

УДК 621.9.08

Саункин В. Т., Онищук С. Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРА ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В машиностроительном производстве, как правило, детали машин изготавливают с высокой размерной точностью. Высокая точность геометрических размеров и формы деталей обеспечивают правильное функционирование, надежность и долговечность работы механизмов и машин. Точность размеров деталей определяет возможность их правильной сборки и взаимозаменяемости, позволяющей существенно снизить затраты при изготовлении, ремонте и эксплуатации механизмов и машин. Повышенные требования к точности приводят к возрастанию трудоемкости обработки и стоимости изготовления деталей машин.

Для обеспечения высокой точности обработки станки снабжают автоматическими средствами контроля размеров обрабатываемых деталей. Повышение точности обработки при снижении трудоемкости достигают различными способами за счет создания новых технологических процессов, станков, инструмента, приспособлений. Способами решения этой задачи являются также контроль размеров и формы деталей непосредственно в процессе обработки и управления станком по результатам этого контроля (так называемый «активный контроль»). Активный контроль на станках особенно эффективен при малых допусках на изготовление деталей и при финишной, прецизионной обработке. Кроме повышения точности обработки, активный контроль обеспечивает полную автоматизацию процесса обработки с замкнутой обратной связью.

Приборы активного контроля контролируют размер обрабатываемой детали с целью обеспечения заданного допуска, предупреждения и исключения брака. Они также обеспечивают автоматизацию процесса обработки путем поддержания оптимальных режимов резания. Применение приборов активного контроля позволяет повысить качество обрабатываемых деталей, повысить производительность труда и обеспечить комплексную автоматизацию технологических процессов механообработки.

Контроль размеров и перемещений в процессе обработки является неотъемлемой частью технологического процесса на станках-автоматах, автоматических линиях, станах с ЧПУ и обрабатывающих центрах. Невозможно обеспечить автоматическую работу станков, не осуществляя контроль результатов обработки и не управляя точностью этой обработки, путем выдачи команд на подналадку и смену инструмента, изменения режимов резания и на остановку станка при достижении заданного размера или появления брака.

Приборы для контроля размера детали в процессе обработки контролируют обрабатываемый размер непрерывно во время резания и получаемая информация для автоматического или ручного изменения режимов подачи режущего инструмента. Эти приборы используются в тех случаях, когда обрабатываемый размер изменяется за счет перемещений (подачи) рабочей поверхности режущего инструмента в направлении изменения обрабатываемого размера. К таким видам обработки относится, например, внутреннее шлифование, круглое наружное врезное шлифование, хонингование, плоское шлифование с многократным проходом шлифовального круга по обрабатываемой поверхности, врезное точение и т. п.

Точность получения размеров детали зависит от многочисленных факторов, связанных с конструкцией станка, устройства активного контроля, режимами и условиями обработки.

Как показали исследования [1, 2], на точность обработки большое влияние оказывают погрешности, обусловленные технологической системой «станок-приспособление-инструмент-деталь», а также технологические факторы. В работе [3] исследовано влияние на нестабильность съема припуска: суммарная погрешность обработки возрастает с увеличением

нестабильности скорости съема припуска. Отмечено, что в процессе работы шлифовального станка происходит постепенный нагрев смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), приводящий к возникновению тепловых деформаций элементов станка и обрабатываемых деталей. Большой разброс величины припуска на обработку также является причиной возникновения погрешности обработки. Разница в величине снимаемого припуска приводит к различному теплообразованию и соответственно к различным тепловым деформациям обрабатываемой детали.

Целью настоящей работы является исследование влияния величины подачи на погрешность обработки.

Погрешности обработки зависят как от собственных погрешностей измерительного устройства, так и от погрешностей станка (наличия зазоров, инерционности узлов, вибраций при работе), приспособления, износа инструмента, выбранных режимов обработки и других технологических особенностей.

Баланс точности системы должен производиться на основе составляющих этой суммарной погрешности. Отдельно должны быть определены собственные погрешности средства активного контроля статических и динамических условиях, а также составляющие суммарной погрешности, вносимыми различными технологическими факторами.

Необходимо иметь в виду, что погрешности геометрической формы деталей, вызванные несовершенством отдельных узлов станка, не компенсируются средствами активного контроля. Поэтому применение даже самых точных средств активного контроля не гарантирует получение высокой размерной точности деталей, если какой-либо из элементов технологической системы не отвечает определенным требованиям.

