

## **Створення і застосування прогресивних технологій в машинобудуванні**

УДК 621.923.1:66/68

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИТАЛЛОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

**Калафатова Л.П., Поколенко Д.В., Феник Л.Н.**  
*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

**Введение.** Изделия из хрупких неметаллических материалов, в частности, из технических ситаллов в силу их эксплуатационных свойств (высокие прочность на сжатие, термостойкость, возможность работы в агрессивных средах, радиопрозрачность, низкие диэлектрические потери, способность противостоять аэродинамическим нагрузкам и вибрациям и др.) находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Ситаллы являются одним из наиболее перспективных материалов при производстве изделий ракетно-космической и авиационной техники, в частности, обтекателей антенн [1], которые представляют собой оболочки вращения с криволинейными образующими и круговыми направляющими. Специфика эксплуатации изделий предполагает повышенные требования к их прочностным характеристикам, точности и качеству изготовления, которые напрямую зависят от эффективности механической обработки, осуществляемой путем алмазного шлифования.

Существующие технологические процессы обработки обтекателей отличаются значительной трудоемкостью, что определяется физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов – ситаллов, при недостаточности знаний об особенностях и технологических принципах их механической обработки, реализуемой в основном алмазным шлифованием. Необходимо также учитывать, что механическая обработка изделий из комбинированно-дефектных ситаллов сопровождается образованием дефектного поверхностного слоя, отрицательно влияющего на их эксплуатационные характеристики [2, 3]. Сведение к минимуму величины этого слоя при обеспечении заданного профиля изделий определяет степень эффективности обработки и возможность надежной эксплуатации изделий в сложных условиях.

При алмазном шлифовании ситаллов технологические показатели процесса резания (качество поверхности, точность, производительность и экономичность обработки) могут быть повышены путем применения высокопроизводительных способов и схем шлифования, улучшения конструкций оборудования и приспособлений, использования прогрессивных конструкций инструментов и мероприятий, повышающих их эксплуатационные характеристики, или за счет сочетания нескольких из перечисленных факторов.

Исходя из сказанного, **целью** настоящих исследований является определение влияния силовых и динамических факторов процесса шлифования обтекателей, определяемых схемой шлифования, последовательностью обработки, конструкцией приспособлений, характеристикой режущего инструмента, на точность и трудоемкость профилирования контура изделий.

**Основная часть.** Технологический процесс обработки включает многооперационную обработку шлифованием как наружного, так и внутреннего контуров изделий на станках типа РТ 66202, оснащенных агрегатной шлифовальной головкой и системой копирования (рис.1).

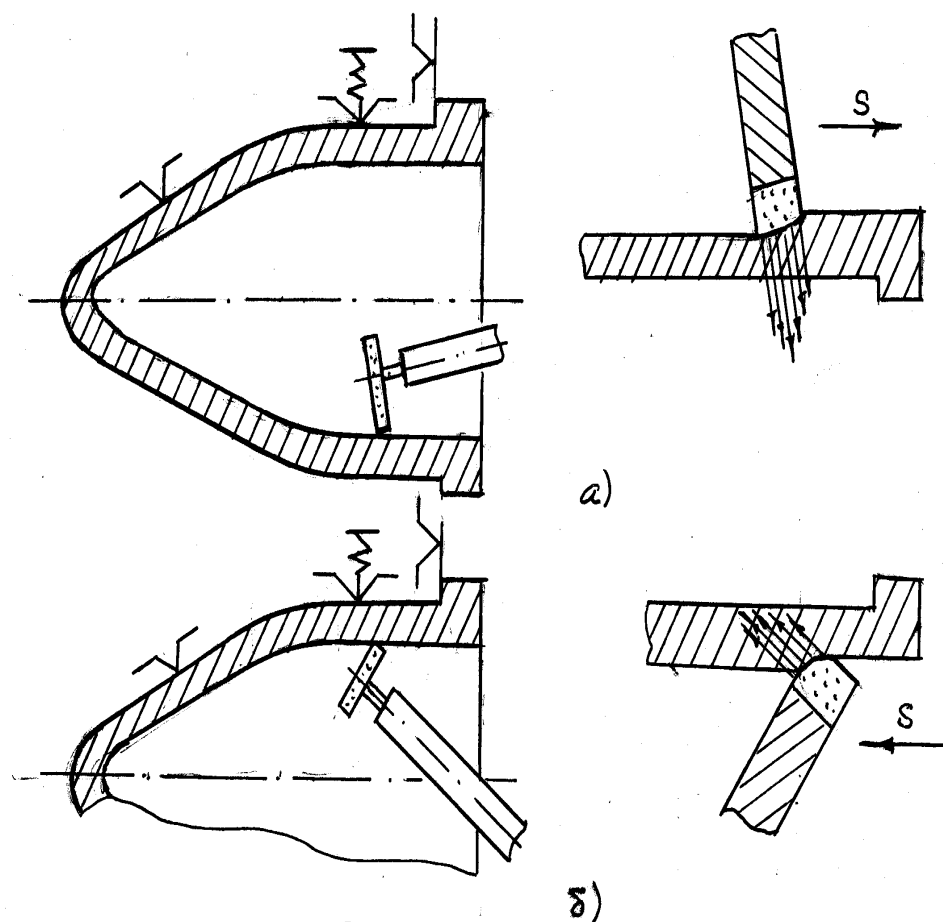


Рис. 1. Схемы обработки внутренней поверхности изделия при шлифовании с подачей: а – «к фланцу» изделия, традиционная схема; б – «к носку» изделия (предлагаемая схема, реализующая способ торцевого шлифования) [4]

