

## КОМПЕНСАЦИЯ БРАКА В ЗАГОТОВКЕ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

Размерный анализ технологических процессов является ключевым методом с точки зрения снижения вероятности появления брака и компенсации полученного брака, связанного с размерами, припусками и допусками. На основе общей методики расчета технологических размеров с адаптацией впервые решена средствами размерного анализа проблема компенсации полученного брака. В статье рассматривается пример расчета линейных технологических размеров с адаптацией с целью компенсации брака по результатам предварительного контроля конкретной заготовки и выполнения отдельного расчета размеров и припусков. Расчет ведется с использованием схемы обработки, графа, уравнений размерных цепей и компьютерной программы. В результате исследования было обнаружено, что расчет линейных технологических размеров с адаптацией позволяет перераспределить действительные значения припусков на каждом переходе и тем самым обеспечить компенсацию брака.

**Ключевые слова:** размерная цепь, технологический размер, технологический допуск, общий припуск, операционный припуск, адаптивный расчет.

**Введение.** Размерный анализ технологических процессов является ключевым методом с точки зрения снижения вероятности появления брака и компенсации полученного брака, связанного с размерами, припусками и допусками [1]. В частности, возможно устранение брака, полученного вследствие не обеспечения минимального припуска и не обеспечения конструкторских размеров и допусков.

В методиках [2–4] предложены методы оптимизации допусков, но при этом погрешности технологических размеров считаются постоянными, т.е. не учитывается обратная связь для технологического допуска через погрешность припуска. Метод параметрической оптимизации допусков требует определенных допущений, при этом достигается оптимальное решение. Однако не учитывается влияние толщины припуска на погрешность от упругих деформаций. Предложен метод имитации при расчете погрешностей обработки [5], основанный на связи погрешностей расположения поверхностей детали с отклонениями положения базовых поверхностей заготовки при установке на станке. Проанализировано влияние метода расчета технологических размеров на значения колебаний припусков [6, 7]. Разработан метод разделения общего припуска между последовательно выполняемыми операциями точения [8]. Обоснован метод учета реальных размерных характеристик поверхностей обрабатываемой детали на основе контроля заготовки перед обработкой [9].

Рассмотренные методы основаны на данных о размерной структуре и размерных параметрах конструкции детали и технологического процесса. Значения технологических размеров, допусков и припусков заготовки на всех операциях получают в процессе расчёта, а исходная заготовка должна соответствовать рассчитанным допускам и отклонениям. То есть однократно определяются технологические размеры заготовки с широкими допусками размеров, после чего в ходе технологического процесса требуется обеспечить рассчитанные значения технологических размеров, допусков и припусков заготовки на всех операциях. В результате обеспечивается снижение вероятности появления брака, однако невозможно решить задачу компенсации полученного брака. Реальные значения припусков для каждой конкретной заготовки как на первых, так и последующих операциях будут неизвестными, отличающимися для различных заготовок, что приводит к не оптимальности условий обработки.

Для решения данной проблемы была разработана методика [10, 11] расчета технологических размеров и припусков на основе информации о заготовке и общая методика расчета технологических размеров с адаптацией [12] на основе предварительного контроля каждой заготовки на каждой операции и выполнения отдельного расчета размеров и припусков. В результате стало возможным обеспечить предсказуемые и оптимальные условия обработки, а также впервые

