

Ер. 6.7  
346

TALLINNA POLÜTEHNILISE  
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 346

СБОРНИК СТАТЕЙ  
ПО

**МАШИНОСТРОЕНИЮ**  
**X**

ТАЛЛИН 1973



СБОРНИК СТАТЕЙ  
ПО  
МАШИНОСТРОЕНИЮ

X

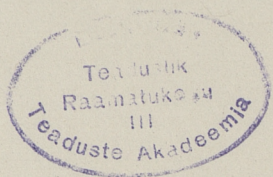
INSTITUTIONAL INFORMATION

1973

0000

0000

STATUTE  
OF  
THE ESTONIAN  
ACADEMY OF SCIENCES



© ТПИ, Таллин, 1973

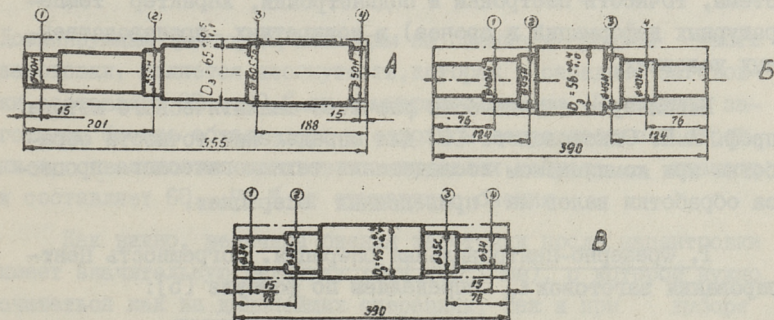
УДК 621.941.1

А.А.Вялло, П.И.Трейер, Н.Н.Щеглов

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ В СЕРИЙНОМ  
 ПРОИЗВОДСТВЕ

В настоящей статье приведен расчет точности обработки ступенчатых валов в условиях серийного производства на Таллинском экскаваторном заводе.

В условиях серийного производства теоретические и производственные исследования оправдывают себя только в том случае, если они выполняются для типовых представителей группы деталей. В данных исследованиях расчет точности произведен для типовых деталей, показанных на фиг. 1.



Фиг.1. Исследуемые детали А, Б и В.

По трудоемкости обработки валы составляют 10...12 % от общей трудоемкости механической обработки деталей экскаваторов. Количество наименований валов в изделиях по отдельным заводам Минстройдормаша составляет от 10 до 30, с годовой программой выпуска от 40 до 15000 штук. Около 80 % валов имеют длину 250...1200 мм и диаметр 40...120 мм; они

Изготавливаются из улучшенного (НРС 26-32) горячекатанного проката (сталь 45 и 40Х), класс точности посадочных шеек - 2-ой и 3-ий, класс чистоты поверхности  $\nabla 6 \dots \nabla 8$ .

Технологический процесс обработки валов состоит из следующих основных операций:

- фрезерование торцов и центрирование (на станках мод. МР-73, МР-75 и др.);

- токарная обработка (на станках мод. I7I3, I722, МК-63 и др.);

- шлифование базовых шеек (на станках мод. ЗАI5I, ЗБИ6I и др.).

Для расчета точности обработки в литературе предлагается ряд методов, отличающихся друг от друга набором факторов, влияющих на погрешность обработки, методом их суммирования и предлагаемым механизмом влияния на точность обработки [I, 2, 6 и др.] .

Достоверность расчетов можно существенно повысить статистической проверкой основных параметров (жесткость системы, точность настройки и поднастройки, характер температурных деформаций и прочее) в конкретных производственных условиях.

Используем зависимости расчетно-аналитического метода проф. А.П. Соколовского [6] для определения точности обработки при комплексном исследовании технологического процесса обработки валов на приведенных операциях.

I. Фрезерно-центровальная операция. Погрешность центрирования заготовок  $\varepsilon_{\text{ц}}$  определяем по формуле [5]:

$$2\varepsilon_{\text{ц}} = \Delta_{\delta} = 2\sqrt{\Delta_{\text{н}}^2 + (0,5u_{\text{уг}} \cdot L - m\delta)^2 + n\delta^2}, \quad (I)$$

где  $\Delta_{\delta}$  - биение заготовки после операции;

$\Delta_{\text{н}}$  - погрешность настройки (по паспорту станка МР-73  $\Delta_{\text{н}} = 0,4$  мм);

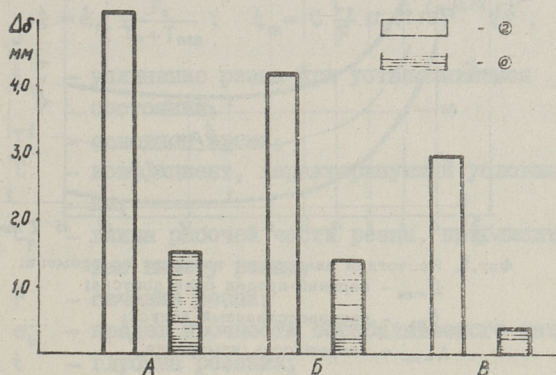
$u_{\text{уг}}$  - удельная изогнутость;

$L$  - длина заготовки;

$m, n$  - коэффициенты ( $m = 0,025$ ,  $n = 0,177$ );

$\delta$  - допуск на диаметр.

Расчетные величины биения заготовок после фрезерно-центровальной операции по рассматриваемым группам находятся в пределах 0,4...5,1 мм в зависимости от номинального диаметра и длины заготовки. При этом биение имеет максимальное значение в среднем сечении заготовки (см. фиг. 2).

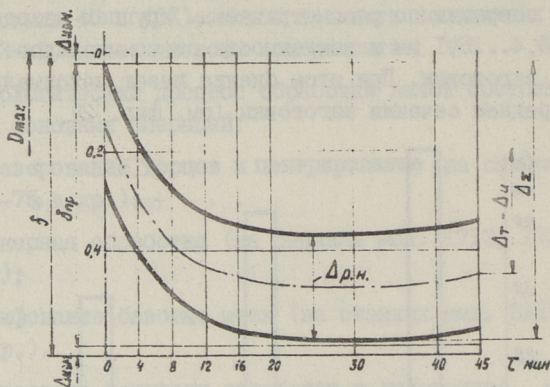


Фиг.2. Расчетное биение заготовок: А - Ø 65  $\begin{matrix} +0,5 \\ -1,1 \end{matrix}$  мм;  
 Б - Ø 56  $\begin{matrix} +0,4 \\ -1,0 \end{matrix}$  мм; В - Ø 45  $\begin{matrix} +0,4 \\ -0,7 \end{matrix}$  мм;  
 0 - на концах; 2 - во втором сечении.

Доминирующим фактором, влияющим на биение в средней части заготовки, является изогнутость, которая в середине заготовки составляет 80...90 % от суммарного биения. На концах заготовки биение обусловлено в основном погрешностью настройки и овальностью заготовок в пределах допуска на диаметр и составляет 60...75 % от суммарного биения.

Как видно, величина биения заготовки после зацентровки имеет значительную величину (0,4...5,1 мм), с которой нужно считаться как на дальнейших операциях, так и при выборе диаметра заготовки. Согласно производственным исследованиям точности фрезерно-центровальной операции, фактическое рассеивание величины биения по исследуемым деталям составляет 0,4...5,8 мм [8], что близко к расчетному.

2. Токарные операции. Расчетная диаграмма точности обработки детали А в сечении I (фиг. 1) с учетом систематических погрешностей от температурных деформаций в начальный период обработки согласно методике [6], приведена на фиг.3.



Фиг.3. Расчетная диаграмма точности во времени:  
 $\Delta_{\max}$  — верхний предел поля допуска;  
 $\delta_{\text{пр}}$  — производственный допуск;  
 $\Delta_{\text{изм.}}$  — погрешность измерения.

Интенсивное смещение размеров деталей в начальный период обработки значимо для режимов  $t > 5$  мм,  $s > 0,3$  мм/об. Расчеты показали, что температурное равновесие наступает после 12...20 мин. работы. Для приведенного на фиг. 3 случая суммарная погрешность обработки составляет  $\Delta_{\Sigma} = 0,58$  мм, а расчетная погрешность в данный момент времени (определяется полным рассеиванием при настройке)  $\Delta_{\text{р.н.}} = 0,20$  мм. Для рассматриваемых деталей А, Б, В расчетная суммарная погрешность  $\Delta_{\Sigma}$  находится в пределах 0,18...0,6 мм при обработке с режимами  $t = 1,25...7,75$  мм,  $s = 0,45 \dots 1,25$  мм/об,  $v = 58...99$  м/мин и жесткости системы  $j_c = 770...2370$  кгс/мм.