Базовый технологический процесс (ТП) механической обработки обтекателей предполагает следующий маршрут обработки (табл. 1). Наибольшие трудности связаны с операциями внутреннего шлифования, выполняемыми инструментами двух типоразмеров последовательно по длине заготовки, как это показано на рис. 1, которыми и снимается основной припуск. При черновом шлифовании цилиндрической части детали используются алмазные круги 1A1 100x32x6x6 - A 315/250 4 - M2-01, конической части - круги - 1A1 32x10x3x10 - A 315/250 4 - M2-01. Затем осуществляется высверливание носка изделия специальным алмазным инструментом.

Особенности обработки изделий рассматриваемого класса из ситаллов в значительной степени обусловлены следующими факторами. Основные размеры изделия: длина до 1,0 м; максимальный диаметр 450...500 мм; толщина стенки заготовки 20 мм при толщине готового изделия 5 мм. На обработку внутреннего контура изделия затрачивается примерно 18-20 часов машинного времени; обработка наружного контура занимает 6-10 часов при значительной доле ручного труда, применяемого на операции чистовой обработки наружного профиля. Эксплуатационные характеристики изделий

предполагают соблюдение повышенных требований по точности и качеству обработки, в частности, обеспечение минимальной глубины дефектности поверхностного слоя, которая определяет продолжительность последующих операций химического травления и упрочнения механически обработанных поверхностей [3].

Таблица 1. Базовый ТП механической обработки обтекателей

№ п/п	Содержание операции или перехода	Принятая схема базирования	Примечания
1	Обработка внутренней поверхности начерно	Необработанная наружная поверхность заготовки	Торцовое шлифование внутренней поверхности с подачей к носку заготовки
2	Обработка внутренней поверхности начисто	Необработанная наружная поверхность заготовки (тот же установ)	Обработка с подачей «к фланцу заготовки»
3	Обработка наружной поверхности начерно	Обработанная внутренняя поверхность заготовки	По окончании - промежуточный контроль толщины стенки детали по поясам вдоль ее длины, определение отклонений толщины стенки, по которым уточняется контур наружной поверхности
4	Обработка наружной поверхности начисто	Обработанная внутренняя поверхность заготовки	Производится подгонка профиля наружной поверхности к обработанному внутреннему профилю путем изменения глубины шлифования по поясам в соответствии с результатами промежуточного контроля. Изменение глубины шлифования производится вручную, реализуется так называемая «вырезка профиля».
5	Контроль толщины стенки изделия	Использование специального заводского приспособления	Цель операции – определение погрешности получаемых размеров в заданных точках профиля как припуска под притирку с точностью 0,01 мм.
6	Шлифование присоединительных элементов изделия	Обработанная внутренняя поверхность заготовки	
7	Притирка наружной поверхности изделия с ручной подачей инструмента	Обработанная внутренняя поверхность заготовки	Получение заданной толщины стенки по поясам и устранение крупных дефектов на обработанной поверхности
8	Полирование наружной поверхности изделия вручную	Обработанная внутренняя поверхность заготовки	Обеспечение заданной шероховатости наружного профиля изделия

При обработке изделий сложного профиля схема обработки предполагает появление систематических погрешностей, изменяющих реальную форму обработанной поверхности по сравнению с требуемой. В зависимости от используемого ТП систематические погрешности могут появляться на различных стадиях обработки. Рассмотрим влияние систематических погрешностей на точность получения заданного контура изделий по ходу ТП их механической обработки.

**Обработка внутренней поверхности.** Известно, что точность получения заданных геометрических размеров связана с отжатыми в упругой технологической системе и зависит от ее жесткости и сил резания, действующих в данной системе [4, 5].

На операции внутреннего шлифования обработка ведется в консольно закрепленном приспособлении инструментом, имеющим большой вылет (см. рис. 1). В этом случае система СПИД состоит из двух отдельных самостоятельных подсистем: «приспособление – заготовка» и «шпиндель – агрегатная головка – суппорт», которые связаны между собой зоной резания. Подсистема «приспособление – заготовка» характеризуется переменной по длине заготовки жесткостью, а также ее изменением при закреплении заготовки в приспособлении. Так, установка и закрепление заготовки в приспособлении снижает жесткость подсистемы на 25...30% по сравнению с жесткостью приспособления без заготовки. При этом жесткость подсистемы «шпиндель – агрегатная головка – суппорт» в 3,5 раза ниже суммарной жесткости подсистемы «приспособление – заготовка». Все это приводит к динамической неустойчивости процесса резания, наличию вибраций, интенсивность которых меняется в зависимости от места контакта заготовки с инструментом и схемы обработки и отрицательно влияет на точность и качество обработки.