Суммарная погрешность обработки включает систематическую и случайную составляющие. Случайная составляющая при автоматизированном производстве с использованием средств активного контроля, составляет большую часть суммарной погрешности.

Поэтому будем рассматривать лишь случайную составляющую суммарной погрешности обработки, которая характеризуется средней квадратической случайной погрешностью.

Рассмотрим методику расчета погрешностей при окончательных операциях на примере круглого шлифования, поскольку именно на этих операциях окончательно формируется размер и качество обработанной поверхности.

При врезном шлифовании средняя квадратическая погрешность обработки, определяющая поле рассеяния размеров в партии деталей, представляет собой результат суммирования следующих составляющих:

$$\Delta_{\text{сум}} = \sqrt{\Delta_{\text{ПС}}^2 + \Delta_{\text{ПД}}^2 + \Delta_{\text{СС}}^2 + \Delta_{\text{СД}}^2}, \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{ПС}}$ – средняя квадратическая погрешность средства активного контроля в статических условиях;

$\Delta_{\text{ПД}}$ – средняя квадратическая погрешность средства активного контроля в динамических условиях работы;

$\Delta_{\text{СС}}$ – средняя квадратическая погрешность обработки в статических условиях;

$\Delta_{\text{СД}}$ – средняя квадратическая погрешность обработки в динамических условиях работы.

Погрешность $\Delta_{\text{ПС}}$ регламентируется паспортными данными средства активного контроля. Погрешность $\Delta_{\text{ПД}}$ зависит от времени $t_{\text{П}}$ срабатывания средства активного контроля и скорости V изменения размера в момент формирования окончательной команды. Погрешность $\Delta_{\text{СС}}$ зависит от времени срабатывания механизма отвода шлифовальной бабки и скорости V изменения размера в момент прекращения обработки. Погрешность $\Delta_{\text{СД}}$ зависит от температурных деформаций и некруглости обрабатываемых деталей в момент прекращения обработки.

Погрешность средств активного контроля в динамических условиях работы можно определить как:

$$\Delta_{ПД} = \sqrt{(\bar{t}_{П} \Delta_V)^2 + (\bar{V} \Delta_{tП})^2}, \quad (2)$$

где $\bar{t}_{П}$ – среднее время срабатывания средств активного контроля (регламентируется паспортными данными);

Δ_V – средняя квадратическая погрешность, характеризующая непостоянство скорости изменения размера при прекращении обработки (определяется экспериментально);

\bar{V} – средняя скорость изменения размера (определяется экспериментально);

$\Delta_{tП}$ – средняя квадратическая погрешность, характеризующая непостоянство времени срабатывания средства активного контроля (регламентируется паспортными данными).

Погрешность обработки в статических условиях определяется выражением:

$$\Delta_{CC} = \sqrt{(\bar{t}_C \Delta_V)^2 + (\bar{V} \Delta_{tC})^2}, \quad (3)$$

где \bar{t}_C – среднее время срабатывания станка (для большинства станков $\bar{t}_C = 0,15 \dots 0,25$ с);

Δ_{tC} – средняя квадратическая погрешность, характеризующая непостоянство времени срабатывания станка (для большинства станков $\Delta_{tC} = 0,015 \dots 0,025$ с).

Погрешность обработки в динамических условиях работы:

$$\Delta_{CD} = \sqrt{\Delta_T^2 + \Delta_{\Phi}^2}, \quad (4)$$

где Δ_T – средняя квадратическая погрешность, зависящая от температурной деформации детали;

Δ_{Φ} – средняя квадратическая погрешность, возникающая вследствие погрешности формы детали.

Погрешность, зависящую от температурных деформаций, можно определить как:

$$\Delta_T = \sqrt{\Delta_{VT}^2 + \Delta_{\delta T}^2}, \quad (5)$$

где Δ_{VT} – средняя квадратическая погрешность, обусловленная температурной деформации детали и зависящая от величины подачи (определяется экспериментально);

$\Delta_{\delta T}$ – средняя квадратическая погрешность, обусловленная температурной деформации детали, зависящая от величины припуска, режущей способности круга (определяется экспериментально).

На рис. 1 показаны результаты измерения валов, обработанных методом врезания при различных подачах. Станок оснащен прибором активного контроля с настольной измерительной скобой, выдающим предварительную команду на прекращение подачи и включение выхаживания, и окончательную команду на отвод шлифовального круга. Припуск на обработку составляет 0,3 мм. Перед шлифованием каждой новой детали устанавливали новую подачу, величину которой измеряли в процессе шлифования.