Из изложенного следует, что путем коррекции размера настройки вполне возможно и целесообразно исключить из суммарной погрешности значимую начальную температурную деформацию и уменьшить таким образом суммарную погрешность  $\Delta_{\Sigma}$  примерно в 1,5...2 раза.

Так как в условиях серийного производства нет ритмичной работы, то температурная погрешность должна рассматриваться как случайная, характеризуемая коэффициентом колебания длительности перерывов:

$$K = \frac{T_{\text{пер. max}}}{T_{\text{пер. min}}}, \quad (2)$$



где  $T_{\text{пер. max}}$  - наибольший перерыв;  
 $T_{\text{пер. min}}$  - минимальный перерыв.

Как известно, при ритмичной работе с перерывами  $T_{\text{пер.}}$ , деформация резца  $\xi$  может быть определена по формуле [6]:

$$\xi = \xi_m \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{пер}}} ; \quad \xi_m = C \frac{L_p}{F} \sigma_b (t \cdot s)^{0,75} \sqrt{v} ,$$

где  $\xi_m$  - удлинение резца при установившемся тепловом состоянии;  
 $T_0$  - основное время;  
 $C$  - коэффициент, характеризующий условия обработки;  
 $L_p$  - длина рабочей части резца, приблизительно равная вылету резца;  
 $F$  - сечение резца;  
 $\sigma_b$  - предел прочности обрабатываемого материала;  
 $t$  - глубина резания;  
 $s$  - подача;  
 $v$  - скорость резания.

Таким образом, в рассматриваемых условиях погрешность от температурных деформаций резца  $\Delta_{\text{тс}}$  записывается:

$$\Delta_{\text{тс}} = 2 \xi_m \left( \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{пер. min}}} - \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{пер. max}}} \right) . \quad (3)$$

В период обработки при тепловом равновесии погрешность от температурной деформации резца  $\Delta_{\text{тс}}$  возможно уменьшить соблюдением постоянства длительности перерывов между обработкой отдельных деталей.

Исходя из вышесказанного расчет суммарной погрешности  $\Delta_{\Sigma}$  в условиях серийного производства следует вести по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = 2 \sqrt{(K_1 \cdot \Delta_y)^2 + (K_2 \cdot \Delta_n)^2 + (K_3 \cdot \Delta_{\text{ш}})^2 + (K_4 \cdot \Delta_{\text{гр}})^2 + (K_5 \cdot \Delta_{\text{тс}})^2} , \quad (4)$$

где  $K_1, K_2 \dots K_5$  - коэффициенты характеризующие закон рассеивания ( $K_1 = K_2 = 1$ ;  $K_3 = K_4 = 1,73$ ;  $K_5 \approx 1$ );

$\Delta_y$  - погрешность от упругой деформации технологической системы;

$\Delta_n$  - погрешность настройки;

$\Delta_{\text{ш}}$  - погрешность от износа режущего инструмента;

$\Delta_{ст}$  - погрешность от геометрической неточности станка.

Расчеты по формулам (3) и (4) показали, что при неритмичной работе ( $K > 1,3$ ) погрешность от температурных деформаций резца составляет 50...80 %, а погрешности  $\Delta_u$ ,  $\Delta_y$ ,  $\Delta_n$  - 5...25 % каждая от суммарной погрешности. При ритмичной работе ( $K = 1...1,3$ ) суммарная погрешность составляет 50...60 % от погрешности при неритмичной работе.

Выявленные резервы повышения точности черновой токарной обработки (за счет компенсации температурных деформаций в начальный период обработки поднастройкой и обеспечением ритмичной работы) создают предпосылки для уменьшения количества проходов токарной обработки.

Изложенное достаточно хорошо совпадает с результатами производственных опытов [8].

3. Шлифовальная операция. Шлифование шеек валов на заводах отрасли характеризуется следующим:

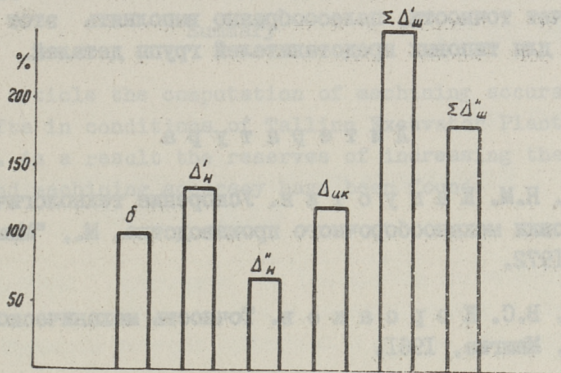
- 1) на одной операции, с поперечной подачей с выхаживанием, последовательно шлифуются 1...3 посадочных шеек;
- 2) для контроля и настройки используется микрометр (с ценой деления  $i = 0,01$  и  $i = 0,005$  мм) и рабочий калибр;
- 3) поднастройка и правка круга производится по усмотрению рабочего.

Использование опубликованных методик [2], [4] и др. для расчета точности шлифования в производственных условиях затруднительно в связи с отсутствием достоверных данных для определения отдельных составляющих (температурные деформации, износ круга и др.).

На фиг. 4 приводится сопоставление величин погрешности настройки, износа круга и суммарной погрешности, рассчитанной по формуле (4) с допуском ( $\delta = 0,017$  мм). Из сопоставления следует, что обработка на настроенном станке невозможна, так как расчетные суммарные погрешности значительно превышают поле допуска.

В описанных условиях рабочий использует микрометр для оценки обрабатываемого размера и за счет навыка, а также ква-

лификации, выполняет это точнее, чем нормативная точность микрометра. Окончательная оценка правильности настройки производится по рабочему калибру. В результате отсутствия запаса точности поднастройку приходится выполнять через 3-5 деталей.



Фиг.4. Схема расчетных погрешностей шлифования:

$\Delta'_H$  и  $\Delta''_H$  - погрешности настройки соответственно при цене деления микрометра  $i = 0,01$  мм и  $i = 0,005$  мм;

$\Delta_{ик}$  - погрешность от износа круга при времени стойкости  $T = 15$  мин;

$\Sigma \Delta'_ш$ ,  $\Sigma \Delta''_ш$  - суммарные погрешности, соответствующие погрешностям настройки  $\Delta'_H$  и  $\Delta''_H$ .

Таким образом, шлифование в описанных условиях выполняется как бы методом пробных проходов, когда определяющим является точность измерения и регулировки.

### Выводы

1. Биение, обусловленное, в основном, изогнутостью заготовки и погрешностью настройки на фрезерно-цетровальной операции составляет значительную величину (до 5 мм), что необходимо учитывать при выборе диаметра заготовки и проектировании последующих операций.

2. При токарной обработке на интенсивных режимах резания значительную часть суммарной погрешности составляет погрешность от температурной деформации резца. Поднастройкой системы СПИД и соблюдением постоянства ритма обработки можно уменьшить суммарную погрешность на 40...60 %.

3. В условиях серийного производства оценка точности шлифования сводится к оценке точности регулирования и измерения.

4. В серийном производстве из-за больших трудозатрат на расчет точности, целесообразно выполнять этот расчет только для типовых представителей групп деталей.

### Л и т е р а т у р а

1. Н.М. Капустин. Ускорение технологической подготовки механосборочного производства. М., "Машиностроение", 1972.

2. В.С. Корсаков. Точность механической обработки. М., Машгиз, 1961.

3. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. Справочник технолога - машиностроителя. Том I, М., "Машиностроение", 1972.

4. Г.Б. Лурье. Шлифование металлов. М., "Машиностроение", 1969.

5. М.Д. Солодов. Расчет погрешностей зацентровки, влияющих на точность при обтачивании валов. Сб. МВТУ им. Баумана. Вопросы точности в машиностроении. М., Машгиз, 1960.

6. А.П. Соколовский. Научные основы технологии машиностроения. М.-Л., Машгиз, 1955.

7. А.А. Вялло, П.И. Трейер, Н.Н. Щеглов. Оптимизация перехода механической обработки. Труды ТПИ, №346, 1973.

8. П.И. Трейер. Производственные погрешности механической обработки валов. Труды ТПИ, № 346, 1973.

Computation of Machining Accuracy of Shafts  
in Batch Production

Summary

In the article the computation of machining accuracy of stepped shafts in conditions of Tallinn Excavator Plant is carried out. As a result the reserves of increasing the productivity and machining accuracy have been found.