Суммарная погрешность  $y$  обработки внутреннего контура изделия будет складываться из величины отжатий изделия с приспособлением  $y_u$  и величины отжатий инструмента, закрепленного на шпинделе для внутренней обработки,  $y_{ш}$

$$y = y_u + y_{ш} . \quad (1)$$

Величина отжатий каждого из узлов системы определяется соответственно для изделия и шпинделя

$$y_u = \frac{P_y}{j_u} ; \quad y_{ш} = \frac{P_y}{j_{ш}} , \quad (2)$$

где  $P_y$  – нормальная составляющая силы резания;  $j_u, j_{ш}$  – жесткость систем «изделие-приспособление» и «шпиндель-агрегатная головка-суппорт» соответственно.

Из указанных соотношений видно, что отжатия в системе тем меньше, а, следовательно, точность обработки тем выше, чем большую жесткость имеет данный узел и чем меньше силовая нагрузка на обрабатываемый материал при резании.

Рассматривая изделие в приспособлении для внутренней обработки как консольно закрепленную балку, получим переменную величину жесткости элемента как функцию изменения вылета  $l$  – расстояния до точки заделки балки

$$j_u = \frac{3EI}{l^3} , \quad (3)$$

где  $E, I$  – соответственно модуль упругости и момент инерции сечения элемента балки.

Для наглядного отображения изменений динамических характеристик системы удобнее пользоваться величиной, обратной ее жесткости, а именно – податливостью

$$w = \frac{1}{j} = \frac{l^3}{3EI} . \quad (4)$$

В процессе обработки по мере перемещения точки контакта инструмента с обрабатываемым изделием вдоль его длины изменяется величина отжатия приспособления с заготовкой.

Радиальная составляющая силы резания при обработке изделий рассматриваемого типа является функцией диаметра обрабатываемого участка  $D$ , так как  $P_y = C_{P_y} v_d^x s^y t^z v_k^m$ , а  $v_d = \frac{\pi D n}{1000}$ .

Следовательно,

$$P_y = C_{P_y} \left( \frac{\pi D n}{1000} \right)^x s^y t^z v_k^m, \quad (5)$$

где  $C_{P_y}$  – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала;  $n$  – частота вращения изделия в минуту;  $s$ ,  $t$ ,  $v_k$  – соответственно величина продольной подачи, глубина шлифования, скорость вращения круга;  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $m$  – показатели степени при параметрах режима резания.

С некоторым приближением можно представить изделие состоящим из двух участков: цилиндрического и конического с углом при вершине  $2\alpha$ . Тогда диаметр изделия на коническом участке будет определяться по формуле

$$D_k = 2tg\alpha \cdot L_k, \quad (6)$$

где  $L_k$  – расстояние от оси вершины конуса до искомого диаметра.

Тогда сила резания для конического участка детали будет величиной переменной, зависящей от  $L_k$ , и может определяться зависимостью

$$P_{y_k} = C_{P_y} \left( \frac{\pi n tg\alpha \cdot L_k}{500} \right)^x s^y t^z v_k^m. \quad (7)$$

На рис. 2 в общем виде представлены графические зависимости изменения теоретического (кривая 1) и реального (кривая 2) контуров изделия, силы  $P_y$  (кривая 3), податливости системы «приспособление-заготовка»  $w$  (кривая 4) по длине обработки при внутреннем шлифовании изделия. На рис. 2 приняты следующие обозначения:  $b$  – расстояние от опоры шпинделя до вершины изделия;  $L$  – расстояние от опоры до начала цилиндрического участка изделия.

При перемещении точки контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью от носка к фланцу изделия увеличивается диаметр обработки и связанные с этим силы резания, определяемые по формуле 7 (см. кривая 3, рис. 2). Одновременно, за счет увеличения консоли, возрастает податливость системы «приспособление-заготовка», что иллюстрируется видом кривой 4 (см. рис. 2). Совместное действие указанных факторов приводит к изменению реального профиля изделия относительно заданного, что связано с увеличением отжимов в системе и, как следствие, уменьшением реального размера

внутреннего диаметра. Об этом свидетельствует кривая 2 (см. рис. 2), соответствующая реальному контуру обработанного изделия.