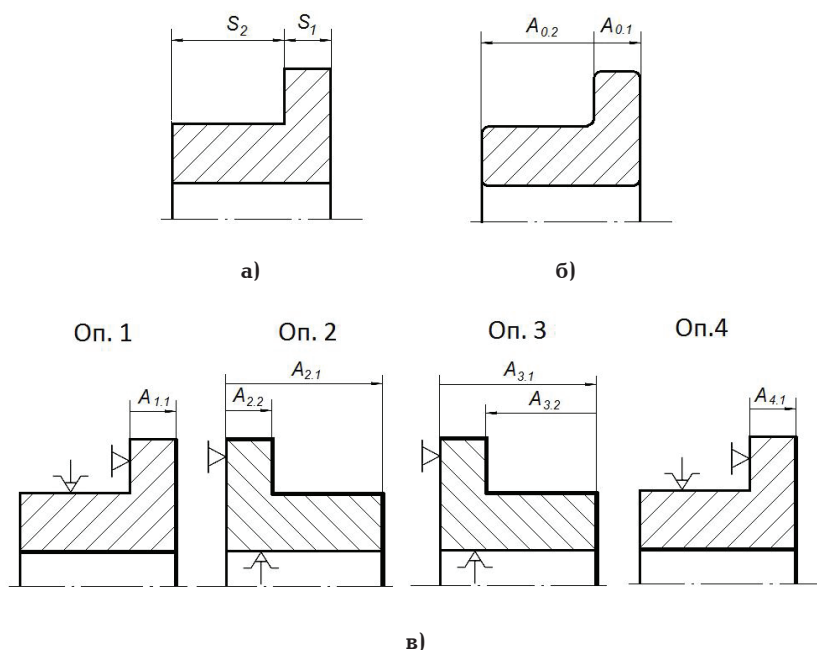


Рис. 1. Эскиз детали (а), заготовки (б), операционных эскизов (в)

решить средствами размерного анализа проблему компенсации полученного брака.

**Постановка задачи.** Рассмотрим применение адаптивной методик расчета линейных технологических размеров с целью компенсации брака, полученного в заготовке.

Необходимо изготовить деталь (рис. 1а) с линейными конструкторскими размерами. Эти размеры известны:

$$S_1 = 25_{-0,1} \text{ мм}, S_2 = 50_{-0,4} \text{ мм}.$$

Эскиз заготовки и технологические эскизы с линейными технологическими размерами показаны на рис. 1б, в.

На чертеже заготовки указываются размеры с отклонениями, которым должны соответствовать изготовленные заготовки:

$$A_{0,1} = 32^{+1,8}_{-1,0}, A_{0,2} = 50,5^{+2,1}_{-1,1}.$$

В результате расчета могут быть получены технологические размеры, соответствующие заданной заготовке.

Однако каждая конкретная заготовка имеет свои размеры с отклонениями, которые могут быть определены путем измерений с высокой точностью.

Пусть результаты измерений следующие (обозначения размеров заготовки берутся с эскиза заготовки — рис. 1):

$$A_{0,1} = 30,4 \pm 0,1 \text{ мм}, A_{0,2} = 50,5 \pm 0,1 \text{ мм}.$$

При этом один из размеров заготовки ( $A_{0,1}$ ) вышел за пределы поля допуска, то есть заготовка имеет брак.

Необходимо применить методику адаптивного расчета технологических размеров с целью компенсации брака при изготовлении заготовки.

**Теория.** Методика адаптивного расчета технологических размеров включает следующие пункты, выполняемые перед каждой операцией.

1. Контроль размерных и точностных параметров заготовки. Перед первой операцией это исходная заготовка, перед второй и последующими операциями — это частично обработанная деталь.

2. Определение параметров общих припусков на обработку.

3. Распределение общих припусков на операционные припуски.

4. Определение операционных допусков, обеспечивающих значения погрешностей общих припусков.

5. Расчет с помощью компьютерной программы всех технологических размеров и припусков по определенным в п. 3 и п. 4 операционным припускам и допускам.

6. Проверка с помощью компьютерной программы обеспечения минимальных операционных припусков.

7. Обработка детали в соответствии с рассчитанными размерами и припусками.

Выполним расчет технологических размеров и припусков только перед первой операцией, поскольку брак обнаружен для размеров исходной заготовки.

1. Контроль размерных и точностных параметров заготовки.

Результаты измерений исходной заготовки известны:

$$A_{0,1} = 30,4 \pm 0,1 \text{ мм}, A_{0,2} = 50,5 \pm 0,1 \text{ мм}.$$

2. Определение параметров общих припусков на обработку. По технологическому процессу в соответствии с известной методикой [13] строится схема обработки (рис. 2) и граф (рис. 3).