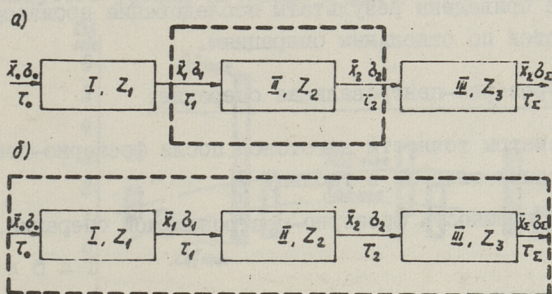


УДК 621.941.1

П.И. Трейер

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПОГРЕШНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
 ОБРАБОТКИ ВАЛОВ

Исследования проведены на Таллинском экскаваторном заводе на типовых деталях А, Б и В, характеристика и технологические процессы которых приведены в статье [4] данного сборника.



Фиг.1. Схема технологического процесса, состоящего из трех основных операций (1-зацентрировка, П-токарная, Ш-шлифовальная):

- а) - исследование по одной операции;
- б) - исследование по процессу в целом;

$\bar{x}_0, \bar{x}_1, \dots$  - среднееарифметические значения параметров;

$\sigma_0, \sigma_1, \dots$  - среднеквадратические отклонения случайной величины;  $\tau_0, \tau_1, \dots$  - затраты времени.

Рассмотрим процесс механической обработки как сумму отдельных операций (фиг. 1) с входными параметрами точности  $\bar{x}_0, \sigma_0$  и трудозатрат  $\tau_0$  и выходными параметрами соот-

ответственно  $\bar{x}_z, \sigma_z, \tau_z$ .

Параметрами точности приняты погрешность диаметра и биение коротких базовых поверхностей.

Опыты проведены на всех этапах технологического процесса, без нарушения производственных условий в течение ряда лет.

В каждую серию входило 30...50 деталей.

Детали обрабатывались на всех операциях в одинаковой последовательности согласно номеру детали.

При обработке партий деталей были зафиксированы параметры режима резания и точности обработки, момент времени обработки каждой детали, а также момент событий, имевших место в процессе обработки (поднастройка, замена резца, величина перерыва между обработкой смежных деталей и др.).

Ниже приведены результаты исследования производственных погрешностей по отдельным операциям.

### I. Фрезерно-центровальная операция.

Параметры точности заготовок после фрезерно-центровальной операции сведены в таблицу I.

Погрешности фрезерно-центровальной операции.

Т а б л и ц а I

Тип детали	Параметры точности	Размах диаметрального размера проката	Максимальное биение для разных партий деталей	Среднеарифметическое биение для разных партий деталей	Минимальное биение
		$W(\text{мм})$	$\Delta_{\delta \max}(\text{мм})$	$\bar{x}_{\Delta \delta}(\text{мм})$	$\Delta_{\delta \min}(\text{мм})$
A		$0,41 \div 1,06 \delta^*$	$1,55 \div 5,8$	$1,04 \div 2,87$	$0,4 \div 1,10$
B		$0,34 \div 1,2 \delta$	$2,20 \div 2,90$	$1,43 \div 1,90$	$0,4 \div 1,10$
B		$0,37 \div 0,55 \delta$	$2,10 \div 3,20$	$1,49 \div 1,93$	$0,4 \div 1,10$

\*  $\delta$  - допуск на диаметр проката.



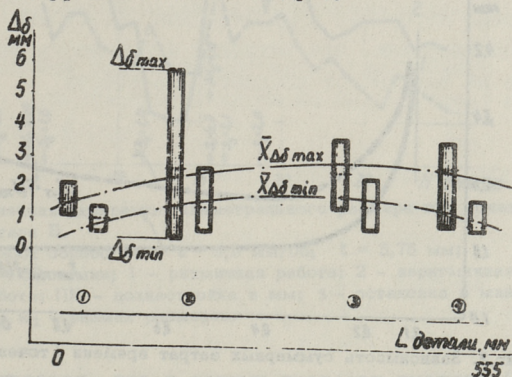
Анализ параметров точности (таблица I) показал, что среднеарифметическая величина диаметрального размера заготовки смещена от середины поля допуска в основном в плюсовую сторону (величина смещения  $E = -0,13...+0,65$  мм).

Для количественной оценки точности диаметра проката предлагается ввести коэффициент точности ( $K_T$ ), учитывающий смещение  $E$ .

Коэффициент  $K_T$  определяется по формуле:

$$K_T = \frac{\delta}{\delta/2 + E + w/2} \quad (I)$$

Опыты показали, что уменьшение погрешностей биения на фрезерно-центровальной операции в 1,5–2 раза вполне реально при осуществлении ряда мероприятий (введение системы статистического анализа, установление технологических допусков на биение, оплата труда в зависимости от практически достигнутого уровня качества и др.).



Фиг.2. Диаграмма изменения биения заготовки по длине детали А, 1, 2 ... - измеряемые сечения.

На фиг. 2 приведены максимальные и минимальные величины среднеарифметического биения  $\bar{x}_{\Delta\delta}$  партий деталей А с указанием размаха биения ( $\Delta\delta_{\max} - \Delta\delta_{\min}$ ) в сечениях 1, 2, 3, 4.

Из фиг. 2 следует, что основными факторами, вызывающими биение, являются точность настройки и изогнутость проката.

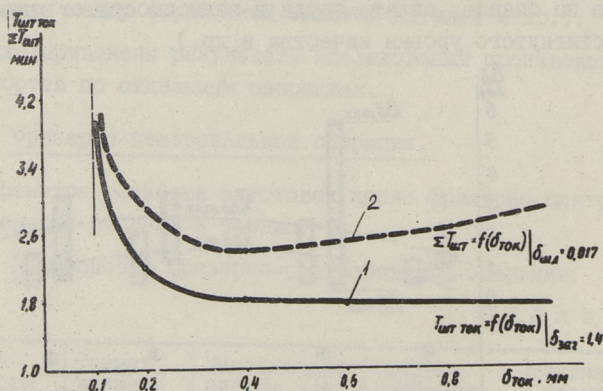
## 2. Токарные операции.

Производственные опыты обработки деталей на гидрокопировальных полуавтоматах (I7I3, I722, МК-63) показали, что при двухпроходной обработке (черновая и чистовая операции) обеспечивается точность 0,23...0,32 мм, при однопроходной обработке 0,22...0,46 мм.

Целесообразность уменьшения количества переходов при токарной обработке с интенсивными режимами ( $s = 0,4...0,92$  мм/об,  $t = 5,5...12,5$  мм,  $v = 60...90$  м/мин) определяется из условия:

$$\Sigma(T_{шт.ток} + T_{шт.шл}) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $T_{шт.ток}$  и  $T_{шт.шл}$  - соответственно штучное время токарной и шлифовальной обработки.



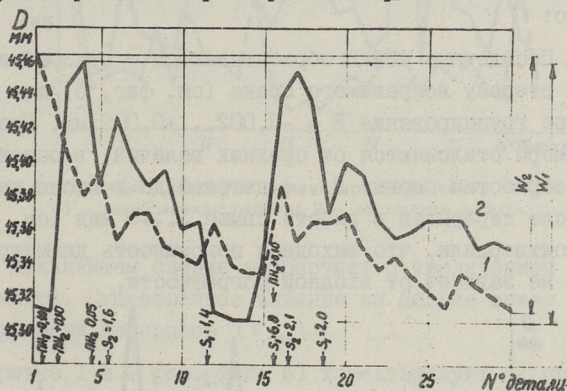
Фиг.3. Зависимость суммарных затрат времени (точение+шлифование)  $\Sigma T_{шт}$  от выходной погрешности точения  $\delta_{ток}$  при обработке детали Б.  
1 - точение; 2 - точение+шлифование.

На фиг. 3 приведен пример решения данной задачи при обработке детали Б. Зависимость  $T_{шт.ток} = f(\delta_{ток})$  при допуске заготовки  $\delta_{заг} = 1,4$  мм определена моделированием на ЭВМ согласно [5].

Затраты времени на шлифовку определены по нормативам в зависимости от припуска на шлифование. Суммируя затраты времени на токарную и шлифовальную операции, получим зависимость  $\Sigma T_{шт} = f(\delta_{ток})$ .

(см. фиг. 3), минимальное значение которой соответствует оптимальной структуре процесса.

Характерная точечная диаграмма диаметрального размера токарной обработки приведена на фиг. 4. Из точечной диаграммы следует, что в начальный период обработки (до 3-4 деталей) погрешности вызваны, в основном, настройкой станка, в дальнейшем (до 15... 20 мин. машинного времени) доминирует систематическая погрешность от температурной деформации реза. Отклонение от нормального ритма и поднастройка (детали № 15..19) вызывают погрешность, в несколько раз превышающую случайную погрешность при нормальном ритме.



