.

4 Методика расчета технологических размеров в программе «KON7 плюс»

4.1 Маршрут обработки первого варианта ТП

Исходной информацией для выявления и решения РЦ являются 3D-модели детали и заготовки [31] или традиционные чертежи детали и заготовки, а также операционные эскизы механической обработки варианта ТП [30].

Рассмотрим разработку размерной структуры ТП простейшей детали с конструкторскими размерами на рисунке 4. Наша задача – предложить ТП обработки (только торцов!) как последовательность получения торцевых поверхностей и рассчитать такие технологические размеры, при выполнении которых на металлорежущих станках получались бы конструкторские размеры с заданной точностью.

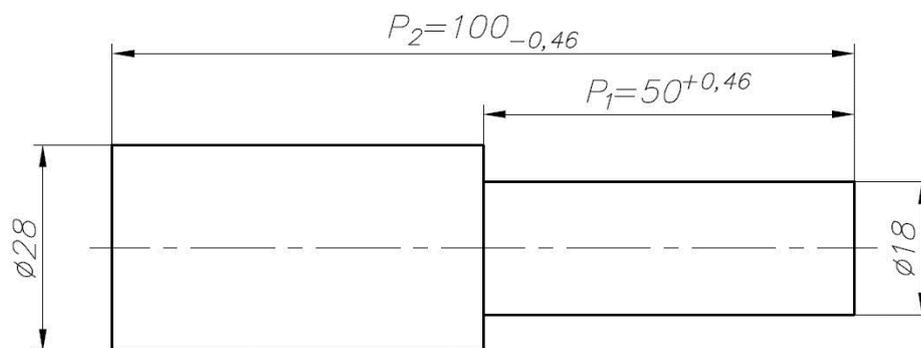


Рисунок 4 – Эскиз двухступенчатого валика

Допустим, что заготовкой детали является отливка или штамповка на рисунке 5. Ее конфигурация повторяет форму детали. Значения технологических размеров *заготовки* изначально не известны. Они зависят от многих факторов проектируемого ТП, и технологу предстоит их рассчитать.

Для изготовления нашей детали можно предложить несколько вариантов, отличающихся разной размерной структурой (размерной топологией), технологическими базами, МОП с разной степенью уточнения (числом удаляемых припусков) каждой поверхности.

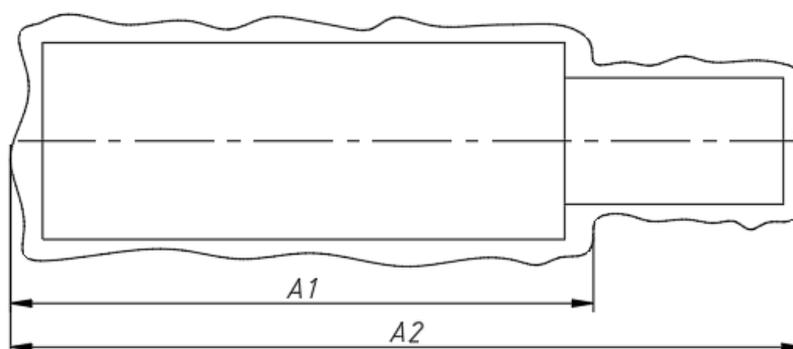


Рисунок 5 – Эскиз заготовки тестовой детали

На операционных эскизах первого варианта ТП (рисунок 6) показаны удаляемые припуски, технологические базы, от которых выполняются *технологические размеры механообработки*.

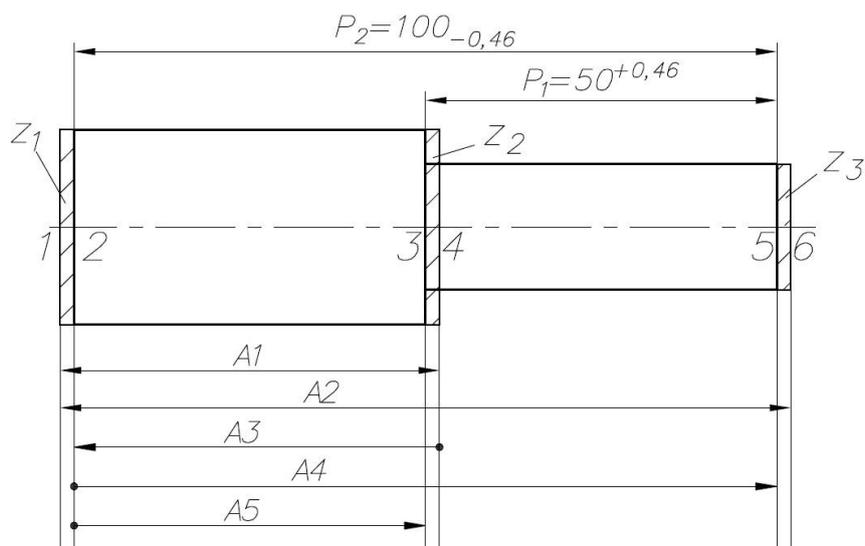


Рисунок 7 – Размерная схема первого варианта ТП детали «валик»

Для тел вращения можно изображать одну проекцию, на которой показывается только половина детали до оси симметрии.

Над деталью указываются конструкторские размеры P_i , которые нумеруются последовательно, начиная с единицы, и допуски на них. Все поверхности заготовки, поверхности детали и получаемые в ходе обработки промежуточные поверхности нумеруются слева направо. Через пронумерованные поверхности проводятся вертикальные линии. Между линиями указываются размеры заготовки и технологические размеры механообработки, получаемые в результате выполнения каждого технологического перехода (операции). Технологические размеры, в том числе и размеры заготовки, обозначаются буквой A_i , где i – порядковый номер размера, начиная от размеров заготовки.

Технологические размеры (см. рисунок 7) изображаются на схеме вектором, который направлен от базовой к обрабатываемой (полученной) поверхности на данном переходе.

Поскольку каждая РЦ по определению имеет только одно замыкающее звено, на размерной схеме должно быть представлено столько цепей, сколько у детали конструкторских размеров и припусков (в схеме на рисунке 5 их, например, должно быть 5). Выявление всех РЦ непосредственно по размерной схеме в ряде случаев может быть весьма трудоемкой задачей, т.к. технологические РЦ, как было указано выше, часто бывают «связанными», то есть такими, у которых одни и те же составляющие звенья входят в разные РЦ.

Процесс выявления состава технологических РЦ можно значительно упростить и облегчить, если по размерной схеме – используя метод Б.С. Мордвинова [5, 6] – построить структурную модель,

применяя для этой цели теорию графов. Такой граф фактически станет математической моделью, заменяющей реальный ТП и позволяющей выявить связанные контуры РЦ.

4.3 Выявление технологических РЦ с помощью графовой модели

Деталь в процессе ее изготовления можно рассматривать как геометрическую структуру, состоящую из множества поверхностей (вершин), условно обозначаемых на графе окружностями, и ребер (размеров, припусков) между ними. Особое значение в размерных расчетах имеет граф типа дерево. Дерево – это граф без контуров, у которого между парой вершин существует только один путь.

Дерево, образованное припусками и конструкторскими размерами, называется исходным, а дерево с технологическими размерами – технологическим (рисунок 8).

Если эти деревья совместить, то получится совмещенный граф. В нем все технологические РЦ из неявных превращаются в явные: любой замкнутый контур на совмещенном графе, состоящий из ребер исходного и технологического деревьев, образует технологическую РЦ. В этой цепи ребро исходного дерева является замыкающим звеном, а ребра технологического дерева – составляющими звеньями.

Сначала строится дерево технологических размеров (с составляющими звеньями). Номера поверхностей заготовки и детали, взятые с размерной схемы (см. рисунок 7), принимаются за вершины графа и помещаются в окружности. Вершины соединяются между собой ориентированными ребрами – технологическими размерами, которые соединяют эти поверхности на размерной схеме. После соединения всех вершин соответствующими ребрами технологическое дерево построено.

При построении исходного дерева (с замыкающими звеньями) его вершинами являются те же самые поверхности, что и на технологическом дереве. Ребра-припуски обозначаются зигзагами, а ребра-конструкторские размеры – дугами (см. рисунок 8).

После построения каждого дерева производится проверка правильности построения, которая фактически является проверкой правильности построения размерной схемы ТП.

В ходе проверки контролируется соблюдение следующих условий [5]:

- число вершин у каждого дерева должно быть равно числу поверхностей на размерной схеме;
- число ребер у каждого дерева должно быть одинаковым и равным числу вершин без единицы;
- к каждой вершине дерева с составляющими звеньями, кроме корневой (с которой начинается построение), должна подходить только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой вершине – ни одной стрелки;
- деревья не должны иметь разрывов и замкнутых контуров.

После проверки оба дерева совмещают так, чтобы вершины с одинаковыми номерами совпадали (см. рисунок 8). В результате получается совмещенный граф технологических РЦ. Практически два дерева отдельно не строят, а поступают так: сначала строят технологическое дерево, а затем на нем строят исходное дерево, в результате чего замыкание деревьев происходит само собой.

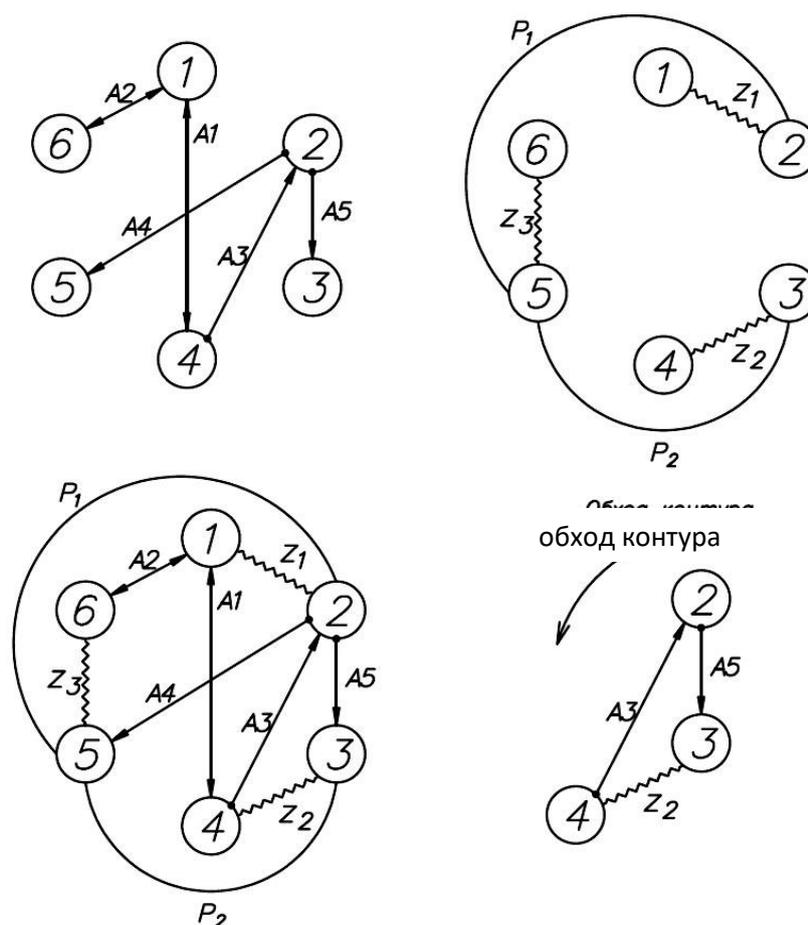


Рисунок 8 – Граф размерной структуры для первого варианта ТП детали «двухступенчатый валик»

Замкнутый контур совмещенного графа образует РЦ, у которой ребро исходного дерева является замыкающим звеном, а ребра технологического дерева – составляющими звеньями. Например, на рисунке 6 ребра A_1, A_2, A_3, A_4 и Z_3 образуют замкнутый контур, т.е. РЦ, у которой ребра A_1, A_2, A_3 и A_4 являются составляющими звеньями, а ребро Z_3 – замыкающим звеном. Замкнутый контур из ребер A_4 и P_1 образуют новую РЦ, у которой замыкающим звеном является ребро P_1 , а составляющим – A_4 .

Так как в РЦ может быть только одно замыкающее звено (а в качестве такого звена в технологической РЦ может быть, как правило, конструкторский размер или припуск), то при выявлении РЦ по графу необходимо выбрать только такие контуры, в которых содержится одно ребро исходного дерева, а остальные ребра принадлежат технологическому дереву.

Например, на рисунке 8 ребра A_4, A_3, P_2 и Z_2 образуют замкнутый контур, но в нем оба ребра P_2 и Z_2 являются замыкающими звеньями, поэтому такой контур не может рассматриваться в качестве технологической РЦ.

Граф технологической РЦ не только облегчает выявление цепей, разделение составляющих звеньев на увеличивающие и уменьшающие, но и позволяет обнаружить ошибки в технологии или в размерах детали. Например, если при составлении исходного или технологического дерева обнаружится разрыв между вершинами или появится замкнутый контур на исходном или технологическом дереве, то это указывает в первом случае на отсутствие нужных размеров в принятой технологии или у детали, а во втором случае – на наличие лишних размеров.

При ручном расчете вызывает затруднение разделение составляющих звеньев на увеличивающие и уменьшающие. «Вручную» это выполняется следующим образом. Звенья, образующие на графе замкнутый контур РЦ, обходятся (независимо от первоначальной ориентации) по любому выбранному направлению (например, против часовой стрелки). Все звенья каждой РЦ в процессе обхода будут либо «возрастающими», либо «убывающими» в зависимости от того, возрастает или убывает номер вершины звена в направлении обхода. Затем сопоставляем каждое звено с замыкающим: составляющее звено – увеличивающее, если это звено – «возрастающее» («убывающее»), а замыкающее звено – «убывающее» («возрастающее»). Например, для РЦ Z_2 на рисунке 8 составляющее звено A_5 – «убывающее», и замыкающее звено

Z_3 – «убывающее», т.е. изменение границ у них в процессе обхода одинаковое. Следовательно, звено A_3 – уменьшающее. По данному правилу получается, что звено A_5 – увеличивающее.

Увеличивающим звеньям в уравнении РЦ приписывается знак «+», уменьшающим – знак «-».

4.4 Качественный анализ варианта ТП на основе графа размерной структуры

Для нашей простой детали с помощью графа без проведения расчета легко визуально выявить контуры РЦ и построить их уравнения для последующего совместного решения (знаки определяются вручную или автоматически в программе):

$$\begin{aligned}P_1 &= A_4; \\P_2 &= \pm A_4 \pm A_5; \\z_1 &= \pm A_1 \pm A_3; \\z_2 &= \pm A_3 \pm A_5; \\z_3 &= \pm A_2 \pm A_1 \pm A_3 \pm A_4.\end{aligned}$$

В самом деле, у нас есть 5 неизвестных технологических размеров и 2 известных конструкторских размеров, а также 3 припуска, которые можно заранее рассчитать или задать.

Теперь, еще до расчета на компьютере по нашей программе, предварительно можно сказать, что размер P_2 в ходе обработки непосредственно не получается, он должен быть обеспечен двумя размерами A_4 и A_5 . Это классический пример несоблюдения принципа «единства баз», вследствие чего возникает погрешность базирования. Как следует из курса «Технологии машиностроения», она равна допуску на размер между измерительной и технологической базами, в нашем случае, – допуску на размер A_4 .

В таких случаях возникает необходимость устранить или компенсировать эту погрешность технологическими решениями. Об этом не раз пойдет речь ниже.

Что касается размера P_1 , то он напрямую зависит от точности выполнения размера A_4 – для этой РЦ принцип «единства баз» соблюдается.

Качественный анализ (без проведения расчета) показывает также, что «длинная» (по Б.С. Балакшину [4]) РЦ для припуска Z_3 также чревата осложнениями при выполнении размеров партии деталей, поскольку допуск на припуск равен арифметической сумме допусков составляющих РЦ размеров.

Располагая уравнениями РЦ в номиналах, можно построить уравнения (неравенства) по допускам для каждой цепи, которые в дальнейшем будем называть «балансами точности»:

$$\delta P_1 = \delta A_4;$$

$$\delta P_2 = \delta A_4 + \delta A_5;$$

$$\delta z_1 = \delta A_1 + \delta A_3;$$

$$\delta z_2 = \delta A_3 + \delta A_5;$$

$$\delta z_3 = \delta A_2 + \delta A_1 + \delta A_3 + \delta A_4.$$

Из уравнения для P_1 видим, что этот размер при обработке может быть явно получен технологическим размером A_4 , и точность этого конструкторского размера непосредственно зависит от точности выполнения (допуска) размера A_4 . В данном случае мы ожидаем, что размер A_4 будет выдержан однократной обработкой черновой поверхности с допуском 0.46 мм.

А вот с точностью размера P_2 все сложнее. P_2 – замыкающее звено, и его допуск зависит от допусков двух составляющих звеньев

$$\delta P_2 = \delta A_4 + \delta A_5 .$$

Получается, что допуск P_2 складывается из допусков размеров A_4 и A_5 . Но допуск δA_4 ранее уже определен по допуску P_1 и равен 0.45 , тогда «математически» допуск A_5 должен быть равен нулю?!

$$0,45 = 0,45 + 0 .$$

Понятно, что нулевой допуск при обработке партии деталей – это не реально в современных производственных условиях.

Вот если бы уменьшить допуски на A_4 и A_5 до приемлемого значения, например, чтобы в сумме они укладывались в допуск конструкторского размера P_2 ...

Но тогда мы вынуждены выполнить размер P_1 с более высокой точностью, чем требуется конструктору. Однако высокая точность не всегда желательна, она сопряжена и с дополнительными затратами (труда, оборудования), и увеличивает стоимость обработки детали.

Таковы некоторые суждения, которые можно сделать по графу и затем подтвердить их количественно результатами расчета.

Автоматически выявить контуры размерных цепей, а затем рассчитать технологические размеры можно в программе «KON7 плюс».

4.5 Расчет по программе KON7 плюс для первого варианта ТП

После запуска программы из вкладки «Файл» выберем «Новый вариант» или нажмем Ctrl+N (рисунок 9). Затем в открывшемся окне

последовательно заполним все вкладки. Для того чтобы добавить новый параметр во вкладках нужно нажать ПКМ и выбрать «Добавить», для изменения – дважды щелкнуть на корректируемой строке.

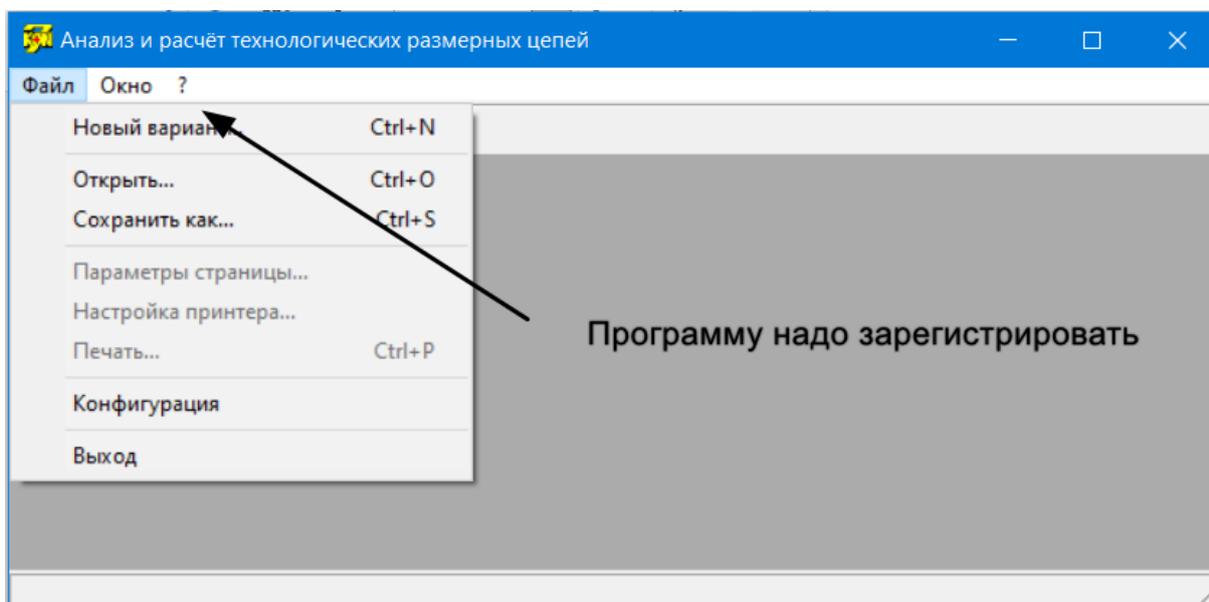


Рисунок 9 – Окно после запуска программы «KON7 плюс»

На вкладке *Общие данные* (рисунок 10) в поле *Текст пользователя* будем указывать номер варианта размерной структуры ТП, а в поле *Наибольший габаритный размер* – наибольший размер заготовки в направлении линейных размеров.

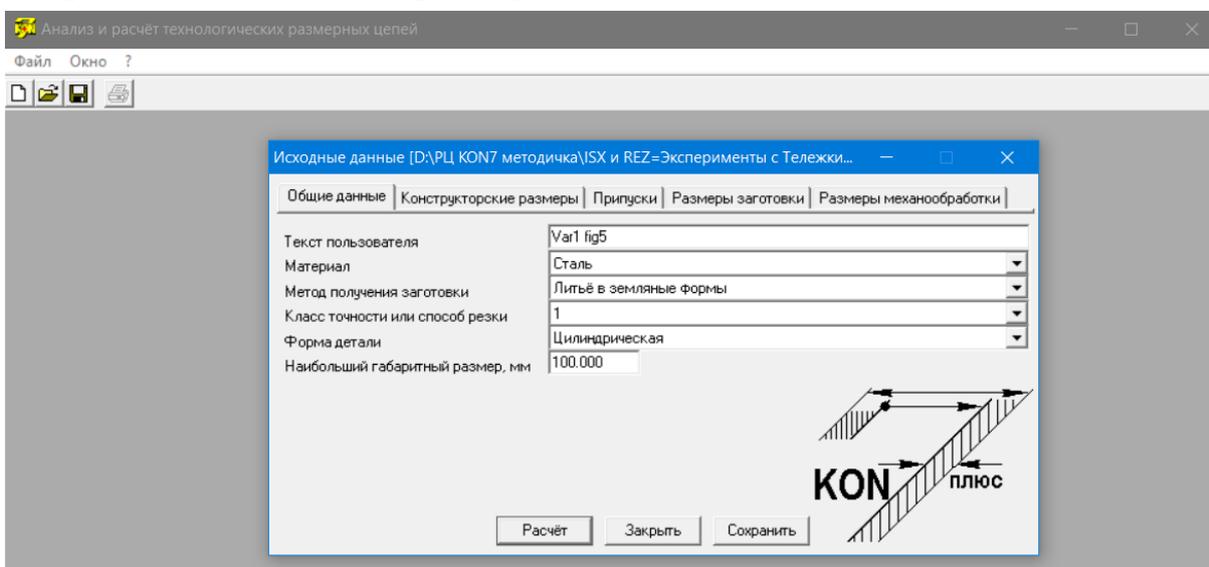


Рисунок 10 – Вкладка *Общие данные*

На вкладке *Конструкторские размеры* (рисунок 11) вводим с размерной схемы границы каждого размера и их предельные значения.

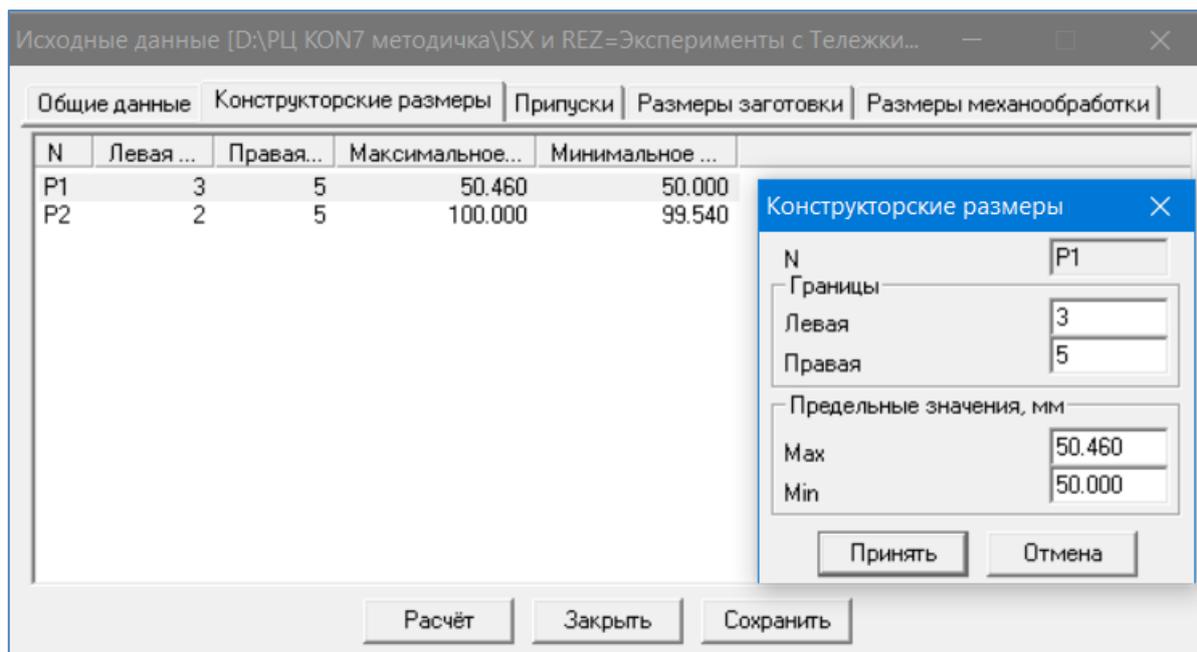


Рисунок 11 – Вкладка *Конструкторские размеры*

На вкладке *Припуски* (рисунок 12) следует различать новую и старую границы каждого припуска. Есть возможность игнорировать расчет припуска.

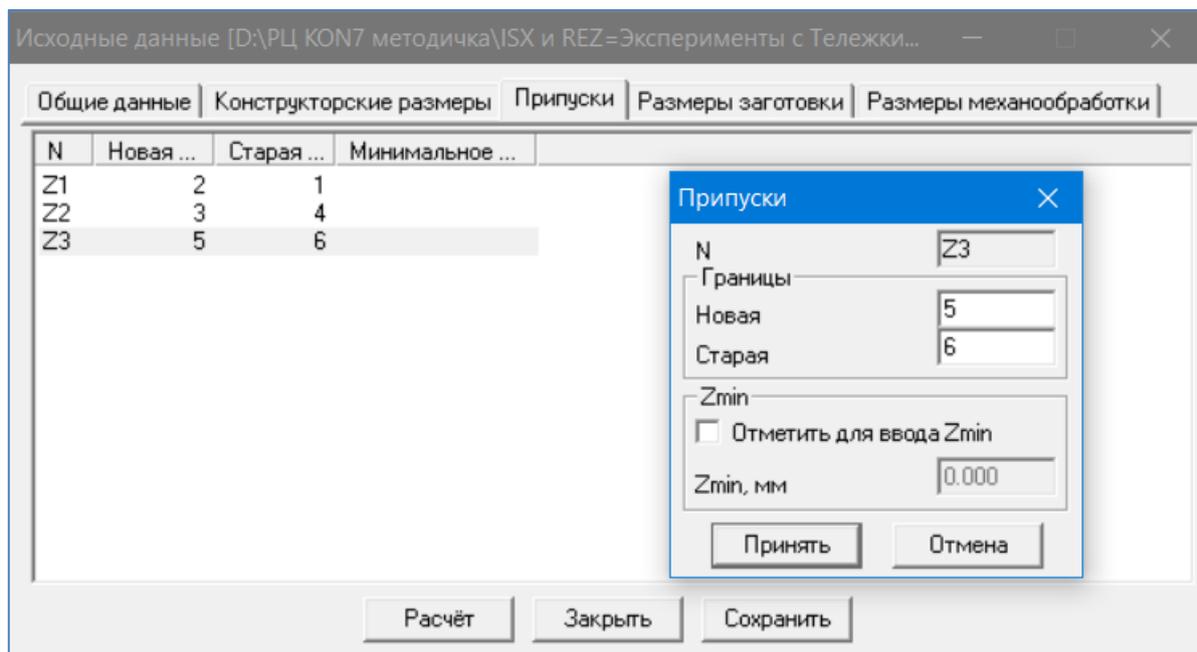


Рисунок 12 – Вкладка *Припуски*

Поле « Z_{min} » доступно при отказе от расчета припуска программой и задании пользователем конкретного минимального значения.

На вкладке *Размеры заготовки* (рисунок 13) помимо границ указывается планируемое расположение допуска и наименьший поперечный размер, оценивающий жесткость заготовки. Есть возможность

отказаться от значений из нормативной базы данных программы и ввести «пользовательский» допуск. Например, априори известно, что допуск заготовки не может быть меньше известного из практики значения.

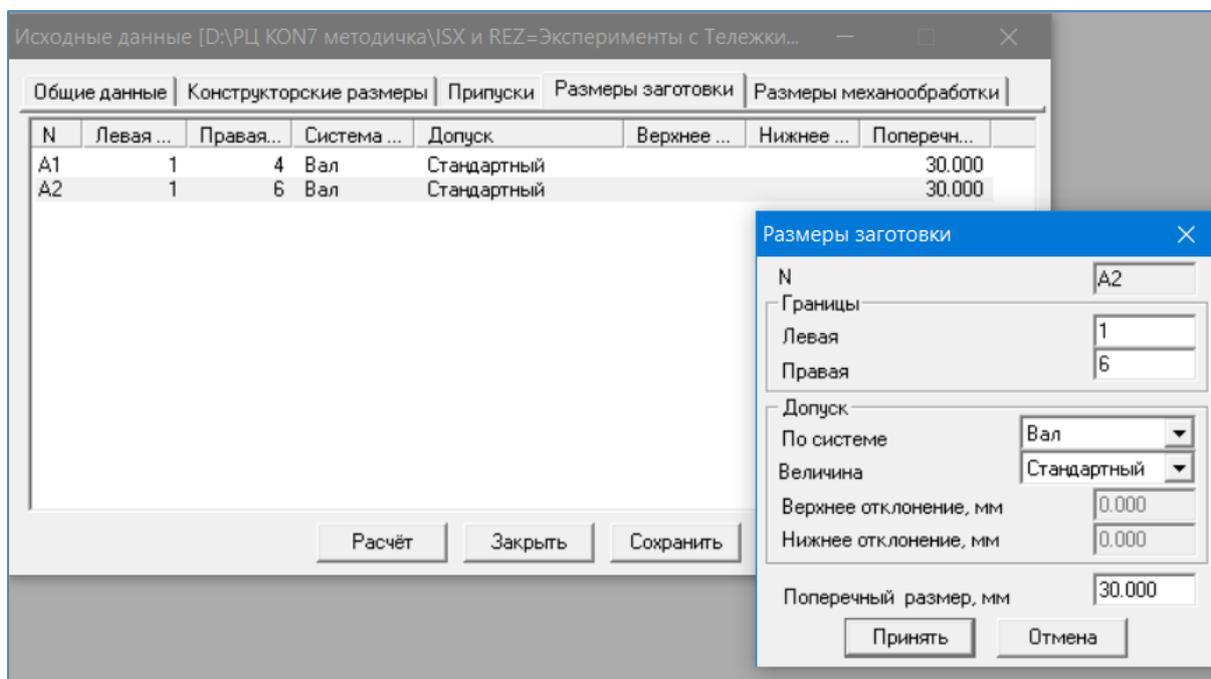


Рисунок 13 – Вкладка *Технологические размеры заготовки*

Вкладка *Размеры механообработки* (рисунок 14) дает возможность указать технологическую базу, метод обработки, расположение допуска, отказаться от привязки его значения из базы данных программы к строке меню метода обработки и выбрать так называемый «пользовательский» допуск. Поля отклонений активизируются, если открыть меню *Стандартный*.

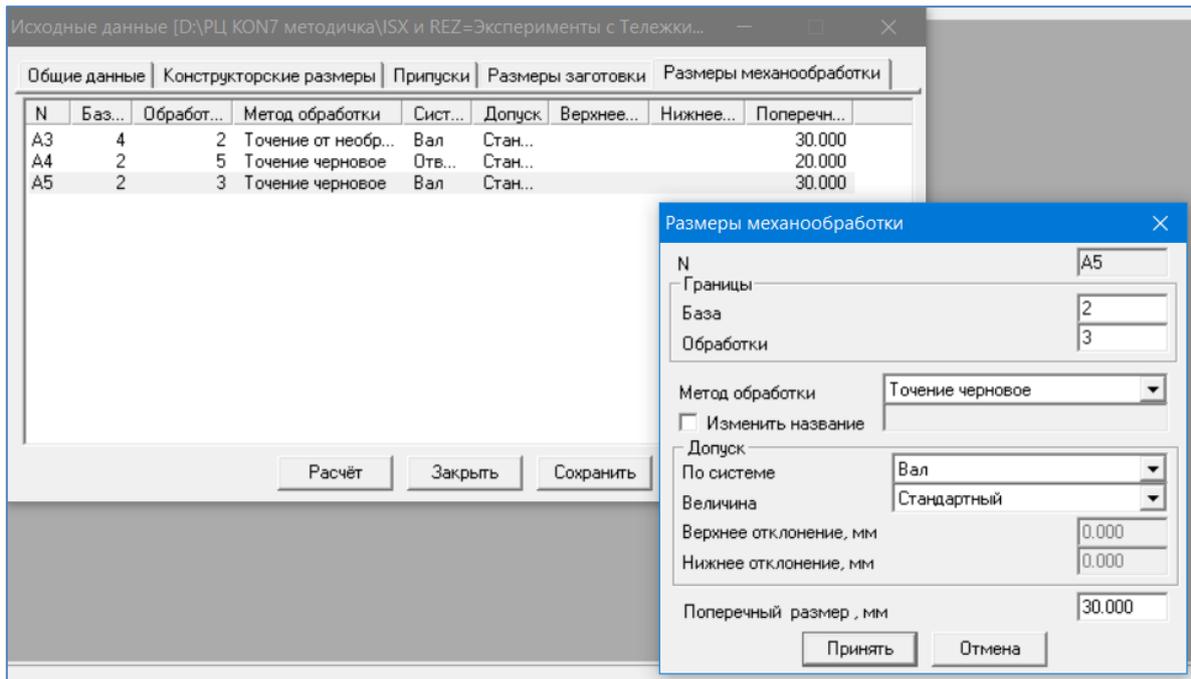


Рисунок 14 – Вкладка *Технологические размеры механообработки*

В поле *Габариты поверхности* вводится размер в поперечном направлении, характеризующий жесткость заготовки.