На графе (рис. 3) вводятся новые ребра — общие припуски на обработку  $Z_1, Z_2, Z_3$ , которые

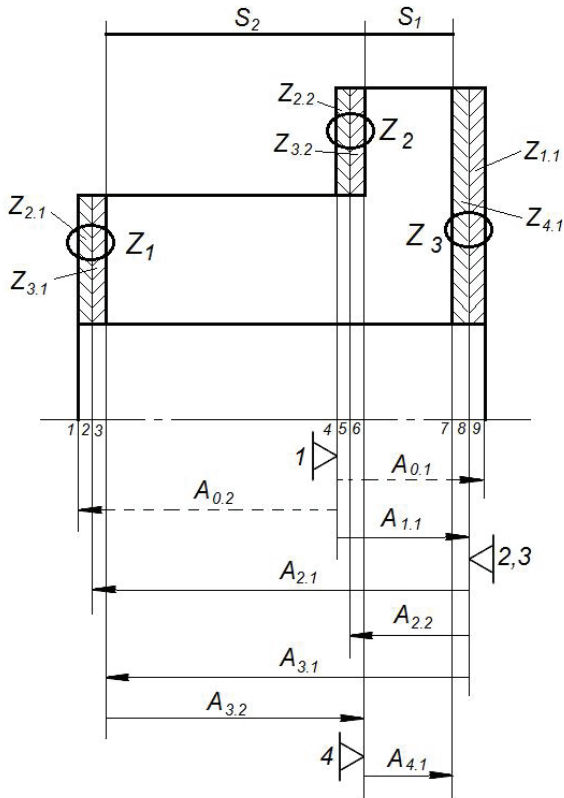


Рис. 2. Схема обработки детали

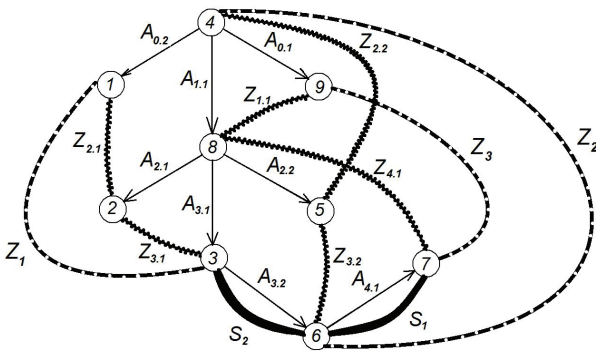


Рис. 3. Граф технологических размерных цепей

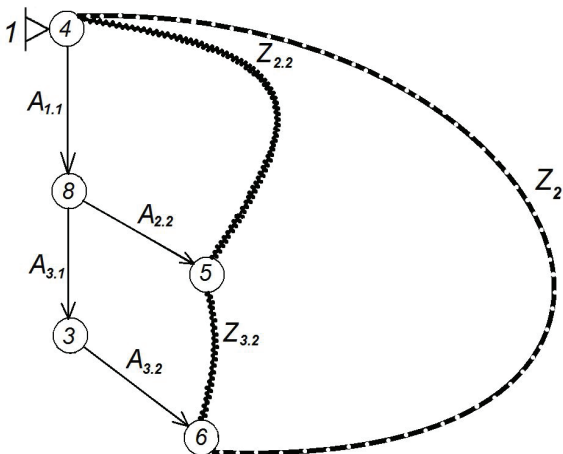


Рис. 4. Граф технологических размерных цепей общего припуска на первой операции

показаны утолщенными штриховыми линиями. Затем по графу выявляются размерные цепи и составляются уравнения размерных цепей, в которые входят общие припуски  $Z_i$ , размеры заготовки  $A_{0,i'}$  и конструкторские размеры  $S_i$ .

Расчет ведется по средним размерам, составляются две системы уравнений. В первую систему уравнений войдут средние значения размеров — общих припусков  $Z_{im'}$ , размеров заготовки  $A_{0,im'}$  и конструкторских размеров  $S_{im'}$ . Во вторую — погрешности общих припусков  $\delta Z_i$ , допуски на размеры заготовки  $\delta A_{0,i}$  и допуски на конструкторские размеры  $\delta S_i$ .