Фиг.4. Точечная диаграмма диаметрального размера при точении детали Б.  
 Режим обработки -  $s = 0,5$  мм/об;  $t = 5,75$  мм;  
 $v = 62$  м/мин; 1 - ритмичная работа; 2 - неритмичная работа; ПН - поднастройка в мм; S - остановка в мин;  
 $W_1, W_2$  - размах размеров.

Анализ показал, что в данных пределах входной (0,7... 1,7 мм) и выходной погрешностей (0,035...0,45 мм) при жесткости системы 950...2950 кгс/мм, корреляционная зависимость между погрешностями диаметральных размеров заготовки после точения и перед точением практически отсутствует.

Связь между входным и выходным биениями является более заметной, однако, коэффициент корреляции  $r$  не превышает 0,25.

Основными факторами, влияющими на погрешность диаметральных размеров при точении в данных условиях ( $j_c > 950$  кгс/мм;  $t = 5,5...12,5$  мм;  $s = 0,4...0,92$  мм/об) являются:

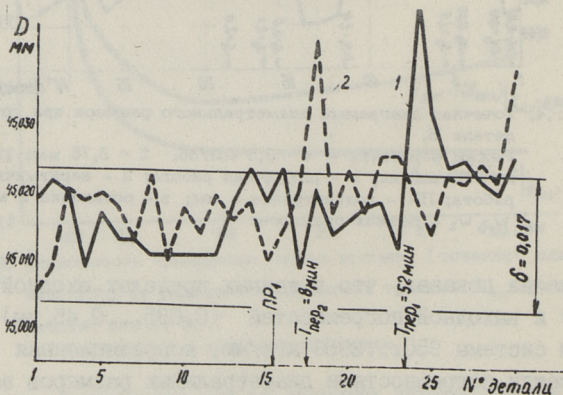
1) погрешность настройки в начальный период обработки, и погрешность поднастройки в процессе обработки;

2) систематическая погрешность от температурной деформации резца в начале обработки (в течение 15...20 минут машинного времени);

3) погрешность от температурной деформации технологической системы, обусловленной отклонением от нормального ритма.

3. Шлифовальная операция. Анализом процесса шлифования выявлено:

1). Посадочные шейки обрабатываются с отклонением размеров в сторону исправимого брака (см. фиг. 5) со смещением центра группирования  $E = -0,002...+0,009$  мм. Диаметральные размеры отклоняются от средних величин, в основном, в период обработки первых 3...4 деталей до и после правки круга и после перерывов в работе свыше 3...5 мин (см. фиг. 5). Опыты подтвердили, что выходная погрешность диаметрального размера не зависит от входной погрешности.

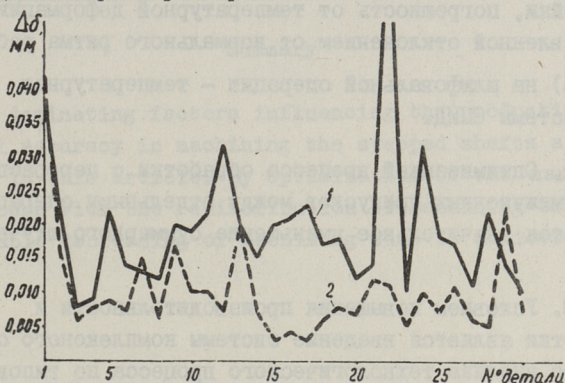


Фиг. 5. Точечная диаграмма диаметрального размера при шлифовании детали Б.

Режимы обработки - скорость круга  $v = 32$  м/сек; скорость детали  $v_d = 25$  м/мин; подача - поперечная ручная. 1 - неритмичная работа; 2 - ритмичная работа; ПР - правка круга.

2). Минимальное биение посадочных шеек исследованных партий деталей  $\Delta \delta_{\min} = 0,001...0,010$  мм, среднеарифметическое биение  $\bar{x}_{\Delta \delta} = 0,006...0,025$  мм при допуске  $\delta = 0,020$  мм.

Изменение погрешностей биения в ходе процесса обработки партии деталей приведено на фиг. 6. В начальный период обработки детали имеют значительное биение, которое уменьшается до минимума при обработке деталей № 3...5.



Фиг. 6. Точечная диаграмма биения при шлифовании детали Б.  
1 - неритмичная работа; 2 - ритмичная работа.

В дальнейшем биение возрастает с увеличением износа инструмента. Существенное влияние на биение имеет стабильность времени перерывов ( $T_{пер}$ ).

Кривые 1 и 2 (см. фиг. 6) характеризуют протекание процесса обработки двух партий деталей с различным колебанием длительности перерывов при прочих равных условиях.

Из анализа этих кривых следует, что величина биения обрабатываемых деталей зависит от величины температурной деформации системы СПИД, которая, в свою очередь, зависит от ритма протекания процесса. Для первой партии среднearифметическое биение  $\bar{x}_{\Delta\delta} = 0,018$  мм, для второй партии -  $\bar{x}_{\Delta\delta} = 0,009$  мм.

Результаты корреляционного анализа подтверждают слабую корреляционную связь ( $r < 0,3$ ) между биениями детали и заготовки.

## В ы в о д ы

I. Доминирующими факторами, влияющими на производственные погрешности обработки валов в серийном производстве, являются:

а) на фрезерно-центровой операции - погрешность настройки и изогнутость заготовки;

б) на токарных операциях - погрешность настройки и поднастройки, погрешность от температурной деформации резца, обусловленной отклонением от нормального ритма работы;

в) на шлифовальной операции - температурная деформация системы СПИД.

2. Оптимизацией процесса обработки с перераспределением промежуточных припусков между отдельными операциями достигается значительное уменьшение суммарного штучного времени.

3. Условием повышения производительности и точности обработки является введение системы комплексного статистического анализа технологического процесса по типовым представителям групп деталей.

#### Л и т е р а т у р а

1. В.И. Комиссаров, В.И. Леонтьев, В.Г. Старостин. Размерная наладка универсальных металлорежущих станков. М., "Машиностроение", 1968.

2. Л.З. Румшинский. Математическая обработка результатов эксперимента. М., "Наука", 1971.

3. Под. ред. В.А.Скрагана. Жесткость, точность и вибрации при механической обработке. М.-Л., Машгиз, 1956.

4. А.А. Вялло, П.И. Трейер, Н.Н. Щеглов. Расчет точности обработки валов в серийном производстве. Труды ТПИ, № 346, 1973.

5. А.А. Вялло, П.И. Трейер, Н.Н. Щеглов. Оптимизация перехода механической обработки. Труды ТПИ, № 346, 1973.

Manufacturing Errors in Machining the Shafts

## Summary

The dominating factors influencing the productivity and the total accuracy in machining the stepped shafts are determined in this article. By optimization of the manufacturing process with the redistribution of machining allowances considerable decreasing of machining time is achieved.





УДК 621.9.014

А.А.Вялло, П.И.Трейер, Н.Н.Щеглов

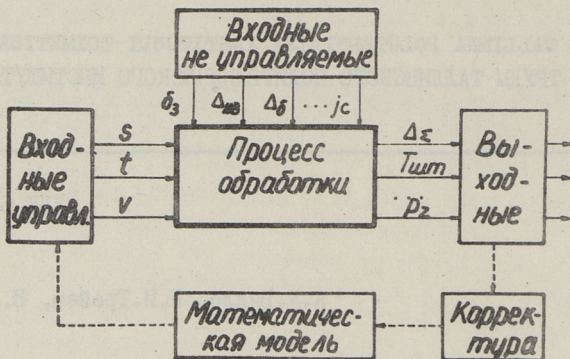
### ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Проделанный анализ точности и производительности токарных операций обработки ступенчатых валов на Таллинском экскаваторном заводе показал, что для повышения производительности обработки имеются в производстве значительные резервы. Наряду с организационными и технологическими мероприятиями, изложенными в [1, 3, 4], существенное повышение производительности можно получить интенсификацией режимов обработки, которые при максимальной производительности, определяемой технологическими возможностями системы СПИД, должны обеспечить заданную точность обработки.

Применительно к серийному производству задачу определения режимов необходимо рассматривать в едином комплексе со следующими задачами:

- статистический анализ параметров процесса обработки типовых представителей деталей и введение в производство соответствующей системы статистического контроля;
- анализ технического состояния системы СПИД и выявление величин технологических характеристик, определяющих точность и производительность обработки;
- анализ составляющих суммарной погрешности обработки для данной группы деталей и выявление доминирующих факторов;
- оптимизация режимов обработки с учетом результатов анализа.