Последовательно заполним вкладки и нажмем кнопку «Расчет».

В ходе расчета программа проводит диагностику результатов и может выдавать различные сообщения. Например, на рисунке 15 представлено сообщение о возникшей проблеме.

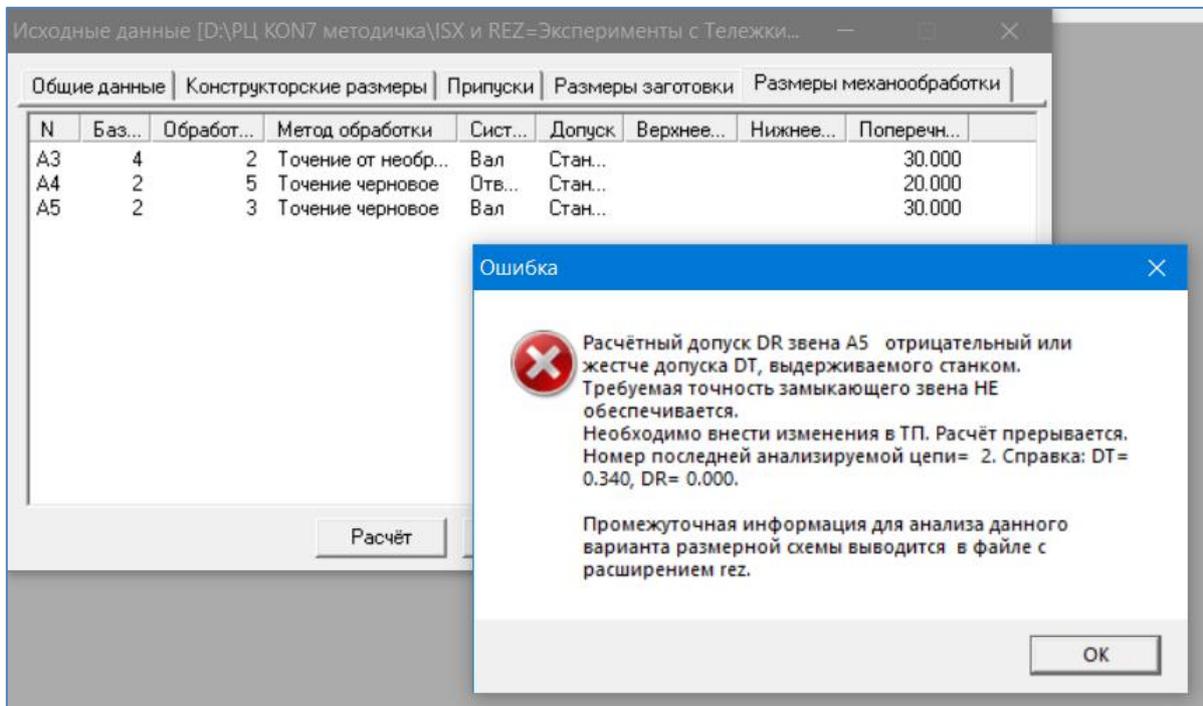


Рисунок 15 – Требуемая точность размера A5 не обеспечивается в данном варианте ТП

В этом первом варианте ТП программа автоматически пытается увеличить точность в целях продолжения расчета (рисунок 16).

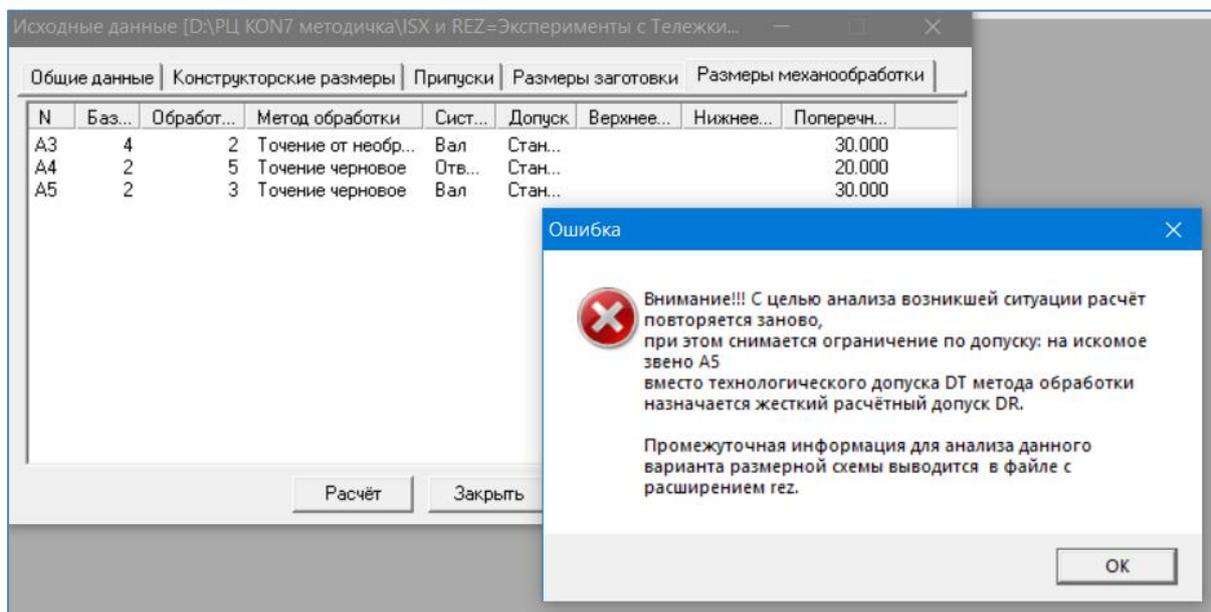


Рисунок 16 – Программа пытается разрешить проблему и повторяет расчет с более высокой точностью обработки

4.6 Результаты расчета для первого варианта ТП

Результаты расчета (рисунок 17) начинаются с *таблицы 1* исходных данных. Важно не забывать, что для повторения расчета или корректировки сформированных вкладками исходных данных, они должны быть сохранены (рисунок 18) во внутреннем формате (рисунок 19) в файле с расширением .isx.

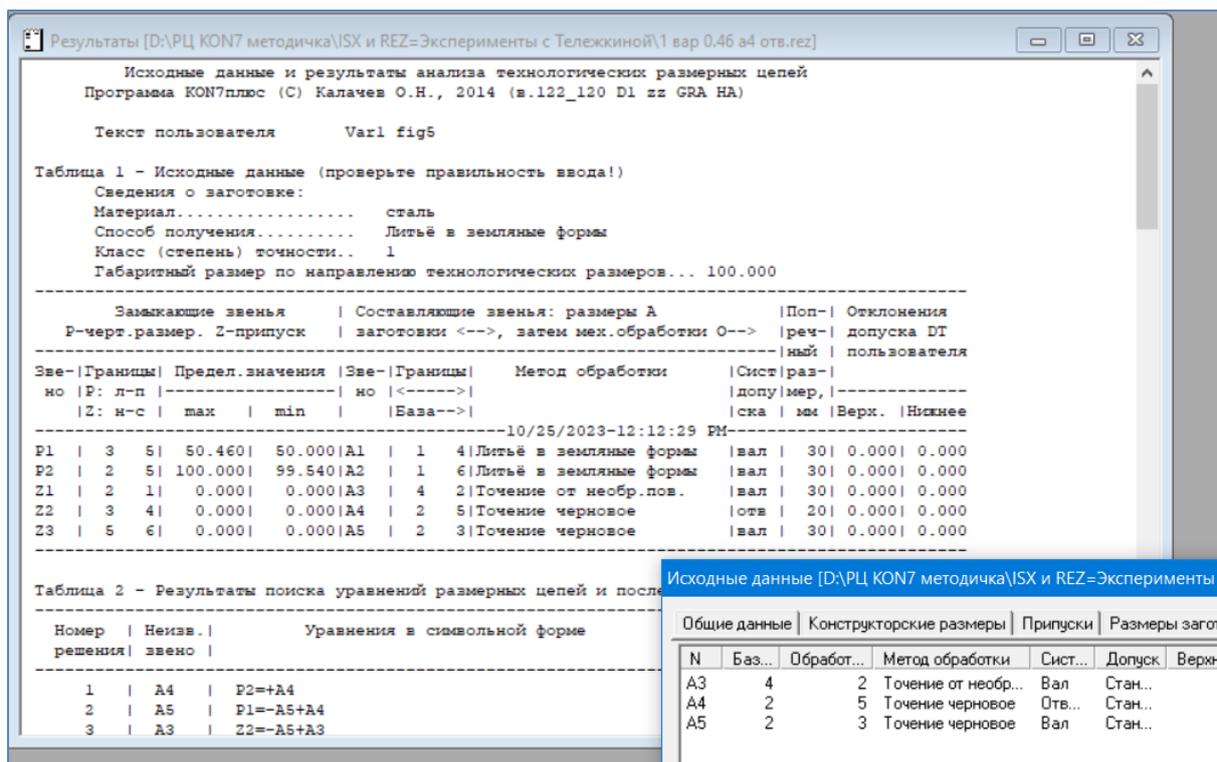


Рисунок 17 – Результаты расчета в окне программы

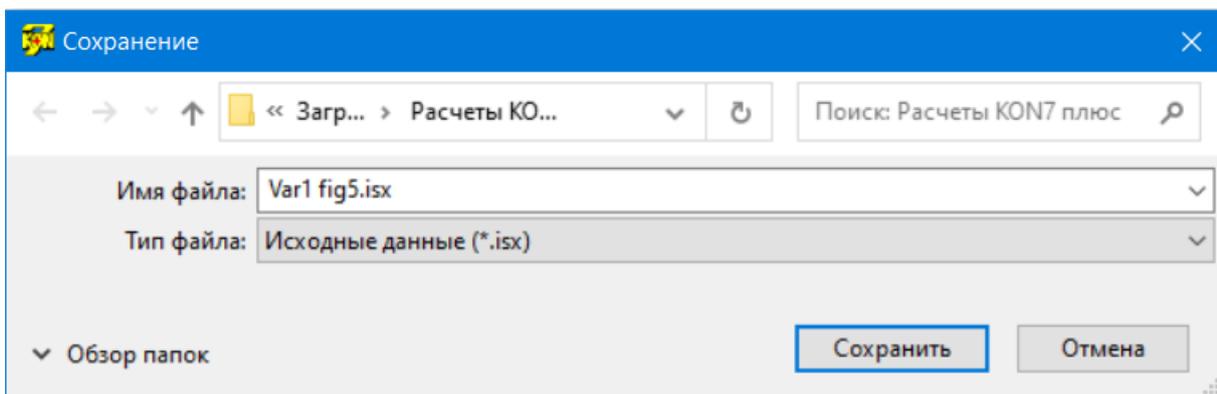


Рисунок 18 – Сохранение исходных данных

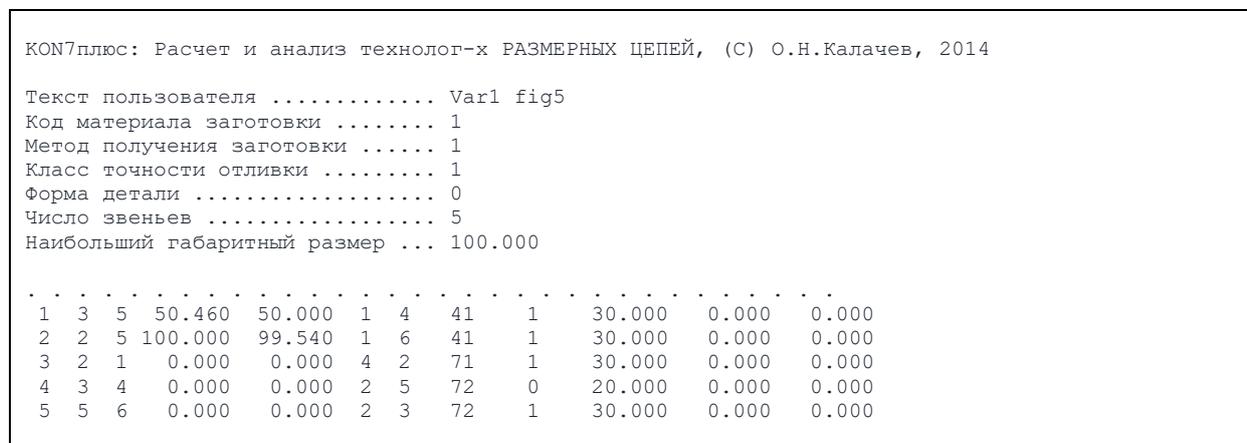


Рисунок 19 – Исходные данные во внутреннем формате – файле с расширением isx

Результаты расчета сохраняются (рисунок 20) в файле с расширением .rez, который читается MS Word, и который можно конвертировать в формат .docx.

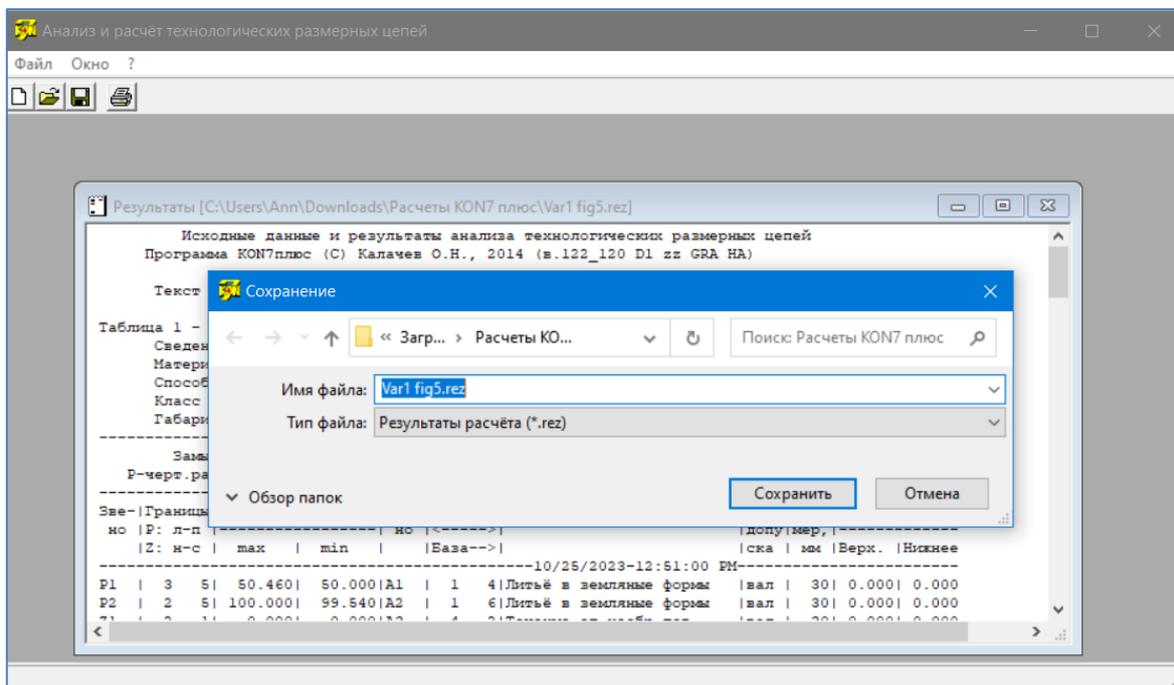


Рисунок 20 – Сохранение результатов расчета

Перейдем теперь к анализу конвертированных в MS WORD результатов на рисунке 21.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя Var1 fig5												
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал..... сталь												
Способ получения..... Литьё в земляные формы												
Класс (степень) точности.. 1												
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000												
-----10/25/2023-12:51:00 PM-----												
Замыкающие звенья			Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск			заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч-		допуска DT	

Зве-	Границы	Предел. значения	Зве-	Границы	Метод обработки			Сист	раз-	-----		
но P:	л-п	-----	но <----->	-----			допу	мер,	-----			
Z:	н-с	max min	База-->	-----			ска мм	Верх.	-----			
-----10/25/2023-12:51:00 PM-----												
P1	3	5	50.460	50.000	A1	1	4	Литьё в земляные формы	вал	30	0.000	0.000
P2	2	5	100.000	99.540	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	30	0.000	0.000
Z1	2	1	0.000	0.000	A3	4	2	Точение от необр.пов.	вал	30	0.000	0.000
Z2	3	4	0.000	0.000	A4	2	5	Точение черновое	отв	20	0.000	0.000
Z3	5	6	0.000	0.000	A5	2	3	Точение черновое	вал	30	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения												

Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме										
решения	звено	-----										
1	A4	P2=+A4										
2	A5	P1=-A5+A4										
3	A3	Z2=-A5+A3										
4	A1	Z1=-A3+A1										
5	A2	Z3=-A1-A4+A2+A3										

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **

KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А4

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер Р2 : max= 100.000 min= 99.540

результаты расчёта звена А4 : max= 100.000 min= 99.540

следовательно, расч. допуск= 0.460

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000

принимается расчётный размер звена А4 с учётом технолог. допуска:

номинал= 99.540 max= 100.000 min= 99.540

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А5

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000

увелич. звено А4 : max= 100.000 min= 99.540

замык. звено - констр. размер Р1 : max= 50.460 min= 50.000

результаты расчёта звена А5 : max= 49.540 min= 49.540

следовательно, расч. допуск= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000

Расчётный допуск DR звена А5 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.

Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.

Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.

Номер последней анализируемой цепи= 2. Справка: DT= 0.340, DR= 0.000.

Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,

при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено А5

вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **

KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А4

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер Р2 : max= 100.000 min= 99.540

результаты расчёта звена А4 : max= 100.000 min= 99.540

следовательно, расч. допуск= 0.460

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000

принимается расчётный размер звена А4 с учётом технолог. допуска:

номинал= 99.540 max= 100.000 min= 99.540

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А5

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000

увелич. звено А4 : max= 100.000 min= 99.540

замык. звено - констр. размер Р1 : max= 50.460 min= 50.000

результаты расчёта звена А5 : max= 49.540 min= 49.540

следовательно, расч. допуск= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000

Расчётный допуск DR звена А5 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.

Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.

Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.

Номер последней анализируемой цепи= 2. Справка: DT= 0.340, DR= 0.000.

Для обеспечения точности конструкторского размера Р1 необходимо выполнить технологический размер А5 с расчетным допуском DR=0.000, который отрицательный

или жестче (более, чем в 2 раза) технологического допуска DT=0.340 выбранного метода обработки.

Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается!

Расчет оставшихся технологических размеров продолжать не целесообразно.

Рекомендации.

1. Технологический размер А5 должен выполняться с более высокой точностью, т.е. с более жестким допуском. Например, вместо "чернового точения" следует выбрать "чистовое точение" или задать непосредственно числовое значение технологического допуска в поле "пользовательский". Следует помнить, что на начальных операциях механообработки необоснованный выбор узкого допуска недопустим!

2. Следует повысить точность других технологических размеров, образующих данную цепь.

3. Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из поверхностей с указанием на размерной схеме нового припуска.

4. Радикальное изменение размерной структуры технологического процесса - выбор более рациональной схемы базирования, обеспечивающей соблюдение принципа единства баз в большинстве уравнений размерных цепей.

Конец заказа Var1 fig5

Рисунок 21 – Результаты расчета по 1 варианту

Таблица 1 в распечатке результатов на рисунке 21 содержит введенные исходные данные, а таблица 2 – отображает автоматически построенные уравнения РЦ и порядок их решения. Далее приводятся промежуточные результаты расчета по каждой цепи, предшествующие итоговым значениям рассчитанных технологических размеров, который должны быть оформлены в таблице 3.

Запомним: расчет в целом завершается успешно, если решены все уравнения РЦ и рассчитаны все технологические размеры, и в итоге сформирована таблица 3.

К сожалению, в нашем случае расчет для первого варианта ТП прерывается. Такое случается, когда не выполняется баланс точности в каком-то из уравнений РЦ.

Проанализируем промежуточные результаты для каждой РЦ. Согласно таблице 2, первой решается РЦ типа «Р», т.е. с замыкающим звеном – конструкторским размером. Баланс точности для первой цепи можно составить из фрагмента расчета:

```

Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А4
с о с т а в   ц е п и   :
увелич. звено А4      :                               max=  0.000   min=  0.000
замык. звено - констр. размер Р2 :                   max= 100.000  min=  99.540
результаты расчёта звена А4      :                   max= 100.000  min=  99.540
следовательно, расч. допуск=      0.460
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460  нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А4 с учётом технолог. допуска:
номинал= 100.000                               max= 100.000  min=  99.540
    
```

Первая цепь является двухзвенной с замыкающим звеном P_2 , решая ее, как было указано выше, можно рассчитать номинал и допуск технологического размера A_4 . В нашем примере удачно совпали расчетный технологический допуск с производственным технологическим допуском чернового точения, предложенным из БД программы. Точность P_2 достигается значением допуска 0,46 мм чернового точения с получением размера A_4 . В этой цепи расчетный технологический допуск (РТД) δ_p совпадает с заданным производственным техно-логическим допуском (ПТД) δ_T , т.е. соответствует точности выбранного технологическим методом и характера обработки (рисунок 22, слева).

Баланс точности по второй трехзвенной цепи таков:

```

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А5
с о с т а в   ц е п и   :
уменьш. звено А5      :                               max=  0.000   min=  0.000
увелич. звено А4      :                               max= 100.000  min=  99.540
замык. звено - констр. размер Р1 :                   max=  50.460  min=  50.000
результаты расчёта звена А5      :                   max=  49.540  min=  49.540
следовательно, расч. допуск=      0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340  нижн. откл.= 0.000
    
```

Расчётный допуск DR звена A5 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком. Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается. Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.
 Номер последней анализируемой цепи= 2. Справка: DT= 0.340, DR= 0.000.
 Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново, при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено A5 вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.

Видим в сообщении программы, что при решении второго уравнения возникла проблема, которая была теоретически рассмотрена ранее, а именно, баланс точности для P_1 не соблюдается: допуск 0,46 мм конструкторского размера P_1 должен складываться из допуска 0,46 мм размера A_4 и допуска рассчитываемого размера A_5 . Получается, что δ_p размера A_5 должен быть равен 0, в то время как ПТД метода его получения (черновое точение), назначенный системой из БД программы согласно выбранному методу обработки, $\delta_T = 0,34$ мм.

На рисунке 22 балансы точности отображаются графически.

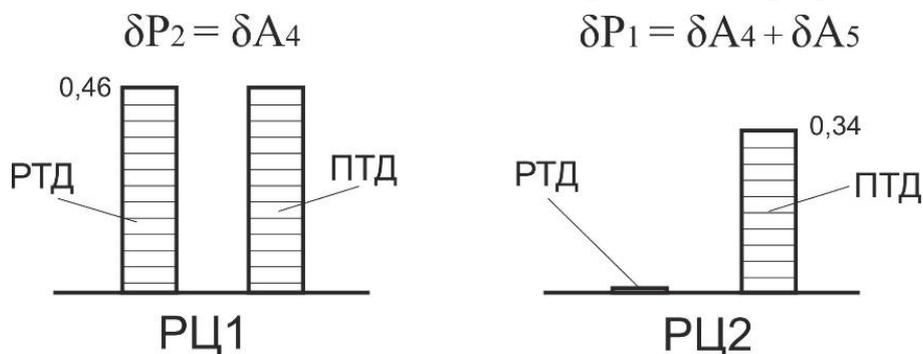


Рисунок 22 – Балансы точности технологических размеров по 1 варианту (по уравнению для P_2 – слева, по уравнению для P_1 - справа)

Напомним, что допуск технологического размера не может быть нулевым; стало быть, точность размера P_1 не достигается, поэтому расчет по другим цепям прекращается, таблица 3 не формируется.

4.7 Результаты расчета измененного первого варианта ТП

На рисунке 22 показано соотношение РТД и ПТД для первой и второй РЦ первого варианта. Видим, что для цепи P_2 размер A_4 рассчитан по номиналу и допуску замыкающему звену.

Для трехзвенной цепи P_1 РТД размера A_5 равен нулю, а ПТД соответствует «черновому точению». Баланс точности для этой РЦ не соблюдается – на этой цепи решение уравнений прерывается.

Изменим первый вариант следующим образом: примем ПТД станка при получении размера A_4 равным не допуску «чернового точения», а – условно – «чистовому точению». Результаты расчета – на рисунке 23.

номинал=	99.540	max=	99.680	min=	99.540	
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A5						
с о с т а в ц е п и :						
уменьш. звено A5 :		max=	0.000	min=	0.000	
увелич. звено A4 :		max=	99.680	min=	99.540	
замык. звено - констр. размер P1 :		max=	50.460	min=	50.000	
результаты расчёта звена A5 :		max=	49.540	min=	49.220	
следовательно, расч. допуск=	0.321					
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый						
системой=	0.340	верхн. откл.=	0.340	нижн. откл.=	0.000	
Внимание! Система назначает на звено A5 жесткий расчётный допуск.						
Практически это означает, что при получении звена точность станка будет						
условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.340, DR= 0.321						
принимаем расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:						
номинал=	49.540	max=	49.540	min=	49.220	
Решается разм. цепь 3 типа Z2 с неизв. звеном A3						
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650						
с о с т а в ц е п и :						
уменьш. звено A5 :		max=	49.540	min=	49.220	
увелич. звено A3 :		max=	0.000	min=	0.000	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый						
системой=	0.740	верхн. откл.=	0.740	нижн. откл.=	0.000	
расчётный размер звена A3 :						
номинал=	50.930	max=	50.930	min=	50.190	
припуск по звену A1 Z2 :		max=	1.711	min=	0.650	
допуск=	1.061					
===== звено A для расчета припуска - из другой PC !!! =====						
Решается разм. цепь 4 типа Z1 с неизв. звеном A1						
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650						
с о с т а в ц е п и :						
уменьш. звено A3 :		max=	50.930	min=	50.190	
увелич. звено A1 :		max=	0.000	min=	0.000	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый						
системой=	0.600	верхн. откл.=	0.300	нижн. откл.=	-0.300	
расчётный размер звена A1 :						
номинал=	51.880	max=	52.180	min=	51.580	
припуск по звену A1 Z1 :		max=	1.990	min=	0.650	
допуск=	1.340					
Решается разм. цепь 5 типа Z3 с неизв. звеном A2						
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650						
с о с т а в ц е п и :						
уменьш. звено A1 :		max=	52.180	min=	51.580	
уменьш. звено A4 :		max=	99.680	min=	99.540	
увелич. звено A2 :		max=	0.000	min=	0.000	
увелич. звено A3 :		max=	50.930	min=	50.190	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый						
системой=	0.600	верхн. откл.=	0.300	нижн. откл.=	-0.300	
расчётный размер звена A2 :						
номинал=	102.620	max=	102.920	min=	102.320	
припуск по звену A2 Z3 :		max=	2.730	min=	0.650	
допуск=	2.080					
Таблица 3 - Результаты расчета технологических PC						
по программе KON7плюс (C) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)						
Замыкающие звенья			Составляющие звенья			
P - черт.размер, Z - припуск			A - размеры заготовки и механообработки			
-----kon7плюс-122-120 D1 zz GRA HA-----						
Ин- Гра- Предел. значения Ин- Гра- Метод обработки Номинал Отклонения						
декс ницы max min декс ницы Верхнее Нижнее						
звена звена звена звена						
-----11/12/2023-9:34:44 AM-----						
P1 3 5 50.460 50.000 A1 1 4 Литьё в земляные формы 51.880 0.300 -0.300						
P2 2 5 100.000 99.540 A2 1 6 Литьё в земляные формы 102.620 0.300 -0.300						
Z1 2 1 1.990 0.650 A3 4 2 Точение от необр.пов. 50.930 0.000 -0.740						
Z2 3 4 1.711 0.650 A4 2 5 Точение чистовое 99.540 0.140 0.000						
Z3 5 6 2.730 0.650 A5 2 3 Точение черновое 49.540 0.000 -0.321						

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи						

№ Неизв Номинал Верхнее Запас Правления в символической форме						
реш звено Нижнее точн. Баланс допусков						
1 A4 99.540 0.140 0.320 P2-A4						
0.000 0.460=>0.140						
2 A5 49.540 0.000 0.000 P1=-A5+A4						
-0.321 0.460=>0.321+0.140						

3	A3	50.930	0.000	0.000	Z2=-A5+A3	
			-0.740		1.061=>0.321+0.740	
4	A1	51.880	0.300	0.000	Z1=-A3+A1	
			-0.300		1.340=>0.740+0.600	
5	A2	102.620	0.300	0.000	Z3=-A1-A4+A2+A3	
			-0.300		2.080=>0.600+0.140+0.600+0.740	
Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали						
№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
2	3	0.650	1.990	1.340	3.062	
3	4	0.650	1.711	1.061	2.632	
5	5	0.650	2.730	2.080	4.199	
						4.480
Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи						
Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)				
A1	2	3, 5 (Z1, Z3)				
A2	1	5 (Z3)				
A3	3	3, 4, 5 (Z1, Z2, Z3)				
A4	3	1, 2, 5 (P1, P2, Z3)				
A5	2	1, 4 (P1, Z2)				
Конец заказа Var1 fig5 a====						

Рисунок 23 – Результаты измененного первого варианта, расчет которого дошел до конца

Допуск «чистового точения» из БД программы равен 0,14 мм и это значение допуска программа – согласно алгоритму – присваивает размеру A4 . Соотношение для первой РЦ с замыкающим звеном P₂ показано на рисунке 24, слева. Программа воспользовалась более высокой точностью оборудования и присвоила его размеру A₄.

Тогда РТД размера A₅ второй цепи для звена P₁ будет равным 0,32 мм (рисунок 24, справа), тогда как ПТД остался равным «черновому точению». Баланс не соблюдается – программа фиксирует проблему: «Расчётный допуск DR звена A₅ отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком», но затем система, несмотря на это, присваивает размеру A₅ допуск 0,32 мм и продолжает расчет, пытаясь довести его до конца.

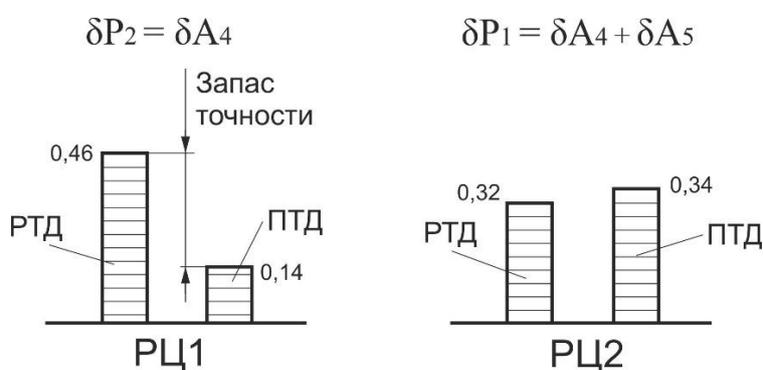


Рисунок 24 – Балансы точности технологических размеров A₄ и A₅ по скорректированному 1 варианту

В этом измененном первом варианте расчет продолжается без новых проблем, но мы понимаем, что в реальности после литья в землю маловероятно однократной обработкой, названной «чистовым точением», обеспечить узкий допуск чистового точения, который можно получить только после чернового точения!

Будем рассматривать этот вариант как дидактический, дающий представление, совместно с разделом 1, об алгоритме работе программы.

В *таблице 6* результатов расчета (см. рисунок 23) и на графе (рисунок 25) видим, что размер A_4 участвует в разных РЦ трижды. От его допуска зависит баланс точности нескольких РЦ. Поэтому надо стремиться выполнить A_4 как «можно точнее». В *таблице 4* результатов расчета (см. рисунок 23) этот размер имеет достаточный запас точности – 0,32 мм.

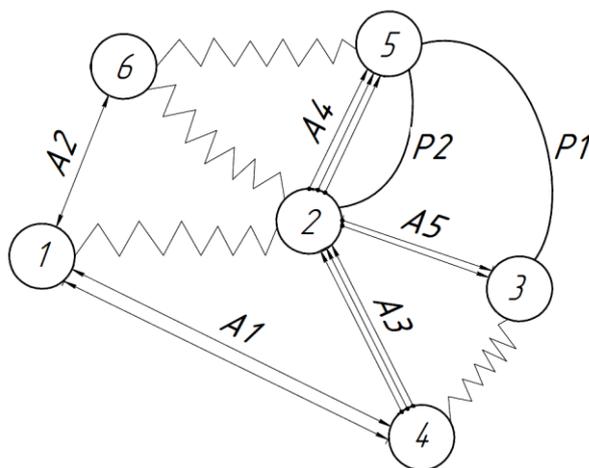


Рисунок 25 – Граф размерной структуры ТП по 1 варианту

Назначение *таблицы 5* касается припусков и будет показано позже в разделе 16.

Обратим внимание на сообщение при расчете третьей РЦ –

```
припуск по звену A1   Z2   :
допуск=   1.061                               max=   1.711   min=   0.650
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
```

Это означает, что припуск Z_2 рассчитывается по размеру A_1 другой размерной цепи. В дальнейшем мы рассмотрим особенности, связанные с расчетом припусков и решением РЦ типа «Z», в разделе 16.

5 Второй вариант ТП изготовления детали

Не меняя размерную структуру ТП первого варианта (см. рисунок б), искусственно завысим точность сразу двух технологических размеров A_4 и A_5 . Представим, что наш «экспериментальный» станок

способен однократной черновой обработкой обеспечить допуск 0,12 мм, а не реальный для черновой обработки 0,34 мм, и на результат обработки не оказывают влияния ни неравномерность припусков у заготовок партии, ни различие упругих деформаций узлов станка.

Пусть технологические допуски δ_T размеров A_4 и A_5 в нашем эксперименте будут равны 0,12 мм. В программе «KON7 плюс» предусмотрена возможность ввода произвольного допуска технологического размера (вместо значения из БД, привязанного к методу и характеру обработки). При таком режиме игнорирования нормативной БД программы можно изменить и название операции (метода обработки). Назовем новый метод обработки – «Эксперимент_1» и введем для него значение нереально «узкого» допуска при реально намеченной черновой однократной обработке $\delta_T=0,12$ мм (рисунок 26).