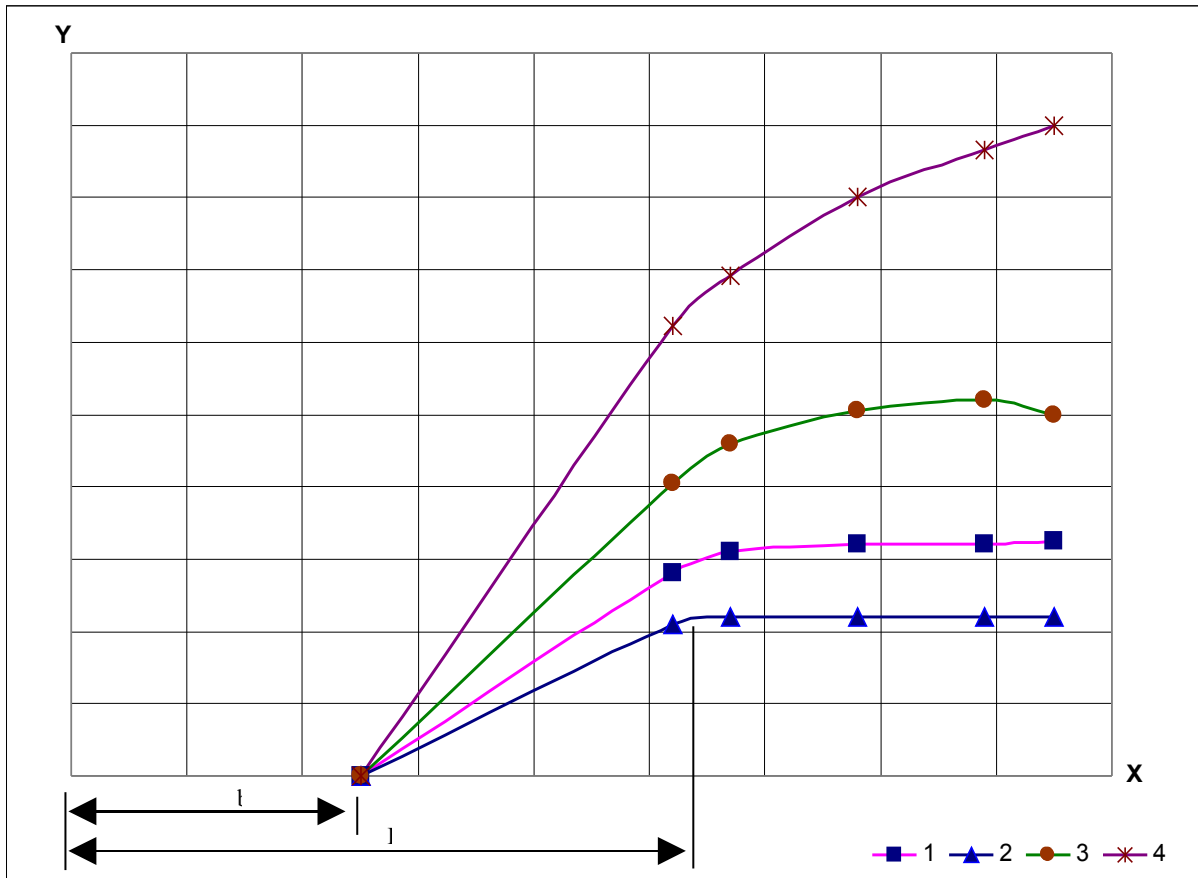


Рис. 2. Графики изменения параметров шлифования относительно длины изделия при его внутренней обработке

Теоретические зависимости для определения суммарной величины перемещений в системе СПИД могут быть найдены следующим образом.

Выражение (1) за счет подстановки в него (2) примет вид

$$y = \frac{P_y}{j_u} + \frac{P_y}{j_{uu}}. \quad (8)$$

Заменяя в (8) величины  $P_y$ ,  $j_u$ ,  $j_{uu}$  их значениями из (4) и (7) и произведя преобразования, получим формулу для величины упругих деформаций в системе по длине обработки для конического участка заготовки (при  $b < X < L$ )

$$y = \frac{C_{P_y} \left( \frac{\pi n t g \alpha \cdot X}{500} \right)^x s^y t^z v_k^m (x - b)}{L - b} \left( \frac{X^3}{3EI} + w_{uu} \right). \quad (9)$$

На цилиндрическом участке заготовки (при  $X > L$ ) за счет постоянства диаметра обработки сила резания не изменяется, и формула для определения величины упругих деформаций примет вид

$$y = C_{P_y} v_{\delta}^x s^y t^z v_{\kappa}^m \left( \frac{X^3}{3EI} + w_{\text{ш}} \right). \quad (10)$$

Результаты расчета отжатий по полученным теоретическим зависимостям хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований влияния параметров шлифования на точность профилирования внутреннего контура изделий. На рис. 3 представлены зависимости отклонений профиля внутреннего контура изделия от профиля, задаваемого копиром, при различных способах шлифования. Точка 10 по координате X соответствует месту перехода конического участка заготовки в цилиндрический.