Схема образования погрешностей и затрат времени в общем случае изображена на фиг. 1.



Фиг.1. Схема управления процессом обработки по выходным параметрам.

Входными неуправляемыми параметрами в данном процессе обработки являются:

- 1) выходные параметры предыдущего процесса (перехода, операции), - биение заготовки ( $-\Delta \delta_3$ );
  - колебание твердости материала ( $\Delta_{нв}$ );
  - предельные значения погрешности диаметра заготовки ( $\delta_3$ ) и др.
- 2) параметры, характеризующие систему СПИД
  - жесткость системы ( $j_c$ );
  - погрешность настройки и др.

Выходными параметрами являются:

- 1) суммарная погрешность обработки ( $\Delta_\Sigma$ );
- 2) штучное время ( $T_{шт}$ ), время перерывов ( $T_{пер}$ );
- 3) показатели износа инструмента (стойкость  $T$ , размерный износ  $\Delta_u$ );
- 4) силовые показатели (мощность  $N$ , усилие резания  $P_z$ ,  $P_x$ ,  $P_y$ ) и другие параметры, характеризующие протекание процесса обработки во времени и влияющие на  $\Delta_\Sigma$  и  $T_{шт}$ .

Входными управляемыми параметрами являются параметры режима обработки (подача  $s$ , глубина резания  $t$ , скорость резания  $v$ ), определяемыми по выходным параметрам.

Целью оптимизации отдельной операции или перехода является установление расчетным путем таких режимов обработки, при которых наиболее полным образом используются технологические возможности оборудования и обеспечивается выполнение всех требований по точности обработки при наибольшей производительности. Это можно представить в виде решения следующей задачи оптимизации:

найти режимы обработки (скорость резания  $v$  и подачу  $s$ ), которые обеспечивают минимум затрат времени

$$\min f(v, s) = \min \left( \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v \cdot s} + \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v \cdot s} \frac{t_{cm}}{T} \right) \quad (1)$$

и удовлетворяют следующим ограничениям:

$$\begin{aligned} \Delta_z(v_i, s_i, j_c, \delta_{zi} \dots z_i) &\leq \delta, \\ T(v_i, s_i, \dots z_i) &\geq T_{дон}, \\ P_z(v_i, s_i, \dots z_i) &\leq P_{zдон}, \\ \dots & \\ N(v_i, s_i, \dots z_i) &\leq N_{дон}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $t_{cm}$  — время на замену инструмента.

Задача (1) является задачей нелинейного программирования, для решения которой на ЭВМ нами применен градиентный метод [2].

Начиная от исходной точки  $(v_0, s_0)$  направление движения поиска оптимальных режимов обработки происходит по направлению градиента целевой функции  $f(v, s)$  (см. фиг. 2).

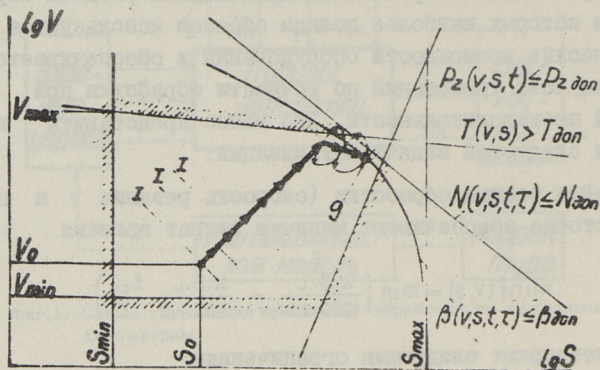
После достижения границы допустимой области поиск решения продолжается по одному из направлений, определенных линейной комбинацией градиентов целевой функции и соответствующего ограничения:

$$\begin{aligned} v_{i+1} &= v_i - \lambda_0 \left[ \varepsilon \frac{\partial f}{\partial v} \Big|_{v=v_i} - (1-\varepsilon) \frac{\partial g}{\partial v} \Big|_{v=v_i} \right], \\ s_{i+1} &= s_i - \lambda_0 \left[ \varepsilon \frac{\partial f}{\partial s} \Big|_{s=s_i} - (1-\varepsilon) \frac{\partial g}{\partial s} \Big|_{s=s_i} \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\lambda_0$  — постоянная, определяющая шаг поиска решения;  
 $\varepsilon$  — параметр, задающий линейную комбинацию;

$\partial f / \partial v$  - градиент целевой функции;

$\partial q / \partial v$  - градиент лимитирующего ограничения.



Фиг.2. Схема поиска оптимальных величин  $(v, s)$  в пределах допустимых ограничений ( $T_{доп.}, P_{zдоп.}, \dots, \beta_{доп.}$ ):

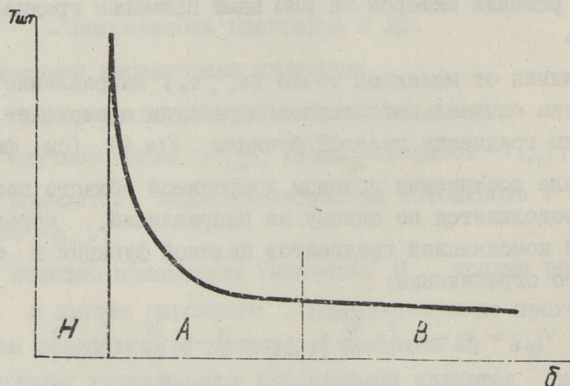
1 - шаг поиска;

0 - окончательное решение.

При этом  $\varepsilon$  получает последовательно одно из ранее зафиксированных значений в пределах  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ .

Условием выбора величины  $\varepsilon$  является удовлетворение всех ограничений  $g(v, s) < g_{доп}$  и улучшение целевой функции

$$f(v_{i+1}, s_{i+1}) < f(v_i, s_i). \quad (4)$$



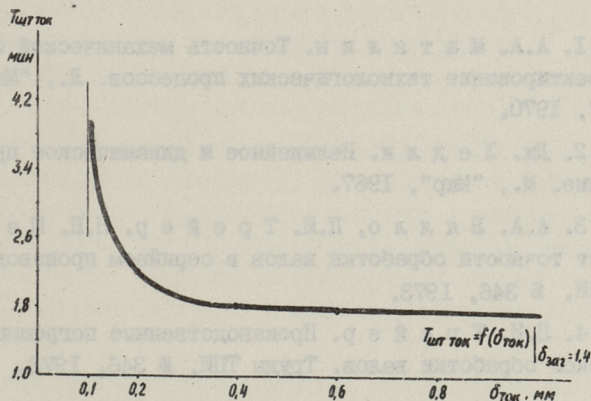
Фиг.3. Общая зависимость затраты времени ( $T_{шт}$ ) от точности обработки ( $\varepsilon$ ).

С изменением правой стороны ограничения по точности обработки (2) можно расчетным путем моделировать зависимость производительности (затрат времени  $T_{шт}$ ) от требуемой точности.

В зависимости  $T_{шт} = f(\delta)$  можно выделить три характерные зоны допусков (см. фиг. 3):

- А - зона допусков и режимов обработки, где точность является лимитирующей при выборе более интенсивных режимов обработки;
- В - зона, где точность не является лимитирующей;
- Н - зона недостижимой точности обработки.

Результаты практического решения данной задачи применительно обработки ступенчатого вала диаметром 40,5 мм, длиной 390 мм (деталь Б - см. фиг. I [3]) на станке I722 приведены на фиг. 4.



Фиг.4. Зависимость затраты времени ( $T_{шт,ток}$ ) от точности обработки ( $\delta_{ток}$ ).

Зависимость  $T_{шт,ток} = f(\delta_{ток}) / \delta_{заг} = 1,4$  (см. фиг. 4) определена на ЭВМ "Минск-22" по величинам допуска  $\delta = 0,6; 0,4; 0,2$  и  $0,1$  мм. При этом допуск  $\delta < 0,1$  мм определяет зону недостижимой точности.

Условия обработки: жесткость системы  $j_c = 970$  кгс/мм; глубина резания  $t = 7,75$  мм; стойкость инструмента  $T = 60$  мин.

При технологическом допуске  $\delta = 0,4$  мм оптимальным является режим  $v = 70$  м/мин;  $s = 0,45$  мм/об.

1. Предложенная методика оптимизации перехода токарной обработки с использованием результатов статистического контроля параметров системы СПИД в производственных условиях повышает качество оптимизации.