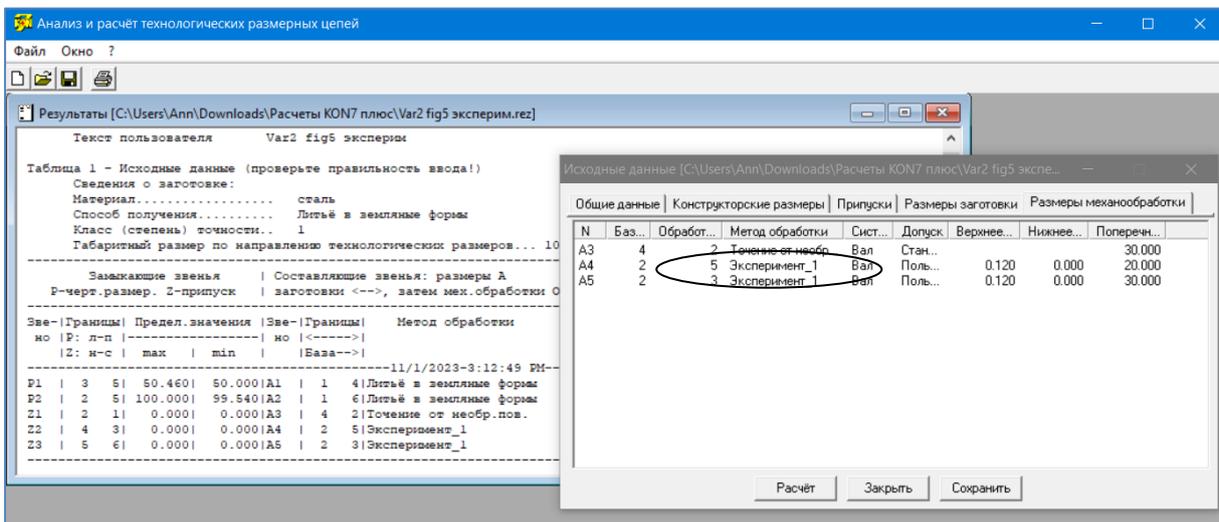


Рисунок 26 – Так выглядит вкладка «Размеры механообработки» для второго варианта

На рисунке 27 видим, что расчет по программе для второго варианта доходит до конца – появляется *таблица 3* с вычисленными значениями всех технологических размеров A_i . В конце распечатки приводится *таблица 4*, информирующая о запасах по точности каждой размерной цепи.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей			
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)			
Текст пользователя		Var2 fig5 эксперим	
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)			
Сведения о заготовке:			
Материал.....	сталь		
Способ получения.....	Литьё в земляные формы		
Класс (степень) точности..	1		
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000			
Замыкающие звенья		Составляющие звенья: размеры А	
Р-черт.размер. Z-припуск		заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->	
Поп-реч-ный	Отклонения	допуска ΔT пользователя	

Зве- но	Границы л-п	Предел.значения	Зве- но	Границы <---->	Метод обработки	Сист мер,	раз- мер,	----- 	----- 	----- 	----- 	
Z: н-с	max	min	База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее			
-10/25/2023-1:32:08 PM-												
P1	3	5	50.460	50.000	A1	1	4	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
P2	2	5	100.000	99.540	A2	1	6	Литьё в земляные формы	вал	100	0.000	0.000
Z1	2	1	0.000	0.000	A3	4	2	Точение от необр.пов.	вал	30	0.000	0.000
Z2	4	3	0.000	0.000	A4	2	5	Эксперимент_1	вал	20	0.120	0.000
Z3	5	6	0.000	0.000	A5	2	3	Эксперимент 1	вал	30	0.120	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символической форме
1	A4	P2=+A4
2	A5	P1=-A5+A4
3	A3	Z2=-A5+A3
4	A1	Z1=-A3+A1
5	A2	Z3=-A1-A4+A2+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A4
 состав цепи:
 увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.540
 результаты расчёта звена A4 : max= 100.000 min= 99.540
 следовательно, расч. допуск= 0.460
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000
 технологич. допуск, заданный пользователем= 0.120
 верх. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A4 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 100.000 max= 100.000 min= 99.880

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A5
 состав цепи:
 уменьш. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
 увелич. звено A4 : max= 100.000 min= 99.880
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.460 min= 50.000
 результаты расчёта звена A5 : max= 49.880 min= 49.540
 следовательно, расч. допуск= 0.340
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000
 технологич. допуск, заданный пользователем= 0.120
 верх. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 49.880 max= 49.880 min= 49.761

Решается разм. цепь 3 типа Z2 с неизв. звеном A3
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
 состав цепи:
 уменьш. звено A5 : max= 49.880 min= 49.761
 увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A3 :
 номинал= 51.321 max= 51.321 min= 50.581
 припуск по звену A1 Z2 :
 допуск= 0.860 max= 1.560 min= 0.700
 ===== звено A для расчета припуска - из другой PC !!! =====

Решается разм. цепь 4 типа Z1 с неизв. звеном A1
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
 состав цепи:
 уменьш. звено A3 : max= 51.321 min= 50.581
 увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
 расчётный размер звена A1 :
 номинал= 52.321 max= 52.621 min= 52.021
 припуск по звену A1 Z1 :
 допуск= 1.340 max= 2.040 min= 0.700

Решается разм. цепь 5 типа Z3 с неизв. звеном A2
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.700
 состав цепи:
 уменьш. звено A1 : max= 52.621 min= 52.021
 уменьш. звено A4 : max= 100.000 min= 99.880
 увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000

увелич. звено A3 :		max= 51.321 min= 50.581	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300			
расчётный размер звена A2 :		max= 103.340 min= 102.740	
номинал= 103.040			
припуск по звену A2 Z3 :		max= 2.759 min= 0.700	
допуск= 2.059			

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья			Составляющие звенья		
P - черт.размер, Z - припуск			A - размеры заготовки и механообработки		
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки
		max min			
P1	3 5	50.460 50.000	A1	1 4	Литьё в земляные формы
P2	2 5	100.000 99.540	A2	1 6	Литьё в земляные формы
Z1	2 1	2.040 0.700	A3	4 2	Точение от необр.пов.
Z2	3 4	1.560 0.700	A4	2 5	Эксперимент_1
Z3	5 6	2.759 0.700	A5	2 3	Эксперимент_1

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символьной форме
Баланс допусков					
1	A4	100.000	0.000 -0.120	0.340	P2=+A4 0.460=>0.120
2	A5	49.880	0.000 -0.120	0.221	P1=-A5+A4 0.460=>0.120+0.120
3	A3	51.321	0.000 -0.740	0.000	Z2=-A5+A3 0.860=>0.120+0.740
4	A1	52.321	0.300 -0.300	0.000	Z1=-A3+A1 1.340=>0.740+0.600
5	A2	103.040	0.300 -0.300	0.000	Z3=-A1-A4+A2+A3 2.059=>0.600+0.120+0.600+0.740

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
2	3	0.700	2.040	1.340	2.914	
3	4	0.700	1.560	0.860	2.228	
5	5	0.700	2.759	2.059	3.942	
						4.259

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
A1	2	3, 5 (Z1, Z3)
A2	1	5 (Z3)
A3	3	3, 4, 5 (Z1, Z2, Z3)
A4	3	1, 2, 5 (P1, P2, Z3)
A5	2	1, 4 (P1, Z2)

Конец заказа Var2 fig5 эксперим

Рисунок 27 – Результаты для второго варианта

Результаты расчета на рисунке 27 показывают, что для первой РЦ $P_2 = A_4$ программа присвоила технологическому размеру A4 допуск не конструкторского размера $\delta P_2 = 0,46$ мм, а заданный пользователем намеренно более узкий квазипроизводственный технологический

допуск $\delta_T=0,12$ мм, в отличие от автоматически выбранного в первом варианте значения допуска по методу обработки «черновое точение».

```

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A4
с о с т а в   ц е п и :
увелич. звено A4 :                max= 0.000   min= 0.000
замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000  min= 99.540
результаты расчёта звена A4 :     max= 100.000  min= 99.540
следовательно, расч. допуск=      0.460
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000
технологич. допуск, заданный пользователем= 0.120
верх. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена A4 с учётом технолог. допуска:
номинал= 100.000                    max= 100.000  min= 99.880
    
```

При выполнении технологического размера A_4 с таким допуском, допуск конструкторского размера P_2 получится намного меньше требуемого, т.е. обработка будет вестись с излишней точностью, не нужной конструктору, создавая «запас точности», фиксируемый в *таблице 4*:

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символической форме	Баланс допусков
1	A4	100.000	0.000 -0.120	0.340	$P_2 = +A_4$	0.460 > 0.120

Напомним, запас точности – это разница между требуемым допуском и получаемым в ходе расчета допуском конструкторского размера (рисунок 28).

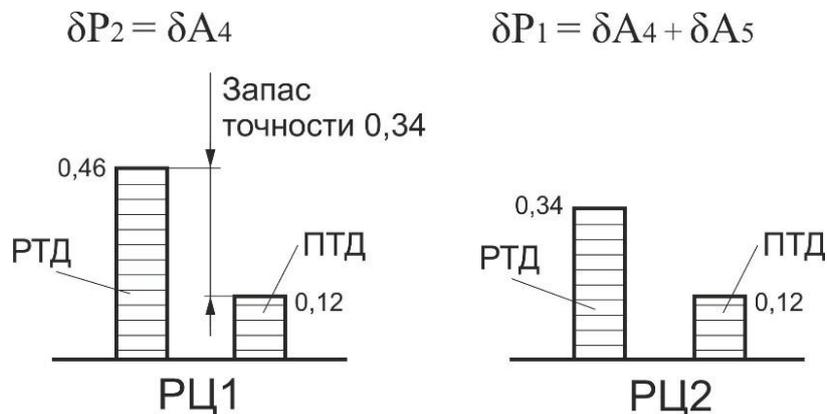


Рисунок 28 – Балансы точности для технологических размеров двух РЦ второго варианта

Для второй РЦ $P_1 = A_4 + A_5$ расчетный допуск метода получения технологического размера 0,34 мм также заменяется пользовательским допуском 0,12 мм. В результате баланс точности, рассчитываемый по формуле

$$\delta P_1 = \delta A_4 + \delta A_5$$

выглядит следующим образом

$$0,46 \geq 0,12 + 0,12 .$$

Это означает, что точность конструкторского размера P_1 , как и в первой цепи, обеспечивается –

```

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A5
с о с т а в   ц е п и   :
уменьш. звено A5   :                               max=  0.000   min=  0.000
увелич. звено A4   :                               max= 100.000  min=  99.880
замык. звено - констр. размер P1 :                 max=  50.460  min=  50.000
результаты расчёта звена A5   :                 max=  49.880  min=  49.540
следовательно, расч. допуск=      0.340
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340  нижн. откл.= 0.000
технологич. допуск, заданный пользователем= 0.120
верх. откл.= 0.120  нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 49.880                               max=  49.880  min=  49.761
    
```

Однако здесь образуется запас точности 0.221 мм, показанный на рисунке 5555, справа и в *таблице 4* –

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее	Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символической форме
1	A4	100.000	0.000	-0.120	0.340	$P_2 = +A_4$ $0.460 \geq 0.120$
2	A5	49.880	0.000	-0.120	0.221	$P_1 = -A_5 + A_4$ $0.460 \geq 0.120 + 0.120$

Выводы по двум рассмотренным выше вариантам ТП. При довольно широком допуске 0,45 мм на конструкторские размеры нашего примера, принятая размерная структура варианта ТП не сможет обеспечить их заданную точность, если не прибегать к «экспериментальному», чисто дидактическому, повышению точности обработки. Проблема заключается в отступлении от принципа «единства баз» в схеме обработки, а именно: если один размер P_2 в двухзвенной цепи получается непосредственно, то размер P_1 определяется из трехзвенной цепи.

Попытаемся избавиться от погрешности базирования, изменив технологическую базу в варианте 1 (см. рисунок 6) при выполнении размера A_5 .

6 Третий вариант ТП «валика» без погрешности базирования

Размерная схема этого варианта показана на рисунке 29. В отличие от первого и второго вариантов здесь изменена технологическая база размера A_5 .

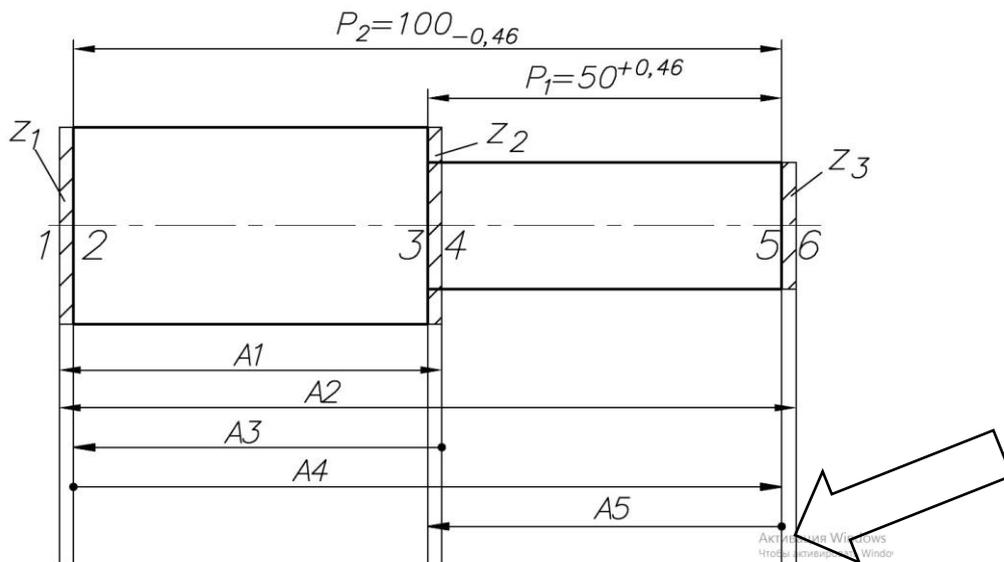


Рисунок 29 – Размерная схема третьего варианта

Нетрудно, видеть, что теперь оба конструкторских размера будут получаться непосредственно, т.е. при соблюдении принципа единства баз. Обе РЦ являются двухзвенными, т.е. точность выполнения технологического размера определяет конечную точность конструкторского размера:

$$P_1 = A_4 \text{ и } P_2 = A_5 .$$

Выполним расчет по этому варианту, не прибегая к искусственному завышению точности оборудования узкими допусками метода «эксперимент» (как во втором примере). Результаты показаны на рисунке 30.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей													
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя Var3 fig19													
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал..... сталь													
Способ получения..... Литьё в земляные формы													
Класс (степень) точности.. 1													
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000													
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А						Поп- Отклонения			
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч- допуска DT			
				пользователя									
Зве- Границы	Предел. значения	Зве- Границы	Метод обработки	Сист- раз-									
но P: л-п	-----	но <----->	База-->	допу- мер,									
Z: н-с	max min			ска мм	Верх.	Нижнее							
-10/26/2023-1:55:33 AM-													
P1	3 5	50.460 50.000	A1 1 4	Литьё в земляные формы	вал 30	0.000 0.000							
P2	2 5	100.000 99.540	A2 1 6	Литьё в земляные формы	вал 30	0.000 0.000							
Z1	2 1	0.000 0.000	A3 4 2	Точение от необр.пов.	вал 30	0.000 0.000							
Z2	3 4	0.000 0.000	A4 2 5	Точение черновое	оть 20	0.000 0.000							
Z3	5 6	0.000 0.000	A5 5 3	Точение черновое	вал 30	0.000 0.000							
Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения													
Номер		Неизв.		Уравнения в символьной форме									
решения		звено											

1		A5		P1=+A5
2		A4		P2=+A4
3		A3		Z2=-A4+A3+A5
4		A1		Z1=-A3+A1
5		A2		Z3=-A1-A4+A2+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A5
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.460 min= 50.000
 результаты расчёта звена A5 : max= 50.460 min= 50.000
 следовательно, расч. допуск= 0.460
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 50.460 max= 50.460 min= 50.060

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A4
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.540
 результаты расчёта звена A4 : max= 100.000 min= 99.540
 следовательно, расч. допуск= 0.460
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A4 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 99.540 max= 100.000 min= 99.540

Решается разм. цепь 3 типа Z2 с неизв. звеном A3
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A4 : max= 100.000 min= 99.540
 увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
 увелич. звено A5 : max= 50.460 min= 50.060
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена A3 :
 номинал= 51.329 max= 51.329 min= 50.589
 припуск по звену A1 Z2 :
 допуск= 1.599 max= 2.249 min= 0.650

===== звено A для расчета припуска - из другой PC !!! =====

Решается разм. цепь 4 типа Z1 с неизв. звеном A1
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A3 : max= 51.329 min= 50.589
 увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.=-0.300
 расчётный размер звена A1 :
 номинал= 52.279 max= 52.579 min= 51.979
 припуск по звену A1 Z1 :
 допуск= 1.340 max= 1.990 min= 0.650

Решается разм. цепь 5 типа Z3 с неизв. звеном A2
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено A1 : max= 52.579 min= 51.979
 уменьш. звено A4 : max= 100.000 min= 99.540
 увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
 увелич. звено A3 : max= 51.329 min= 50.589
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.=-0.300
 расчётный размер звена A2 :
 номинал= 102.940 max= 103.239 min= 102.640
 припуск по звену A2 Z3 :
 допуск= 2.399 max= 3.049 min= 0.650

Таблица 3 - Результаты расчета технологических PC по программе KON7плюс

Замыкающие звенья				Составляющие звенья						
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки						
-----kop7плюс-122-120 D1 zz GRA HA-----										
Ин- декс	Гра- ницы	Предел.значения		Ин- декс	Гра- ницы	Метод обработки		Отклонения		
звена	звена	max	min	звена	звена			Номинал	Верхнее	Нижнее
-----10/26/2023-1:55:33 AM-----										
P1	3 5	50.460	50.000	A1	1 4	Литьё в земляные формы		52.279	0.300	-0.300
P2	2 5	100.000	99.540	A2	1 6	Литьё в земляные формы		102.940	0.300	-0.300

Z1		2		1.990		0.650		A3		4		2		Точение от необр.пов.		51.329		0.000		-0.740
Z2		3		2.249		0.650		A4		2		5		Точение черновое		99.540		0.460		0.000
Z3		5		3.049		0.650		A5		5		3		Точение черновое		50.460		0.000		-0.400

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символьной форме Баланс допусков
1	A5	50.460	0.000	0.061	P1=-A5 0.460=>0.400
2	A4	99.540	0.460	0.000	P2=+A4 0.460=>0.460
3	A3	51.329	0.000	0.000	Z2=-A4+A3+A5 1.599=>0.460+0.740+0.400
4	A1	52.279	0.300	0.000	Z1=-A3+A1 1.340=>0.740+0.600
5	A2	102.940	0.300	0.000	Z3=-A1-A4+A2+A3 2.399=>0.600+0.460+0.600+0.740

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
2	3	0.650	1.990	1.340	3.062	
3	4	0.650	2.249	1.599	3.460	
5	5	0.650	3.049	2.399	4.692	
						5.338

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
A1	2	3,5 (Z1,Z3)
A2	1	5 (Z3)
A3	3	3,4,5 (Z1,Z2,Z3)
A4	3	2,4,5 (P2,Z2,Z3)
A5	2	1,4 (P1,Z2)

Конец заказа Var3 fig19

Рисунок 30 – Результаты расчета третьего варианта

Как видим из рисунка 30, этот вариант можно считать наиболее удачным по размерной структуре и итогам расчета технологических размеров – расчет завершается *таблицами 3 и 4*. Из них следует, что запас точности в РЦ типа «Р» отсутствует или относительно мал.

Выводы по трем рассмотренным вариантам. Общее, что характерно для этих вариантов – в них мы намеренно изначально задали конструкторские размеры с широким допуском 0,34 мм, чтобы показать общие принципы анализа вариантов размерной структуры ТП. Следует ожидать, что при меньшем допуске конструкторских размеров, использованных выше технологических решений, будет недостаточно.

7 Четвертый вариант с допуском 0,1 мм на конструкторские размеры

Теперь нам предстоит познакомиться с проблемами расчета для вариантов обработки с более высокой точностью конструкторских

размеров. Допустим, на все конструкторские размеры назначен допуск $-0,1$ мм.

На рисунке 31 показана знакомая нам размерная схема первого варианта (см. рисунок б) деталь, но с «узкими» допусками размеров Р.

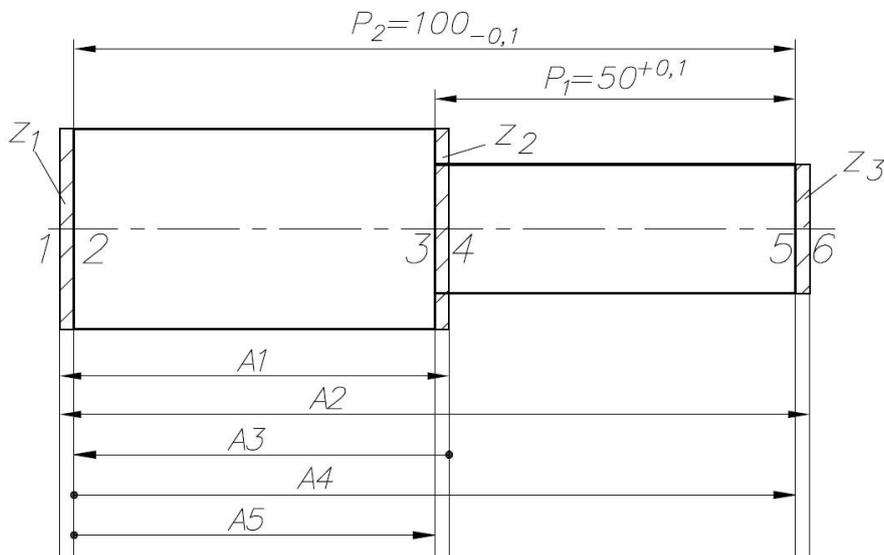


Рисунок 31 – Размерная схема четвертого варианта ГП для выполнения конструкторских размеров с допуском $0,1$ мм

Результаты расчета этого варианта на рисунке 32 огорчают – не решается даже первая двухзвенная размерная цепь. Технолог не может назначить для чернового этапа обработки «чистовое точение», тем самым предопределив выбор программой из нормативной БД «жесткого» допуска на технологический размер – такой допуск не реально обеспечить однократной обработкой грубой заготовки.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей
 Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)
 Текст пользователя Var4 fig21
 Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)
 Сведения о заготовке:
 Материал..... сталь
 Способ получения..... Литьё в земляные формы
 Класс (степень) точности.. 1
 Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000

Замыкающие звенья		Составляющие звенья: размеры А				Поп-	Отклонения
Р-черт.размер. Z-припуск		заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->				реч-	допуска DT
						ный	пользователя
Зве- но	Границы л-п	Предел. значения	Зве- но	Границы но <---->	Метод обработки	Сист раз-	допу мер,
Z: н-с	max	min	База-->			ска	мм Верх. Нижнее
-----10/26/2023-2:07:42 AM-----							
P1	3 5	50.100	50.000	A1 1 4	Литьё в земляные формы	вал	30 0.000 0.000
P2	2 5	100.000	99.900	A2 1 6	Литьё в земляные формы	вал	30 0.000 0.000
Z1	2 1	0.000	0.000	A3 4 2	Точение от необр.пов.	вал	30 0.000 0.000
Z2	3 4	0.000	0.000	A4 2 5	Точение черновое	отв	20 0.000 0.000
Z3	5 6	0.000	0.000	A5 1 2	Точение черновое	вал	30 0.000 0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символической форме
1	A4	P2=+A4
2	A5	P1=-A5+A4

3		A3		Z2=-A5+A3
4		A1		Z1=-A3+A1
5		A2		Z3=-A1-A4+A2+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **				
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014				
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A4				
с о с т а в ц е п и :				
		увелич. звено A4	:	max= 0.000 min= 0.000
		замык. звено - констр. размер P2	:	max= 100.000 min= 99.900
		результаты расчёта звена A4	:	max= 100.000 min= 99.900
		следовательно, расч. допуск=		0.100
		технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый		системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000
Расчётный допуск DR звена A4 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.				
Требуемая точность замыкающего звена HE обеспечивается.				
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.				
Номер последней анализируемой цепи= 1. Справка: DT= 0.460, DR= 0.100.				
Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,				
при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено A4				
вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.				

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **				
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014				
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A4				
с о с т а в ц е п и :				
		увелич. звено A4	:	max= 0.000 min= 0.000
		замык. звено - констр. размер P2	:	max= 100.000 min= 99.900
		результаты расчёта звена A4	:	max= 100.000 min= 99.900
		следовательно, расч. допуск=		0.100
		технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый		системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000
Расчётный допуск DR звена A4 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.				
Требуемая точность замыкающего звена HE обеспечивается.				
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.				
Номер последней анализируемой цепи= 1. Справка: DT= 0.460, DR= 0.100.				

Для обеспечения точности конструкторского размера P2 необходимо выполнить технологический размер A4 с расчетным допуском DR=0.100, который отрицательный или жестче (более, чем в 2 раза) технологического допуска DT=0.460 выбранного метода обработки.				
Требуемая точность замыкающего звена HE обеспечивается!				
Расчет оставшихся технологических размеров продолжать не целесообразно.				
Рекомендации.				
1. Технологический размер A4 должен выполняться с более высокой точностью, т.е. с более жестким допуском.				
Например, вместо "чернового точения" следует выбрать "чистовое точение" или задать непосредственно числовое значение технологического допуска в поле "пользовательский".				
Следует помнить, что на начальных операциях механообработки необоснованный выбор узкого допуска недопустим!				
2. Следует повысить точность других технологических размеров, образующих данную цепь.				
3. Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из поверхностей с указанием на размерной схеме нового припуска.				
4. Радикальное изменение размерной структуры технологического процесса - выбор более рациональной схемы базирования, обеспечивающей соблюдение принципа единства баз в большинстве уравнений размерных цепей.				

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи				

Звено		Число		Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
		вхожд		

A1		2		3,5 (Z1,Z3)
A2		1		5 (Z3)
A3		3		3,4,5 (Z1,Z2,Z3)
A4		3		1,2,5 (P1,P2,Z3)
A5		2		1,4 (P1,Z2)

Конец заказа Var4 fig21				

Рисунок 32 – Результаты по четвертому варианту при допуске конструкторских размеров 0.1 мм

В этом четвертом варианте слишком велика разница между требуемой точностью конструкторских размеров и точностью черновой обработки. На опыте предыдущих вариантов можно заранее ожидать, что

изменение схемы базирования не приведет к желаемому балансу точности конструкторских размеров данного варианта ТП. Следует искать новое решение проблемы.

В конце распечатки (см. рисунок 32) система предлагает пути выхода из данной ситуации. Воспользуемся рекомендацией номер 3:

Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из поверхностей с указанием на размерной схеме нового припуска.

8 Пятый вариант: дополнительная обработка для выполнения допуска 0,1 мм

Кардинально изменим ТП: введем дополнительную обработку каждой торцевой поверхности (рисунок 33), теперь будет сначала черновой, а затем – чистовой этапы обработки. Соответственно добавятся припуски и новые технологические размеры.

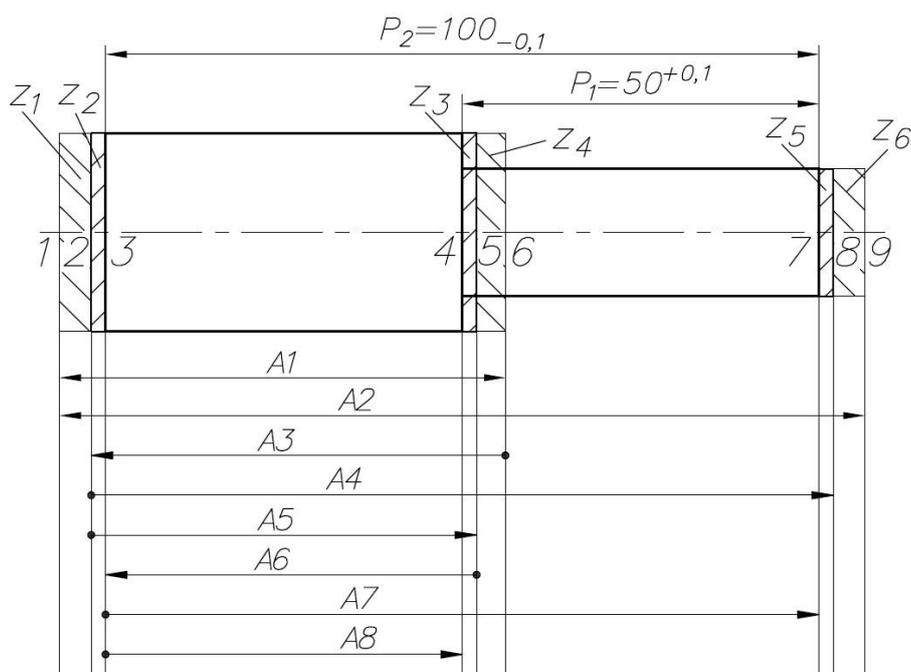


Рисунок 33 – Размерная схема варианта 5 предполагает двукратную обработку каждого торца

Деление обработки на два этапа позволит нам на втором, чистовом этапе обработки, обоснованно назначить более точные методы обработки с «легитимными» (с точки зрения закономерностей уточнения «технологии машиностроения») узкими производственными технологическими допусками. Заметим, что здесь «топология размеров», т.е. последовательность чистовой обработки (см. рисунок 33) остается той

же, что у черновой обработки. При этом на обоих этапах не выполняется принцип единства баз!

Как видно из результатов расчета на рисунке 34, этот вариант в *таблице 3* предлагает технологические размеры с такими допусками, которые условно – система несколько повысила точность обработки – обеспечивают заданную точность конструкторских размеров.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя Var 5 fig 23												
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал..... сталь												
Способ получения..... Литьё в земляные формы												
Класс (степень) точности.. 1												
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000												
Замыкающие звенья			Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск			заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч-		допуска DT	
Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения												
Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме										
1	A8	P2=+A8										
2	A7	P1=-A7+A8										
3	A6	Z3=-A7+A6										
4	A5	Z2=-A6+A5										
5	A3	Z4=-A5+A3										
6	A4	Z5=-A5-A8+A4+A6										
7	A1	Z1=-A3+A1										
8	A2	Z6=-A1-A4+A2+A3										
** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **												
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014												
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A8												
с о с т а в ц е п и :												
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000												
замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.900												
результаты расчёта звена A8 : max= 100.000 min= 99.900												
следовательно, расч. допуск= 0.100												
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.070 : верхн. откл.= 0.070 нижн. откл.= 0.000												
принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:												
номинал= 100.000 max= 100.000 min= 99.930												
Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A7												
с о с т а в ц е п и :												
уменьш. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000												
увелич. звено A8 : max= 100.000 min= 99.930												
замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000												
результаты расчёта звена A7 : max= 49.930 min= 49.900												
следовательно, расч. допуск= 0.030												
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.050 : верхн. откл.= 0.050 нижн. откл.= 0.000												
Расчётный допуск DR звена A7 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.												
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.												
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.												
Номер последней анализируемой цепи= 2. Справка: DT= 0.050, DR= 0.030.												
Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,												

при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено A7
вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. целей **

KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном A8

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.900

результаты расчёта звена A8 : max= 100.000 min= 99.900

следовательно, расч. допуск= 0.100

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.070 : верхн. откл.= 0.070 нижн. откл.= 0.000

принимается расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:

номинал= 100.000 max= 100.000 min= 99.930

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном A7

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000

увелич. звено A8 : max= 100.000 min= 99.930

замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000

результаты расчёта звена A7 : max= 49.930 min= 49.900

следовательно, расч. допуск= 0.030

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.050 : верхн. откл.= 0.050 нижн. откл.= 0.000

Внимание! Система назначает на звено A7 жесткий расчётный допуск.