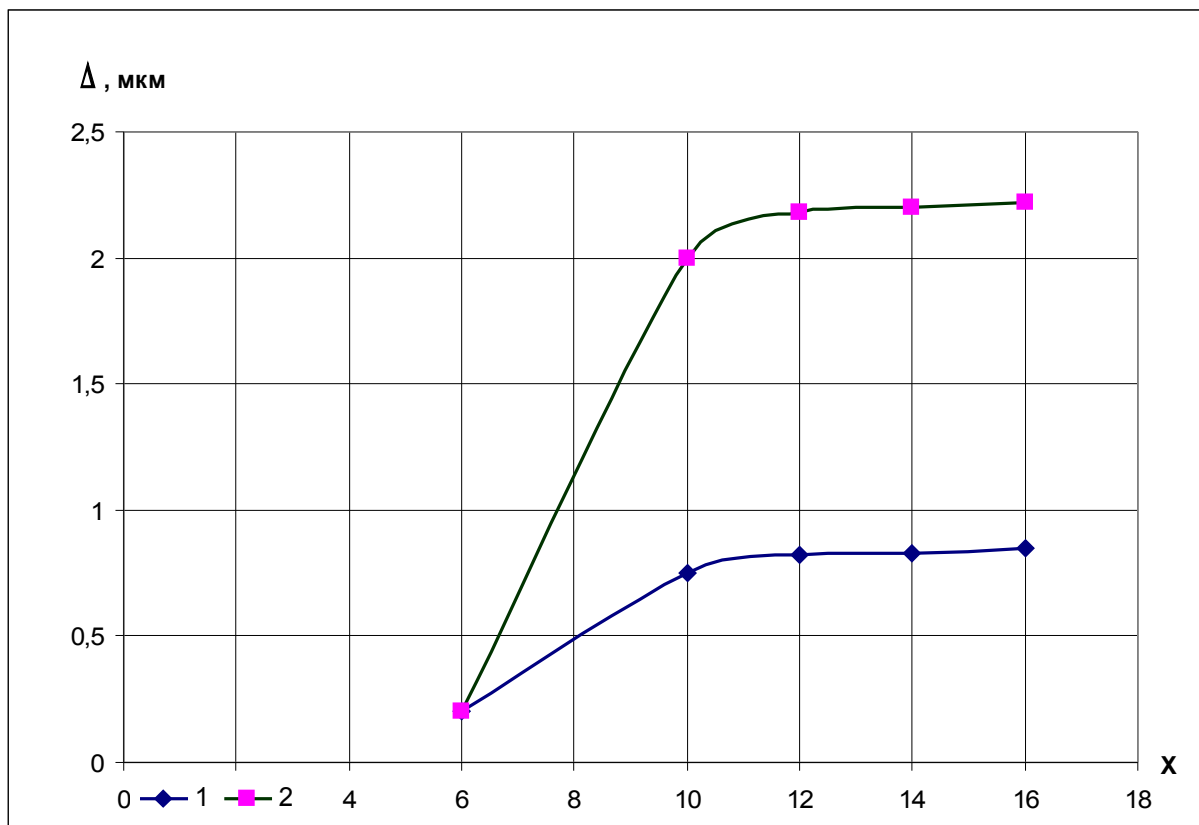


Рис. 3. Отклонения профиля внутреннего контура изделия при шлифовании по схемам: 1 – торцового шлифования (подача к носку изделия); 2 – традиционного шлифования (подача к фланцу изделия)

Как видно из графиков, приведенных на рис. 3, отклонения профиля внутренней поверхности изделия от заданного копиром, увеличивается по мере приближения к его фланцу. При переходе на цилиндрический участок угол наклона диаграммы уменьшается, а для случая торцового шлифования график приближается к горизонтали. Это можно объяснить изменением влияния комплексного фактора, зависящего от динамических характеристик системы и сил резания. При одинаковых параметрах жесткости системы «приспособление-заготовка» для случая торцового шлифования величина радиальной

составляющей силы резания ниже по сравнению с обычной схемой шлифования [4], а при работе на цилиндрическом участке достигает своего минимума. То есть, изменение профиля изделия связано с изменением податливости приспособления с заготовкой и снижением сил резания при уменьшении диаметра шлифования.

Погрешности геометрической формы исходной заготовки обуславливают появление одноименных погрешностей формы обработанных поверхностей. Погрешность исходной заготовки  $\Delta_{исх.заг}$  определяет приращение глубины резания  $\Delta t$  на отдельных участках обрабатываемой поверхности, а, следовательно, и приращение нормальной составляющей усилия резания  $\Delta P_y$  и появление дополнительных отжатий в технологической системе, вызывающих соответствующие отклонения диаметральных размеров изделия при обработке заготовки.

Таким образом, погрешность исходной заготовки копируется на обработанной поверхности в виде одноименной погрешности меньшей величины. После каждого рабочего хода погрешность заготовки уменьшается. Известно [6], что отношение одноименных погрешностей исходной заготовки  $\Delta_{исх.заг}$  и обрабатываемой заготовки  $\Delta_{обр.заг}$  носит название уточнения  $\varepsilon$ , то есть

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{исх.заг}}{\Delta_{обр.заг}}. \quad (11)$$

После первого рабочего хода погрешность обработанной заготовки определяется по формуле

$$\Delta_{обр.заг} = \frac{\Delta_{исх.заг}}{\varepsilon} = \frac{\Delta_{исх.заг} P_y}{j}. \quad (12)$$

После второго рабочего хода погрешность обработанной заготовки равна

$$\Delta_{обр.заг} = \frac{\Delta_{исх.заг}}{\varepsilon^2} = \frac{\Delta_{исх.заг} P_y^2}{j^2}. \quad (13)$$

После  $i$ -го рабочего хода [6]

$$\Delta_{обр.заг} = \frac{\Delta_{исх.заг}}{\varepsilon^i} = \frac{\Delta_{исх.заг} P_y^i}{j^i}. \quad (14)$$

То есть, после каждого рабочего хода погрешность обработанной заготовки уменьшается обратно пропорционально уточнению и жесткости технологической системы и прямо пропорционально силам резания.