2. С целью уменьшения объема расчетов в условиях серийного производства целесообразно применить данный метод только для групповых представителей.

3. Зависимость "затрата времени - погрешность обработки", определенная для конкретных условий производства, позволяет определить оптимальное число переходов, необходимое для достижения требуемой точности обработки и величины промежуточных технологических допусков.

### Л и т е р а т у р а

1. А.А. М а т а л и н. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. Л., "Машиностроение", 1970.

2. Дж. Х е д л и. Нелинейное и динамическое программирование. М., "Мир", 1967.

3. А.А. В я л л о, П.И. Т р е й е р, Н.Н. Щ е г л о в. Расчет точности обработки валов в серийном производстве. Труды ТПИ, № 346, 1973.

4. П.И. Т р е й е р. Производственные погрешности механической обработки валов. Труды ТПИ, № 346, 1973.

The Optimization of the Machining Operation

Element

Summary

This article deals with the optimization of cutting data of an operation element in batch production based upon the machining time and required accuracy. To obtain better cutting data the results of statistic analysis of real conditions in the machining process are used in optimization.





УДК 621.9:621.753

А.А. Вялло

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ И МЕЖОПЕРАЦИОННЫХ  
 РАЗМЕРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

В настоящее время в машиностроении получил наибольшее распространение опытно-статистический метод определения как межоперационного, так и общего припуска. Опытно-статистический метод расчета припусков не может учитывать все условия конкретного технологического процесса, поэтому во многих случаях припуск, рассчитанный этим методом, не является оптимальным (в большинстве случаев преувеличенный).

Расчетно-аналитический метод определения припуска, разработанный проф. В.М. Кованом [1] и уточненный рядом других авторов [3; 4; 5; 6; 7], учитывает конкретные условия технологического процесса. С применением ЭВМ для проектирования технологических процессов расчетно-аналитические методы определения припуска получают в последнее время все большее применение.

В данной работе делается попытка внести некоторые уточнения в расчетно-аналитический метод расчета припусков.

Согласно методике проф. В.М. Кована минимальный припуск на обработку

$$z_{i \min} = R_{z i-1} + T_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i, \quad (I)$$

- где  $z_{i \min}$  — минимальный припуск на обработку для рассматриваемого перехода  $i$  ;  
 $R_{z i-1}$  — высота микронеровностей на предшествующем переходе  $i-1$  ;  
 $T_{i-1}$  — глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе;

$\varphi_{i-1}$  - суммарное значение пространственных отклонений на предшествующем переходе;

$\varepsilon_i$  - погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Минимальный припуск, обеспечивающий требуемое качество поверхности, но не учитывающий условия обработки (погрешность установки, настройки и др.) определяется формулой:

$$Z'_{i \min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \varphi_{i-1}. \quad (2)$$

Минимальный припуск, учитывающий конкретные условия обработки, определяется по формуле:

$$Z_{i \min} = Z'_{i \min} + \Delta_{z_i}, \quad (3)$$

где  $\Delta_{z_i}$  - поправка на минимальный припуск, учитывающий условия обработки.

При выборе схемы расчета припуска следует различать два случая:

1) размер обрабатываемой поверхности (имеется в виду размер, перпендикулярный к обрабатываемой поверхности) определяет ее положение относительно установочной поверхности;

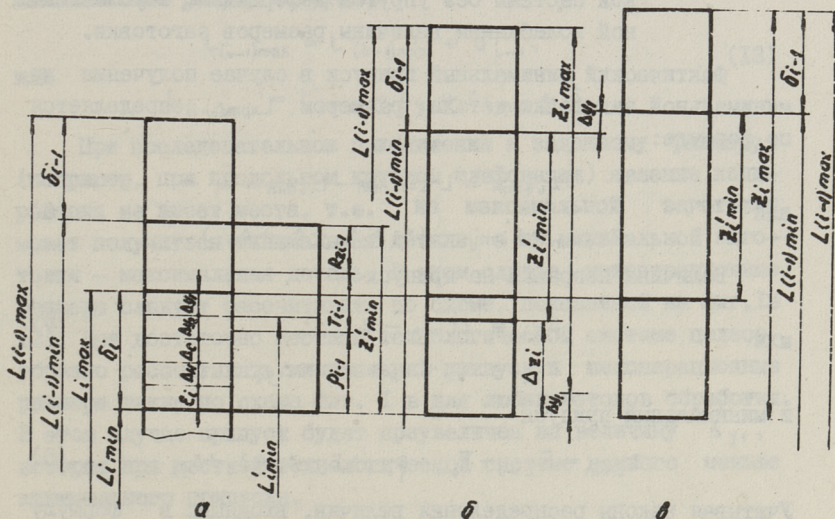
2) размер обрабатываемой поверхности не определяет ее положение относительно установочной поверхности.

I. Обработка поверхности, размер которой определяет ее положение относительно установочной поверхности

Согласно существующей методике определения припуска [1] в общем случае межоперационные размеры рассчитываются по схеме фиг. 1 а. В связи с тем, что технологическая система является упругой системой, в процессе обработки происходит некоторое копирование размеров заготовки на размеры детали. Степень копирования размеров заготовок на размеры деталей зависит от коэффициента уменьшения погрешностей технологической системы  $K_y$ , который определяется по формуле:

$$K_y = \frac{\Delta_{\text{дет.}}}{\Delta_{\text{зг.}}}, \quad (4)$$

Где  $\Delta_{\text{дет.}}$  - погрешность обработки детали;  
 $\Delta_{\text{заг.}}$  - погрешность исходной заготовки.



Фиг. 1. Общая схема определения припуска и межпереходных размеров

- а - при учете явления копирования в пределах допуска  $\delta_i$ ;
- б - при учете явления копирования в пределах упругой деформации  $\Delta_{y_i}$ ;
- в - без учета явления копирования.

Так как на величину коэффициента уменьшения погрешностей из составляющих суммарной погрешности обработки влияет только погрешность, обусловленная упругой деформацией технологической системы под влиянием силы резания, то степень копирования размеров заготовок на размеры деталей зависит только от этой составляющей.

Следовательно, при полном использовании поля рассеивания размеров (при равенстве допуска полю рассеивания размеров) из заготовки минимального размера может получиться деталь размерами от  $L_{i \min}$  до  $L'_{i \min}$  (фиг. 1 а).

$$L'_{i \min} = L_{i \min} + \varepsilon_i + \Delta_n + \Delta_c + \Delta_{y_2}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_i$  — погрешность установки;  
 $\Delta_n$  — погрешность настройки;  
 $\Delta_c$  — сумма систематических погрешностей;  
 $\Delta_{y_2}$  — погрешность от упругой деформации технологической системы без упругой деформации, обусловленной колебанием величины размеров заготовки.

Фактический минимальный припуск в случае получения из минимальной заготовки детали размером  $L'_{i \min}$  определяется по формуле:

$$Z_{i \phi \min} = L_{(i-1) \min} - L'_{i \min} \quad (6)$$

или

$$Z_{i \phi \min} = Z'_{i \min} - (\varepsilon_i + \Delta_n + \Delta_c + \Delta_{y_2}).$$

Величина поправки на припуск

$$\Delta z_i = Z'_{i \min} - Z_{i \phi \min} \quad (7)$$

или

$$\Delta z_i = \varepsilon_i + \Delta_n + \Delta_c + \Delta_{y_2}$$

и минимальный припуск

$$Z_{i \min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i + \Delta_n + \Delta_c + \Delta_{y_2}. \quad (8)$$

Учитывая законы распределения величин, входящих в формулу (7), поправка на припуск выражается формулой:

$$\Delta z_i = \sqrt{(K_1 \cdot \varepsilon_i)^2 + (K_2 \cdot \Delta_n)^2 + (K_3 \Delta_c)^2 + (K_4 \cdot \Delta_{y_2})^2}, \quad (9)$$

где  $K_1, K_2$  и т.д. — коэффициенты, учитывающие законы распределения отдельных составляющих.