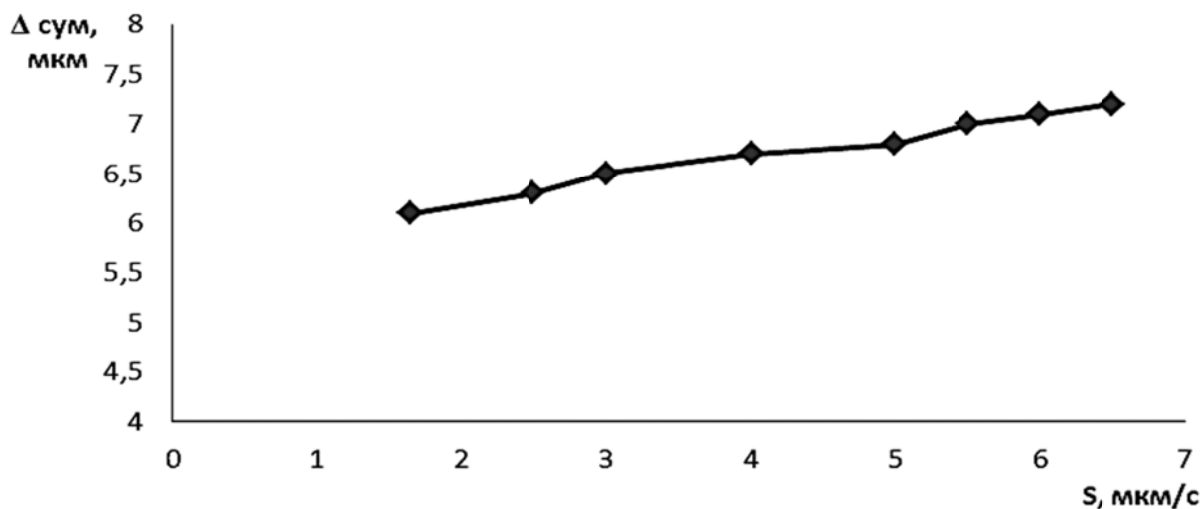


Рис. 1. Влияние подачи на погрешность обработки

Из графика видно, что с увеличением подач погрешность обработки увеличивается. Влияние величины подачи на размер вала может быть объяснено тем, что большей величине подачи соответствуют большие величины силовых и тепловых деформаций в конце обработки. В зависимости от величины подачи снимается больший или меньший слой металла в единицу времени, что приводит к различным теплообразованиям, вследствие чего к моменту выдачи окончательной команды детали в партии имеют разную температуру. После температурной стабилизации детали, шлифованные в более форсированном режиме, имеют меньший размер, чем детали, шлифованные в более мягких режимах.

Представляет интерес изменение температурной деформации деталей в процессе врезного шлифования.

На рис. 2 приведен экспериментальный график, характеризующий зависимость температурной деформации кольца Δt_0 диаметром 55 мм при шлифовании внутреннего отверстия диаметром 40 мм от времени обработки. Условия обработки: скорость резания $V_{рез} = 60$ м/с, цикл шлифования – врезание с подачей $S = 10,0$ мкм/с, частота вращения $n = 530$ мин⁻¹, припуск $a = 0,6$ мм, время шлифования 7 с (врезания – 2,8 с, время установившегося съема – 3 с, время выхаживания – 1,2 с).

Первоначально устройство активного контроля и станок настраивают по специальной аттестованной детали. Температурную деформацию контролировали на необрабатываемой наружной поверхности одновременно с обработкой внутренней поверхности. В процессе шлифования кольцо нагревается и меняется его наружный диаметр. По результатам измерения отклонения наружного диаметра автоматически вводится коррекция уровня настройки команды устройства контроля. Соотношение между значениями правки и температурной деформации наружного диаметра определяется экспериментально перед началом обработки.

Как видно из рис. 2, на этапе врезания с некоторым запаздыванием температурные деформации увеличиваются. На этапе установившегося съема температурные деформации из-за инерционности тепловых процессов некоторое время продолжают расти и затем стабилизируются. На этапе выхаживания температурные деформации с некоторым запаздыванием уменьшаются.