Первая система уравнений составляется таким образом, чтобы в каждое из уравнений входил один и тот же общий припуск, внешняя поверхность которого является базой на данной операции —  $Z_{2m}$

$$Z_{1m} + S_{2m} - Z_{2m} - A_{0,2m} = 0,$$

$$Z_{3m} - A_{0,1m} + Z_{2m} + S_{1m} = 0.$$

Откуда получаем уравнения погрешностей общих припусков  $\delta Z_i$ .

$$\delta Z_1 = \delta S_2 + \delta Z_2 + \delta A_{0,2},$$

$$\delta Z_3 = \delta A_{0,1} + \delta Z_2 + \delta S_1.$$

Однако число неизвестных — по три — в полученных системах ( $Z_{1m'}$ ,  $Z_{2m'}$ ,  $Z_{3m'}$  для первой системы и  $\delta Z_1$ ,  $\delta Z_2$ ,  $\delta Z_3$  — для второй) больше числа уравнений — по два для обеих систем, поэтому для каждой системы имеется бесконечное число решений. Для получения единственного решения уменьшаем число неизвестных путем предварительного определения параметров одного из общих припусков ( $Z_{2m'}$ ,  $\delta Z_2$ ), присутствующего во всех соответствующих уравнениях.

Внешняя поверхность общего припуска  $Z_2$  является базой на первой операции. Данный общий припуск  $Z_2$  состоит из двух операционных припусков  $Z_{2,2}$  и  $Z_{3,2}$  (рис. 4). Для общего припуска определяется его минимально необходимое значение, равное сумме минимально необходимых значений операционных припусков, и погрешность, равная сумме ожидаемых погрешностей составляющих операционных припусков, следовательно, определяется его среднее значение и погрешность.

Определим минимально необходимое значение общего припуска на исходной базе ( $Z_{\min 2}$ ) и аналогичные значения общих припусков на других поверхностях заготовки ( $Z_{\min 1}$ ,  $Z_{\min 3}$ ).

Минимально необходимые значения общих припусков равны суммам минимально необходимых значений операционных припусков ( $Z_{\min ij}$ ), назначаемых по справочным данным (например, при первой обработке — 0,5 мм, при второй — 0,2 мм).

$$Z_{\min 2} = Z_{\min 2,2} + Z_{\min 3,2} = 0,5 + 0,2 = 0,7 \text{ мм.}$$

$$Z_{\min 1} = Z_{\min 2,1} + Z_{\min 1,1} = 0,5 + 0,2 = 0,7 \text{ мм.}$$

$$Z_{\min 3} = Z_{\min 1,1} + Z_{\min 4,1} = 0,5 + 0,2 = 0,7 \text{ мм.}$$

Используя назначенные по справочным данным технологические допуски на размеры ( $\delta A_{1,1} = 0,71$ ,  $\delta A_{2,2} = 0,21$ ,  $\delta A_{3,1} = 0,12$ ,  $\delta A_{3,2} = 0,4$ ), которые образуют на графе (рис. 4) контуры с операционными припусками исходной базы ( $Z_{2,2}$ ,  $Z_{3,2}$ ), определяем ожидаемые погрешности операционных припусков на исходной базе.

$$\delta Z_{2,2} = \delta A_{1,1} + \delta A_{2,2} = 0,71 + 0,21 = 0,92 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} \delta Z_{3,2} &= \delta A_{2,2} + \delta A_{3,1} + \delta A_{3,2} = \\ &= 0,21 + 0,12 + 0,4 = 0,73 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Осуществляя их суммирование, определяем погрешность общего припуска  $\delta Z_3$  на исходной базе.

$$\delta Z_2 = \delta Z_{2,2} + \delta Z_{3,2} = 0,92 + 0,73 = 1,65 \text{ мм.}$$