Для упрощения расчета межоперационных размеров целесообразнее сместить припуск  $Z'_{i \min}$  на величину  $\Delta z_i$  (фиг. I б). В этом случае минимальный припуск, учитывающий условия обработки:

$$Z_{i \min} = Z'_{i \min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}; \quad (10)$$

максимальный припуск

$$Z_{i \max} = Z_{i \min} + \delta_{i-1} + \delta_i - 2\Delta_{y_i}, \quad (11)$$

где  $\delta_{i-1}$  и  $\delta_i$  — допуски размеров соответственно предшествующего и выполняемого переходов;

$\Delta_{y_i}$  — погрешность от упругой деформации технологической системы, обусловленной колебанием величины размеров заготовки;

минимальный размер заготовки

$$L_{(i-1)\min} = L_{i\max} - \Delta y_i + z_{i\min}; \quad (I2)$$

максимальный размер заготовки

$$L_{(i-1)\max} = L_{(i-1)\min} + \delta_{i-1}; \quad (I3)$$

или

$$L_{(i-1)\max} = L_{i\max} - \Delta y_i + z_{i\min} + \delta_{i-1}.$$

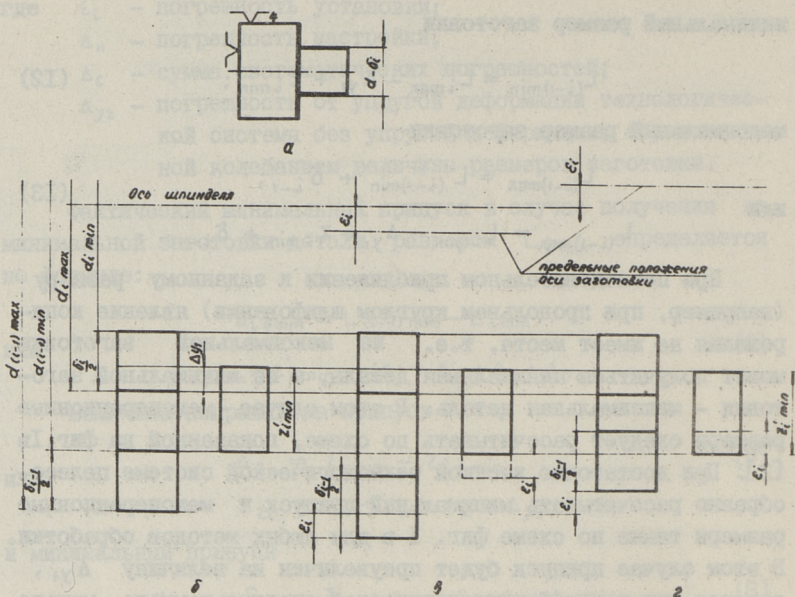
При последовательном приближении к заданному размеру (например, при продольном круглом шлифовании) явление копирования не имеет места, т.е. из максимальной заготовки может получиться минимальная деталь, а из минимальной заготовки — максимальная деталь. В этом случае межоперационные размеры следует рассчитывать по схеме, показанной на фиг. Iв [2]. При достаточно жесткой технологической системе целесообразно рассчитывать минимальный припуск и межоперационные размеры также по схеме фиг. I в для любых методов обработки. В этом случае припуск будет преувеличен на величину  $\Delta y_i$ , которая при жесткой технологической системе намного меньше минимального припуска.

## 2. Обработка поверхности, размер которой не определяет ее положение относительно установочной поверхности

### а) Обработка в патроне (фиг. 2 а)

В связи с наличием погрешности установки при закреплении в патроне, ось заготовки смещается от оси вращения шпинделя на величину  $\varepsilon_i$  (фиг. 2 б, 2 в, 2 г). В зависимости от положения оси заготовки относительно оси шпинделя фактическая величина припуска колеблется (в пределах одного оборота заготовки) от  $z'_{i\min} - \varepsilon_i$  (фиг. 2 г) до  $z'_{i\min} + \varepsilon_i$  (фиг. 2 в). Следовательно, для предотвращения брака в связи с преуменьшенным припуском необходимо припуск, рассчитанный по формуле (2), увеличить на величину  $\Delta z_i = \varepsilon_i$ , т.е. припуск на сторону выражается формулой:

$$z_{i\min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i.$$



Фиг. 2. Схема определения припуска и межпереходных размеров при обработке в патроне:  
 а - операционный эскиз;  
 б - без учета погрешности установки;  
 в - увеличение припуска в связи с наличием погрешности установки;  
 г - уменьшение припуска в связи с наличием погрешности установки.

### б) Обработка отверстия при установке по схеме фиг. 3 а

В связи с наличием погрешности установки ось обработанного отверстия может сместиться относительно оси отверстия заготовки на величину погрешности установки  $\epsilon_i$ , в связи с чем величина фактического припуска на обработку колеблется от  $z'_{i \min} - \epsilon_i$  до  $z'_{i \min} + \epsilon_i$  (фиг. 3 б).

Следовательно, для предотвращения брака в связи с уменьшенным припуском необходимо ввести поправку на припуск

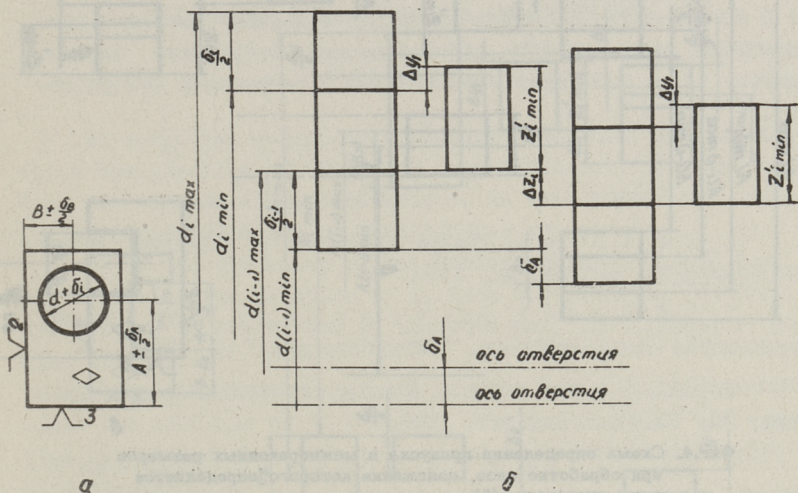
$$\Delta z_i = \epsilon_i,$$

где

$$\epsilon_i = \sqrt{\epsilon_{iA}^2 + \epsilon_{iB}^2};$$

$\epsilon_{iA}$  - погрешность установки в направлении размера А;

$\epsilon_{iB}$  - погрешность установки в направлении размера В.



Фиг.3. Схема определения припуска и межпереходных размеров при обработке отверстия в детали типа корпус:  
 а - операционный эскиз;  
 б - предельные положения полей допусков и припуска при наличии погрешности установки.

Для выполнения требований чертежа должны быть выполнены условия:

$$\varepsilon_{iA} \leq \delta_A; \quad \varepsilon_{iB} \leq \delta_B.$$

Минимальный припуск в этом случае определяется:

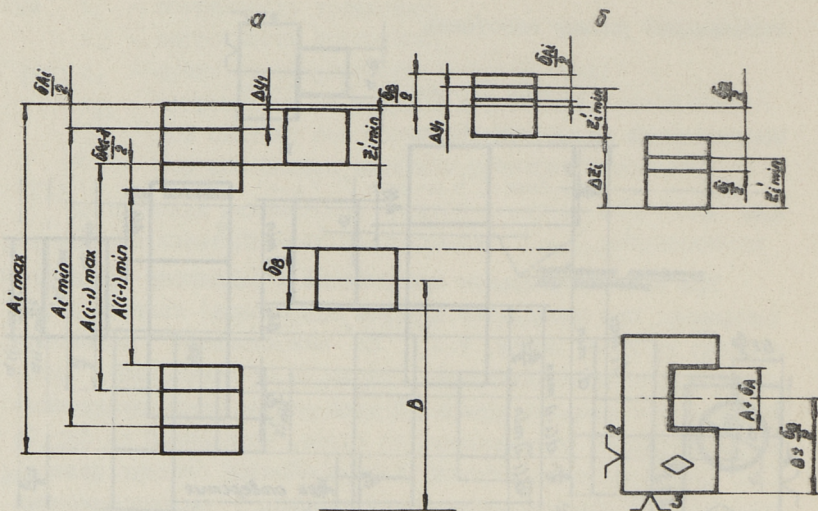
$$Z_{i \min} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i.$$

в) Обработка паза при установке по схеме фиг. 4 в.

Аналогично предыдущему рассуждению, величина фактического припуска на обработку и в данном случае колеблется в связи с наличием погрешности установки от  $Z'_{i \min} - \varepsilon_i$  до  $Z'_{i \min} + \varepsilon_i$ . Следовательно, необходимо ввести поправку на припуск  $\Delta z_i = \varepsilon_i \leq \delta_B$  (фиг. 4 б).