Практически это означает, что при получении звена точность станка будет

условно повышена с целью анализа оставшихся целей. Справка: DT= 0.050, DR= 0.030

принимается расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:

номинал= 49.930 max= 49.930 min= 49.900

Решается разм. цепь 3 типа Z3 с неизв. звеном A6

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A7 : max= 49.930 min= 49.900

увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.060 : верхн. откл.= 0.060 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена A6 :

номинал= 50.160 max= 50.160 min= 50.100

припуск по звену A5 Z3 : max= 0.261 min= 0.170

допуск= 0.091 max= 0.261 min= 0.170

===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 4 типа Z2 с неизв. звеном A5

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.300

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A6 : max= 50.160 min= 50.100

увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена A5 :

номинал= 50.860 max= 50.860 min= 50.460

припуск по звену A3 Z2 : max= 0.760 min= 0.300

допуск= 0.460 max= 0.760 min= 0.300

===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 5 типа Z4 с неизв. звеном A3

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A5 : max= 50.860 min= 50.460

увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена A3 :

номинал= 52.250 max= 52.250 min= 51.510

припуск по звену A1 Z4 : max= 1.790 min= 0.650

допуск= 1.140 max= 1.790 min= 0.650

===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 6 типа Z5 с неизв. звеном A4

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A5 : max= 50.860 min= 50.460

уменьш. звено A8 : max= 100.000 min= 99.930

увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000

увелич. звено A6 : max= 50.160 min= 50.100

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000

расчётный размер звена A4 :

номинал= 101.390 max= 101.390 min= 100.930

припуск по звену A4 Z5 : max= 1.160 min= 0.170

допуск= 0.990 max= 1.160 min= 0.170

Решается разм. цепь 7 типа Z1 с неизв. звеном A1

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A3 : max= 52.250 min= 51.510

увелич. звено A1 :	max= 0.000	min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.=-0.300		
расчётный размер звена A1 :		
номинал= 53.200	max= 53.500	min= 52.900
припуск по звену A1 Z1 :		
допуск= 1.340	max= 1.990	min= 0.650
Решается разм. цепь 8 типа Z6 с неизв. звеном A2		
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650		
с о с т а в ц е п и :		
уменьш. звено A1 :	max= 53.500	min= 52.900
уменьш. звено A4 :	max= 101.390	min= 100.930
увелич. звено A2 :	max= 0.000	min= 0.000
увелич. звено A3 :	max= 52.250	min= 51.510
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.=-0.300		
расчётный размер звена A2 :		
номинал= 104.330	max= 104.630	min= 104.030
припуск по звену A2 Z6 :		
допуск= 2.400	max= 3.050	min= 0.650

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья				Составляющие звенья			
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки			
-----kop7плюс-122-120 D1 zz GRA HA-----							
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения
		max min					Верхнее Нижнее
-----10/26/2023-2:25:19 AM-----							
P1	4 7	50.100 50.000	A1	1 6	Литьё в земляные формы	53.200	0.300 -0.300
P2	3 7	100.000 99.900	A2	1 9	Литьё в земляные формы	104.330	0.300 -0.300
Z1	2 1	1.990 0.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.250	0.000 -0.740
Z2	3 2	0.760 0.300	A4	2 8	Точение черновое	101.390	0.000 -0.460
Z3	4 5	0.261 0.170	A5	2 5	Точение черновое	50.860	0.000 -0.400
Z4	5 6	1.790 0.650	A6	5 3	Точение тонкое	50.160	0.000 -0.060
Z5	7 8	1.160 0.170	A7	3 4	Точение тонкое	49.930	0.000 -0.030
Z6	8 9	3.050 0.650	A8	3 7	Точение тонкое	100.000	0.000 -0.070

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв. звено	Номинал	Верхнее	Запас	Уравнения в символьной форме
			Нижнее	точн.	Баланс допусков
1	A8	100.000	0.000	0.030	P2=+A8
			-0.070		0.100=>0.070
2	A7	49.930	0.000	0.000	P1=-A7+A8
			-0.030		0.100=>0.030+0.070
3	A6	50.160	0.000	0.000	Z3=-A7+A6
			-0.060		0.091=>0.030+0.060
4	A5	50.860	0.000	0.000	Z2=-A6+A5
			-0.400		0.460=>0.060+0.400
5	A3	52.250	0.000	0.000	Z4=-A5+A3
			-0.740		1.140=>0.400+0.740
6	A4	101.390	0.000	0.000	Z5=-A5-A8+A4+A6
			-0.460		0.990=>0.400+0.070+0.460+0.060
7	A1	53.200	0.300	0.000	Z1=-A3+A1
			-0.300		1.340=>0.740+0.600
8	A2	104.330	0.300	0.000	Z6=-A1-A4+A2+A3
			-0.300		2.400=>0.600+0.460+0.600+0.740

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
3	4	0.300	0.760	0.460	2.533	
4	5	0.170	0.261	0.091	1.532	
7	7	0.170	1.160	0.990	6.821	
						1.540

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)

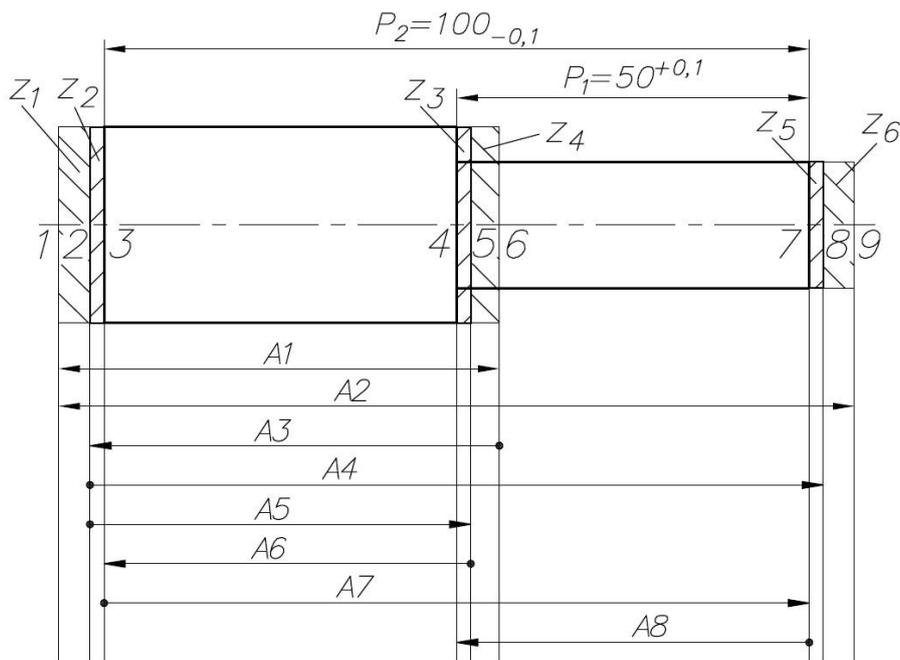


Рисунок 35 – Размерная схема варианта б размерной структуры ТП с соблюдением принципа единства баз

В этом случае соблюдается принцип единства баз для обоих конструкторских размеров P_1 и P_2 и формируются двухзвенные цепи.

Анализируя результаты расчета на рисунке 3б, видим, что проблем предыдущего варианта здесь не возникает – расчет без повтора, как было в предыдущем варианте, доходит до конца.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя Var 6 fig 23 --												
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал..... сталь												
Способ получения..... Литьё в земляные формы												
Класс (степень) точности.. 1												
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000												
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения		
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->				реч-		допуска DT		
								ный		пользователя		
Зве-	Границы	Предел.значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-			
но	Р: л-п	-----		но	<----->			допу	мер,	-----		
	З: н-с	max	min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее	
--10/26/2023-2:34:12 AM--												
P1	4	7	50.100	50.000	A1	1	6	Литьё в земляные формы	вал	30	0.000	0.000
P2	3	7	100.000	99.900	A2	1	9	Литьё в земляные формы	вал	30	0.000	0.000
Z1	2	1	0.000	0.000	A3	6	2	Точение от необр.пов.	вал	30	0.000	0.000
Z2	3	2	0.000	0.000	A4	2	8	Точение черновое	вал	20	0.000	0.000
Z3	4	5	0.000	0.000	A5	2	5	Точение черновое	вал	30	0.000	0.000
Z4	5	6	0.000	0.000	A6	5	3	Точение тонкое	вал	30	0.000	0.000
Z5	7	8	0.000	0.000	A7	3	7	Точение тонкое	вал	20	0.000	0.000
Z6	8	9	0.000	0.000	A8	7	4	Точение тонкое	вал	20	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения		
Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме
решения	звено	
1	A8	P1=+A8

2		A7		P2=+A7
3		A6		Z3=-A7+A6+A8
4		A5		Z2=-A6+A5
5		A3		Z4=-A5+A3
6		A4		Z5=-A5-A7+A4+A6
7		A1		Z1=-A3+A1
8		A2		Z6=-A1-A4+A2+A3

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **

KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A8

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000
результаты расчёта звена A8 : max= 50.100 min= 50.000
следовательно, расч. допуск= 0.100
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.060 : верхн. откл.= 0.060 нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.100 max= 50.100 min= 50.041

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A7

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.900
результаты расчёта звена A7 : max= 100.000 min= 99.900
следовательно, расч. допуск= 0.100
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.070 : верхн. откл.= 0.070 нижн. откл.= 0.000
принимая расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 100.000 max= 100.000 min= 99.930

Решается разм. цепь 3 типа Z3 с неизв. звеном A6

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A7 : max= 100.000 min= 99.930
увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A8 : max= 50.100 min= 50.041
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.060 : верхн. откл.= 0.060 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A6 :
номинал= 50.190 max= 50.190 min= 50.130
припуск по звену A5 Z3 :
допуск= 0.189 max= 0.359 min= 0.170

===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 4 типа Z2 с неизв. звеном A5

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.300

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A6 : max= 50.190 min= 50.130
увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A5 :
номинал= 50.889 max= 50.889 min= 50.490
припуск по звену A3 Z2 :
допуск= 0.460 max= 0.760 min= 0.300

===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 5 типа Z4 с неизв. звеном A3

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A5 : max= 50.889 min= 50.490
увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A3 :
номинал= 52.279 max= 52.279 min= 51.539
припуск по звену A1 Z4 :
допуск= 1.140 max= 1.790 min= 0.650

===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 6 типа Z5 с неизв. звеном A4

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A5 : max= 50.889 min= 50.490
уменьш. звено A7 : max= 100.000 min= 99.930
увелич. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A6 : max= 50.190 min= 50.130
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A4 :
номинал= 101.390 max= 101.390 min= 100.930
припуск по звену A4 Z5 :
допуск= 0.989 max= 1.159 min= 0.170

Решается разм. цепь 7 типа Z1 с неизв. звеном A1

припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A3 : max= 52.279 min= 51.539
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.=-0.300
расчётный размер звена A1 :
номинал= 53.229 max= 53.529 min= 52.929
припуск по звену A1 Z1 :
допуск= 1.340 max= 1.990 min= 0.650
Решается разм. цепь 8 типа Z6 с неизв. звеном A2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.650
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A1 : max= 53.529 min= 52.929
уменьш. звено A4 : max= 101.390 min= 100.930
увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A3 : max= 52.279 min= 51.539
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.=-0.300
расчётный размер звена A2 :
номинал= 104.330 max= 104.630 min= 104.030
припуск по звену A2 Z6 :
допуск= 2.400 max= 3.050 min= 0.650

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				-----kop7плюс-122-120 D1 zz GRA HA-----		
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения		Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		
		max	min					Верхнее	Нижнее	
-----10/26/2023-2:34:12 AM-----										
P1	4 7	50.100	50.000	A1	1 6	Литьё в земляные формы	53.229	0.300	-0.300	
P2	3 7	100.000	99.900	A2	1 9	Литьё в земляные формы	104.330	0.300	-0.300	
Z1	2 1	1.990	0.650	A3	6 2	Точение от необр.пов.	52.279	0.000	-0.740	
Z2	3 2	0.760	0.300	A4	2 8	Точение черновое	101.390	0.000	-0.460	
Z3	4 5	0.359	0.170	A5	2 5	Точение черновое	50.889	0.000	-0.400	
Z4	5 6	1.790	0.650	A6	5 3	Точение тонкое	50.190	0.000	-0.060	
Z5	7 8	1.159	0.170	A7	3 7	Точение тонкое	100.000	0.000	-0.070	
Z6	8 9	3.050	0.650	A8	7 4	Точение тонкое	50.100	0.000	-0.059	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв. звено	Номинал	Верхнее	Запас	Уравнения в символьной форме
			Нижнее	точн.	Баланс допусков
1	A8	50.100	0.000	0.041	P1=+A8
			-0.059		0.100=>0.059
2	A7	100.000	0.000	0.030	P2=+A7
			-0.070		0.100=>0.070
3	A6	50.190	0.000	0.000	Z3=-A7+A6+A8
			-0.060		0.189=>0.070+0.060+0.059
4	A5	50.889	0.000	0.000	Z2=-A6+A5
			-0.400		0.460=>0.060+0.400
5	A3	52.279	0.000	0.000	Z4=-A5+A3
			-0.740		1.140=>0.400+0.740
6	A4	101.390	0.000	0.000	Z5=-A5-A7+A4+A6
			-0.460		0.989=>0.400+0.070+0.460+0.060
7	A1	53.229	0.300	0.000	Z1=-A3+A1
			-0.300		1.340=>0.740+0.600
8	A2	104.330	0.300	0.000	Z6=-A1-A4+A2+A3
			-0.300		2.400=>0.600+0.460+0.600+0.740

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
3	4	0.300	0.760	0.460	2.533	
4	5	0.170	0.359	0.189	2.112	
7	7	0.170	1.159	0.989	6.821	
						1.638

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
-------	-------	------------------------

вхожд			
A1		2	3,8 (Z1, Z6)
A2		1	8 (Z6)
A3		3	3,6,8 (Z1, Z4, Z6)
A4		2	7,8 (Z5, Z6)
A5		3	4,6,7 (Z2, Z4, Z5)
A6		3	4,5,7 (Z2, Z3, Z5)
A7		3	2,5,7 (P2, Z3, Z5)
A8		2	1,5 (P1, Z3)

Конец заказа Var 6 fig 23 --

Рисунок 36 – Результаты расчета по шестому варианту

Из *таблицы 4* на рисунке 36 следует, что в этом варианте имеем более «узкие» РТД для А₇ и А₈. Это означает, что размеры Р₁ и Р₂ при двукратной обработке теоретически будут получаться с несколько более высокой точностью, не требуемой конструктору.

Выводы по результатам расчёта шести вариантов. Разбиение ТП на два этапа путем деления припуска на черновой и чистовой позволяет технологу на последнем этапе использовать имеющиеся возможности станка по точности обработки и выбирать чистовые методы обработки в исходных данных для расчета по программе «KON7 плюс», что гарантирует точность конструкторских размеров.

10 Седьмой вариант: метод получения заготовки – круглый прокат

До сих пор мы рассматривали заготовку типа «отливка». Ее форма повторяла форму детали. Как применить рассмотренную выше методику для случая, когда заготовка – «пруток» и при обработке снимается напуск?

На рисунке 37 дана размерная схема ТП обработки двухступенчатого валика из прутка. Здесь мы имеем единственный размер заготовки, и обработка начинается с удаления напуска выполнением размера А₂. Значение допуска этого размера определяется предварительной черновой обработкой перед снятием окончательного припуска Z₂. Остальные поверхности торцов обрабатываются сначала предварительно черновым точением, а затем чистовым однократно. От чистовой базы выполняется отрезка в конце обработки.

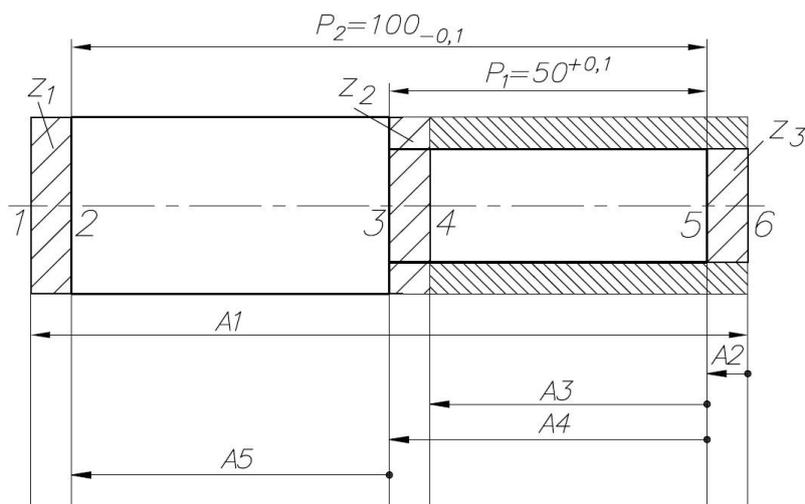


Рисунок 37 – Размерная схема 7 варианта ТП для заготовки «пруток»
 Результаты расчета на рисунке 38 указывают на неразрешимые проблемы данного варианта.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей
 Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)
 Текст пользователя Var7 fig25

Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)
 Сведения о заготовке:
 Материал..... сталь
 Способ получения..... Прокат горяч.обыч.точн.
 Резка..... отрезными резцами
 Класс (степень) точности.. ---
 Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000

Звенья	Границы	Предел. значения	Звенья	Границы	Метод обработки	Сист. допуск	Размер	Отклонения
но	Р: л-п	max	но	База-->		ска	мм	Верх. Нижнее
P1	3 5	50.100 50.000	A1	1 6	Прокат горяч.обыч.точн.	вал	30	0.000 0.000
P2	2 5	100.000 99.900	A2	6 5	Точение черновое	вал	20	0.000 0.000
Z1	1 2	0.000 0.000	A3	5 4	Точение черновое	отв	20	0.000 0.000
Z2	3 4	0.000 0.000	A4	5 3	Точение чистовое	вал	20	0.000 0.000
Z3	5 6	0.000 0.000	A5	3 2	Точение черновое	вал	20	0.000 0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символической форме
1	A4	P1=+A4
2	A2	Z3=+A2
3	A5	P2=+A4+A5
4	A3	Z2=-A3+A4
5	A1	Z1=-A2-A4-A5+A1

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014
 Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А4
 состав цепи:
 увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000
 результаты расчёта звена А4 : max= 50.100 min= 50.000
 следовательно, расч. допуск= **0.100**
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
 Расчётный допуск DR звена А4 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.
 Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.
 Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.

Номер последней анализируемой цепи= 1. Справка: DT= 0.120, DR= 0.100.
 Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,
 при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено А4
 вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.

 ** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном А4
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000
 результаты расчёта звена А4 : max= 50.100 min= 50.000
 следовательно, расч. допуск= 0.100
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000

Внимание! Система назначает на звено А4 жесткий расчётный допуск.
 Практически это означает, что при получении звена точность станка будет
 условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.120, DR= 0.100

принимается расчётный размер звена А4 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 50.100 max= 50.100 min= 50.000

Решается разм. цепь 2 типа Z3 с неизв. звеном А2
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.550
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена А2 :
 номинал= 1.830 max= 1.830 min= 1.550
 припуск по звену А1 Z3 :
 допуск= 0.280 max= 1.830 min= 1.550

===== звено А для расчета припуска - из другой PЦ !!! =====

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном А5
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А4 : max= 50.100 min= 50.000
 увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.900
 результаты расчёта звена А5 : max= 49.900 min= 49.900
 следовательно, расч. допуск= -0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000

Расчётный допуск DR звена А5 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.
 Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.
 Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.

Номер последней анализируемой цепи= 3. Справка: DT= 0.340, DR=-0.000.

 Для обеспечения точности конструкторского размера P2 необходимо выполнить
 технологический размер А5 с расчетным допуском DR=-0.000, который отрицательный
 или жестче (более, чем в 2 раза) технологического допуска DT=0.340 выбранного метода обработки.
 Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается!

Расчет оставшихся технологических размеров продолжать не целесообразно.

Рекомендации.
 1. Технологический размер А5 должен выполняться с более высокой точностью, т.е. с более жестким допуском. Например, вместо "чернового точения" следует выбрать "чистовое точение" или задать непосредственно числовое значение технологического допуска в поле "пользовательский".

Следует помнить, что на начальных операциях механообработки необоснованный выбор узкого допуска недопустим!

2. Следует повысить точность других технологических размеров, образующих данную цепь.

3. Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из поверхностей с указанием на размерной схеме нового припуска.

4. Радикальное изменение размерной структуры технологического процесса - выбор более рациональной схемы базирования, обеспечивающей соблюдение принципа единства баз в большинстве уравнений размерных цепей.

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

 Звено|Число| Номер PЦ (Зам. зв. PЦ)
 |вхожд|

A1	1	3 (Z1)
A2	2	3,5 (Z1,Z3)
A3	1	4 (Z2)
A4	4	1,2,3,4 (P1,P2,Z1,Z2)
A5	2	2,3 (P2,Z1)

 Конец заказа Var7 fig25

Рисунок 38 – Результаты варианта 7 для заготовки типа «пруток»

В данном варианте присутствует погрешность базирования. Попробуем ее устранить в следующем варианте.

11 Восьмой вариант: заготовка – пруток, двукратная обработка справа

Как и прежде, при анализе вариантов 1 – 6, попробуем решить проблему предыдущего варианта путем устранения погрешности базирования: по сравнению с вариантом 7 размер A_5 будем выдерживать от правого торца по размерной схеме на рисунке 39.

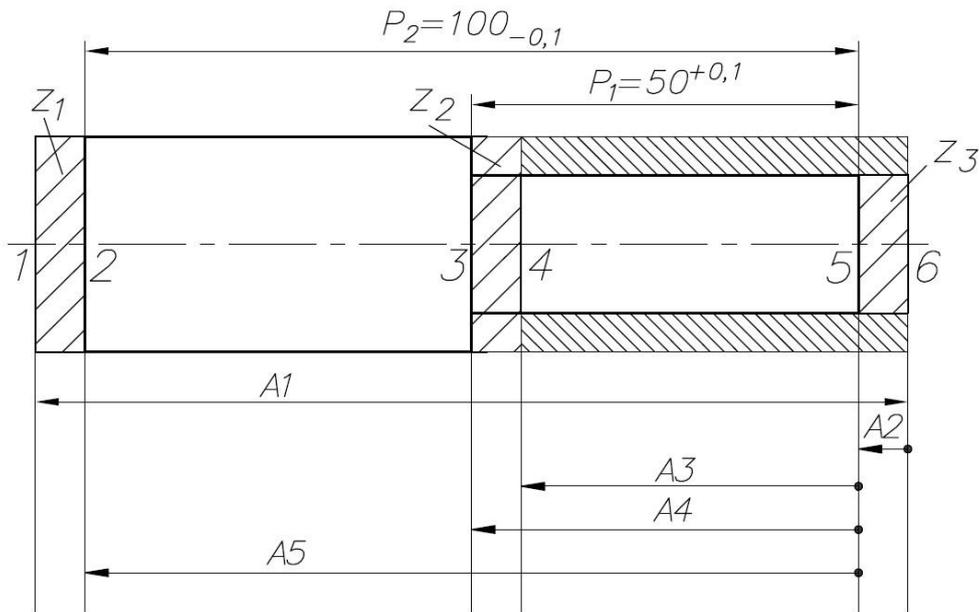


Рисунок 39 – Размерная схема 8 варианта – соблюдаем при базировании принцип единства баз

Результаты расчета – на рисунке 40.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей													
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя Var8 fig27													
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал..... сталь													
Способ получения..... Прокат горяч.обыч.точн.													
Резка..... отрезными резцами													
Класс (степень) точности.. ---													
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000													
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч-		допуска DT	
										ный		пользователя	
Зве-	Границы	Предел. значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-				
но P:	л-п	-----		но <----->				допу	мер,	-----			
Z:	н-с	max	min	База-->				ска	мм	Верх.	Нижнее		
-----10/26/2023-3:34:19 PM-----													
P1	3 5	50.100	50.000	A1	1 6	Прокат горяч.обыч.точн.		вал	30	0.000	0.000		
P2	2 5	100.000	99.900	A2	6 5	Точение черновое		вал	20	0.000	0.000		
Z1	1 2	0.000	0.000	A3	5 4	Точение черновое		отв	20	0.000	0.000		
Z2	3 4	0.000	0.000	A4	5 3	Точение чистовое		вал	20	0.000	0.000		
Z3	5 6	0.000	0.000	A5	5 2	Точение черновое		вал	20	0.000	0.000		

Таблица 2 – Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A4	P1=+A4
2	A5	P2=+A5
3	A2	Z3=+A2
4	A1	Z1=-A2-A5+A1
5	A3	Z2=-A3+A4

**** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей ****
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014
Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А4
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000
результаты расчёта звена А4 : max= 50.100 min= 50.000
следовательно, расч. допуск= **0.100**
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
Расчётный допуск DR звена А4 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.
Номер последней анализируемой цепи= 1. Справка: DT= 0.120, DR= 0.100.
Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,
при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено А4
вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.

**** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей ****
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014
Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А4
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000
результаты расчёта звена А4 : max= 50.100 min= 50.000
следовательно, расч. допуск= 0.100
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
Внимание! Система назначает на звено А4 жесткий расчётный допуск.
Практически это означает, что при получении звена точность станка будет
условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.120, DR= 0.100
принимая **расчётный** размер звена А4 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.100 max= 50.100 min= 50.000
Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А5
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.900
результаты расчёта звена А5 : max= 100.000 min= 99.900
следовательно, расч. допуск= 0.100
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.460 : верхн. откл.= 0.460 нижн. откл.= 0.000
Расчётный допуск DR звена А5 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.
Номер последней анализируемой цепи= 2. Справка: DT= 0.460, DR= 0.100.

Для обеспечения точности конструкторского размера P2 необходимо выполнить
технологический размер А5 с расчетным допуском DR=0.100, который отрицательный
или жестче (более, чем в 2 раза) технологического допуска DT=0.460 выбранного метода обра-
ботки.
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается!
Расчет оставшихся технологических размеров продолжать не целесообразно.
Рекомендации.
1. Технологический размер А5 должен выполняться с более высокой точностью, т.е. с более жестким
допуском. Например, вместо "чернового точения" следует выбрать "чистовое точение" или задать
непосредственно числовое значение технологического допуска в поле "пользовательский".
Следует помнить, что на начальных операциях механообработки необоснованный выбор узкого до-
пуска недопустим!
2. Следует повысить точность других технологических размеров, образующих данную цепь.
3. Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из поверхностей с указанием на раз-
мерной схеме нового припуска.
4. Радикальное изменение размерной структуры технологического процесса - выбор более рациональ-
ной схемы базирования, обеспечивающей соблюдение принципа единства баз в большинстве уравнений
размерных цепей.

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
		вход
A1	1	3 (Z1)
A2	2	3,5 (Z1, Z3)
A3	1	4 (Z2)
A4	2	1,4 (P1, Z2)
A5	2	2,3 (P2, Z1)

Конец заказа Var8 fig27

Рисунок 40 – Результаты 8 варианта с устранением погрешности базирования

В данном варианте, как видно из *таблицы 2*, погрешность базирования отсутствует, однако проблема не устранена.

В следующем варианте повысим точность выполнения технологических размеров двукратной обработкой правого торца.

12 Девятый вариант: заготовка прутков, двукратная обработка правого торца

Как и прежде, попробуем решить проблемы предыдущих двух вариантов двойной обработкой правого торца по размерной схеме на рисунке 41. Здесь выставленный до упора пруток последовательно два раза подрезается справа, а затем – от новой настроечной базы 5 – подрезается средний торец.

Результаты даны на рисунке 42.

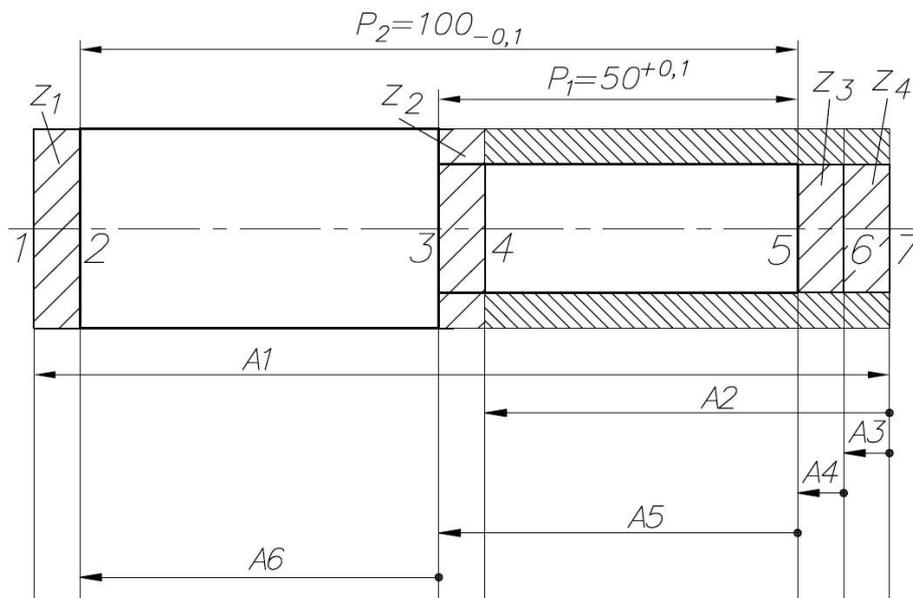


Рисунок 41 – Сначала удаляется напуск, затем – дважды обрабатывается правый торец

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей																	
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)																	
Текст пользователя Var9 fig27 --																	
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)																	
Сведения о заготовке:																	
Материал.....										сталь							
Способ получения.....										Прокат горяч.обыч.точн.							
Резка.....										отрезными резцами							
Класс (степень) точности..										---							
Габаритный размер по направлению технологических размеров...										100.000							

Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения					
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки О-->						реч-		допуска DT					

Зве-	Границы	Предел.значения	Зве-	Границы	Метод обработки				Сист	раз-							
но	Р: л-п	-----	но	<----->					допу	мер,	-----						
	Z: н-с	max	min	База-->					ска	мм	Верх.	Нижнее					

--10/26/2023-2:56:15 PM--																	
P1	3	5	50.100	50.000	A1	1	7	Прокат горяч.обыч.точн.	вал	30	0.000	0.000					
P2	2	5	100.000	99.900	A2	7	4	Точение черновое	вал	20	0.000	0.000					
Z1	1	2	0.000	0.000	A3	7	6	Точение черновое	вал	20	0.000	0.000					
Z2	3	4	0.000	0.000	A4	6	5	Точение чистовое	вал	20	0.000	0.000					
Z3	5	6	0.000	0.000	A5	5	3	Точение чистовое	вал	20	0.000	0.000					
Z4	6	7	0.000	0.000	A6	3	2	Точение черновое	вал	20	0.000	0.000					

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения																	
Номер	Неизв.	Уравнения в символьной форме															
решения	звено	-----															
1	A5	P1=+A5															
2	A4	Z3=+A4															
3	A3	Z4=+A3															
4	A6	P2=+A5+A6															
5	A2	Z2=-A2+A3+A4+A5															
6	A1	Z1=-A3-A4-A5-A6+A1															

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **																	
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014																	
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном А5																	
с о с т а в ц е п и :																	
увелич. звено А5 :										max=		0.000		min=		0.000	
замык. звено - констр. размер P1 :										max=		50.100		min=		50.000	
результаты расчёта звена А5 :										max=		50.100		min=		50.000	
следовательно, расч. допуск= 0.100																	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый																	
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000																	
Расчётный допуск DR звена А5 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.																	
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.																	
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.																	
Номер последней анализируемой цепи= 1. Справка: DT= 0.120, DR= 0.100.																	
Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,																	
при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено А5																	
вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.																	

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **																	
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014																	
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном А5																	
с о с т а в ц е п и :																	
увелич. звено А5 :										max=		0.000		min=		0.000	
замык. звено - констр. размер P1 :										max=		50.100		min=		50.000	
результаты расчёта звена А5 :										max=		50.100		min=		50.000	
следовательно, расч. допуск= 0.100																	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый																	
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000																	
Внимание! Система назначает на звено А5 жесткий расчётный допуск.																	
Практически это означает, что при получении звена точность станка будет																	
условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.120, DR= 0.100																	
принимаем расчётный размер звена А5 с учётом технолог. допуска:																	
номинал= 50.100										max=		50.100		min=		50.000	
Решается разм. цепь 2 типа Z3 с неизв. звеном А4																	
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170																	
с о с т а в ц е п и :																	
увелич. звено А4 :										max=		0.000		min=		0.000	
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый																	
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000																	
расчётный размер звена А4 :																	

номинал=	0.254		max=	0.254	min=	0.170
припуск по звену A3	Z3	:				
допуск=	0.084		max=	0.254	min=	0.170
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====						
Решается разм. цепь 3 типа Z4 с неизв. звеном A3						
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.550						
с о с т а в ц е п и :						
увелич. звено A3	:		max=	0.000	min=	0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый						
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000						
расчётный размер звена A3 :						
номинал=	1.830		max=	1.830	min=	1.550
припуск по звену A1	Z4	:				
допуск=	0.280		max=	1.830	min=	1.550
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====						
Решается разм. цепь 4 типа "P" с неизв. звеном A6						
с о с т а в ц е п и :						
увелич. звено A5	:		max=	50.100	min=	50.000
увелич. звено A6	:		max=	0.000	min=	0.000
замык. звено - констр. размер P2	:		max=	100.000	min=	99.900
результаты расчёта звена A6	:		max=	49.900	min=	49.900
следовательно, расч. допуск= -0.000						
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый						
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000						
Расчётный допуск DR звена A6 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.						
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.						
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.						
Номер последней анализируемой цепи= 4. Справка: DT= 0.340, DR=-0.000.						
Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи						

№	Неизв	Номинал	Верхнее	Запас	Уравнения в символьной форме	
реш	звено		Нижнее	точн.	Баланс допусков	

1	A5	50.100	0.000	0.000	P1=+A5	
			-0.100		0.100=>0.100	

2	A4	0.254	0.000	0.000	Z3=+A4	
			-0.084		0.084=>0.084	

3	A3	1.830	0.000	-0.196	Z4=+A3	
			-0.280		0.084=>0.280	

4	A6			-0.340	P2=+A5+A6	
					0.100=>0.100+[0.340]	

Для обеспечения точности конструкторского размера P2 необходимо выполнить технологический размер A6 с расчетным допуском DR=-0.000, который отрицательный или жестче (более, чем в 2 раза) технологического допуска DT=0.340 выбранного метода обработки.						
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается!						
Расчет оставшихся технологических размеров продолжать не целесообразно.						
Рекомендации.						
1. Технологический размер A6 должен выполняться с более высокой точностью, т.е. с более жестким допуском. Например, вместо "чернового точения" следует выбрать "чистовое точение" или задать непосредственно числовое значение технологического допуска в поле "пользовательский".						
Следует помнить, что на начальных операциях механообработки необоснованный выбор узкого допуска недопустим!						
2. Следует повысить точность других технологических размеров, образующих данную цепь.						
3. Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из поверхностей с указанием на размерной схеме нового припуска.						
4. Радикальное изменение размерной структуры технологического процесса - выбор более рациональной схемы базирования, обеспечивающей соблюдение принципа единства баз в большинстве уравнений размерных цепей.						
Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи						

Звено	Число	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)				
	вхожд					

A1	1	3 (Z1)				
A2	1	4 (Z2)				
A3	3	3,4,6 (Z1,Z2,Z4)				
A4	3	3,4,5 (Z1,Z2,Z3)				
A5	4	1,2,3,4 (P1,P2,Z1,Z2)				
A6	2	2,3 (P2,Z1)				

Конец заказа Var9 fig27 --						

Рисунок 42 – Незавершенный расчет для девятого варианта

В этом варианте первое уравнение решается с пересчетом, а затем расчет прерывается на решении 4-го уравнения, где имеет место погрешность базирования.

Попробуем ее устранить – обеспечить принцип единства баз.

13 Десятый вариант: заготовка – пруток, двукратная обработка правого торца при соблюдении принципа единства баз

На рисунке 43 размерная схема этого варианта, результаты расчета – на рисунке 44.