После чего определяем по уравнениям погрешностей общих припусков погрешности остальных общих припусков ( $\delta Z_1$ ,  $\delta Z_3$ ). Для расчета по уравнениям погрешностей общих припусков необходимо предварительно найти значения конструкторских допусков и допусков на размеры заготовки. Данные значения определяются по указанным ранее размерам:

$$\delta S_1 = 0,1 \text{ мм, } \delta S_2 = 0,4 \text{ мм,}$$

$$\delta A_{0,1} = 0,2 \text{ мм, } \delta A_{0,2} = 0,2 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} \delta Z_1 &= \delta S_2 + \delta Z_2 + \delta A_{0,2} = \\ &= 0,4 + 1,65 + 0,2 = 2,25 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta Z_3 &= \delta A_{0,1} + \delta Z_2 + \delta S_1 = \\ &= 0,2 + 1,65 + 0,1 = 1,95 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Определяем средний общий припуск  $Z_{2m}$  на исходной базе по общему минимально необходимому припуску  $Z_{\min 2}$  и допуску общего припуска  $\delta Z_2$ .

$$\begin{aligned} Z_{2m} &= Z_{\min 2} + 0,5 \cdot \delta Z_2 = \\ &= 0,7 + 0,5 \cdot 1,65 = 1,525 \text{ мм.} \end{aligned}$$

После этого по уравнениям для средних значений общих припусков определяем средние значения остальных общих припусков. Средние размеры  $S_{im}$  и  $A_{0,im}$ , входящие в уравнения для средних значений общих припусков, рассчитываются по заданным чертежным размерам и размерам заготовки:

$$S_{1m} = 24,95 \text{ мм, } S_{2m} = 49,8 \text{ мм,}$$

$$A_{0,1m} = 30,4 \text{ мм, } A_{0,2m} = 50,0 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} Z_{1m} &= -S_{2m} + Z_{2m} + A_{0,2m} = \\ &= -49,8 + 1,525 + 50,0 = 1,725 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{3m} &= A_{0,1m} - Z_{2m} - S_{1m} = \\ &= 30,4 - 1,525 - 24,95 = 3,925 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Определяем действительные значения минимальных общих припусков и выполняем проверку полученных действительных минимальных значений общих припусков на соответствие требованию  $Z_{d\min i} \geq Z_{\min i}$ . Если данное требование не выполняется, то необходимо увеличить действительное значение минимальное общего припуска на данной поверхности до требуемого минимально необходимого значения корректированием действительного минимального общего припуска на исходной базе.

$$Z_{d\min 1} = Z_{m1} - 0,5 \cdot \delta Z_1 =$$

$$= 1,725 - 0,5 \cdot 2,25 = 0,6 \text{ мм.}$$

$$Z_{d\min 1} = 0,6 \text{ мм} \leq Z_{\min 1} = 0,7 \text{ мм.}$$

$$Z_{d\min 3} = Z_{m3} - 0,5 \cdot \delta Z_3 =$$

$$= 3,925 - 0,5 \cdot 1,95 = 2,95 \text{ мм.}$$

$$Z_{d\min 3} = 2,95 \text{ мм} \geq Z_{\min 3} = 0,7 \text{ мм.}$$

Полученное значение припуска  $Z_{d\min 1}$  не удовлетворяет требованию  $Z_{d\min i} \geq Z_{\min i}$ . Для обеспечения минимально необходимого значения данного припуска  $Z_{\min 1} = 0,7$  мм требуется увеличить полученное значение  $Z_{d\min 1} = 0,6$  мм на  $\Delta Z = Z_{\min 1} - Z_{d\min 1} = 0,7 - 0,6 = 0,1$  мм за счет увеличения общего минимального припуска на поверхности — исходной базе до значения  $Z_{d\min 2} = 0,7 + 0,1 = 0,8$  мм. Тогда значения  $Z_{1m}$ ,  $Z_{2m}$  и  $Z_{d\min 1}$ ,  $Z_{d\min 2}$  увеличатся, а значения  $Z_{3m}$ ,  $Z_{d\min 3}$  уменьшатся на 0,1 мм.

Более целесообразно будет выровнять значения минимальных припусков. Значение увеличения  $Z_{d\min 2}$  будет равно  $(2,95 - 0,7)/2 = 1,125$  мм. Тогда

$$Z_{d\min 1} = 0,6 + 1,125 = 1,725 \text{ мм.}$$

$$Z_{d\min 2} = 0,7 + 1,125 = 1,825 \text{ мм.}$$

$$Z_{d\min 3} = 2,95 - 1,125 = 1,825 \text{ мм.}$$

$$Z_{1m} = 1,725 + 0,5 \cdot 2,25 = 2,85 \text{ мм.}$$

$$Z_{2m} = 1,825 + 0,5 \cdot 1,65 = 2,65 \text{ мм.}$$

$$Z_{3m} = 1,825 + 0,5 \cdot 1,95 = 2,8 \text{ мм.}$$

3. Распределение общих припусков на операционные припуски.