Минимальный припуск определяется по формуле

$$Z_{i \min} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i. \quad (I4)$$



Фиг.4. Схема определения припуска и межпереходных размеров при обработке паза, положение которого определяется осью симметрии (В) :

- а - без погрешности установки;
- б - предельные положения полей допусков и припуска при наличии погрешности установки;
- в - операционный эскиз.

г) Обработка паза при установке по схеме фиг. 5 а

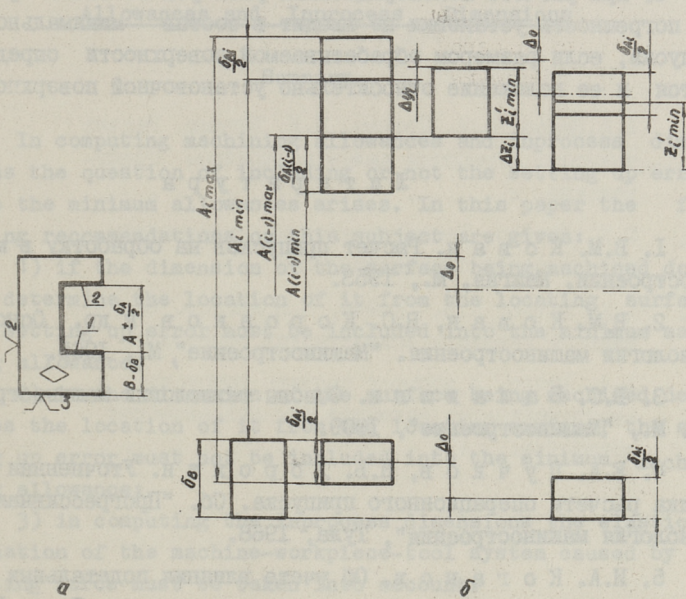
При раздельной обработке поверхностей I и 2 минимальный припуск рассчитывается без учета погрешности установки (фиг. I б).

При обработке паза мерным инструментом (дисковой фрезой, концевой фрезой и т.д.) расчет минимального припуска для поверхности I при настройке по размеру В необходимо произвести также по схеме (фиг. I б). Схема расчета минимального припуска для поверхности 2 следует из фиг. 5 б. При допуске размера В, равном  $\delta_B$ , расстояние между возможными крайними положениями центра поля допуска  $\frac{\delta_{Ai}}{2}$  определяется выражением  $\Delta_0 = \delta_B - \frac{\delta_{Ai}}{2}$  (фиг. 5 б). Поправка на минимальный припуск



$$\Delta_{z_i} = \Delta_0 = z_i;$$

и минимальный припуск определяется по формуле (14).



Фиг.5. Схема определения припуска и межпереходных размеров при обработке паза, положение которого определяется по одной боковой поверхности паза (В):  
 а - операционный эскиз;  
 б - предельные положения полей допусков и припуска при наличии погрешности установки.

## Выводы

1. При расчете межоперационных размеров с учетом явления копирования в пределах всего поля допуска детали (фиг. 1 а) необходимо ввести поправку на минимальный припуск согласно формулам (7) или (9).

2. Для упрощения расчетов межоперационных размеров целесообразно учитывать явление копирования только в пределах упругой деформации технологической системы, обусловленной колебаниями величины размеров заготовки (фиг. 1 б).

3. При расчете припусков для жесткой технологической системы явление копирования размеров заготовки на размеры

детали можно не учитывать в связи с тем, что величина упругой деформации системы намного меньше суммарного поля рассеивания (фиг. 1 в).

4. При расчете межоперационных размеров по схеме фиг. 1 б погрешность установки не входит в состав минимального припуска, если размером обрабатываемой поверхности определяется и ее положение относительно установочной поверхности.

## Л и т е р а т у р а

1. В.М. К о в а н. Расчет припусков на обработку в машиностроении. Машгиз, М., 1953.

2. В.М. К о в а н, В.С. К о р с а к о в и д р. Основы технологии машиностроения. "Машиностроение", М., 1965.

3. Б.С. Б а л а к ш и н. Основы технологии машиностроения. М., "Машиностроение", 1969.

4. Е.А. П у ч к о в, Н.Б. Д о р о х и н. Уточненная методика расчета операционного припуска. Сб. "Прогрессивная технология машиностроения", Тула, 1968.

5. И.А. К о г а н о в. Об учете влияния подетальных размерных связей на величину операционного припуска. Труды Тульского механического института, вып. 14, 1959.

6. В.П. Ф и р а г о. Исправление методики расчета припусков. "Вестник машиностроения", № 2, 1967.

7. С.Д. К а б а н о в, И.Н. Р е ч м е н с к и й. Новый метод расчета припусков на механическую обработку. "Вестник машиностроения", № 1, 1962.

To the Question of Computing Machining  
Allowances and Inprocess Dimensions

Summary

In computing machining allowances and inprocess dimensions the question of including or not the setting up error into the minimum allowances arises. In this paper the following recommendations on this subject are given:

1) if the dimension of the surface being machined does not determine the location of it from the locating surface, the setting up error must be included into the minimum machining allowance;

2) if the dimension of the surface being machined determines the location of it from the locating surface, the setting up error must not be included into the minimum machining allowance;

3) in computing the inprocess dimensions the elastic deformation of the machine-workpiece-tool system caused by the cutting force must be taken into account.

## С о д е р ж а н и е

	Стр.
1. А.А.Вялло, П.И. Трейер, Н.Н. Шеглов. Расчет точности обработки валов в серийном производстве. . . . .	3
2. П.И. Трейер. Производственные погрешности механической обработки валов . . . . .	13
3. А.А. Вялло, П.И. Трейер, Н.Н.Шеглов. Оптимизация перехода механической обработки. . . . .	23
4. А.А. Вялло. К вопросу расчета припусков и межоперационных размеров при механической обработке. . . . .	31



1.	А.А.Иванов, И.М.Трубецкой, Е.П.Иванов. Расчет плотности обработки металлов в обработке давлением.	1
2.	И.М.Трубецкой. Численно-аналитические методы математической обработки металлов.	12
3.	А.А.Иванов, И.М.Трубецкой, Е.П.Иванов. Оценка качества обработки давлением.	22
4.	А.А.Иванов. Влияние деформации металлов на механические свойства при обработке давлением.	31

---

СБОРНИК СТАТЕЙ ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ X. Таллинский политехнический институт. Редактор Г. Гроссшмидт. Техн. редактор М. Йымсте. Сборник утвержден коллегией Трудоз ТПИ 26/1У 1973. Подписано к печати 21/У 1973. Бумага 60x90/16. Печ. л. 2,75 +0,125.прилож. Учетно-изд. л. 2,05. Тираж 350. МВ-04778. Зак. № 341. Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9. Цена 21 коп.

СБОРНИК СТАТЕЙ ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ

X

УДК 621.941.1

Расчет точности обработки валов в серийном производстве. А.А. Вилло, П.И.Трейер, Н.Н.Шеглов. Труды Таллинского политехнического института № 346, 1973, стр. 3-11.

В статье произведен комплексный теоретический расчет точности обработки базовых шеек ступенчатых валов в условиях серийного производства на Таллинском экскаваторном заводе. В результате произведенных расчетов выявлены резервы повышения производительности и точности обработки.

УДК 621.941.1

Производственные погрешности механической обработки валов. П.И. Трейер. Труды Таллинского политехнического института № 346, 1973, стр. 13-21.

В статье приведены результаты комплексного экспериментального исследования точности обработки ступенчатых валов в производственных условиях на Таллинском экскаваторном заводе. Анализом результатов исследования выявлены доминирующие факторы, влияющие на суммарную погрешность. Предлагается методика оптимизации операций точения и шлифования с перераспределением припуска на обработку.

Оптимизация перехода механической обработки.  
А.А. Вялло, П.И. Трейер, Н.Н. Шеглов. Труды  
Таллинского политехнического института № 346,  
1973, стр. 23-29.

В статье рассматривается оптимизация перехода механической обработки в условиях серийного производства ступенчатых валов на Таллинском экскаваторном заводе. Для повышения качества оптимизации используются результаты статистического анализа реальных условий производства.

УДК 621.9:621.753

К вопросу расчета припусков и межоперационных размеров при механической обработке. А.А. Вялло, Труды Таллинского политехнического института № 346, 1973, стр. 31-41.

В статье приводится теоретический анализ расчета припусков и межоперационных размеров для различных схем обработки. С точки зрения выбора схемы расчета припуска предлагается следующая классификация схем обработки: 1) обработка поверхности, размер которой определяет ее положение относительно установочной поверхности; 2) обработка поверхности, размер которой не определяет ее положение относительно установочной поверхности.





12

Цена 21 коп.