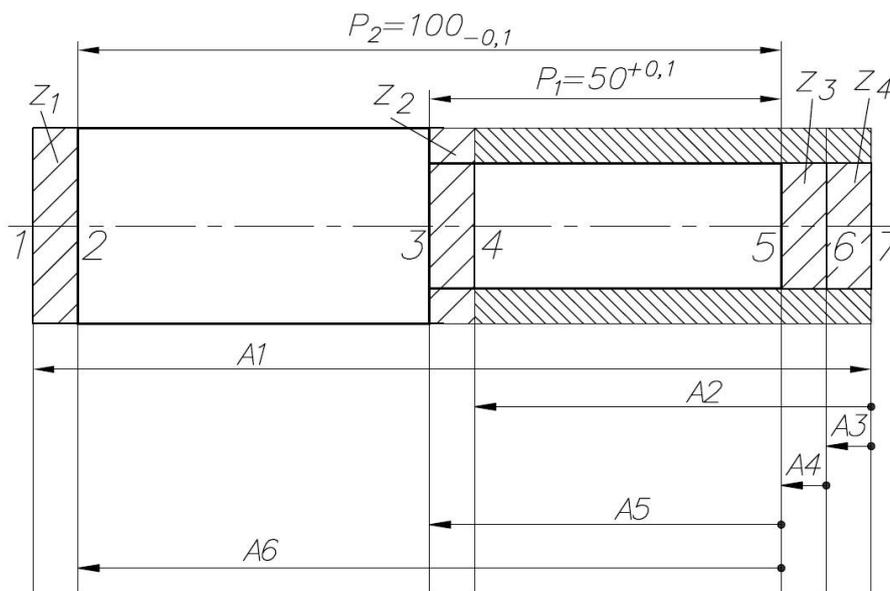


Рисунок 43 – Размерная схема 10-го варианта

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей													
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя Var10 fig28													
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал..... сталь													
Способ получения..... Прокат горяч.обыч.точн.													
Резка..... отрезными резцами													
Класс (степень) точности.. ---													
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 100.000													
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч-		допуска DT	
										ный		пользователя	
Зве-	Границы	Предел.значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-				
но	P: л-п	-----		но	<----->			допу	мер,				
	Z: н-с	max	min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее		
-----10/26/2023-3:30:30 PM-----													
P1	3 5	50.100	50.000	A1	1 7	Прокат горяч.обыч.точн.		вал	30	0.000	0.000		
P2	2 5	100.000	99.900	A2	7 4	Точение черновое		вал	20	0.000	0.000		
Z1	1 2	0.000	0.000	A3	7 6	Точение черновое		вал	20	0.000	0.000		
Z2	3 4	0.000	0.000	A4	6 5	Точение чистовое		вал	20	0.000	0.000		
Z3	5 6	0.000	0.000	A5	5 3	Точение чистовое		вал	20	0.000	0.000		
Z4	6 7	0.000	0.000	A6	5 2	Точение чистовое		вал	20	0.000	0.000		

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A5	P1=+A5
2	A6	P2=+A6
3	A4	Z3=+A4
4	A3	Z4=+A3
5	A1	Z1=-A3-A4-A6+A1
6	A2	Z2=-A2+A3+A4+A5

**** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей ****
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014
Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А5
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000
результаты расчёта звена А5 : max= 50.100 min= 50.000
следовательно, расч. допуск= 0.100
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
Расчётный допуск DR звена А5 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.
Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.
Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.
Номер последней анализируемой цепи= 1. Справка: DT= 0.120, DR= 0.100.
Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,
при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено А5
вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.

**** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей ****
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014
Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А5
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000
результаты расчёта звена А5 : max= 50.100 min= 50.000
следовательно, расч. допуск= 0.100
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
Внимание! Система назначает на звено А5 жесткий расчётный допуск.
Практически это означает, что при получении звена точность станка будет
условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.120, DR= 0.100
принимаем расчётный размер звена А5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 50.100 max= 50.100 min= 50.000

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А6
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.900
результаты расчёта звена А6 : max= 100.000 min= 99.900
следовательно, расч. допуск= 0.100
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.140 : верхн. откл.= 0.140 нижн. откл.= 0.000
Внимание! Система назначает на звено А6 жесткий расчётный допуск.
Практически это означает, что при получении звена точность станка будет
условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.140, DR= 0.100
принимаем расчётный размер звена А6 с учётом технолог. допуска:
номинал= 100.000 max= 100.000 min= 99.900

Решается разм. цепь 3 типа Z3 с неизв. звеном А4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А4 :
номинал= 0.254 max= 0.254 min= 0.170
припуск по звену А3 Z3 :
допуск= 0.084 max= 0.254 min= 0.170
===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 4 типа Z4 с неизв. звеном А3
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.550
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А3 :
номинал= 1.830 max= 1.830 min= 1.550
припуск по звену А1 Z4 :
допуск= 0.280 max= 1.830 min= 1.550

```

===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь 5 типа Z1 с неизв. звеном А1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.550
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А3 : max= 1.830 min= 1.550
уменьш. звено А4 : max= 0.254 min= 0.170
уменьш. звено А6 : max= 100.000 min= 99.900
увелич. звено А1 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.700 : верхн. откл.= 0.350 нижн. откл.=-0.350
расчётный размер звена А1 :
номинал= 103.984 max= 104.334 min= 103.634
припуск по звену А1 Z1 :
допуск= 1.164 max= 2.714 min= 1.550
Решается разм. цепь 6 типа Z2 с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А3 : max= 1.830 min= 1.550
увелич. звено А4 : max= 0.254 min= 0.170
увелич. звено А5 : max= 50.100 min= 50.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена А2 :
номинал= 51.550 max= 51.550 min= 51.150
припуск по звену А2 Z2 :
допуск= 0.864 max= 1.034 min= 0.170

```

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья			Составляющие звенья			методы обработки			Отклонения	
Р - черт.размер, Z - припуск			А - размеры заготовки и механообработки			метод обработки			Отклонения	
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Верхнее	Нижнее		
P1	3 5	50.100 50.000	A1	1 7	Прокат горяч.обыч.точн.	103.984	0.350	-0.350		
P2	2 5	100.000 99.900	A2	7 4	Точение черновое	51.550	0.000	-0.400		
Z1	2 1	2.714 1.550	A3	7 6	Точение черновое	1.830	0.000	-0.280		
Z2	3 4	1.034 0.170	A4	6 5	Точение чистовое	0.254	0.000	-0.084		
Z3	5 6	0.254 0.170	A5	5 3	Точение чистовое	50.100	0.000	-0.100		
Z4	6 7	1.830 1.550	A6	5 2	Точение чистовое	100.000	0.000	-0.100		

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв. звено	Номинал	Верхнее	Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символьной форме	Баланс допусков
1	A5	50.100	0.000	-0.100	0.000	P1=+A5	0.100=>0.100
2	A6	100.000	0.000	-0.100	0.000	P2=+A6	0.100=>0.100
3	A4	0.254	0.000	-0.084	0.000	Z3=+A4	0.084=>0.084
4	A3	1.830	0.000	-0.280	0.000	Z4=+A3	0.280=>0.280
5	A1	103.984	0.350	-0.350	0.000	Z1=-A3-A4-A6+A1	1.164=>0.280+0.084+0.100+0.700
6	A2	51.550	0.000	-0.400	0.000	Z2=-A2+A3+A4+A5	0.864=>0.400+0.280+0.084+0.100

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
2	3	1.550	2.714	1.164	1.751	
3	4	0.170	1.034	0.864	6.082	
5	5	0.170	0.254	0.084	1.494	
						2.112

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
-------	-------	------------------------

вход			
A1		1	3 (Z1)
A2		1	4 (Z2)
A3		3	3,4,6 (Z1,Z2,Z4)
A4		3	3,4,5 (Z1,Z2,Z3)
A5		2	1,4 (P1,Z2)
A6		2	2,3 (P2,Z1)

Конец заказа Var10 fig28

Рисунок 44 – Результаты 10-го варианта ТП

Расчет, наконец, доходит до конца, но с корректировкой точности обработки.

14 Одиннадцатый вариант: заготовка – пруток, двукратная обработка среднего и правого торцов

Размерная схема этого варианта – на рисунке 45.

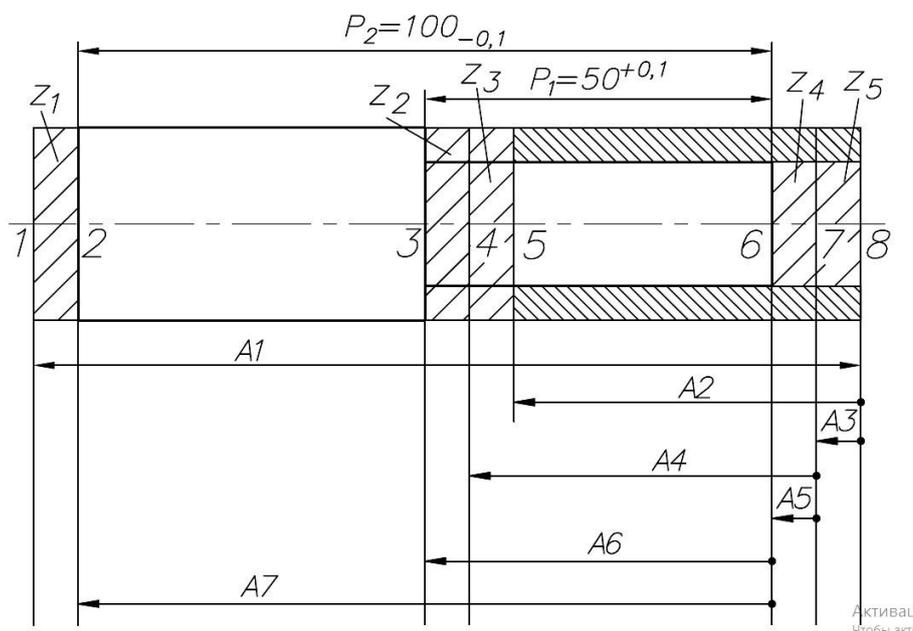


Рисунок 45 – Размерная схема 11-го варианта ТП

В данном варианте соблюдается принцип единства баз, и обработка делится на два этапа: черновой и чистовой.

Результаты расчета на рисунке 46 показывают, что – в отличие от предыдущего варианта – корректировка теперь выполняется только для одной РЦ.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей	
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)	
Текст пользователя Var11 fig29	
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)	
Сведения о заготовке:	
Материал.....	сталь
Способ получения.....	Прокат горяч.обыч.точн.
Резка.....	отрезными резцами
Класс (степень) точности..	---
Габаритный размер по направлению технологических размеров...	100.000

Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-	Отклонения			
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->				реч-	допуска DT			
								ный	пользователя			
Зве-	Границы	Предел. значения	Зве-	Границы	Метод обработки			Сист	раз-			
но	P: л-п	-----	но	<----->				допу	мер,	-----		
	Z: н-с	max	min	База-->				ска	мм	Верх.	Нижнее	
-10/26/2023-3:27:40 PM-												
P1	3	6	50.100	50.000	A1	1	8	Прокат горяч.обыч.точн.	вал	30	0.000	0.000
P2	2	6	100.000	99.900	A2	8	5	Точение черновое	вал	20	0.000	0.000
Z1	1	2	0.000	0.000	A3	8	7	Точение черновое	вал	20	0.000	0.000
Z2	3	4	0.000	0.000	A4	7	4	Точение чистовое	вал	20	0.000	0.000
Z3	4	5	0.000	0.000	A5	7	6	Точение чистовое	вал	20	0.000	0.000
Z4	6	7	0.000	0.000	A6	6	3	Точение тонкое	вал	20	0.000	0.000
Z5	7	8	0.000	0.000	A7	6	2	Точение чистовое	вал	20	0.000	0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A6	P1=+A6
2	A7	P2=+A7
3	A5	Z4=+A5
4	A3	Z5=+A3
5	A1	Z1=-A3-A5-A7+A1
6	A4	Z2=-A4+A5+A6
7	A2	Z3=-A2+A3+A4

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **

KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А6

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000

результаты расчёта звена А6 : max= 50.100 min= 50.000

следовательно, расч. допуск= 0.100

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.060 : верхн. откл.= 0.060 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена А6 с учётом технолог. допуска:

номинал= 50.100 max= 50.100 min= 50.041

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А7

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.900

результаты расчёта звена А7 : max= 100.000 min= 99.900

следовательно, расч. допуск= 0.100

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.140 : верхн. откл.= 0.140 нижн. откл.= 0.000

Расчётный допуск DR звена А7 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.

Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.

Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.

Номер последней анализируемой цепи= 2. Справка: DT= 0.140, DR= 0.100.

Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,

при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено А7

вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **

KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А6

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P1 : max= 50.100 min= 50.000

результаты расчёта звена А6 : max= 50.100 min= 50.000

следовательно, расч. допуск= 0.100

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.060 : верхн. откл.= 0.060 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена А6 с учётом технолог. допуска:

номинал= 50.100 max= 50.100 min= 50.041

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А7

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P2 : max= 100.000 min= 99.900

результаты расчёта звена А7 : max= 100.000 min= 99.900

следовательно, расч. допуск= 0.100

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.140 : верхн. откл.= 0.140 нижн. откл.= 0.000

Внимание! Система назначает на звено А7 жесткий расчётный допуск. Практически это означает, что при получении звена точность станка будет условно повшена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.140, DR= 0.100

принимаем расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 100.000 max= 100.000 min= 99.900

Решается разм. цепь 3 типа Z4 с неизв. звеном А5
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена А5 :
 номинал= 0.254 max= 0.254 min= 0.170
 припуск по звену А3 Z4 :
 допуск= 0.084 max= 0.254 min= 0.170

===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 4 типа Z5 с неизв. звеном А3
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.550
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена А3 :
 номинал= 1.830 max= 1.830 min= 1.550
 припуск по звену А1 Z5 :
 допуск= 0.280 max= 1.830 min= 1.550

===== звено А для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 5 типа Z1 с неизв. звеном А1
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 1.550
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено А3 : max= 1.830 min= 1.550
 уменьш. звено А5 : max= 0.254 min= 0.170
 уменьш. звено А7 : max= 100.000 min= 99.900
 увелич. звено А1 : max= 0.000 min= 0.000
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.700 : верхн. откл.= 0.350 нижн. откл.= -0.350
 расчётный размер звена А1 :
 номинал= 103.984 max= 104.334 min= 103.634
 припуск по звену А1 Z1 :
 допуск= 1.164 max= 2.714 min= 1.550

Решается разм. цепь 6 типа Z2 с неизв. звеном А4
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.100
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено А4 : max= 0.000 min= 0.000
 увелич. звено А5 : max= 0.254 min= 0.170
 увелич. звено А6 : max= 50.100 min= 50.041
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена А4 :
 номинал= 50.111 max= 50.111 min= 49.991
 припуск по звену А4 Z2 :
 допуск= 0.263 max= 0.363 min= 0.100

Решается разм. цепь 7 типа Z3 с неизв. звеном А2
 припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.170
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено А2 : max= 0.000 min= 0.000
 увелич. звено А3 : max= 1.830 min= 1.550
 увелич. звено А4 : max= 50.111 min= 49.991
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 расчётный размер звена А2 :
 номинал= 51.371 max= 51.371 min= 50.971
 припуск по звену А2 Z3 :
 допуск= 0.800 max= 0.970 min= 0.170

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				-----kop7плюс-122-120 D1 zz GRA HA-----			
Р - черт.размер,		Z - припуск		А - размеры заготовки и механообработки							
Ин-декс звена	Гра-ница звена	Предел. значения	маx	мин	Ин-декс звена	Гра-ница звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения	Верхнее	Нижнее
		маx	мин								
P1	3 6	50.100	50.000	A1	1 8	Прокат горяч.обыч.точн.	103.984	0.350	-0.350		
P2	2 6	100.000	99.900	A2	8 5	Точение черновое	51.371	0.000	-0.400		
Z1	2 1	2.714	1.550	A3	8 7	Точение черновое	1.830	0.000	-0.280		
Z2	3 4	0.363	0.100	A4	7 4	Точение чистовое	50.111	0.000	-0.120		

Z3		4	5	0.970	0.170	A5		7	6	Точение чистовое		0.254	0.000	-0.084
Z4		6	7	0.254	0.170	A6		6	3	Точение тонкое		50.100	0.000	-0.059
Z5		7	8	1.830	1.550	A7		6	2	Точение чистовое		100.000	0.000	-0.100

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи														

№		Неизв		Номинал		Верхнее		Запас		Уравнения в символьной форме				
реш	звено					Нижнее		точн.		Баланс допусков				

1		A6		50.100	0.000	0.041				P1=+A6				
						-0.059				0.100=>0.059				

2		A7		100.000	0.000	0.000				P2=+A7				
						-0.100				0.100=>0.100				

3		A5		0.254	0.000	0.000				Z4=+A5				
						-0.084				0.084=>0.084				

4		A3		1.830	0.000	0.000				Z5=+A3				
						-0.280				0.280=>0.280				

5		A1		103.984	0.350	0.000				Z1=-A3-A5-A7+A1				
						-0.350				1.164=>0.280+0.084+0.100+0.700				

6		A4		50.111	0.000	0.000				Z2=-A4+A5+A6				
						-0.120				0.263=>0.120+0.084+0.059				

7		A2		51.371	0.000	0.000				Z3=-A2+A3+A4				
						-0.400				0.800=>0.400+0.280+0.120				

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали														

№пов	№Z		Zmin		Zmax		ДопускZ		Zmax/Zmin	Сумма допусков				

2		3		1.550	2.714	1.164		1.751						
3		4		0.100	0.363	0.263		3.635						
6		6		0.170	0.254	0.084		1.494						
										1.511				

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи														

Звено	Число	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)												
		вхожд												

A1		1		3 (Z1)										
A2		1		5 (Z3)										
A3		3		3,5,7 (Z1,Z3,Z5)										
A4		2		4,5 (Z2,Z3)										
A5		3		3,4,6 (Z1,Z2,Z4)										
A6		2		1,4 (P1,Z2)										
A7		2		2,3 (P2,Z1)										

Конец заказа Var11 fig29														

Рисунок 46 – Результаты расчетов для 11 варианта

Расчет доходит до конца, но окончательное решение проблемы достижения требуемой точности конструкторских размеров, возможно, связано с изменением конструкции детали, точности размера или вида заготовки, поскольку точность отрезки нельзя изменить, эта операция в нашей структуре ТП однократно и зависит от точности оборудования.

Выводы по одиннадцати вариантам обработки. Итак, закончив серию расчетов – цифровых экспериментов – для простой тестовой детали мы практически показали общие закономерности выбора наилучшего варианта, действующие при разной точности конструкторских размеров и видах заготовки. Общая закономерность, выявленная нами,

подтверждает известное положение технологии машиностроения о том, что с увеличением степени уточнения поверхностей заготовки (увеличением числа припусков и одновременным повышением точности обработки) достигается заданная точность конструкторских размеров.

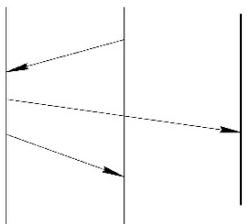
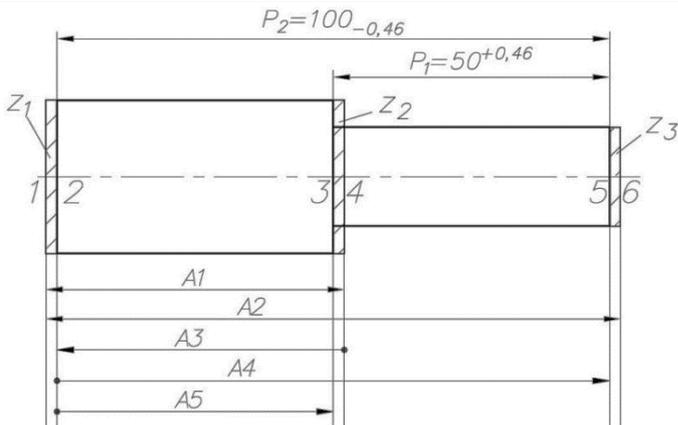
Для более сложных деталей, несомненно, возникнет большее количество РЦ типа «Р» и, соответственно, анализируемых вариантов ТП. При создании нового ТП изготовления детали возникает задача выбора одной единственной размерной структуры из множества вариантов. Как их визуально зафиксировать для анализа?

Для компактного отображения вариантов размерной структуры и последующего сравнения можно предложить упрощенное оформление в виде так называемых ассоциативных схем, которые показаны в следующем разделе.

15 Ассоциативные схемы отображения вариантов обработки

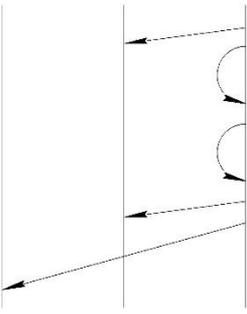
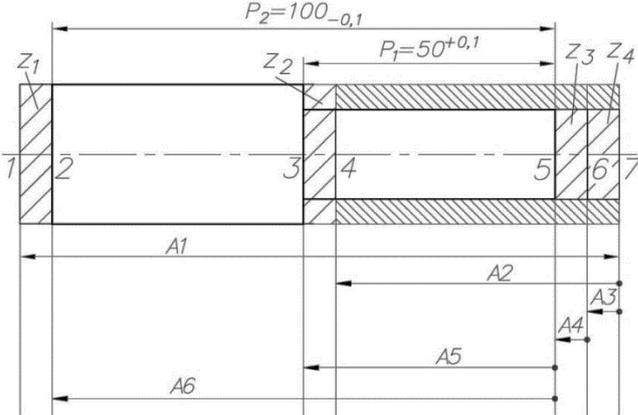
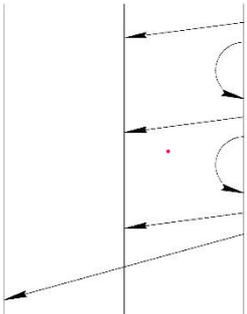
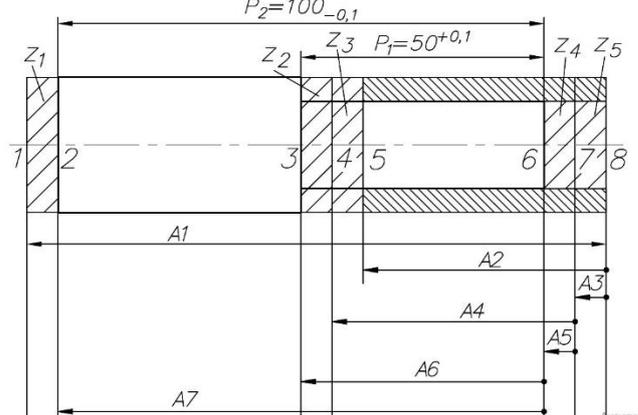
Для краткого представления вариантов обработки рекомендуется следующее графическое отображение в левой графе таблицы 1 на примере рассмотренных выше 11-ти вариантов.

Таблица 1 – Ассоциативное отображение размерных схем

Вариант	Ассоциативная схема обработки	Размерная схема обработки	Сумма допусков
1.			не завершен
2.	Та же	Та же, «эксперимент»	4,26

3.			5,338
4.			не завер шен
5.			1,54

6.			1,638
7.			не завер шен
8.			не завер шен
9.			не завер шен

10.			2,112
11.			1,511

Ассоциативная схема, предложенная в [25], использует только активные поверхности детали (точность и положение которых имеет смысл predetermined расчетным путем), между которыми стрелки указывают изменяемые обработкой поверхности. Базой служит конкретная поверхности заготовки, ассоциативно привязанная к поверхности детали. Количество исходящих от поверхности линий показывает, сколько раз она использована в качестве базы, количество стрелок показывает число припусков, удаляемых в результате обработки для получения конкретной поверхности детали.

16 Классификация и особенности расчета припусков при размерном анализе ТП

До сих пор в процессе рассмотрения вариантов размерной структуры и анализа результатов расчета мы не касались РЦ, где замыкающее звено – припуск, т.е. типа «Z».

Расчет припусков в ходе проектирования ТП необходим для решения двух задач:

- определения технологических размеров механообработки;
- определения припусков для расчета технологических размеров заготовки.

По известной классической методике, предложенной проф. В.М. Кованом [1], припуски и размеры заготовки рассчитываются при многократной обработке одной поверхности от неизменной технологической базы. Такой частный случай расчета припусков хорошо изложен в литературе, например [2,3]. Согласно этой методике В.М. Кована, припуск текущего перехода определяется по результатам обработки, достигнутым на предыдущем переходе.

Такой же логикой следует руководствоваться при расчете технологических размеров по изложенной выше «графовой» методике Б.С. Мордвинова [5] – при решении взаимосвязанных технологических размерных цепей.

Итак, в общем случае при расчете припусков возможны следующие (рисунок 47) ситуации [22, 23].

1) Классическая, когда при решении уравнения размерной цепи с замыкающим звеном-припуском уравнение имеет три звена, операционные размеры выполняются от одной базы (соблюдается «принцип единства баз») и обрабатывается одна поверхность.

2) Припуск в трехзвенной цепи является замыкающим звеном цепи, технологические размеры которой участвуют в обработке разных поверхностей от разных баз, а величина припуска определяется результатами выполнения технологического размера другой цепи.

3) При решении уравнения размерной цепи с замыкающим звеном-припуском уравнение имеет более трех звеньев, технологические размеры выполняются от разных баз («принцип единства баз» не соблюдается), дважды обрабатывается одна и та же поверхность.

4) Более общий случай п. 2. Припуск, является замыкающим звеном многозвенной цепи, его величина определяется последствиями выполнения размера, входящего в другую цепь, при этом размеры могут выполняться от разных баз, одна и та же поверхность формируется размерами разных цепей.

5) Двухзвенная цепь, обработка одной и той же поверхности.

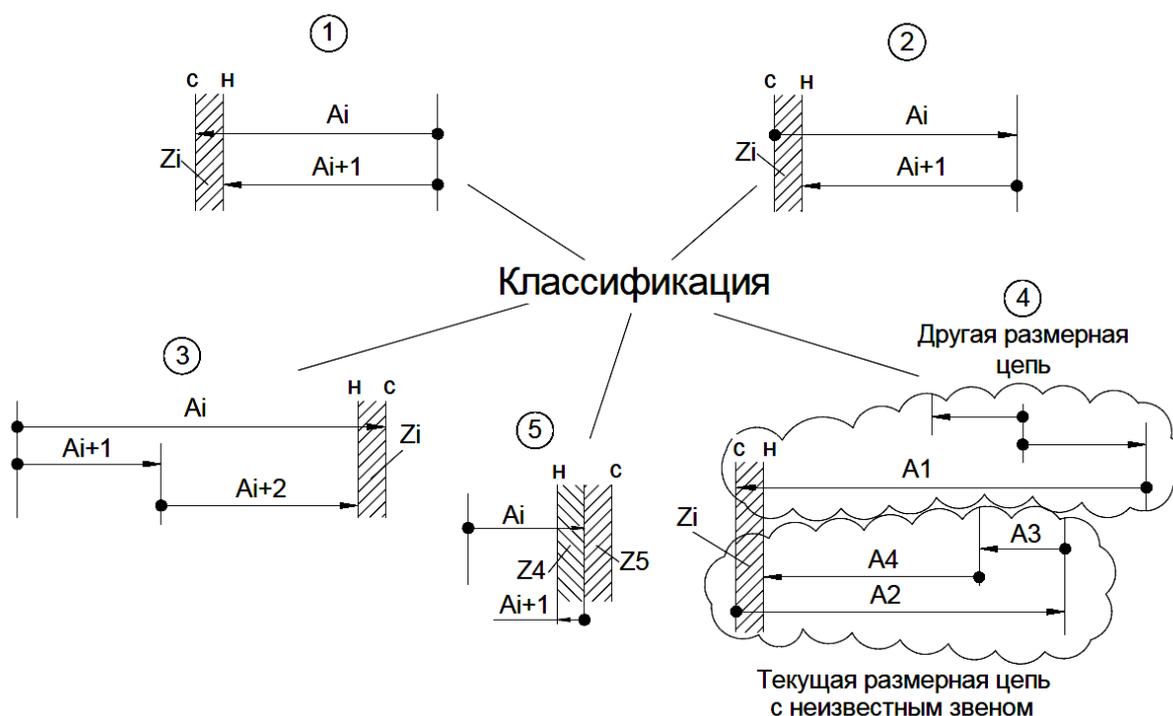


Рисунок 47 – Ситуации с размерными цепями типа «Z»

Итак, на практике при взаимосвязанном расчете технологических размеров для обработки разных поверхностей заготовки, возникают ситуации, когда поверхность детали получается многократной обработкой заготовки от меняющихся (разных) технологических баз. Расчет припуска как замыкающего звена РЦ в такой ситуации требует оценки составляющих по методу и характеру обработки размера предыдущего этапа обработки поверхности, и этот размер не входит в РЦ рассчитываемого замыкающего звена-припуска.

Типичная ситуация 1 возникла (рисунок 48) при размерном анализе детали «втулка Мордвинова» [5], размерная схема которой показана на рисунке 48 а.

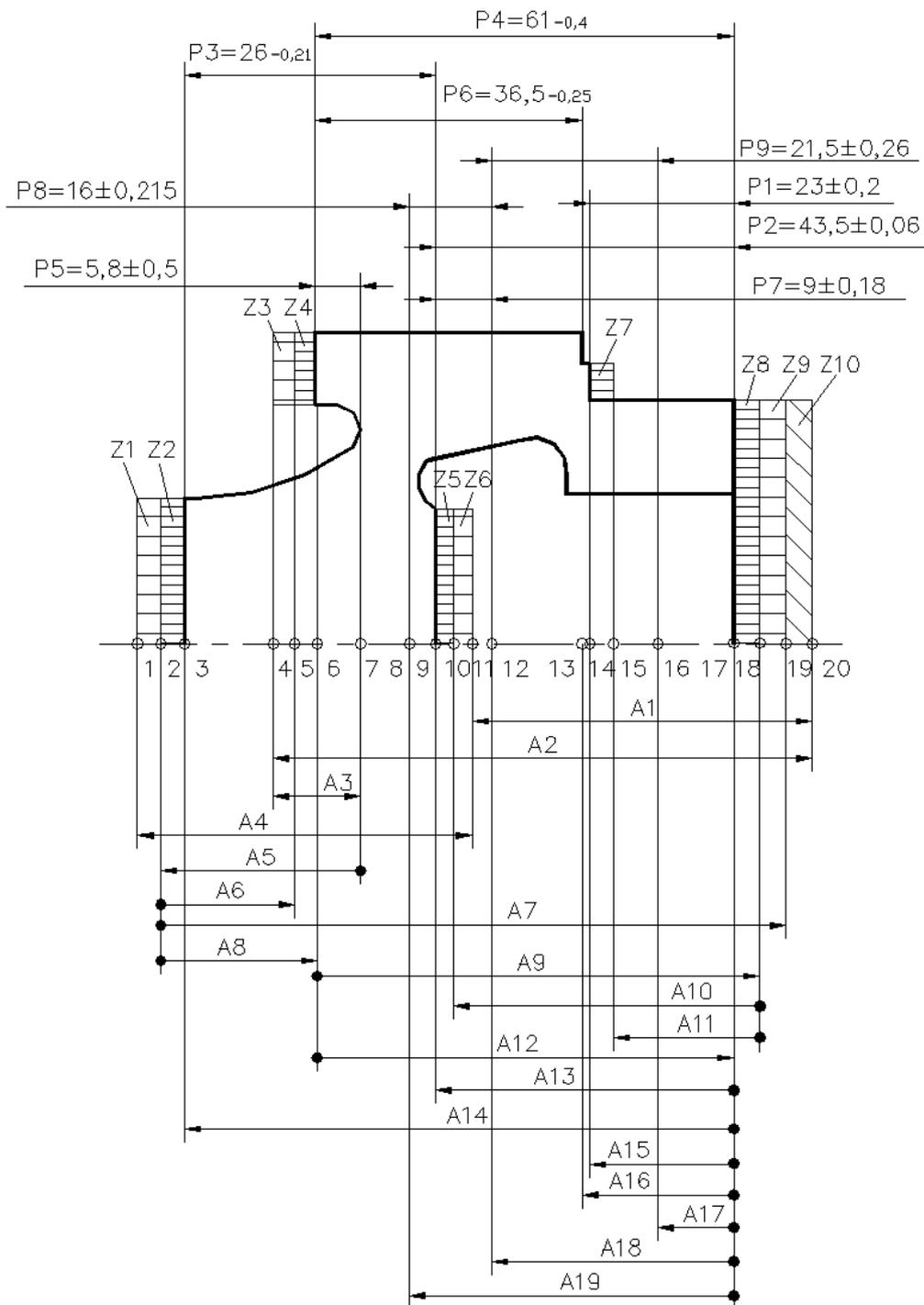


Рисунок 50 – Вариант размерной структуры ТП изготовления детали «Шкив»

Фрагмент этой размерной схемы показан на рисунке 51. Выделим две взаимосвязанные цепи с замыкающими звеньями $P5$ и $Z2$.