На основе полученных действительных значений минимальных общих припусков рассчитываем действительные значения минимальных операционных припусков, обеспечивающих значения действительных минимальных общих припусков.

Данный расчет осуществляем путем распределения полученных выше действительных значений минимальных общих припусков на составляющие — действительные минимальные операционные припуски в соответствии с коэффициентом  $K_i$ , учитывающим зависимость величины снимаемого припуска на сторону от количества обработок (табл. 1).

Действительные минимальные операционные припуски

Индекс	Значение, мм	Индекс	Коэффициент $K_i$	Значение, мм
$Z_{dmin1}$	1,725	$Z_{dmin2.1}$	5/7	1,23
		$Z_{dmin3.1}$	2/7	0,49
$Z_{dmin2}$	1,825	$Z_{dmin2.2}$	5/7	1,30
		$Z_{dmin3.2}$	2/7	0,52
$Z_{dmin3}$	1,825	$Z_{dmin1.1}$	5/7	1,30
		$Z_{dmin4.1}$	2/7	0,52

4. Определение операционных допусков, обеспечивающих значения погрешностей общих припусков.

Предварительно назначаются по справочным данным технологические допуски на все технологические размеры, исключая ранее назначенные допуски на размеры заготовки ( $\delta A_{0.1}$ ,  $\delta A_{0.2}$ ) и размеры, связанные с операционными припусками на исходной базе ( $\delta A_{1.1}$ ,  $\delta A_{2.2}$ ,  $\delta A_{3.1}$ ,  $\delta A_{3.2}$ ):  $\delta A_{2.1} = 0,3$  мм,  $\delta A_{4.1} = 0,1$  мм.

Сжатие и расширение технологических допусков.

При помощи компьютерной программы «DIAMOND» [14] определяются ожидаемые погрешности конструкторских размеров  $\rho S_i$  и общих припусков  $\rho Z_i$  при назначенных технологических допусках.

Для конструкторских допусков и погрешностей общих припусков, которые меньше ожидаемых погрешностей при исходных назначенных значениях технологических допусков, осуществляется сжатие соответствующих технологических допусков. Для конструкторских допусков и погрешностей общих припусков, которые больше ожидаемых погрешностей, т.е. допускают расширение технологических допусков, осуществляется расширение соответствующих технологических допусков. В данном случае ожидаемые погрешности конструкторских размеров  $\rho S_i$  равны допускам на конструкторские размеры и их изменять нельзя.

Ожидаемые погрешности общих припусков:

$$\rho Z_1 = \delta Z_{2.1} + \delta Z_{3.1} = (\delta A_{0.2} + \delta A_{1.1} + \delta A_{2.1}) + (\delta A_{2.1} + \delta A_{3.1}) = 1,21 + 0,42 = 1,63 \text{ мм.}$$

$$\rho Z_3 = \delta Z_{1.1} + \delta Z_{1.4} = (\delta A_{0.1} + \delta A_{1.1}) + (\delta A_{3.1} + \delta A_{3.2} + \delta A_{4.1}) = 0,91 + 0,62 = 1,53 \text{ мм.}$$

Требуемые значения:

$$\delta Z_1 = 2,25 \text{ мм.}$$

$$\delta Z_3 = 1,95 \text{ мм.}$$

Необходимо расширение ожидаемых погрешностей общих припусков:

$$\rho Z_1 \text{ на } 2,25 - 1,63 = 0,62 \text{ мм,}$$

$$\rho Z_3 \text{ на } 1,95 - 1,53 = 0,42 \text{ мм.}$$

Расширить  $\rho Z_1$  можно за счет увеличения  $\delta A_{2.1}$  на 0,31 мм, поскольку  $\delta A_{2.1}$  входит в  $\rho Z_1$  дважды.