В тех случаях, когда коэффициент уточнения  $\varepsilon < 1$  (при малой жесткости технологической системы и больших силах резания), новый проход может не только не повышать точность обработки, но и снижать ее.

Высказанные теоретические положения были подтверждены результатами выполненных экспериментальных исследований при сравнении эффективности двух схем



шлифования [4]. В табл. 2 представлены данные об изменении величины отклонений профиля в зависимости от схемы обработки.

Таблица 2. Значения средних значений отклонений внутреннего профиля изделия при различных схемах шлифования

Последовательность выполнения рабочего прохода	Используемая схема шлифования	Средние значения отклонений профиля $\Delta$ , мкм
Первый рабочий проход	Торцовое шлифование (подача к носку)	460
Второй рабочий проход	Торцовое шлифование (подача к носку)	310
Третий рабочий проход	Торцовое шлифование (подача к носку)	280
Четвертый рабочий проход	Торцовое шлифование (подача к носку)	250
Пятый рабочий проход (чистовое шлифование)	Обычное шлифование (подача к фланцу)	1440

Из табл. 2 видно, что на первых четырех черновых проходах по длине заготовки, выполняемых по схеме торцового шлифования с глубиной резания  $t = 2$  мм и подачей  $s = 0,2$  мм/об, среднее значение величины отклонений от профиля, задаваемого копиром, уменьшается и достигает некоторого предела. При этом часть погрешности, переносимая на деталь с заготовки, становится соизмеримой с погрешностью, вносимой за счет состояния технологической системы. То есть, достигается предельная точность, обеспечить которую можно в технологической системе при рассматриваемой схеме обработки. Для этого случая величина отклонений лежит в диапазоне 250-460 мкм.

При изменении направления подачи при шлифовании происходит перераспределение величины составляющих сил резания. Увеличивается сила, действующая в радиальном направлении ( $P_y$ ) [4], и в сочетании с пониженной жесткостью системы «приспособление-заготовка» это приводит к возрастанию погрешности формы изделия. Из данных табл. 2 видно, что в этом случае среднее значение отклонений профиля увеличилось в 6 раз. Таким образом, проведенный анализ показывает, что использование комбинированной схемы обработки, реализуемой на предприятии, когда черновая обработка ведется с направлением подачи к носку заготовки, а чистовая – с направлением к фланцу, не позволяет полностью реализовать преимущества способа торцового шлифования, в частности, повышение точности профилирования внутреннего контура изделия, и отрицательно скажется на дальнейшей обработке наружного профиля.

**Обработка наружной поверхности.** Наружная поверхность изделия обрабатывается в приспособлении, консольно закрепленном в шпинделе станка. Поэтому все рассуждения, приведенные для случая обработки внутреннего контура изделия, остаются справедливыми и для рассматриваемого варианта.

Однако характер изменения нормальной составляющей силы резания для случая наружной обработки отличается от рассмотренного ранее за счет разворота детали в пространстве таким образом, что с увеличением вылета (удаления точки контакта от шпинделя станка) уменьшаются диаметр обработки и сила резания. Формула для ее определения примет следующий вид

$$P_y = C_{P_y} \left( \frac{\pi n t g \alpha \cdot (L - X)}{500} \right)^x s^y t^z v_k^m. \quad (15)$$

Схема, учитывающая взаимное влияние динамических и силовых факторов процесса алмазного шлифования наружной поверхности, представлена на рис. 4.