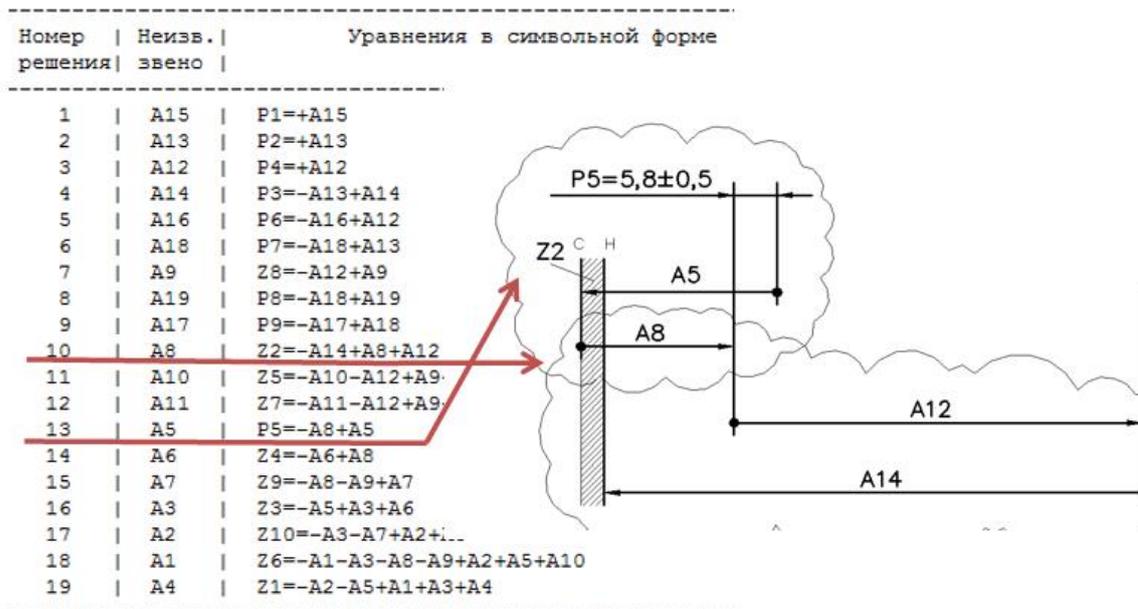


Рисунок 51 – Состав РЦ и две взаимосвязанные цепи с замыкающими звеньями P₅ и Z₂

Анализируя сформированные по программе «KON7 плюс» уравнения РЦ (см. рисунок 51) видим, что припуск Z₂ снимается размером A₁₄. Минимальная величина припуска Z₂, являющегося замыкающим звеном для уравнения №10 с неизвестным звеном A₈, должна назначаться согласно методу обработки и габаритному размеру звена A₅, примыкающего поверхностью обработки к старой границе припуска Z₂. Однако звено A₅ входит в другое уравнение размерной цепи №13 типа «Р» и является неизвестным.

В любой из пяти ситуаций на рисунке 48 минимальная величина припуска должна назначаться по методу, результатам обработки и поперечному габаритному размеру технологического размера, который поверхностью обработки примыкает к старой границе припуска, т.е. для расчета такого припуска необходимо выполнить поиск связанного с ним размера и воспользоваться информацией, необходимой для его вычисления.

При расчетах по программе «KON7 плюс» эта проблема решается автоматически с выводом соответствующего сообщения, как показано на рисунке 51 и полных распечатках результатов примеров 1 – 11 в разделах 4 – 14.

```

Решается разм. цепь 10 типа Z2 с неизв. звеном A8
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.380
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A14 : max= 69.440 min= 69.320
увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A8 :
номинал= 8.849 max= 8.933 min= 8.849
припуск по звену A5 Z2 :
допуск= 0.233 max= 0.613 min= 0.380
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====
Решается разм. цепь 11 типа Z5 с неизв. звеном A10
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A10 : max= 0.000 min= 0.000
уменьш. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
увелич. звено A9 : max= 61.230 min= 61.110
увелич. звено A13 : max= 43.465 min= 43.440
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A10 :
номинал= 43.000 max= 43.340 min= 43.000
припуск по звену A10 Z5 :
допуск= 0.514 max= 0.724 min= 0.210
Решается разм. цепь 12 типа Z7 с неизв. звеном A11
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.210
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A11 : max= 0.000 min= 0.000
уменьш. звено A12 : max= 61.000 min= 60.971
увелич. звено A9 : max= 61.230 min= 61.110
увелич. звено A15 : max= 22.884 min= 22.800
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A11 :
номинал= 22.420 max= 22.700 min= 22.420
припуск по звену A11 Z7 :
допуск= 0.513 max= 0.723 min= 0.210
Решается разм. цепь 13 типа "P" с неизв. звеном A5
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A8 : max= 8.933 min= 8.849
увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P5 : max= 6.300 min= 5.300
результаты расчёта звена A5 : max= 15.149 min= 14.233
следовательно, расч. допуск= 0.916
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.520 : верхн. откл.= 0.520 нижн. откл.= 0.000
принимается расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 14.233 max= 14.753 min= 14.233

```

Рисунок 52 – Фрагмент результатов расчета для детали «Шкив»

17 Величина допуска на припуск как целевая функция выбора рациональной размерной структуры ТП

Внимательное изучение полученных ранее результатов показывает, что припуск на различных этапах обработки может значительно колебаться. Из теоретических положений и производственной практики известно отрицательное влияние неравномерности припуска обрабатываемых заготовок на упругие деформации станочной системы, на параметры режимов обработки и, как следствие, на размерную точность ТП [20, 23, 24, 27, 30].

Учитывая критическое влияние колебания припуска на качество ТП, предлагается по величине его неравномерности оценивать результаты размерного анализа и выделять перспективные варианты размерной структуры проектируемого ТП [25].

Примем в качестве целевой функции качества размерной структуры ТП величину суммы допусков на припуски последнего этапа обработки каждой поверхности. Тогда критерием оптимальности будет считать минимальное значение такой суммы [26].

Рассчитанные в программе «KON7 плюс» значения заявленной целевой функции для каждого из одиннадцати вариантов обработки приводятся в *таблице 5* распечатки результатов расчета вариантов. Сведем эти значения целевой функции в правый столбец *таблицы 1*, где сопоставляются все варианты.

Выводы. Наименьшее значение для заготовки «отливка» получено в пятом варианте – 1,54, который, однако, выполнен с автоматическим пересчетом, т.е. с искусственно завышенной точностью выполнения одного из размеров. Поэтому выбираем шестой вариант, где значение критерия несколько выше – 1,638, но расчет выполнен без корректировки системой.

Для заготовки «пруток» наилучшим следует признать одиннадцатый вариант со значением критерия – 1,511. В обоих отобранных вариантах 6 и 11 выполняется двукратная обработка поверхностей в сочетании с соблюдением принципа единства баз.

18 Пример размерного анализа заводской детали

Рассмотрим подготовку, особенности анализа вариантов и результаты расчета технологических размеров при размерном анализе ТП изготовления детали «Палец» (рисунок 53) с вариантом размерной структуры и графа на рисунках 54, 55.

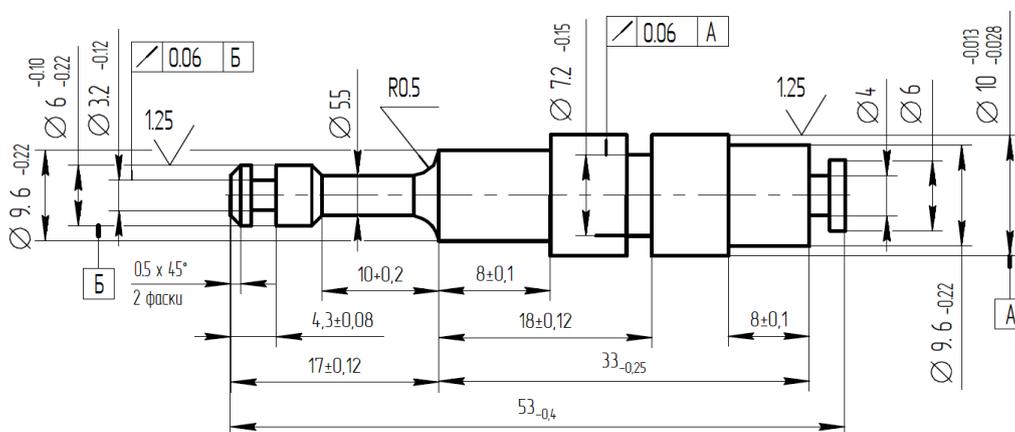
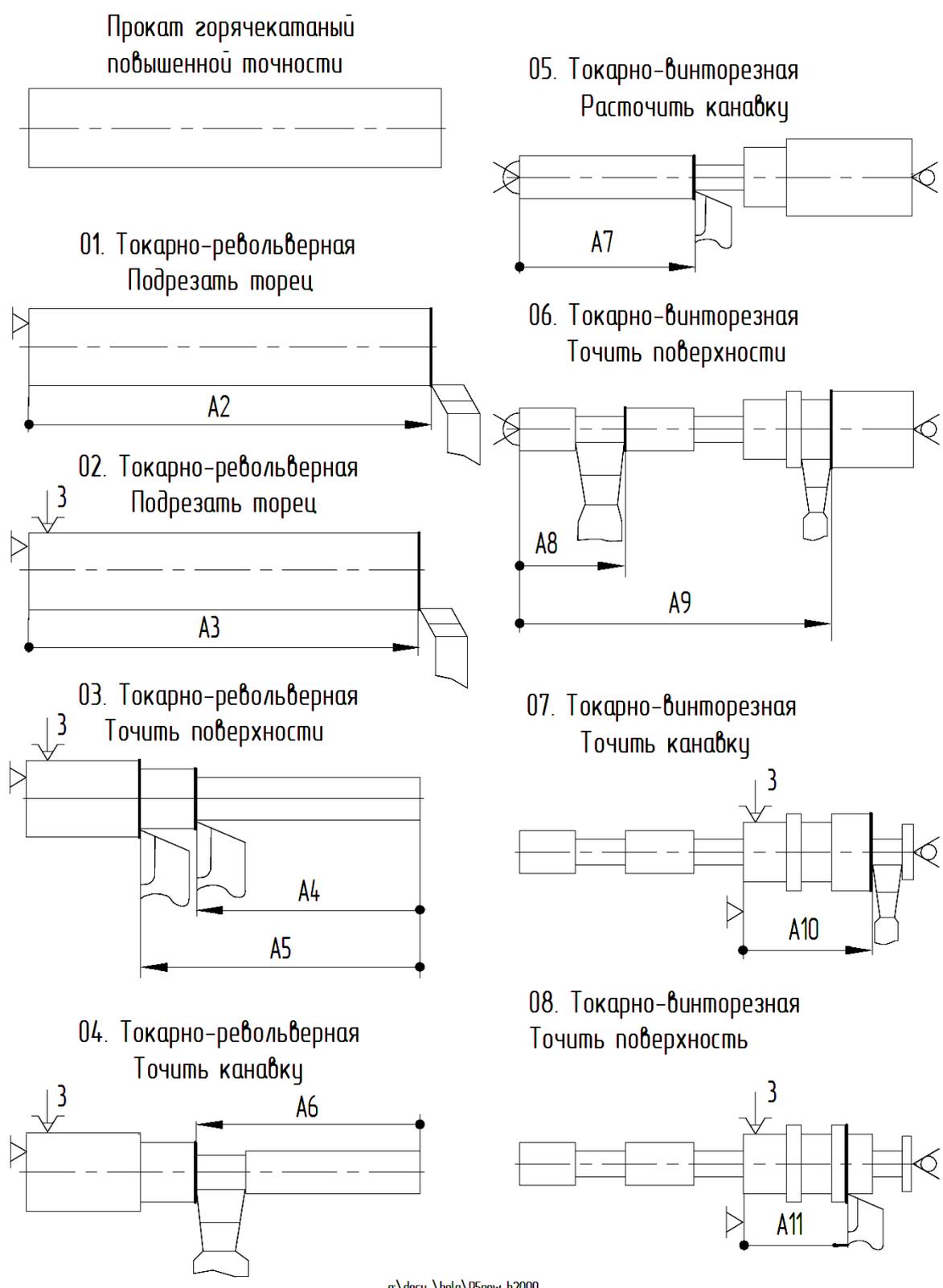


Рисунок 53 – Эскиз детали «Палец»



г:\docu\abala\PSnew b2000

Рисунок 54 – Операционные эскизы предлагаемого маршрута обработки

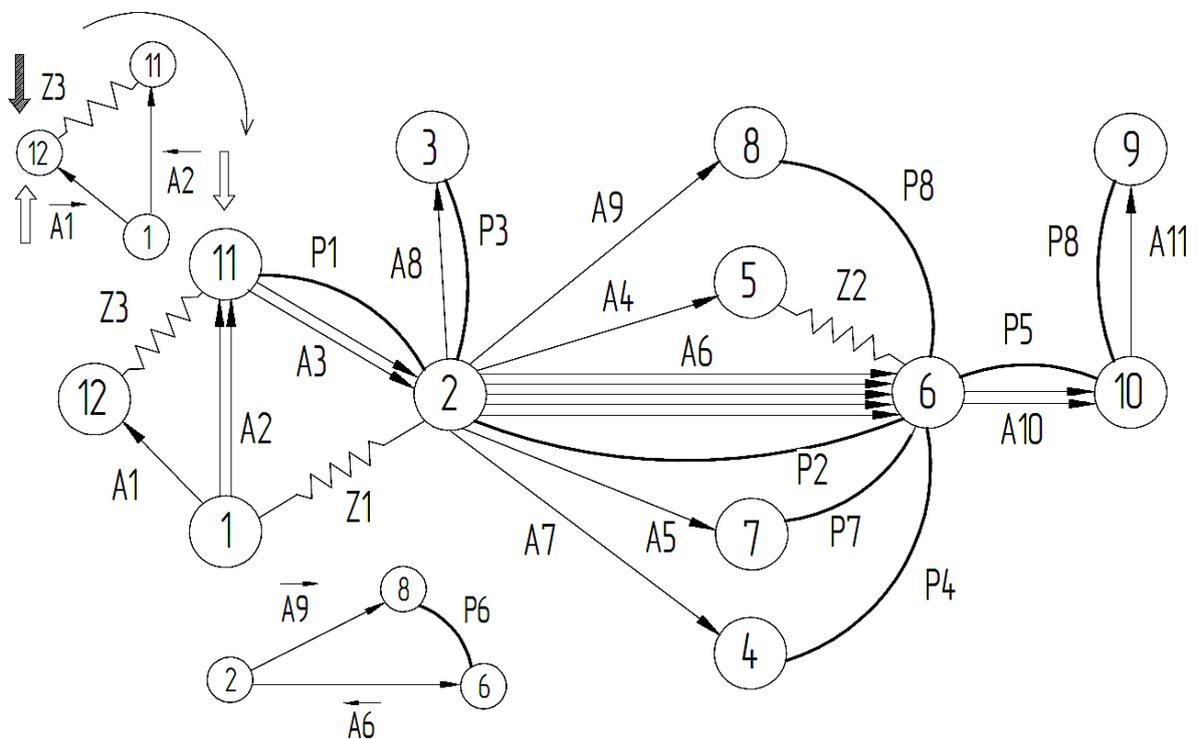
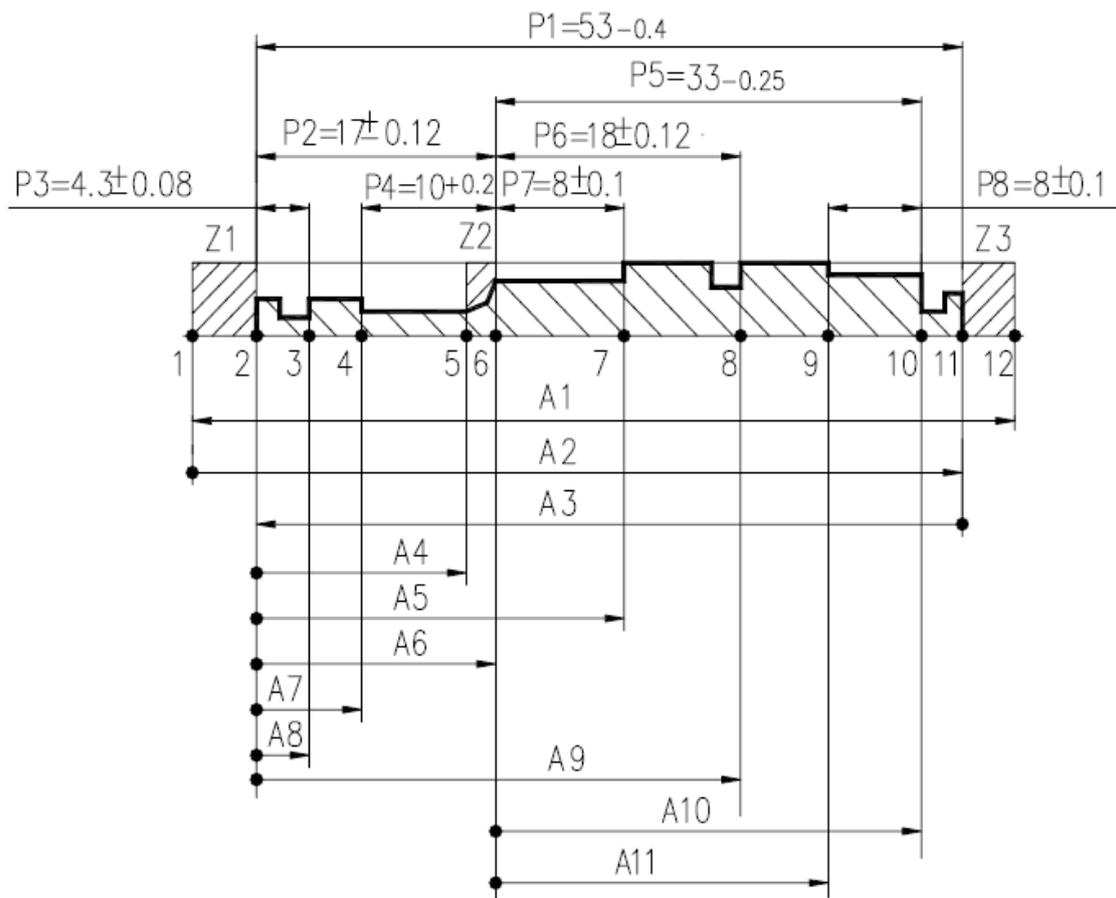


Рисунок 55 – Размерная схема и граф варианта ТП изготовления детали «палец»

Показанные на рисунке 54 операционные эскизы соответствует реализуемому на одном из ярославских заводов технологическому процессу.

Выполним расчет технологических размеров, задавая в качестве исходных данных: заготовку – пруток, отрезка дисковыми пилами, первый размер – от необработанной поверхности, для всех остальных размеров характер токарной обработки – черновое точение. В ходе расчетов появляется несколько сообщений о проблемах с точностью ряда размеров (рисунки 56 – 58).

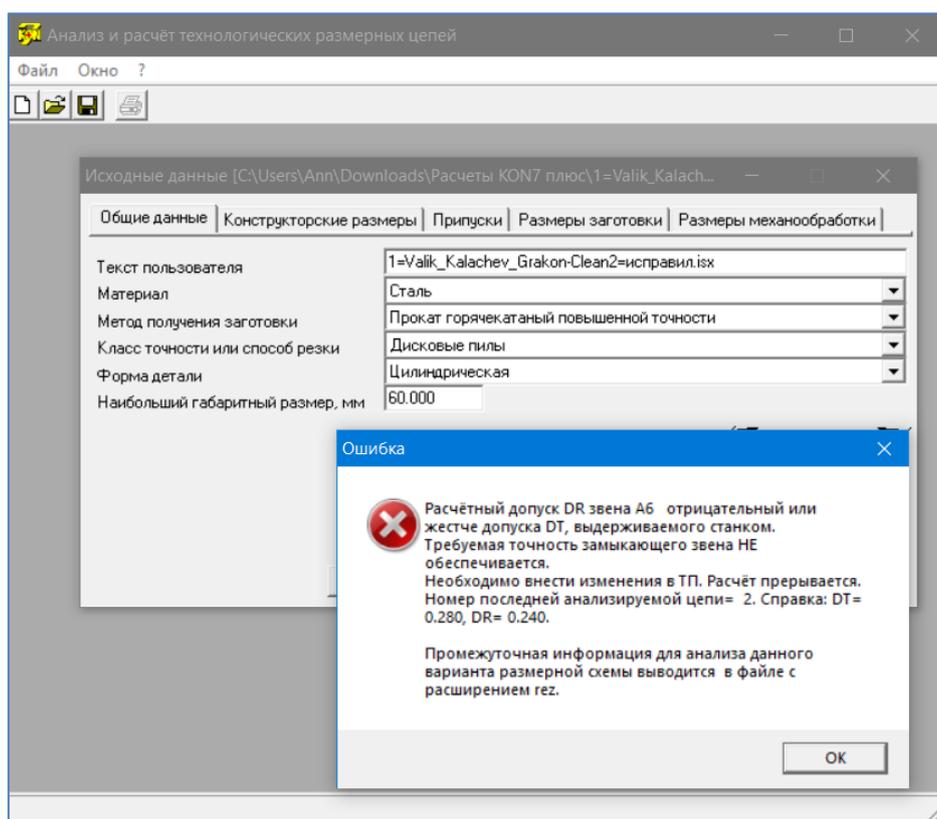


Рисунок 56 – Проблема с размером A₆

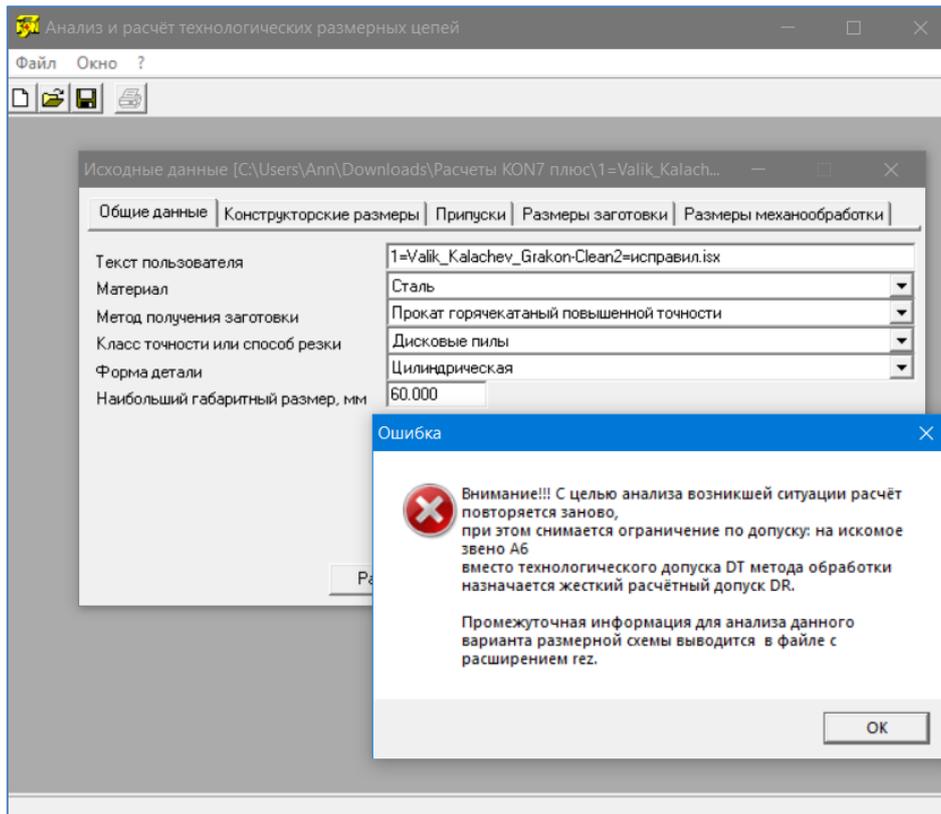


Рисунок 57 – Попытка преодолеть проблему с размером А₆

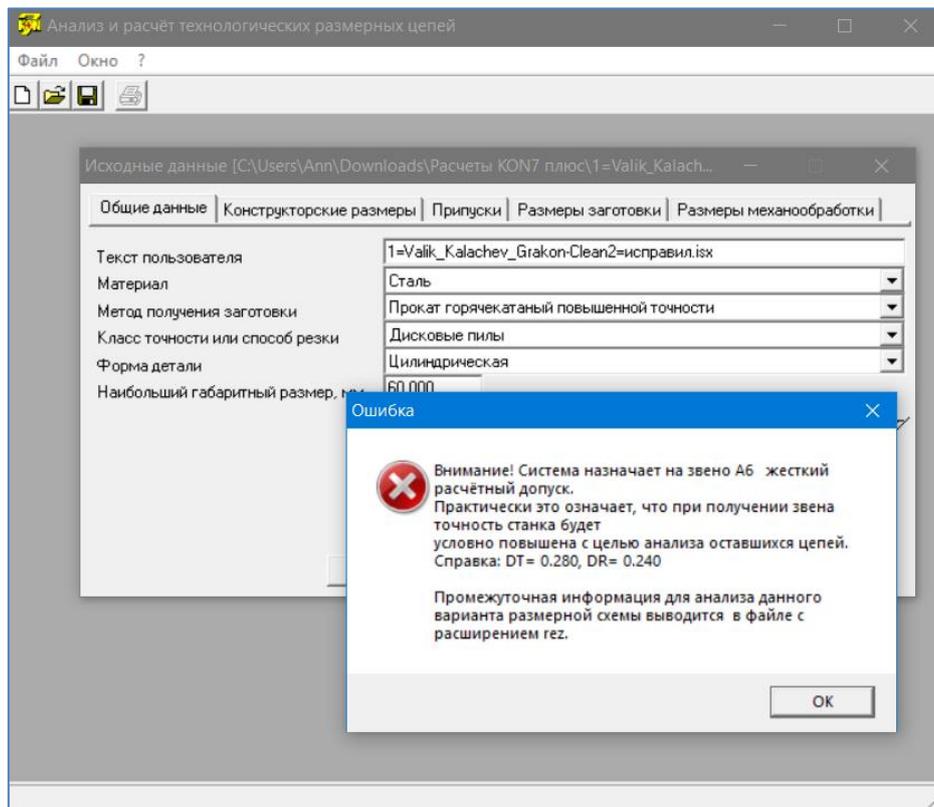


Рисунок 58 – Сообщение об изменении точности размера А₆

На рисунке 59 показаны результаты первого варианта расчета: по заданному характеру обработки программа назначила такие производственные технологические допуски (ПТД) для оборудования, при которых точность не достаточна и расчет сразу прерывается.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя 1=Valik_Kalachev_Grakon-Clean2=исправил.isx												
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал..... сталь												
Способ получения..... Прокат горяч.повыш.точн.												
Резка..... дисковыми пилами												
Класс (степень) точности.. ---												
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 60.000												
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А				Поп-		Отклонения		
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->				реч-		допуска DT		
								ный		пользователя		
Зве-	Границы	Предел.значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист	раз-			
но	P: л-п	-----		но	<----->			допу	мер,	-----		
	Z: н-с	max	min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее	
-----11/8/2023-11:28:13 PM-----												
P1	2 11	53.000	52.600	A1	1 12	Прокат горяч.повыш.точн.		вал	15	0.000	0.000	
P2	2 6	17.120	16.880	A2	1 11	Точение от необр.пов.		вал	10	0.000	0.000	
P3	2 3	4.380	4.220	A3	11 2	Точение черновое		вал	10	0.000	0.000	
P4	4 6	10.200	10.000	A4	2 5	Точение черновое		отв	10	0.000	0.000	
P5	6 10	33.000	32.750	A5	2 7	Точение черновое		отв	10	0.000	0.000	
P6	6 8	18.120	17.880	A6	2 6	Точение черновое		отв	10	0.000	0.000	
P7	6 7	8.100	7.900	A7	2 4	Точение черновое		вал	10	0.000	0.000	
P8	9 10	8.100	7.900	A8	2 3	Точение черновое		отв	10	0.000	0.000	
Z1	1 2	0.000	0.000	A9	2 8	Точение черновое		отв	10	0.000	0.000	
Z2	5 6	0.000	0.000	A10	6 10	Точение черновое		вал	10	0.000	0.000	
Z3	12 11	0.000	0.000	A11	6 9	Точение черновое		вал	10	0.000	0.000	

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения			
Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме	
1	A3	P1=+A3	
2	A6	P2=+A6	
3	A8	P3=+A8	
4	A10	P5=+A10	
5	A7	P4=-A7+A6	
6	A9	P6=-A6+A9	
7	A5	P7=-A6+A5	
8	A11	P8=-A11+A10	
9	A2	Z1=-A3+A2	
10	A4	Z2=-A4+A6	
11	A1	Z3=-A2+A1	

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014
 Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A3
 состав цепи :
 увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 53.000 min= 52.600
 результаты расчёта звена A3 : max= 53.000 min= 52.600
 следовательно, расч. допуск= 0.400
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
 системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена A3 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 53.000 max= 53.000 min= 52.600

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A6
 состав цепи :
 увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 17.120 min= 16.880
 результаты расчёта звена A6 : max= 17.120 min= 16.880
 следовательно, расч. допуск= 0.240

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000
Расчётный допуск DR звена А6 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.
 Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.
 Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.
 Номер последней анализируемой цепи= 2. Справка: DT= 0.280, DR= 0.240.
 Внимание!!! С целью анализа возникшей ситуации расчёт повторяется заново,
 при этом снимается ограничение по допуску: на искомое звено А6
 вместо технологического допуска DT метода обработки назначается жесткий расчётный допуск DR.

 ** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А3
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 53.000 min= 52.600
 результаты расчёта звена А3 : max= 53.000 min= 52.600
 следовательно, расч. допуск= 0.400
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена А3 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 53.000 max= 53.000 min= 52.600

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А6
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 17.120 min= 16.880
 результаты расчёта звена А6 : max= 17.120 min= 16.880
 следовательно, расч. допуск= 0.240
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000

Внимание! Система назначает на звено А6 жесткий расчётный допуск.

Практически это означает, что при получении звена точность станка будет условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.280, DR= 0.240
 принимаем расчётный размер звена А6 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 16.880 max= 17.120 min= 16.880

Решается разм. цепь 3 типа "Р" с неизв. звеном А8
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А8 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P3 : max= 4.380 min= 4.220
 результаты расчёта звена А8 : max= 4.380 min= 4.220
 следовательно, расч. допуск= 0.160
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000

Внимание! Система назначает на звено А8 жесткий расчётный допуск.

Практически это означает, что при получении звена точность станка будет условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.280, DR= 0.160
 принимаем расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 4.220 max= 4.380 min= 4.220

Решается разм. цепь 4 типа "Р" с неизв. звеном А10
 с о с т а в ц е п и :
 увелич. звено А10 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P5 : max= 33.000 min= 32.750
 результаты расчёта звена А10 : max= 33.000 min= 32.750
 следовательно, расч. допуск= 0.250
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.340 : верхн. откл.= 0.340 нижн. откл.= 0.000

Внимание! Система назначает на звено А10 жесткий расчётный допуск.

Практически это означает, что при получении звена точность станка будет условно повышена с целью анализа оставшихся цепей. Справка: DT= 0.340, DR= 0.250
 принимаем расчётный размер звена А10 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 33.000 max= 33.000 min= 32.750

Решается разм. цепь 5 типа "Р" с неизв. звеном А7
 с о с т а в ц е п и :
 уменьш. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000
 увелич. звено А6 : max= 17.120 min= 16.880
 замык. звено - констр. размер P4 : max= 10.200 min= 10.000
 результаты расчёта звена А7 : max= 6.880 min= 6.920
 следовательно, расч. допуск= -0.040
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.280 : верхн. откл.= 0.280 нижн. откл.= 0.000

Расчётный допуск DR звена А7 отрицательный или жестче допуска DT, выдерживаемого станком.

Требуемая точность замыкающего звена НЕ обеспечивается.
 Необходимо внести изменения в ТП. Расчёт прерывается.
 Номер последней анализируемой цепи= 5. Справка: DT= 0.280, DR=-0.040.
 Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

 № | Неизв | Номинал | Верхнее | Запас | Уравнения в символьной форме

реш звено	Нижнее	точн.	Баланс допусков
1 A3 53.000 0.000 0.000 P1=+A3			
-0.400 0.400=>0.400			
2 A6 16.880 0.240 0.000 P2=+A6			
0.000 0.240=>0.240			
3 A8 4.220 0.160 0.000 P3=+A8			
0.000 0.160=>0.160			
4 A10 33.000 0.000 0.000 P5=+A10			
-0.250 0.250=>0.250			
5 A7 -0.320 P4=-A7+A6			
0.200=>[0.280]+0.240			

Для обеспечения точности конструкторского размера P4 необходимо выполнить технологический размер A7 с расчетным допуском DR=-0.040, который отрицательный или жестче (более, чем в 2 раза) технологического допуска DT=0.280 выбранного метода обработки.

Требуемая точность замыкающего звена HE обеспечивается!

Расчет оставшихся технологических размеров продолжать не целесообразно.

Рекомендации.

1. Технологический размер A7 должен выполняться с более высокой точностью, т.е. с более жестким допуском.
Например, вместо "чернового точения" следует выбрать "чистовое точение" или задать непосредственно числовое значение технологического допуска в поле "пользовательский".
Следует помнить, что на начальных операциях механообработки необоснованный выбор узкого допуска недопустим!
2. Следует повысить точность других технологических размеров, образующих данную цепь.
3. Возможно, следует ввести дополнительную обработку одной из поверхностей с указанием на размерной схеме нового припуска.
4. Радикальное изменение размерной структуры технологического процесса - выбор более рациональной схемы базирования, обеспечивающей соблюдение принципа единства баз в большинстве уравнений размерных цепей.

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов №Z Zmin Zmax ДопускZ Zmax/Zmin Сумма допусков	
2 9 0.000 0.000 0.000 -1.#IO	
6 10 0.000 0.000 0.000 -1.#IO	
11 11 0.000 0.000 0.000 -1.#IO	
	0.000

Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено Число Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
вхожд
A1 1 11 (Z3)
A2 2 9,11 (Z1,Z3)
A3 2 1,9 (P1,Z1)
A4 1 10 (Z2)
A5 1 7 (P7)
A6 5 2,4,6,7,10 (P2,P4,P6,P7,Z2)
A7 1 4 (P4)
A8 1 3 (P3)
A9 1 6 (P6)
A10 2 5,8 (P5,P8)
A11 1 8 (P8)

Конец заказа 1=Valik_Kalachev_Grakon-Clean2=исправил.isx

Рисунок 59 – Результаты расчета по первому варианту для детали «Палец»

Нам придется предположить следующее: если точность оборудования на заводе позволяет однократной обработкой обеспечить конструкторские размеры детали, – то следует актуализировать БД под данное предприятие или скорректировать выбираемые ПТД нашей

программы, а именно, назначить вместо «чернового точения» сразу «чистовое точение». При этом в ходе расчета будет назначаться более узкий ПТД. Прежний характер – «от необработанной поверхности» оставим только для первого размера механобработки А2.