Расширить  $\rho Z_3$  можно было бы за счет увеличения  $\delta A_{4.1}$  на 0,42 мм, однако при увеличении  $\delta A_{4.1}$  не будет обеспечиваться конструкторский допуск.

Поэтому компенсировать разницу между  $\rho Z_3$  и  $\delta Z_3$  будем за счет расширения минимального припуска  $Z_{dmin3}$  при сохранении значения  $Z_{3m}$ . Составляем уравнение для расчета нового значения  $Z_{dmin3u}$ :

$$Z_{dmin3u} = Z_{dmin3} + 0,5 \cdot (\delta Z_3 - \rho Z_3) = 1,825 + 0,5 \cdot (1,95 - 1,53) = 2,035 \text{ мм.}$$

При этом изменятся минимальные припуски:  $Z_{dmin1.1u} = 1,45$  мм и  $Z_{dmin4.1u} = 0,58$  мм.

5. Расчет технологических размеров, включая размеры заготовки.

Выполняется с помощью компьютерной программы «DIAMOND». Полученные в результате расчета размеры заготовки могут незначительно отличаться от заданных размеров вследствие корректировки технологических размеров в ходе расчета.

6. Проверка обеспечения минимальных операционных припусков.

Выполняется по известной методике с помощью программы «DIAMOND-B», предназначенной для решения обратной задачи размерных расчетов [15]. При обеспечении минимальных операционных припусков этап расчета завершается, в противном случае выполняется перераспределение действительных минимальных общих припусков и действительных минимальных операционных припусков для увеличения не обеспечиваемых действительных минимальных операционных припусков.

**Результаты численных экспериментов.**

Результаты расчета представлены в табл. 2. Представлены рассчитанные технологические размеры для предполагаемой заготовки с широкими допусками (столбец «Заготовка исходная») и для заготовки с браком (столбец

Рассчитанные технологические размеры и допуски

Обозначение размера	Значение размера		Значение припуска	
	Заготовка исх.	Заготовка	Минимальный припуск исх.	Минимальный припуск
$A_{0,1}$	$32^{+1,8}_{-1,0}$	$30,4 \pm 0,1$	—	—
$A_{0,2}$	$50,5^{+2,1}_{-1,1}$	$50,0 \pm 0,1$	—	—
$A_{1,1}$	$29,1 \pm 0,355$	$28,55 \pm 0,355$	$1,500^{+3,51}$	$1,395^{+0,91}$
$A_{2,1}$	$76,7 \pm 0,305$	$76,55 \pm 0,305$	$0,940^{+4,92}$	$1,240^{+1,52}$
$A_{2,2}$	$27,05 \pm 0,105$	$26,75 \pm 0,105$	$1,590^{+0,92}$	$1,340^{+0,92}$
$A_{3,1}$	$75,85 \pm 0,060$	$75,65 \pm 0,060$	$0,490^{+0,73}$	$0,535^{+0,73}$
$A_{3,2}$	$49,8 \pm 0,2$	$49,8 \pm 0,2$	$0,640^{+0,73}$	$0,535^{+0,73}$
$A_{4,1}$	$24,95 \pm 0,05$	$24,95 \pm 0,05$	$0,830^{+0,62}$	$0,590^{+0,62}$

«Заготовка с браком»), а также представлены рассчитанные значения минимальных припусков и погрешностей припусков для тех же вариантов заготовок — предполагаемой (столбец «Минимальный припуск исх.») и с известными в результате контроля размерами (столбец «Минимальный припуск»).

**Обсуждение результатов.** Таким образом, по результатам численных экспериментов обнаружено отличие технологических размеров и припусков для двух вариантов расчета, исходя из размеров и допусков предполагаемой гипотетической заготовки и исходя из результатов контроля для бракованной заготовки. Как видно из результатов расчета (табл. 2), значения технологических размеров имеют отличия, а значения минимальных припусков для заготовки с браком в одних случаях меньше, чем для первого варианта — с гипотетической заготовкой, а в других — больше, но при этом погрешность припуска для гипотетической заготовки на первых операциях значительно больше, чем для заготовки с браком, что говорит о значительных колебаниях припусков для гипотетической заготовки на первых операциях.