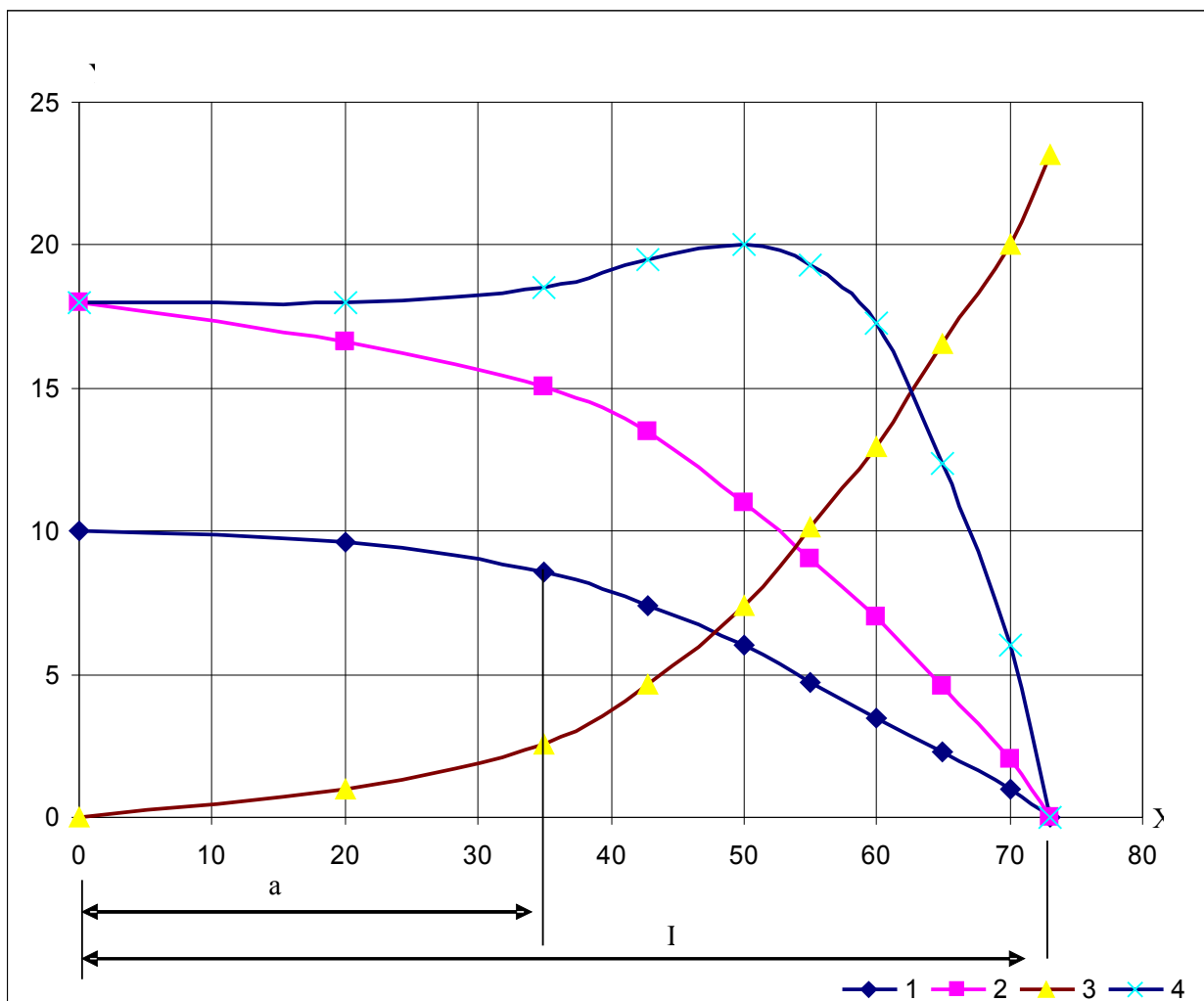


Рис. 4. Графики изменения параметров шлифования относительно длины изделия при его наружной обработке

На рис. 4 в общем виде представлены графические зависимости изменения теоретического (кривая 1) и реального (кривая 4) контуров изделия, силы  $P_y$  (кривая 2), податливости системы «приспособление-заготовка»  $w$  (кривая 3) по длине обработки при наружном шлифовании изделия. При этом приняты следующие обозначения:  $L$  – вылет детали;  $a$  – расстояние от опоры до места перехода цилиндрического участка детали в конический.

Из данных, приведенных на рис. 4, видно, что силы резания (кривая 2) по мере приближения к носку изделия уменьшаются, так как уменьшается диаметр заготовки. Вместе с этим за счет увеличения длины консоли возрастает податливость системы «приспособление-заготовка» (кривая 3). Реальный профиль будет образовываться при взаимном влиянии сил резания и динамических характеристик системы на точность об-

работки и может быть описан кривой 4 (см. рис. 4). Ее вид обусловлен нелинейностью зависимости податливости системы «приспособление – заготовка» от вылета  $L$ .

Учитывая уравнения (1) и (2), суммарные отжатия в системе СПИД могут быть выражены следующей зависимостью

$$y = y_u + y_{uu} = \frac{P_y}{j_u} + \frac{P_y}{j_{uu}} = P_y \left( \frac{1}{j_u} + \frac{1}{j_{uu}} \right). \quad (16)$$

Подставив в уравнение (16) значения силы резания и жесткости элементов системы, получим уравнение для определения величины упругих отжатий в системе на различных участках по длине изделия при наружном шлифовании

$$y = \frac{C_{P_y} \left[ \frac{\pi n \cdot \operatorname{tg} \alpha (L - X)}{500} \right]^x \cdot s^y t^z v_k^m (x - L)}{L_1 - L} \cdot \left( \frac{X^3}{3EI} + w_{uu} \right) \quad (17)$$

при значениях  $a < X < L$ ;

$$y = C_{P_y} v_d^x s^y t^z v_k^m \left( \frac{X^3}{3EI} + w_{uu} \right) \quad (18)$$

при  $X < L$ .