Второй вариант расчета закончился успешно (рисунок 60), и из *таблицы 4* его результатов видим наличие запаса по точности у нескольких технологических размеров, в частности, у А3 он составляет 0,28 мм.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей													
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя 2=Valik_Kalachev_Grakon-Clean2=исправил.isx													
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал..... сталь													
Способ получения..... Прокат горяч.повыш.точн.													
Резка..... дисковыми пилами													
Класс (степень) точности.. ---													
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 60.000													

Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч-		допуска DT	

-----11/8/2023-11:34:34 PM-----													
Зве-	Границы	Предел.значения	Зве-	Границы	Метод обработки				Сист	раз-	-----		
но	P: л-п	-----	но	<----->					допу	мер,	-----		
Z: н-с	max	min		База-->					ска	мм	Верх.	Нижнее	

P1	2 11	53.000	52.600	A1 1 12	Прокат горяч.повыш.точн.				вал	15	0.000	0.000	
P2	2 6	17.120	16.880	A2 1 11	Точение от необр.пов.				вал	10	0.000	0.000	
P3	2 3	4.380	4.220	A3 11 2	Точение чистовое				вал	10	0.000	0.000	
P4	4 6	10.200	10.000	A4 2 5	Точение чистовое				отв	10	0.000	0.000	
P5	6 10	33.000	32.750	A5 2 7	Точение чистовое				отв	10	0.000	0.000	
P6	6 8	18.120	17.880	A6 2 6	Точение чистовое				отв	10	0.000	0.000	
P7	6 7	8.100	7.900	A7 2 4	Точение чистовое				вал	10	0.000	0.000	
P8	9 10	8.100	7.900	A8 2 3	Точение чистовое				отв	10	0.000	0.000	
Z1	1 2	0.000	0.000	A9 2 8	Точение чистовое				отв	10	0.000	0.000	
Z2	5 6	0.000	0.000	A10 6 10	Точение чистовое				вал	10	0.000	0.000	
Z3	12 11	0.000	0.000	A11 6 9	Точение чистовое				вал	10	0.000	0.000	

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения													

Номер		Неизв.		Уравнения в символической форме									
решения		звено											

1		A3		P1=+A3									
2		A6		P2=+A6									
3		A8		P3=+A8									
4		A10		P5=+A10									
5		A7		P4=-A7+A6									
6		A9		P6=-A6+A9									
7		A5		P7=-A6+A5									
8		A11		P8=-A11+A10									
9		A2		Z1=-A3+A2									
10		A4		Z2=-A4+A6									
11		A1		Z3=-A2+A1									

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **													
KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014													
Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном А3													
с о с т а в ц е п и :													
увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000													
замык. звено - констр. размер P1 : max= 53.000 min= 52.600													
результаты расчёта звена А3 : max= 53.000 min= 52.600													
следовательно, расч. допуск= 0.400													
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый													
системой= 0.120 : верхн. откл.= 0.120 нижн. откл.= 0.000													
принимаям расчётный размер звена А3 с учётом технолог. допуска:													
номинал= 53.000 max= 53.000 min= 52.880													

Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А6
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер Р2 : max= 17.120 min= 16.880
результаты расчёта звена А6 : max= 17.120 min= 16.880
следовательно, расч. допуск= 0.240
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А6 с учётом технолог. допуска:
номинал= 16.880 max= 16.964 min= 16.880

Решается разм. цепь 3 типа "Р" с неизв. звеном А8
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А8 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер Р3 : max= 4.380 min= 4.220
результаты расчёта звена А8 : max= 4.380 min= 4.220
следовательно, расч. допуск= 0.160
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А8 с учётом технолог. допуска:
номинал= 4.220 max= 4.303 min= 4.220

Решается разм. цепь 4 типа "Р" с неизв. звеном А10
с о с т а в ц е п и :
увелич. звено А10 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер Р5 : max= 33.000 min= 32.750
результаты расчёта звена А10 : max= 33.000 min= 32.750
следовательно, расч. допуск= 0.250
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А10 с учётом технолог. допуска:
номинал= 33.000 max= 33.000 min= 32.901

Решается разм. цепь 5 типа "Р" с неизв. звеном А7
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А7 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А6 : max= 16.964 min= 16.880
замык. звено - констр. размер Р4 : max= 10.200 min= 10.000
результаты расчёта звена А7 : max= 6.880 min= 6.764
следовательно, расч. допуск= 0.116
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А7 с учётом технолог. допуска:
номинал= 6.880 max= 6.880 min= 6.796

Решается разм. цепь 6 типа "Р" с неизв. звеном А9
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А6 : max= 16.964 min= 16.880
увелич. звено А9 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер Р6 : max= 18.120 min= 17.880
результаты расчёта звена А9 : max= 35.000 min= 34.843
следовательно, расч. допуск= 0.157
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А9 с учётом технолог. допуска:
номинал= 34.843 max= 34.943 min= 34.843

Решается разм. цепь 7 типа "Р" с неизв. звеном А5
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А6 : max= 16.964 min= 16.880
увелич. звено А5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер Р7 : max= 8.100 min= 7.900
результаты расчёта звена А5 : max= 24.980 min= 24.864
следовательно, расч. допуск= 0.116
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 24.864 max= 24.947 min= 24.864

Решается разм. цепь 8 типа "Р" с неизв. звеном А11
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено А11 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено А10 : max= 33.000 min= 32.901
замык. звено - констр. размер Р8 : max= 8.100 min= 7.900
результаты расчёта звена А11 : max= 25.001 min= 24.900
следовательно, расч. допуск= 0.101
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимаем расчётный размер звена А11 с учётом технолог. допуска:
номинал= 25.001 max= 25.001 min= 24.917

Решается разм. цепь 9 типа Z1 с неизв. звеном А2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.350
с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A3 : max= 53.000 min= 52.880
увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A2 :
номинал= 54.090 max= 54.090 min= 53.350
припуск по звену A1 Z1 :
допуск= 0.860 max= 1.210 min= 0.350
===== звено A для расчета припуска - из другой ЦЦ !!! =====
Решается разм. цепь 10 типа Z2 с неизв. звеном A4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.100
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A6 : max= 16.964 min= 16.880
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A4 :
номинал= 16.696 max= 16.780 min= 16.696
припуск по звену A4 Z2 :
допуск= 0.168 max= 0.268 min= 0.100
Решается разм. цепь 11 типа Z3 с неизв. звеном A1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.350
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A2 : max= 54.090 min= 53.350
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
расчётный размер звена A1 :
номинал= 54.740 max= 55.040 min= 54.440
припуск по звену A1 Z3 :
допуск= 1.340 max= 1.690 min= 0.350

Таблица 3 - Результаты расчета технологических ЦЦ
по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья			Составляющие звенья						D1 zz GRA HA--	
P - черт.размер, Z - припуск			A - размеры заготовки и механообработки							
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
		max min					Верхнее	Нижнее		
--11/8/2023-11:34:34 PM--										
P1	2 11	53.000 52.600	A1	1 12	Прокат горяч.повыш.точн.	54.740	0.300	-0.300		
P2	2 6	17.120 16.880	A2	1 11	Точение от необр.пов.	54.090	0.000	-0.740		
P3	2 3	4.380 4.220	A3	11 2	Точение чистовое	53.000	0.000	-0.120		
P4	4 6	10.200 10.000	A4	2 5	Точение чистовое	16.696	0.084	0.000		
P5	6 10	33.000 32.750	A5	2 7	Точение чистовое	24.864	0.084	0.000		
P6	6 8	18.120 17.880	A6	2 6	Точение чистовое	16.880	0.084	0.000		
P7	6 7	8.100 7.900	A7	2 4	Точение чистовое	6.880	0.000	-0.084		
P8	9 10	8.100 7.900	A8	2 3	Точение чистовое	4.220	0.084	0.000		
Z1	2 1	1.210 0.350	A9	2 8	Точение чистовое	34.843	0.100	0.000		
Z2	6 5	0.268 0.100	A10	6 10	Точение чистовое	33.000	0.000	-0.100		
Z3	11 12	1.690 0.350	A11	6 9	Точение чистовое	25.001	0.000	-0.084		

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв. звено	Номинал	Верхнее	Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символической форме
Баланс допусков						
1	A3	53.000	0.000	-0.120	0.280	P1=+A3 0.400=>0.120
2	A6	16.880	0.084	0.000	0.157	P2=+A6 0.240=>0.084
3	A8	4.220	0.084	0.000	0.077	P3=+A8 0.160=>0.084
4	A10	33.000	0.000	-0.100	0.151	P5=+A10 0.250=>0.100
5	A7	6.880	0.000	-0.084	0.033	P4=-A7+A6 0.200=>0.084+0.084
6	A9	34.843	0.100	0.000	0.057	P6=-A6+A9 0.240=>0.084+0.100
7	A5	24.864	0.084	0.000	0.033	P7=-A6+A5 0.200=>0.084+0.084
8	A11	25.001	0.000	0.000	0.017	P8=-A11+A10

			-0.084		0.200=>0.084+0.100	
9	A2	54.090	0.000	0.000	Z1=-A3+A2	
			-0.740		0.860=>0.120+0.740	
10	A4	16.696	0.084	0.000	Z2=-A4+A6	
			0.000		0.168=>0.084+0.084	
11	A1	54.740	0.300	0.000	Z3=-A2+A1	
			-0.300		1.340=>0.740+0.600	
Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали						
№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
2	9	0.350	1.210	0.860	3.456	
6	10	0.100	0.268	0.168	2.675	
11	11	0.350	1.690	1.340	4.829	
2.367						
Таблица 6 - Частота вхождения каждого звена в размерные цепи						
Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)				
A1	1	11 (Z3)				
A2	2	9,11 (Z1,Z3)				
A3	2	1,9 (P1,Z1)				
A4	1	10 (Z2)				
A5	1	7 (P7)				
A6	5	2,4,6,7,10 (P2,P4,P6,P7,Z2)				
A7	1	4 (P4)				
A8	1	3 (P3)				
A9	1	6 (P6)				
A10	2	5,8 (P5,P8)				
A11	1	8 (P8)				
Конец заказа 2=Valik_Kalachev_Grakon-Clean2=исправил.isx						

Рисунок 60 – Результаты расчета по второму варианту

Теперь попробуем снизить точность оборудования, и в третьем варианте расчета принудим программу выбрать для размера A₃ значение ПТД, соответствующее «черновому точению». Результаты расчета на рисунке 61 показывают, что расчет снова завершается без каких-либо вынужденных программных корректировок. При этом запас точности по A₃ ликвидирован.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей												
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)												
Текст пользователя 3=Valik_Kalachev_Grakon-Clean2=исправил.isx												
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)												
Сведения о заготовке:												
Материал..... сталь												
Способ получения..... Прокат горяч.повыш.точн.												
Резка..... дисковыми пилами												
Класс (степень) точности.. ---												
Габаритный размер по направлению технологических размеров... 60.000												
Замыкающие звенья			Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск			заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч-		допуска DT	
----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----												
Зве-	Границы	Предел.значения	Зве-	Границы	Метод обработки			Сист раз-	допу мер,			-----
но Р: л-п	-----	-----	но <----->				мер,	-----				
Z: н-с	max	min	База-->				ска	мм	Верх.	Нижнее		
-----11/8/2023-11:36:51 PM-----												
P1	2	11	53.000	52.600	A1	1	12	Прокат горяч.повыш.точн.	вал	15	0.000	0.000
P2	2	6	17.120	16.880	A2	1	11	Точение от необр.пов.	вал	10	0.000	0.000
P3	2	3	4.380	4.220	A3	11	2	Точение черновое	вал	10	0.000	0.000
P4	4	6	10.200	10.000	A4	2	5	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000
P5	6	10	33.000	32.750	A5	2	7	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000
P6	6	8	18.120	17.880	A6	2	6	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000
P7	6	7	8.100	7.900	A7	2	4	Точение чистовое	вал	10	0.000	0.000
P8	9	10	8.100	7.900	A8	2	3	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000
Z1	1	2	0.000	0.000	A9	2	8	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000

Z2		5		6		0.000		0.000		A10		6		10		Точение чистовое		вал		10		0.000		0.000
Z3		12		11		0.000		0.000		A11		6		9		Точение чистовое		вал		10		0.000		0.000

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A3	P1=+A3
2	A6	P2=+A6
3	A8	P3=+A8
4	A10	P5=+A10
5	A7	P4=-A7+A6
6	A9	P6=-A6+A9
7	A5	P7=-A6+A5
8	A11	P8=-A11+A10
9	A2	Z1=-A3+A2
10	A4	Z2=-A4+A6
11	A1	Z3=-A2+A1

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **

KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014

Решается разм. цепь 1 типа "P" с неизв. звеном A3

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A3 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P1 : max= 53.000 min= 52.600

результаты расчёта звена A3 : max= 53.000 min= 52.600

следовательно, расч. допуск= 0.400

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A3 с учётом технолог. допуска:

номинал= 53.000 max= 53.000 min= 52.600

Решается разм. цепь 2 типа "P" с неизв. звеном A6

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A6 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P2 : max= 17.120 min= 16.880

результаты расчёта звена A6 : max= 17.120 min= 16.880

следовательно, расч. допуск= 0.240

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A6 с учётом технолог. допуска:

номинал= 16.880 max= 16.964 min= 16.880

Решается разм. цепь 3 типа "P" с неизв. звеном A8

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A8 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P3 : max= 4.380 min= 4.220

результаты расчёта звена A8 : max= 4.380 min= 4.220

следовательно, расч. допуск= 0.160

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A8 с учётом технолог. допуска:

номинал= 4.220 max= 4.303 min= 4.220

Решается разм. цепь 4 типа "P" с неизв. звеном A10

с о с т а в ц е п и :

увелич. звено A10 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P5 : max= 33.000 min= 32.750

результаты расчёта звена A10 : max= 33.000 min= 32.750

следовательно, расч. допуск= 0.250

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A10 с учётом технолог. допуска:

номинал= 33.000 max= 33.000 min= 32.901

Решается разм. цепь 5 типа "P" с неизв. звеном A7

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A7 : max= 0.000 min= 0.000

увелич. звено A6 : max= 16.964 min= 16.880

замык. звено - констр. размер P4 : max= 10.200 min= 10.000

результаты расчёта звена A7 : max= 6.880 min= 6.764

следовательно, расч. допуск= 0.116

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000

принимаем расчётный размер звена A7 с учётом технолог. допуска:

номинал= 6.880 max= 6.880 min= 6.796

Решается разм. цепь 6 типа "P" с неизв. звеном A9

с о с т а в ц е п и :

уменьш. звено A6 : max= 16.964 min= 16.880

увелич. звено A9 : max= 0.000 min= 0.000

замык. звено - констр. размер P6 : max= 18.120 min= 17.880

результаты расчёта звена A9 : max= 35.000 min= 34.843

следовательно, расч. допуск= 0.157

технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый

системой= 0.100 : верхн. откл.= 0.100 нижн. откл.= 0.000

принимает расчётный размер звена A9 с учётом технолог. допуска:
номинал= 34.843 max= 34.943 min= 34.843

Решается разм. цепь 7 типа "P" с неизв. звеном A5
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A6 : max= 16.964 min= 16.880
увелич. звено A5 : max= 0.000 min= 0.000
замык. звено - констр. размер P7 : max= 8.100 min= 7.900
результаты расчёта звена A5 : max= 24.980 min= 24.864
следовательно, расч. допуск= 0.116
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:
номинал= 24.864 max= 24.947 min= 24.864

Решается разм. цепь 8 типа "P" с неизв. звеном A11
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A11 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A10 : max= 33.000 min= 32.901
замык. звено - констр. размер P8 : max= 8.100 min= 7.900
результаты расчёта звена A11 : max= 25.001 min= 24.900
следовательно, расч. допуск= 0.101
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
принимает расчётный размер звена A11 с учётом технолог. допуска:
номинал= 25.001 max= 25.001 min= 24.917

Решается разм. цепь 9 типа Z1 с неизв. звеном A2
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.350
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A3 : max= 53.000 min= 52.600
увелич. звено A2 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.740 : верхн. откл.= 0.740 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A2 :
номинал= 54.090 max= 54.090 min= 53.350
припуск по звену A1 Z1 :
допуск= 1.140 max= 1.490 min= 0.350
===== звено A для расчета припуска - из другой РЦ !!! =====

Решается разм. цепь 10 типа Z2 с неизв. звеном A4
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.100
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A4 : max= 0.000 min= 0.000
увелич. звено A6 : max= 16.964 min= 16.880
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
расчётный размер звена A4 :
номинал= 16.696 max= 16.780 min= 16.696
припуск по звену A4 Z2 :
допуск= 0.168 max= 0.268 min= 0.100

Решается разм. цепь 11 типа Z3 с неизв. звеном A1
припуск ZMIN, рассчитанный системой= 0.350
с о с т а в ц е п и :
уменьш. звено A2 : max= 54.090 min= 53.350
увелич. звено A1 : max= 0.000 min= 0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый
системой= 0.600 : верхн. откл.= 0.300 нижн. откл.= -0.300
расчётный размер звена A1 :
номинал= 54.740 max= 55.040 min= 54.440
припуск по звену A1 Z3 :
допуск= 1.340 max= 1.690 min= 0.350

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7 плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья			Составляющие звенья							
P - черт.размер, Z - припуск			A - размеры заготовки и механообработки							
kon7плюс-122-120 D1 zz GRA HA--										
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения	Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
		max min					Верхнее	Нижнее		
-11/8/2023-11:36:51 PM-										
P1	2 11	53.000 52.600	A1	1 12	Прокат горяч.повыш.точн.	54.740	0.300	-0.300		
P2	2 6	17.120 16.880	A2	1 11	Точение от необр.пов.	54.090	0.000	-0.740		
P3	2 3	4.380 4.220	A3	11 2	Точение черновое	53.000	0.000	-0.400		
P4	4 6	10.200 10.000	A4	2 5	Точение чистовое	16.696	0.084	0.000		
P5	6 10	33.000 32.750	A5	2 7	Точение чистовое	24.864	0.084	0.000		
P6	6 8	18.120 17.880	A6	2 6	Точение чистовое	16.880	0.084	0.000		
P7	6 7	8.100 7.900	A7	2 4	Точение чистовое	6.880	0.000	-0.084		
P8	9 10	8.100 7.900	A8	2 3	Точение чистовое	4.220	0.084	0.000		
Z1	2 1	1.490 0.350	A9	2 8	Точение чистовое	34.843	0.100	0.000		
Z2	6 5	0.268 0.100	A10	6 10	Точение чистовое	33.000	0.000	-0.100		
Z3	11 12	1.690 0.350	A11	6 9	Точение чистовое	25.001	0.000	-0.084		

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символьной форме Баланс допусков
1	A3	53.000	0.000 -0.400	0.000	P1=+A3 0.400=>0.400
2	A6	16.880	0.084 0.000	0.157	P2=+A6 0.240=>0.084
3	A8	4.220	0.084 0.000	0.077	P3=+A8 0.160=>0.084
4	A10	33.000	0.000 -0.100	0.151	P5=+A10 0.250=>0.100
5	A7	6.880	0.000 -0.084	0.033	P4=-A7+A6 0.200=>0.084+0.084
6	A9	34.843	0.100 0.000	0.057	P6=-A6+A9 0.240=>0.084+0.100
7	A5	24.864	0.084 0.000	0.033	P7=-A6+A5 0.200=>0.084+0.084
8	A11	25.001	0.000 -0.084	0.017	P8=-A11+A10 0.200=>0.084+0.100
9	A2	54.090	0.000 -0.740	0.000	Z1=-A3+A2 1.140=>0.400+0.740
10	A4	16.696	0.084 0.000	0.000	Z2=-A4+A6 0.168=>0.084+0.084
11	A1	54.740	0.300 -0.300	0.000	Z3=-A2+A1 1.340=>0.740+0.600

Таблица 5 – Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
2	9	0.350	1.490	1.140	4.256	
6	10	0.100	0.268	0.168	2.675	
11	11	0.350	1.690	1.340	4.829	
						2.647

Таблица 6 – Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
A1	1	11 (Z3)
A2	2	9, 11 (Z1, Z3)
A3	2	1, 9 (P1, Z1)
A4	1	10 (Z2)
A5	1	7 (P7)
A6	5	2, 4, 6, 7, 10 (P2, P4, P6, P7, Z2)
A7	1	4 (P4)
A8	1	3 (P3)
A9	1	6 (P6)
A10	2	5, 8 (P5, P8)
A11	1	8 (P8)

Конец заказа 3=Valik_Kalachev_Grakon-Clean2=исправил.isx

Рисунок б1 – Результаты расчета по 3-му варианту для детали «Палец»

В четвертом варианте попробуем изменить базу для размера A₁₁ и тем самым избавиться от погрешности базирования. Результаты расчета на рисунке б2 показывают, что запас точности для A₁₁ увеличился. Но, как видно из таблицы 6, этот размер не влияет на другие технологические размеры. Из этой же таблицы видим, что важное значение для реализации точности РЦ имеет размер A₆ – он входит в пять (!) цепей.

Запас точности по этому размеру наибольший, и урезать его не следует.

В дальнейшем можно предлагать варианты, где будет отсутствовать погрешность базирования для других размеров, и эти корректировки существенно перестроят анализируемый заводской ТП.

Исходные данные и результаты анализа технологических размерных цепей													
Программа KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014 (в.122 120 D1 zz GRA HA)													
Текст пользователя 4=Valik_Kalachev_Grakon-Clean2=исправил.isx													
Таблица 1 - Исходные данные (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал.....		сталь											
Способ получения.....		Прокат горяч.повыш.точн.											
Резка.....		дисковыми пилами											
Класс (степень) точности..		---											
Габаритный размер по направлению технологических размеров...		60.000											
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры А						Поп-		Отклонения	
Р-черт.размер. Z-припуск				заготовки <-->, затем мех.обработки 0-->						реч-		допуска DT	
-----пользователя													
Зве-	Границы	Предел.значения		Зве-	Границы	Метод обработки		Сист-	раз-				
но	Р: л-п	-----		но	<----->			допу	мер,	-----			
	Z: н-с	max	min		База-->			ска	мм	Верх.	Нижнее		
-----11/8/2023-11:38:34 PM-----													
P1	2	11	53.000	52.600	A1	1	12	Прокат горяч.повыш.точн.	вал	15	0.000	0.000	
P2	2	6	17.120	16.880	A2	1	11	Точение от необр.пов.	вал	10	0.000	0.000	
P3	2	3	4.380	4.220	A3	11	2	Точение черновое	вал	10	0.000	0.000	
P4	4	6	10.200	10.000	A4	2	5	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000	
P5	6	10	33.000	32.750	A5	2	7	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000	
P6	6	8	18.120	17.880	A6	2	6	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000	
P7	6	7	8.100	7.900	A7	2	4	Точение чистовое	вал	10	0.000	0.000	
P8	9	10	8.100	7.900	A8	2	3	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000	
Z1	1	2	0.000	0.000	A9	2	8	Точение чистовое	отв	10	0.000	0.000	
Z2	5	6	0.000	0.000	A10	6	10	Точение чистовое	вал	10	0.000	0.000	
Z3	12	11	0.000	0.000	A11	10	9	Точение чистовое	вал	10	0.000	0.000	

Таблица 2 - Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения

Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме
1	A3	P1=+A3
2	A6	P2=+A6
3	A8	P3=+A8
4	A10	P5=+A10
5	A11	P8=+A11
6	A7	P4=-A7+A6
7	A9	P6=-A6+A9
8	A5	P7=-A6+A5
9	A2	Z1=-A3+A2
10	A4	Z2=-A4+A6
11	A1	Z3=-A2+A1

** Информация о ходе расчёта технологических размеров при решении разм. цепей **
 KON7плюс (С) Калачев О.Н., 2014
 Решается разм. цепь 1 типа "Р" с неизв. звеном А3
 состав цепи:
 увелич. звено А3 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P1 : max= 53.000 min= 52.600
 результаты расчёта звена А3 : max= 53.000 min= 52.600
 следовательно, расч. допуск= 0.400
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.400 : верхн. откл.= 0.400 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена А3 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 53.000 max= 53.000 min= 52.600
 Решается разм. цепь 2 типа "Р" с неизв. звеном А6
 состав цепи:
 увелич. звено А6 : max= 0.000 min= 0.000
 замык. звено - констр. размер P2 : max= 17.120 min= 16.880
 результаты расчёта звена А6 : max= 17.120 min= 16.880
 следовательно, расч. допуск= 0.240
 технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый системой= 0.084 : верхн. откл.= 0.084 нижн. откл.= 0.000
 принимаем расчётный размер звена А6 с учётом технолог. допуска:
 номинал= 16.880 max= 16.964 min= 16.880
 Решается разм. цепь 3 типа "Р" с неизв. звеном А8

номинал=	16.696	max=	16.780	min=	16.696
припуск по звену A4 Z2 :					
допуск=	0.168	max=	0.268	min=	0.100
Решается разм. цепь 11 типа Z3 с неизв. звеном A1					
припуск ZMIN, рассчитанный системой=	0.350				
с о с т а в ц е п и :					
уменьш. звено A2 :		max=	54.090	min=	53.350
увелич. звено A1 :		max=	0.000	min=	0.000
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый					
системой=	0.600	верхн. откл.=	0.300	нижн. откл.=	-0.300
расчётный размер звена A1 :					
номинал=	54.740	max=	55.040	min=	54.440
припуск по звену A1 Z3 :					
допуск=	1.340	max=	1.690	min=	0.350

Таблица 3 - Результаты расчета технологических РЦ по программе KON7плюс (С) Калачёв О.Н., 2014 (в.122_120 D1 zz GRA HA)

Замыкающие звенья				Составляющие звенья				кон7плюс-122-120 D1 zz GRA HA--		
Р - черт.размер, Z - припуск				А - размеры заготовки и механообработки						
Ин-декс звена	Гра-фич. звена	Предел. значения	Ин-декс звена	Гра-фич. звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
		max	min				Верхнее	Нижнее		
-11/8/2023-11:38:34 PM-										
P1	2 11	53.000	52.600	A1	1 12	Прокат горяч.повыш.точн.	54.740	0.300	-0.300	
P2	2 6	17.120	16.880	A2	1 11	Точение от необр.пов.	54.090	0.000	-0.740	
P3	2 3	4.380	4.220	A3	11 2	Точение черновое	53.000	0.000	-0.400	
P4	4 6	10.200	10.000	A4	2 5	Точение чистовое	16.696	0.084	0.000	
P5	6 10	33.000	32.750	A5	2 7	Точение чистовое	24.864	0.084	0.000	
P6	6 8	18.120	17.880	A6	2 6	Точение чистовое	16.880	0.084	0.000	
P7	6 7	8.100	7.900	A7	2 4	Точение чистовое	6.880	0.000	-0.084	
P8	9 10	8.100	7.900	A8	2 3	Точение чистовое	4.220	0.084	0.000	
Z1	2 1	1.490	0.350	A9	2 8	Точение чистовое	34.843	0.100	0.000	
Z2	6 5	0.268	0.100	A10	6 10	Точение чистовое	33.000	0.000	-0.100	
Z3	11 12	1.690	0.350	A11	10 9	Точение чистовое	8.100	0.000	-0.084	

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее	Запас	Уравнения в символьной форме
			Нижнее	точн.	Баланс допусков
1	A3	53.000	0.000	0.000	P1=+A3 0.400=>0.400
2	A6	16.880	0.084	0.157	P2=+A6 0.240=>0.084
3	A8	4.220	0.084	0.077	P3=+A8 0.160=>0.084
4	A10	33.000	0.000	0.151	P5=+A10 -0.100=>0.100
5	A11	8.100	0.000	0.116	P8=+A11 -0.084=>0.084
6	A7	6.880	0.000	0.033	P4=-A7+A6 -0.084=>0.084+0.084
7	A9	34.843	0.100	0.057	P6=-A6+A9 0.000=>0.084+0.100
8	A5	24.864	0.084	0.033	P7=-A6+A5 0.000=>0.084+0.084
9	A2	54.090	0.000	0.000	Z1=-A3+A2 -0.740=>0.400+0.740
10	A4	16.696	0.084	0.000	Z2=-A4+A6 0.000=>0.084+0.084
11	A1	54.740	0.300	0.000	Z3=-A2+A1 -0.300=>0.740+0.600

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
2	9	0.350	1.490	1.140	4.256	
6	10	0.100	0.268	0.168	2.675	
11	11	0.350	1.690	1.340	4.829	

2.647

Таблица 6 – Частота вхождения каждого звена в размерные цепи

Звено	Число вхожд	Номер РЦ (Зам. зв. РЦ)
A1	1	11 (Z3)
A2	2	9, 11 (Z1, Z3)
A3	2	1, 9 (P1, Z1)
A4	1	10 (Z2)
A5	1	7 (P7)
A6	5	2, 4, 6, 7, 10 (P2, P4, P6, P7, Z2)
A7	1	4 (P4)
A8	1	3 (P3)
A9	1	6 (P6)
A10	1	5 (P5)
A11	1	8 (P8)

Конец заказа 4=Valik_Kalachev_Grakon-Clean2=исправил.isx

Рисунок 62 – Результаты расчета по четвертому варианту

Отметим, что для этой детали, у которой большинство размеров получается однократной обработкой со снятием напуска (на припуски!), предложенный нами критерий не вполне характеризует точность обработки всей детали!

19 Обобщение представления о размерном анализе

Рассмотренные выше примеры и варианты обработки с их особенностями (если их дополнить еще и отработкой на технологичность по конструкторским размерам), позволяют представить размерный анализ проектируемого ТП в более широком смысле – как трехуровневый процесс (рисунок 63): на первом уровне – анализ целесообразности простановки конструкторских размеров с учетом функционирования детали.

На втором уровне – перебор числа припусков (уточняющей обработки отдельных поверхностей детали и их сочетаний)

На третьем – выбор последовательности баз и топологии технологических размеров (последовательность выполнения размеров при заданном числе припусков).

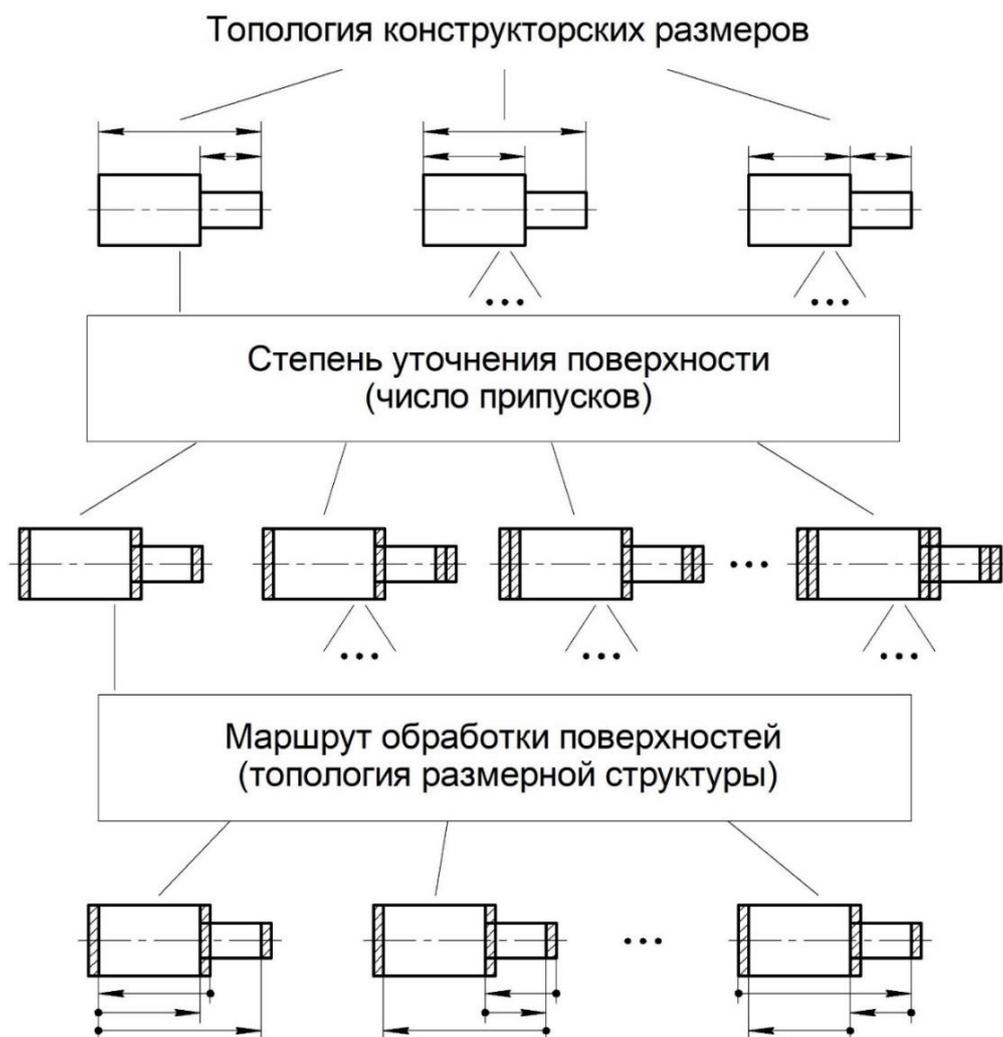


Рисунок 63 – Многовариантность при проектировании размерной структуры ТП

Таким образом, расчет технологических размеров в ходе проектирования ТП изготовления детали предполагает проведение размерного анализа, который включает генерирование вариантов размерной структуры ТП (рисунок 64), выполнение расчетов размерных цепей и оценку наиболее эффективного варианта первоначально на основе минимизации суммарного припуска конечных этапов обработки заготовки.

При этом в дальнейшем необходимо выбирать вариант, в котором заданная точность конструкторских размеров обеспечивается меньшим количеством переходов с использованием наименее точного характера обработки выбранного метода.

Напомним цель размерных расчетов и их место технологической документации – рассчитанные значения технологических размеров, которые заносятся в технологический документ – операционную карту и отображаются на карте эскизов (рисунок 65).