**Выводы и заключение.** Методика адаптивного расчета линейных технологических размеров на основе информации о заготовке позволяет перераспределить действительные значения припусков и тем самым обеспечить компенсацию брака.

#### Библиографический список

1. Матвеев В. В., Тверской М. М., Бойков Ф. И. Размерный анализ технологических процессов. М.: Машиностроение, 1982. 264 с.
2. Ngoi B. K. A. Applying linear programming to tolerance chart balancing // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1992. Vol. 7 (4). P. 187–192. DOI: 10.1007/BF02601622.
3. Ji P. An automatic tolerance assignment approach for tolerance charting // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1994. Vol. 9, Issue 6. P. 362–368.
4. Ji P., Xue J. B. Process tolerance control in a 2D angular tolerance chart // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2002. Vol. 20, Issue 9. P. 649–654. DOI: 10.1007/s001700200
5. Bouzid Sai W., Dhifalli W., Zghal A. Modelling of tolerances and manufacturing dimensions // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2006. Vol. 31, Issue 1-2. P. 71–77. DOI: 10.1007/s00170-005-0182-y.
6. Калачев О. Н., Калачева Д. А. Об учете колебания припусков при автоматизации расчета технологических размеров механообработки // *Инновации в машиностроении: сб. тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул*. 2018. С. 253–257.
7. Калачев О. Н., Калачева Д. А. К уточнению расчета припусков при автоматизации размерного анализа технологического процесса механообработки // *Информационные технологии. Проблемы и решения*. 2018. № 1. С. 88–92.
8. Вендер И. И., Пегашкин В. Ф. Метод разделения общего припуска между последовательно выполняемыми операциями точения // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*. 2017. Т. 17, № 1. С. 41–48. DOI: 10.14529/engin170105.
9. Решетникова Е. П., Бочкарёв П. Ю. Разработка технологического процесса обработки сложнопольных деталей в условиях механообрабатывающих предприятий аэрокосмической техники // *Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева*. 2017. № 1 (40). С. 222–227.
10. Бартоломей В. А., Масягин В. Б. Методика расчета линейных технологических размеров на основе размерных и точностных данных о заготовке // *Омский научный вестник*. 2011. № 1 (97). С. 41–45.
11. Masyagin, V. B., Bazhenov R. I., Avdeyev B. A. [et al.]. Calculation of linear technological dimensions based on the results of workpiece control // *IOP Conf. Series: Journal of Physics*. 2018. Vol. 1050. DOI:10.1088/1742-6596/1050/1/012052.
12. Masyagin, V. B., Bazhenov R. I., Artykh R. L. Calculation of linear technological dimensions with adaptation // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. DOI: 10.1051/mateconf/201822401072.

13. Mordwinov B. S. Maßketten als Graphen und deren Anwendung zum Projektieren von Fertigungsabläufen // Feingerätetechnik. 1975. Vol. 5. P. 215–218.

14. Головченко С. Г., Масыгин В. Б. Расчет линейных технологических размеров в программе «DIAMOND» // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения: материалы III Междунар. технолог. конгр., 7–10 июня 2005 г. / ОмГУ. Омск, 2005. Ч. I. С. 114–116.

15. Масыгин, В. Б., Бартоломей В. А., Бушков И. А. Проверочный расчет линейных технологических размеров при проектировании и анализе технологических процессов механической обработки // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической и авиационной техники: материалы V Всерос. науч. конф., посвящ. памяти гл. конструктора ПО «Полет» А. С. Клинышкова. Омск. 2010. С. 173–177.

**МАСЯГИН Василий Борисович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Технология машиностроения».

**АРТЮХ Роман Леонидович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения».

#### Для цитирования

Масыгин В. Б., Артюх Р. Л. Компенсация брака в заготовке на основе адаптивного расчета технологических размеров // Омский научный вестник. 2019. № 3 (165). С. 16–22. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-165-16-22.

Статья поступила в редакцию 17.04.2019 г.

© В. Б. Масыгин, Р. Л. Артюх