Полученные зависимости позволяют аналитически определять отклонения реального профиля изделия в принятой системе координат для различных точек по его длине на операциях внутренней и наружной обработки изделий.

**Заключение.** На основании проведенного теоретического анализа и экспериментальных исследований по обеспечению точности изделий типа обтекателей в процессе их механической обработки можно сделать следующие выводы.

Теоретический анализ процесса образования погрешностей при обработке заготовки показал, что на их возникновение и величину оказывают влияние динамические характеристики системы СПИД и силовые факторы процесса шлифования.

Из-за консольного закрепления приспособления с деталью на операциях внутренней и внешней обработки податливость системы при шлифовании является переменной величиной, возрастающей по мере удаления от опор шпинделя станка.

Конфигурация обрабатываемого изделия, обусловленная переменным диаметром по длине детали, оказывает влияние на изменение сил резания, связанное с изменением скорости шлифования. На операциях обработки внутреннего контура по мере приближения к фланцу заготовки увеличивается податливость системы «приспособление – заготовка» и одновременно возрастают силы резания. Это приводит к увеличению отжимов по длине обработки от носка к фланцу изделия и снижению точности профилирования изделия.

При наружной обработке податливость системы «приспособление – заготовка» увеличивается с увеличением вылета, но силы резания в этом случае уменьшается, так как уменьшается диаметр обработки. Это приводит к тому, что величина отжимов по

длине обработки может вначале возрасти, а затем стабилизироваться или даже уменьшаться.

Экспериментальные исследования точности профилирования обтекателей показали, что величина отжимов при шлифовании является переменной величиной. При внутренней обработке отжимы достигают максимальных значений у фланца изделия. Установлено также, что при торцовом шлифовании величина отжимов снижается примерно в 3 раза по сравнению с обычной схемой шлифования на тех же режимах. На операциях формирования наружного контура изделия максимальные значения отжимов наблюдаются в средней части конического участка заготовки, что проявляется в увеличении толщины стенки в этой части изделия.

Установлено, что использование в условиях предприятия комбинированной схемы обработки внутреннего контура, когда черновые проходы выполняются по способу торцового шлифования, а чистовые – с направлением подачи к фланцу, не позволяют полностью реализовывать преимущества способа торцового шлифования. В этом случае примерно в 6 раз снижается точность формирования внутренней поверхности изделия.

Полученные аналитические зависимости позволяют при известных динамических характеристиках системы СПИД и геометрических параметрах изделия определять величину отжимов в системе в зависимости от режима шлифования. Рассчитанные значения отжимов могут служить исходными данными для определения параметров коррекции при изготовлении копирных линеек.

**Список литературы:** 1. Суздальцев Е.И., Халищев А.С. К вопросу устойчивости стеклокерамики литийалюмосиликатного состава к воздействию эксплуатационных факторов летательных аппаратов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005, №5. – С. 16-23. 2. Калафатова Л.П. Способы повышения эффективности процессов механической обработки изделий из стекломатериалов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. праць. – Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА). – 2003. – Вип. 12. – С. 218-222. 3. Гусев В.В., Калафатова Л.П., Молчанов А.Д., Поколенко Д.В. Влияние особенностей процесса алмазного шлифования ситаллов на дефектность поверхностного слоя // Труды Донецкого национального технического университета. Серия «Машиностроение и машиноведение». – Донецк: ДонНТУ. – 2004. – Вып. № 71. – С. 28-34. 4. Калафатова Л.П., Поколенко В.Д. Влияние схемы шлифования как динамического фактора процесса резания на дефектность и прочность изделий из ситаллов // Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – Вып. № 68. – С. 227-234. 5. Гусев В.В., Калафатова Л.П., Поколенко Д.В. Влияние виброустойчивости системы шлифования на структуру дефектного слоя ситаллов// Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006. – Вып. 70. – С. 154-161. 6. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ СИТАЛІВ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Калафатова Л.П., Поколенко Д.В., Фенік Л.М.

Досліджено вплив особливостей процесу шліфування крупногабаритних виробів складної просторової форми, насамперед, схеми шліфування, вібростійкості системи «верстат – пристрій – заготовка» на точність обробки.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИТАЛЛОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Калафатова Л.П., Поколенко Д.В., Феник Л.Н.

Исследовано влияние особенностей процесса шлифования крупногабаритных изделий сложной пространственной формы, в частности, схемы шлифования, виброустойчивости системы «станок – приспособление – заготовка» на точность обработки.

#### INVESTIGATION OF ACCURACY OF FORM-MAKING OF CYTALL MADE WORKS UNDER GRINDING

Kalafatova L.P., Pokolenko D.V., Fenik L.N.

The influence of the distinctive features of the process of grinding of large-sized works of spatial form made of cytalls on the machining accuracy is investigated. These are: grinding schemes, vibration resistance of the system “machine tool – piece”.

*Рецензент: д.т.н., проф. Михайлов А.Н.*