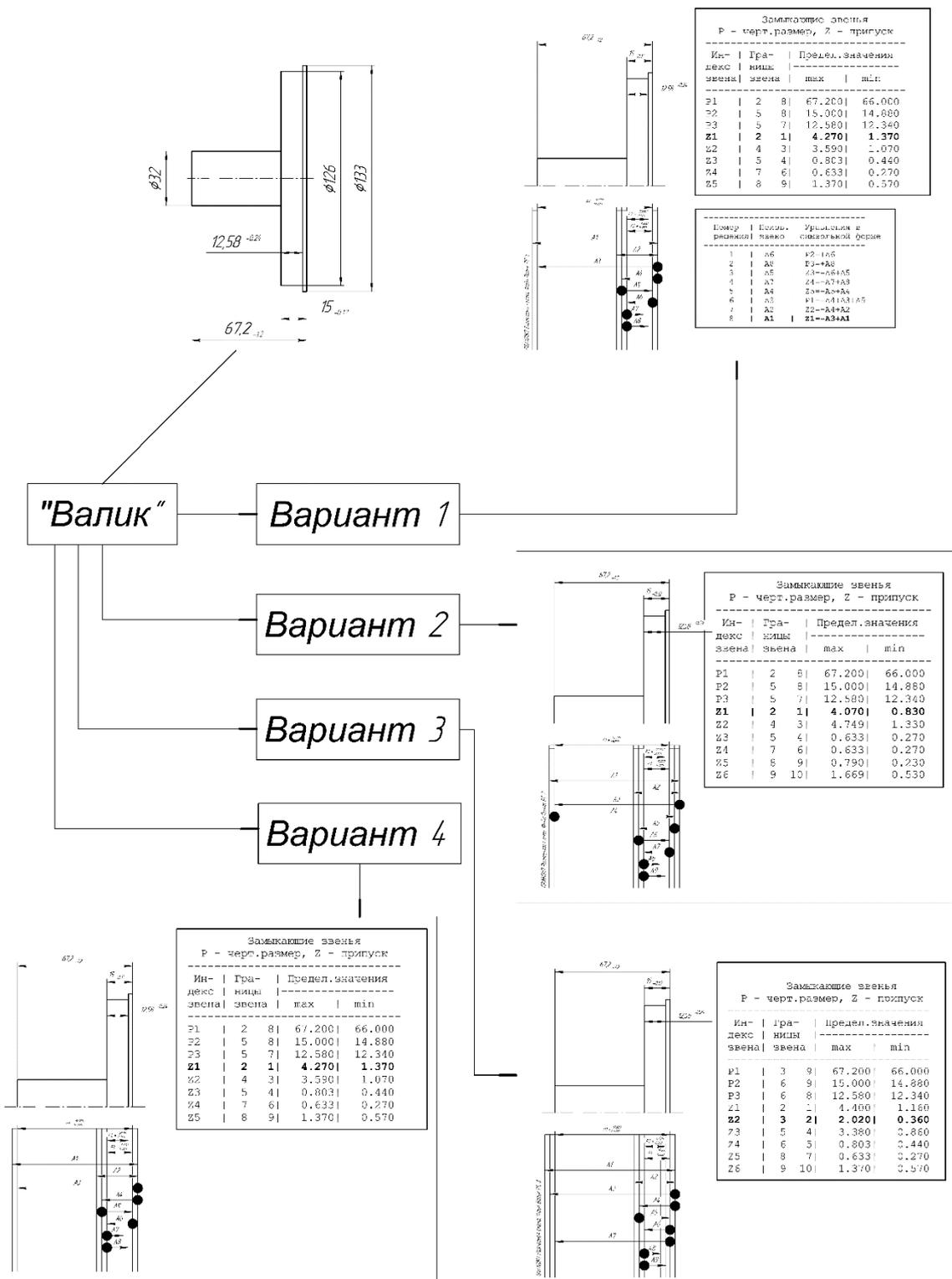


Рисунок 64 – Пример сформированных вариантов размерной структуры

Заключение

Размерный анализ предполагает проведения численного эксперимента, который включает учет трех факторов, влияющих на выбор оптимальной размерной структуры ТП механообработки. К их числу относятся: технологические базы, точность обработки и степень уточнения при обработке отдельных поверхностей. В качестве целевой функции выбрано суммарное значение колебаний припусков на последней обработке каждой поверхности. Критерием рационального варианта размерной структуры ТП предлагается минимум означенной суммы.

Программа «KON7 плюс» не автоматически находит наилучший вариант размерной структуры ТП, но является инструментом размерного анализа нескольких конкурирующих вариантов. Степень успешности варианта зависит в определенной степени от опыта пользователя-технолога: от назначенного – в зависимости от точности предполагаемой заготовки и точности детали – маршрута обработки поверхности (МОП), от его представления о влиянии сочетания перечисленных выше трех факторов в проектируемом ТП данной детали.

Ознакомление с приведенными вариантами ТП и распечатками результатов, показывает, что расчет технологических размеров в цепях типа «Р» контролируется соблюдением неравенства РТД должен обеспечиваться ПТД. Иная ситуация в РЦ типа «Z». Обычно в ходе традиционных расчетов выбирается минимальное значение припуска, а максимальное зависит от точности двух сопряженных технологических размеров, которые не известны в начале расчета. Отсюда следует, что в таких цепях допуск для рассчитанного номинала припуска оценивается по заданной точности оборудования на этапе определения размеров, примыкающих к припуску, т.е. максимальное значение припуска рассчитывается из размерной цепи. В этом случае колебание припуска, т.е. допуск на припуск, может быть, в широких пределах. И не обращать на это внимание – значит игнорировать различного рода погрешности цеховой обработки из-за различной глубины резания у разных заготовок партии.

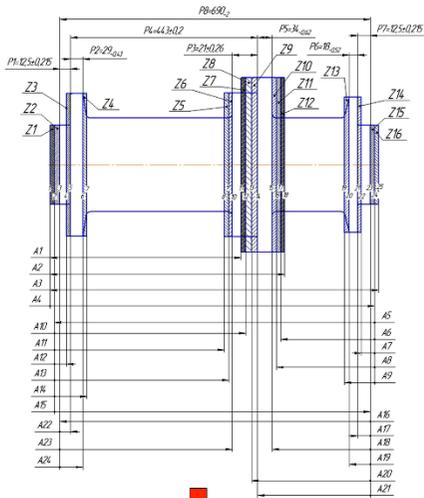
Предложенный критерий – минимизация суммарного допуска на последней стадии обработки позволяет найти приемлемый компромисс при решении вопроса о выборе рациональной размерной структуры проектируемого ТП, при которой заданная точность конструкторских размеров будет гарантированно выдерживаться при выполнении рассчитанных программой технологических размеров.

Выполненные расчеты демонстрируют очевидные для практика качественные закономерности: чем точнее метод обработки (станок), чем правильнее выбрана технологическая база (с соблюдением принципа единства баз), чем больше ступеней обработки одной и той же поверхности от

предварительно обработанных баз, тем больше уверенности в достижении заданных конструкторских размеров.

В приложении приводятся фрагменты работ некоторых отечественных и зарубежных авторов, с которыми будет полезно ознакомиться для лучшего понимания рассмотренного в данной работе материала.

Создаем расчетную схему



После выбора команды расчет в открывшемся окне получаем результаты

№	Гр.	Предел. значение	Исч.	Гр.	Исч.	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
звена	звена	мак	мин	звена	звена			Верхнее			
P1	3	5	12.715	12.285	A1	1	11	штамповка обчм.	1454.013	10.000	-5.000
P2	1	5	29.000	28.570	A2	18	1	штамповка обчм.	1506.554	0.900	-0.800
P3	10	14	21.260	20.740	A3	25	1	штамповка обчм.	1718.431	10.000	-5.000
P4	3	14	143.200	142.800	A4	1	24	фрезер-с закл.	1703.151	0.280	0.000
P5	14	15	34.000	33.380	A5	24	2	фрезер-с закл.	1693.068	0.084	0.000
P6	20	21	18.000	17.480	A6	24	17	точение черновое	1199.678	0.600	0.000
P7	21	23	12.715	12.285	A7	22	24	точение черновое	12.178	0.280	0.000
P8	3	23	690.000	688.000	A8	24	16	точение черновое	1200.697	0.600	0.000
P9	1	1	---	---	A9	1	1	точение черновое	34.419	0.340	0.000
P10	1	2	---	---	A10	2	12	точение черновое	136.013	0.760	0.000
P11	4	5	---	---	A11	2	8	точение черновое	432.435	0.760	0.000
P12	4	6	---	---	A12	2	4	точение черновое	12.178	0.280	0.000
P13	8	9	---	---	A13	2	9	точение черновое	435.195	0.760	0.000
P14	9	10	---	---	A14	7	2	точение черновое	45.425	0.340	0.000
P15	11	12	---	---	A15	2	23	фрезер-с закл.	691.021	0.045	0.000

Результаты заносим в операционную карту

Деталь	Материал	Твердость	EB	MD	Профиль и размеры	M3	КОИД
Наименование операции	Оборудование, устройство ЧПУ	Тс	тв	Уаз	Уазт	СДК	
1. Установить деталь в тиски.							
2. Фрезеровать правый торец (1) как чисто в размер 403.151 ± 0.084 мм.	Горизонтально-расточной станок HeiBolt В-110	18,1	1,9	28,1	21,7		
3. Сверлить центровое отверстие (3) формы А $\phi 12$ мм на $l=26,2$ мм.							
4. Повернуть стол на 180°.							
5. Фрезеровать левый торец (2) в размер 493.068 ± 0.084 мм.							
6. Сверлить центровое отверстие (4) формы А $\phi 12$ мм на $l=26,2$ мм.							

Запускаем программу и заполняем необходимые вкладки

Деталь	Материал	Твердость	EB	MD	Профиль и размеры	M3	КОИД
1. Переустановить деталь в последнем патроне. Поднять центром.							
2. Тошнить диаметр (1) $\phi 404$ мм на проход центрального фланца.							
3. Тошнить диаметр (2) $\phi 333$ мм на длину 256.013 ± 0.076 мм с подрезкой торца (3).							
4. Тошнить диаметр (4) $\phi 332$ мм на длину 432.435 ± 0.76 мм.							
5. Тошнить диаметр (5) $\phi 185$ мм на длину 12.178 ± 0.28 мм с подрезкой торца (6).							
6. Тошнить канавку (7) $\phi 218$ мм шириной 379.075 ± 0.34 мм с уклоном по внутренней стороне левого фланца.							

Рисунок 65 – Оформление результатов размерного анализа

Список литературы

1. Кован, В.М. Расчет припусков на обработку в машиностроении: Справочное пособие / В.М. Кован. – М.: Машгиз, 1953. – 320 с.
2. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. – Минск: Высш. шк., 1983. – 256 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
4. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения. М., «Машиностроение», 1969. – 560 с.
5. Мордвинов, Б.С., Огурцов Е.С. Расчет технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки – Омск: ОмПИ, 1975. – 160 с.
6. Масыгин, В.Б. Совершенствование теории размерного анализа на основе кромочной модели/ LAP LAMBERT Academic Publishing (22 ноября 2016 г.) 332 с.
7. Калачев, О.Н., Малых О.М. Автоматизация построения и решения на ЕС ЭВМ технологических размерных цепей. ЯрПИ, Ярославль. 1984. Рукопись депонирована в НИИМАШ, № 63 МШ-Д83.
8. Калачев, О.Н. Автоматизация размерного анализа технологических процессов с помощью ЕС ЭВМ: Методические указания к практическим занятиям / Сост.: О.Н. Калачев, В.Т. Сеницын, А.М. Шапошников; Яросл. политехн. ин-т, 1987. – 36 с.
9. Калачев, О.Н., Рудницкий В.Ф., Иванов П.И. Автоматизированная система расчета на ПЭВМ технологических размеров мехобработки. ЯрПИ, Ярославль. 1991. Рукопись депонирована в Информприбор, № 5020- пр. 91 от 23.07.91.
10. Kalachev, O.N. Computer Graphics in Dimensional Analysis of Technological Processes of Machining. Conference proceedings. AMTECH' 95. Science Conference Advanced Manufacturing Technology, Rousse, Bulgaria, 19-21 April 1995. p. 156-163.
11. САПР в технологии машиностроения: Учебное пособие / В.Г. Митрофанов, О.Н. Калачев, А.Г. Схиртладзе и др. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 1995. – 298 с.
12. Калачев, О.Н. Отчет о НИР для ЯМЗ ОАО Автодизель по теме "Разработка программной системы для осевого размерного анализа при проектировании технологического процесса механической обработки". ЯГТУ, Ярославль, 2000. – 94 с. (рук)

13. Калачев, О.Н., Тихомиров М.В. Разработка интерактивной системы KON7 для расчета размеров механообработки. Актуальные проблемы машиностроения: Материалы I Межд. научно-техн. конф., Владимир, 2001.- С. 155-157.
14. Калачев, О.Н., Погорелов С.А. Анализ механообработки деталей дизельного двигателя на основе компьютерного моделирования размерных изменений заготовки // Труды Четвертой межд. науч.-техн. конференции «Математическое моделирование физических, экономических, технических, социальных систем и процессов» / Под ред. проф. Ю.В. Полянского - Ульяновск: УлГУ, 2001. - С. 80- 82.
15. Калачев, О.Н. Интерактивное моделирование размерных изменений заготовки при проектировании технологического процесса механообработки // Информационные технологии. – 2001. – № 2. – С. 10-14, 58.
16. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Программный комплекс «KON7. Расчет технологических размерных цепей» / О.Н. Калачев. - № 2001610834, 2001.
17. Калачев, О.Н., Погорелов С.А. Автоматизированное проектирование размерной структуры механообработки в среде AutoCAD "Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика". Изд-во «Научтехлитиздат». - М.: - 2002. - №3. - С. 9-15
18. Калачев, О.Н., Погорелов С.А. Автоматизация размерных расчетов на этапе проектирования технологического процесса механообработки "Вестник машиностроения". Изд-во «Машиностроение». – М.: - 2002. - №6.- С. 54-58
19. Kalachev, O. Dimensional technological chains construction and calculation/ ResearchGate.net 2002 [Электронный ресурс] // URL: https://www.researchgate.net/publication/262004006_Dimesional_technological_chains_construction_and_calculation (дата обращения 27.11.2023).
20. Калачев, О.Н. О критериях размерного качества проектируемого процесса механообработки. "Обработка металлов ". Новосибирск: - 2003. – №3.- С. 6-8.
21. KON7 Построение и расчет технологических размерных цепей / Web-страница кафедры «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения» ЯГТУ, Ярославль. [Электронный ресурс] // URL: <http://tms.ystu.ru> (дата обращения 27.09.2023).
22. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. «KON7 плюс. Анализ размерной структуры технологического процесса

- механообработки и расчет технологических размеров»/ О.Н. Калачев, Д.А. Калачева. – № 2014619255, 2014.
23. Калачев, О.Н., Калачева Д.А. Об учете колебания припусков при автоматизации расчета технологических размеров механообработки // Инновации в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции/ под. ред. А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц, – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – 537 с. - С. 253-257.
 24. Калачев, О.Н., Калачева Д.А. К уточнению расчета припусков при автоматизации размерного анализа технологического процесса механообработки // «Информационные технологии. Проблемы и решения». – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. Том 1(5). 508 с. - С. 88-92.
 25. Калачев, О.Н., Калачева Д.А. К выбору критерия оценки качества размерной структуры при моделировании технологического процесса Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» – Кемерово, 2022 – 923 с. - С. 111-115
 26. Исследование вопросов размерного анализа технологического процесса механообработки с учетом особенностей расчета припусков Монография – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. – 260 с.
 27. Иванников, С.Н., Шандов М.М. Влияние неравномерности припуска обрабатываемых заготовок на выходные параметры технологического оборудования // Материалы Международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторострое-ние в России: приоритеты развития и подготовки кадров», посвящённой 145-летию МГТУ «МАМИ». Секция 7. Технологии и оборудование механосборочного производства / МГТУ «МАМИ». – М., 2010. – С.128-131.
 28. Иващенко, И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975.– 222 с.
 29. Марасинов М.А. Руководство по расчету операционных размеров. – Рыбинск. РГАТА, 1971. – 56 с.
 30. Калачев, О.Н., Ступар А.Ч. Размерный анализ и анимационное моделирование механообработки. Материалы 55-й межвуз. научн.-техн. конф. «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству». Кострома: - КГТУ. 2003. - С 148-150.
 31. Калачев, О.Н., Булычев Ю.В. Программная модификация геометрии 3D-модели детали в Autodesk Inventor для построения графа изменения

- размеров заготовки при механообработке // Математика и естественные науки. Теория и практика: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 10. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2015. – 315 с.; – С. 241-246.
32. Калачев, О.Н. Моделирование размеров механообработки в среде AutoCAD 200х на основе использования приложения GRAKON7 / О.Н. Калачев, А.Д. Рехтер // САПР и графика. – 2002. – № 2. – С. 100-104.
33. Документация по программным продуктам: KON7 и GRAKON7: Отчет по х/д НИР с ЯМЗ / Науч. руководитель О.Н. Калачев. – Ярославль: ЯГТУ, 2000. – 95 с. (рукопись).
34. Éric Pairela, Ephraïm Goldschmidt, Benjamin Vayreb, Boukar Abdelhakima and Maurice Pilleta. Process plans and manufacturing dimensions for the steering of machining: The Copilot-Pro methodology // 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing. – 18-19 April 2012. pp 323-332.
35. X.Y. Shao, K. Lin, L. Gao, H.B. Qiu Research on Tolerance Analysis System Based on 3D Collaborative Design Platform //Advanced Materials Research Vols. 44-46 (2008) pp 253-260.
36. Маталин, А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 496 с.

Приложение А - Избранные страницы некоторых источников по размерным расчетам

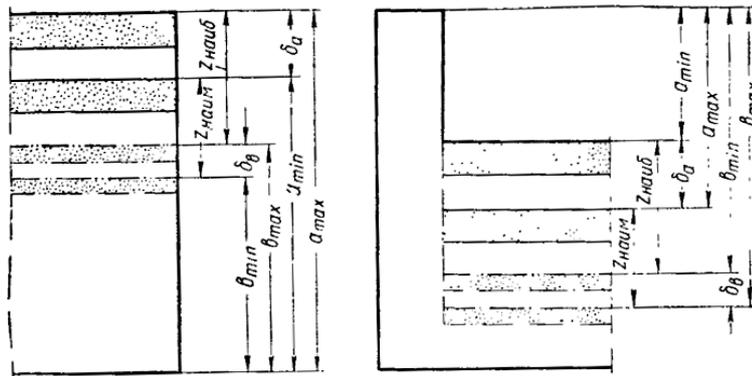
для внешних поверхностей и

$$a_{\min} = b_{\min} - z_{v \text{ наиб}} ;$$

$$a_{\max} = a_{\min} + \delta_a$$

для внутренних поверхностей.

Таким образом, исходя из заданного чертежом размера могут быть определены промежуточные размеры по всем технологическим переходам — от готовой детали до черной заготовки.



Фиг. 24.

Расчетные промежуточные размеры по технологическим переходам могут быть также определены, исходя из наименьших припусков на обработку (фиг. 24):

$$a_{\min} = b_{\min} + z_{v \text{ наим}} ;$$

$$a_{\max} = a_{\min} + \delta_a$$

— для внешних поверхностей и

$$a_{\max} = b_{\max} - z_{v \text{ наим}} ;$$

$$a_{\min} = a_{\max} - \delta_a$$

— для внутренних поверхностей.

Вывод формул по наибольшим предельным размерам для внешних поверхностей и по наименьшим предельным размерам для внутренних поверхностей принят из соображений получения при расчете в обоих случаях одинаковых, а именно — наибольших значений припусков на обработку.

Определение наибольших значений припуска нами принято как правило, в связи с тем, что в особых случаях, когда при расчете припусков допуск принимается не по нормативам, а определяется расчетом (нежесткие детали, крупные детали тяжелого машиностроения и другие случаи), он не может быть определен для выполняемого перехода, пока не сделан полный расчет для предшествующего перехода, т. е. δ_v , входящее в $z_{\text{наим}}$; не может быть определено ранее δ_a , входящего в $z_{\text{наиб}}$.

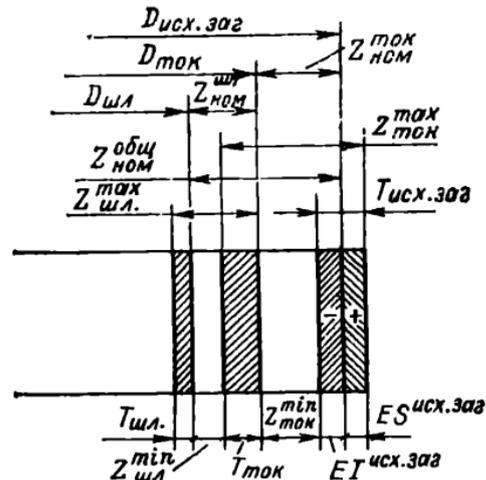
следует, что максимальный припуск на обработку поверхности определяется формулой

$$Z_i^{\max} = Z_i^{\min} + TA_{i-1} + TA_i, \quad (9.3)$$

где TA_{i-1} и TA_i — допуски для предшествующей и последующей операции или переходов.

Допуск припуска — это разность между максимальным и минимальными значениями размера припуска.

Рис. 9.1
Схема расположения припусков и допусков на токарную обработку и шлифование вала (номинальные диаметры: исходной заготовки вала — $D_{исх. заг}$, вала после точения — $D_{ток}$, после шлифования — $D_{шл}$; номинальные припуски: общий припуск на обработку — $Z_{общ. ном}$, операционные припуски на точение — $Z_{ток}$ и на шлифование — $Z_{шл}$)



Номинальный (расчетный) операционный припуск $Z_{i \text{ ном}}$ — разность номинальных размеров изделия до и после обработки на данной операции. В соответствии со схемой, приведенной на рис. 9.1,

$$Z_{i \text{ ном}} = Z_{i \text{ ном}}^{\min} + TA_{i-1}. \quad (9.4)$$

При определении номинального припуска для первой операции обработки заготовки, имеющей симметричное расположение поля допуска, в формулу (9.4) вводится не все поле допуска, а только его минусовая часть, расположенная от номинала «в тело», т. е. нижнее отклонение EI . Из формулы (9.4) следует, что номинальный операционный припуск складывается из наименьшего припуска на выполнение данной операции $Z_{i \text{ ном}}^{\min}$ и допуска на обработку заготовки на предшествующей операции TA_{i-1} .

При ориентировочных расчетах припусков для механической обработки можно принять соотношение

$$Z_{i \text{ ном}} = (2 - 4) TA_{i-1}. \quad (9.5)$$

Формулы (9.4) и (9.5) показывают, что всякое расширение допусков для предыдущих операций неизбежно вызывает увеличение припуска на обработку для последующих, что обычно ведет к снижению производительности последних операций. И наоборот, при уменьшении припуска на обработку для данной операции приходится соответственно повышать точность, а следовательно, и стоимость предшествующей обработки.

на нижнюю поверхность B (рис. 6.24, $г$). Так как дно паза C связано размером $10^{+0,36}$ с верхней плоскостью A , эта плоскость является для паза конструкторской и измерительной базами. В этом случае технологическая база — поверхность B не совпадает с конструкторской и измерительной базами и не связана с ними ни размером, ни условием правильного взаимного расположения.

Поскольку при работе на настроенном станке расстояние от оси фрезы до плоскости стола сохраняется неизменным ($k = \text{const}$), а следовательно, постоянен и размер c , отсутствующий на чертеже, то размер глубины паза $a = 10^{+0,36}$ мм не может быть выдержан, так как на его колебание непосредственно влияет погрешность размера $b = 50_{-0,62}$ мм, выдерживаемого на предыдущей операции (рис. 6.24, $б$).

Очевидно, что на операционном эскизе фрезерования паза в этом случае следует поставить технологический размер c , точность которого не зависит от предыдущей операции, а конструкторский размер $a = 10^{+0,36}$ мм целесообразно с эскиза снять. Расчет технологического размера c , а также нового технологического допуска

размера b можно произвести, исходя из размерной цепи, приведенной на рис. 6.24, $в$. Из рисунка видно, что $c = b - a = 50 - 10 = 40$ мм.

Допуск размера c определяется из той же размерной цепи, в которой исходным размером является конструкторский размер $a = 10^{+0,36}$, так как весь расчет производится на основании предположения, что размер a должен быть автоматически получен в пределах заданного конструктором допуска при выполнении составляющих размеров цепи b и c в пределах установленных для них допусков. В соответствии с формулой (5.3) $Ta = Tb + Tc$, откуда $Tc = Ta - Tb$. Подставляя соответствующие значения, получаем $Tc = 0,36 \dots 0,62$.

Так как допуск — величина существенно положительная и отрицательной быть не может, полученное уравнение не может быть решено без увеличения уменьшаемого или без уменьшения вычитаемого. Допуск размера a задан конструктором и не может быть увеличен, поэтому единственным способом решения поставленной задачи является уменьшение вычитаемого, т. е. ужесточение допуска на размер b . Уменьшение Tb следует произвести таким образом, чтобы на размер b и на технологический размер c были установлены

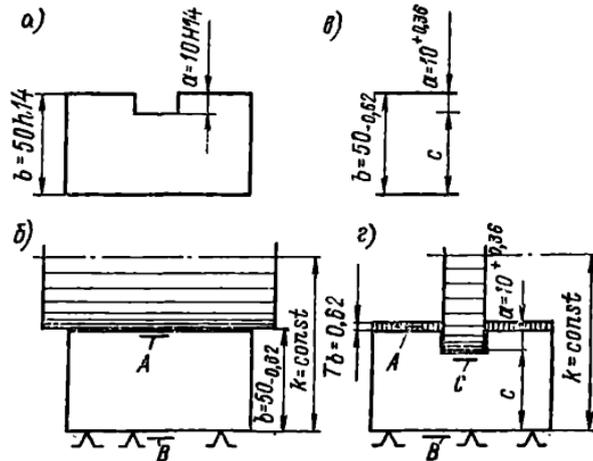


Рис. 6.24 Фрезерование паза от опорной технологической базы B , не совпадающей с конструкторской

dimensions are designated by the character "A" with sequentially increasing index. After association of operational sketches turns out the so-called dimensional scheme (figure 3).

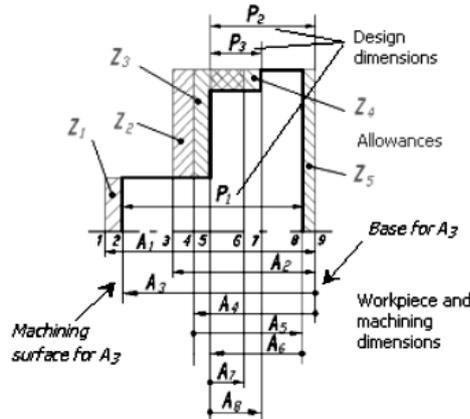


Figure 3

Design (drawing) dimensions P_i are specified above a part on this scheme, with sequentially increasing index. The allowances designated by Z_i are numbered from left to right. All surfaces of the workpiece and the part also should be numbered from left to right.

Vertical lines are carried out through indexed surfaces. Between these lines dimensions of the workpiece designated by A_i and the machining dimensions received as a result of execution of each technological change (operation) are put.

We shall remark, that workpiece dimensions are designated by double-side arrows, and workpiece and machining dimensions are represented on the scheme by a vector which is directed from a base surface to manufacturing (obtained) on the given change. It is necessary to underline, that only position of allowances and technological dimensions between the intermediate surfaces received during processing are indicated on the dimensional scheme. Values of dimensions will be calculated subsequently.

There should be represented so much chains on the dimensional scheme, how many there are design dimensions and allowances in the sum on the scheme, as each dimensional chain has only one closing branch (a design dimension or an allowance).

For the preliminary, qualitative analysis of TP variant it is possible to manually construct graph dimensional changes of the workpiece. And with its help to reveal equations of dimensional chains, and then to analyze them (Figure 4).

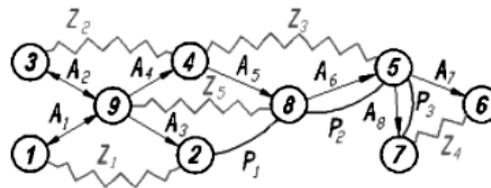


Figure 4

The process of revealing of technological dimensional chains can be considerably facilitated if on dimensional scheme construct structural model, using geometrical representations of graph theory. The part during its manufacturing can be considered as the geometrical structure consisting of set of surfaces - the tops designated on the graph by circles, and edges - sizes between tops which on the graph are represented by the segments of various sort connecting circles. There is a rule, according to which structure of the graph and consequently, the dimensional scheme of variant TP are constructed truly if the sum of design dimensions and allowances is equal to the sum of technological dimensions and dimensions of the workpiece.

With the help of the graph it is easy to visually search outlines of dimensional chains and to construct the equations (Figure 5).

By quantity of dimensions making each chain it is possible to estimate expediency of variant TP qualitatively. So, for example, at number of component branches for a chain with a closing branch - design dimension more than 2, support of accuracy of this dimension, will be probably problematic.

Рисунок А.5 – Фрагмент 1 из [10]

1. Introduction

One of the daily issues of the setters of machining is to correct the shape and location of the cutting tools in order that workpieces meet the tolerances specified by the designers. The technique commonly used is to machine a first workpiece, then to extract it from the machine tool in order to measure it and finally to compute the corrections to the tools.

The dimensions which are measured on the workpiece do not correspond to the dimensions specified by the designer of the part. For instance, in order to adjust the final location of the tool 1 (see figure 1), the setter will measure the manufacturing dimension $CF1$ instead of the dimensions $CE1$ and $CE2$ specified by the designer. Indeed it is easier to calculate the correction of tool 1 by measuring $CF1$ than by measuring $CE1$ and $CE2$ which also depend on the location of tool 2. However, this method has several disadvantages:

- The setter will tend to measure $CF1$ before making the surface 2. He will therefore mount and unmount the workpiece twice: Once for $CF1$ and a second time for $CF2$, which lengthens the setting times.
- The tolerances of these manufacturing dimensions should be much smaller than the ones of the design dimensions CEi . On this example, $CF1$ and $CF2$ must have a tolerance about 0.1mm ($\pm 0.05\text{mm}$) in order that the tolerance about 0.2mm ($\pm 0.1\text{mm}$) of the $CE2$ is guaranteed, which is a division by two of the tolerances on this example.
- The conformity of the workpieces cannot be declared from these manufacturing dimensions because one would take the risk to reject workpieces which meet the design dimensions. For instance, $CF1$ and $CF2$ may have a deviation of 0.07mm and therefore be out of the tolerance of $\pm 0.05\text{mm}$, whereas neither $CE1$ nor $CE2$ are out of their tolerances. Indeed, in this case, $CE1$ has got a deviation of 0.07mm and $CE2$ none.

Nevertheless this method, historically attributed to Wade [1], [2], has largely been developed [3-13].

The main objective of the Copilot-Pro® methodology [14], presented in this paper, is to minimize the number of extracted workpieces from the machine. In this example, the workpiece, to be measured, will be extracted from the machine only once the two machining operations are performed. This objective has several advantages:

- The setting time, which include measuring time, is minimized.
- The number of setting workpieces is greatly reduced especially when the extracted workpiece can no longer be re-introduced in the machine. This is particularly the case in screw machining that requires the sawing of the workpiece from the bar in which it is machined (see figure 5).

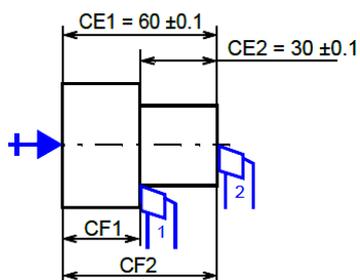


Fig. 1. Design dimensions specified by the designer, CEi , and manufacturing dimensions used by the setter, CFi .

Рисунок А.6 – Фрагмент 1 из [34]

cut surface, system can calculate automatically the distance of them by converted to computation of three-coordinate.

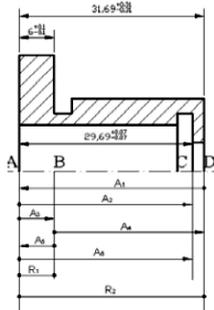


Fig.2: Tolerance chart of workpiece.

Table.1: Process sequence of the workpiece

Seq.No.	Operation Name
1	R. Turing
2	R. Turing
3	R. Turing & F. Turing
4	R. Turing
5	F. Turing
6	F. Turing
7	Grinding

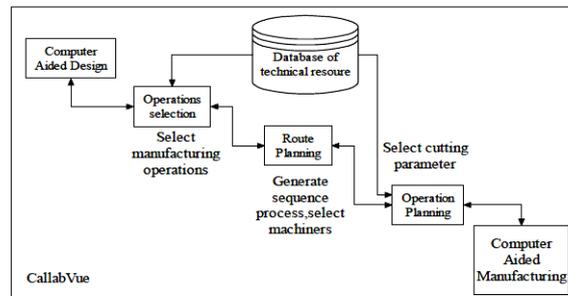


Fig.3: A sequence operation of automatic generation tolerance chart.

The data relevant to design tolerance can require by manipulating 3D model using the information of geometric topology elements. The data relevant to manufacturing operation through the database of process, and the rest needed manual inputting.

Tolerance analysis software system design

Framework of tolerance analysis system. The TAS was developed embedding in 3D collaborative design platform, CollabVue, include three independent functional modules. The framework of TAS is illustrated in Fig.4.

The main three modules of TAS depict the main function.

(1) Data input module

Tolerance analysis requires a large amount of information, such as the operation of each face, the economical stock removal. This module mainly solved generation tolerance chart and data inputting simultaneously. Some data required by manipulating 3D model using the information of geometric topology elements, some through the database of process, and the rest needed manual inputting.

(2) Find dimensional chain module.

The algorithm relatively perfect and the detailed development can be obtained elsewhere [2, 5, 6].

(3) Calculation module.

To effectively solve the problem of traditional algorithm needing calibration, adjustment, revising, this study introduced a practical method for calculating the technical dimension chain by gradually solving the equation, finding a dimension chain equation with one unknown quantity, figuring out this unknown quantity, and then repeating this process until all the technical dimensions calculated. Fig. 5 describes the flow of this practical method.

Data restore. Based on object-oriented technology, this paper proposed a new data structure to pick up interactively and store dimensional information. A class named CDim storing dimension information is realized by C++ language. As mentioned before, there are three categories dimension:

Учебное издание

О.Н. Калачев, Д.А. Калачева

**РАЗМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАНООБРАБОТКИ**

Редактор О.А. Юрасова

План 2023

Подписано в печать 30.01.2024. Формат 60x84 1/16. Бумага белая.
Печать ризограф. Усл. печ. л. 6,63. Уч.-изд. л. 6,60. Тираж 50. Заказ 3

Отпечатано в Копировальном центре ЯГТУ

Ярославский государственный технический университет
150023, Ярославль, Московский пр., 88