Как показали исследования, температурные деформации формируются на этапе врезания. Причем с увеличением скорости съема припуска температурные деформации увеличиваются [3]. В [3] приведен экспериментальный график, характеризующий влияние подачи S на скорость съема припуска v , на температурные деформации Δt_0 кольца при шлифовании внутреннего отверстия диаметром 40 мм на этапе врезания. Условия обработки: скорости съема припуска $v = 1,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0$ мкм/с.

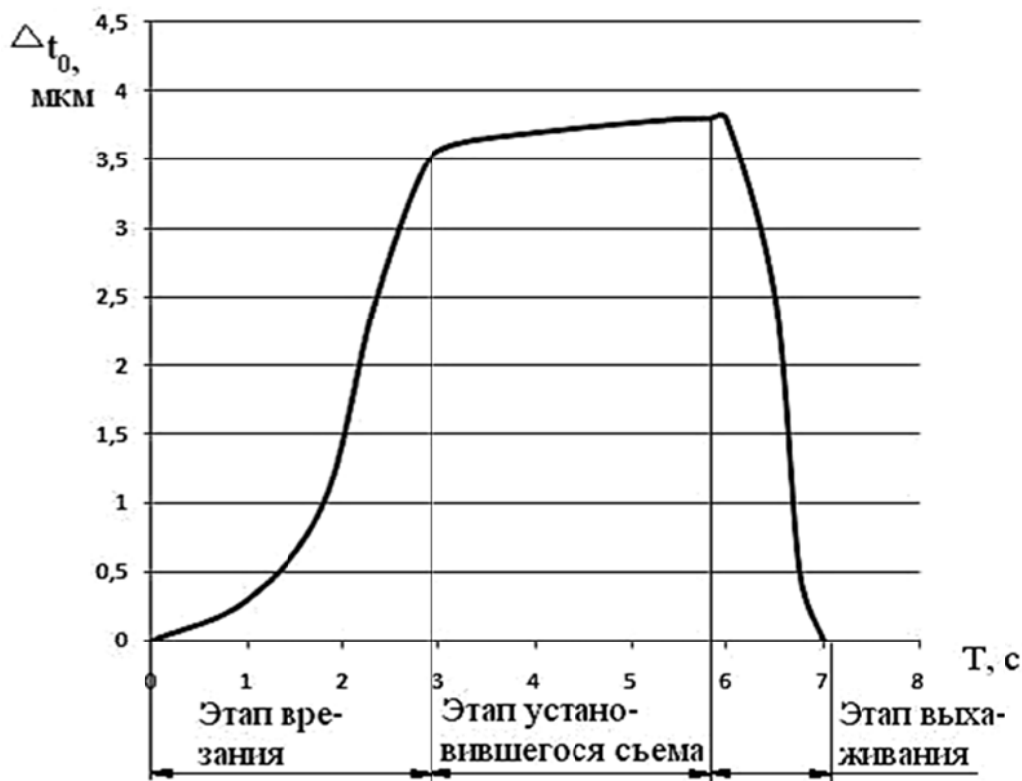


Рис. 2. Зависимость температурной деформации (Δt_0) от времени цикла шлифования

В условиях массового производства на финишную шлифовальную операцию детали поступают непосредственно с предварительных токарной и шлифовальной операций. Обработка на этих операциях ведется с интенсивными режимами и соответственно с большим теплообразованием. Детали не успевают пройти процесс температурной стабилизации. Возникшие температурные деформации увеличивают погрешность обработки при окончательном шлифовании. Особенно это сказывается при обработке крупногабаритных деталей [1]. Поэтому целесообразно стабилизировать температуру заготовок для обеспечения высокой точности обрабатываемых деталей.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показывают влияние технологических факторов на температурную деформацию деталей, что, в конечном счете, приводит к погрешности обработки и показывает необходимость учитывать это явление при выборе режимов резания на шлифовальных станках. Предлагаемая методика позволяет оценить влияние температурных погрешностей на точность обработки деталей машин при врезном шлифовании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типовые технологические процессы в тяжелом машиностроении : монография / С. В. Ковалевский, В. Т. Саункин, С. Г. Онищук и [др.]. – Краматорськ : ДГМА, 2009. – 124 с.
2. Повышение производительности и точности контроля деталей / В. Т. Саункин, С. Г. Онищук, С. Л. Миранцов, В. И. Тулунов // Вісник ДДМА : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – С. 162–165.
3. Саункін В. Т. Дослідження похибки обробки при використанні засобів активного контролю / В. Т. Саункін, С. Г. Онищук // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль : ТДТУ, 2010. – № 4 (15). – С. 85–89.