

Металлорежущие станки

А.С. Илларионова
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук Л.Г. Никитина
Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: oid@mivlgu.ru

Влияние температурных деформаций на надежность и точность обрабатываемых деталей

Температурные деформации (ТД) металлорежущего станка возникают в результате выделения тепла в зоне резания, в работающих механизмах и под влиянием окружающей среды. В результате ТД изменяются линейные размеры деталей, форму их поверхностей и взаимное расположение, как поверхностей деталей, так и расположение наиболее ответственных деталей станка - шпинделя, шпиндельной баки, стола, станины и др.

ТД влияют также на такой показатель надежности металлорежущего станка как долговечность. Вследствие изменения линейных размеров сопряженных деталей изменяются величины зазоров и натягов. В результате увеличения натягов в опорах качения растет момент холостого хода, ухудшаются условия смазки, повышается износ и даже возникают заедания. Изменение взаимного расположения поверхностей опор качения из-за ТД приводит к появлению дополнительных усилий, увеличению сил трения в опорах, возникновению изгибных и крутильных колебаний. Погрешность формы ответственных поверхностей, вызванная ТД, изменяет контактную податливость стыков и уменьшают их несущую способность, что резко сокращает долговечность подшипников качения. Результаты испытаний, проведенных в ВНИИППе, показали, что подшипники почти всех типов при среднем приросте температуры на 50-60 °С работают весьма короткое время, а иногда и сразу выходят из строя[1].

Наиболее опасны ТД для высокоточных станков: координатно-расточных; алмазно-расточных; шлифовальных. Так, точный ходовой винт станка длиной 1000 мм при нагреве на 1 °С удлиняется на 11.5 мкм. При нагреве стола плоскошлифовального станка на 2.5 °С наибольшая величина температурных деформаций составляет 2.5 мкм, а при нагреве на 3 °С - 4.5 мкм[2].

ТД стойки плоскошлифовального станка с вертикальным расположением шпинделя приводит к отклонению от перпендикулярности оси шпинделя к плоскости стола. При перепаде температуры стенок стоек в 4...5 °С изменение углового положения оси шпинделя составляет примерно 0,1 мм на 1000 мм длины. В результате этого отклонения от параллельности торцов обрабатываемой детали достигает 0.012 мм на длине, равной 300 мм. [2].

ТД узлов станка зависит от его конструкции, расположения и интенсивности источников тепловыделения, а также от условий теплоотвода.

Все источники тепла по отношению к станку подразделяются на внешние и внутренние.

Внешние источники оказывают значительное влияние на ТД станков. Например, нагрев солнечными лучами стенки передней бабки круглошлифовального станка в течение 2 ч приводит к отклонению от прямолинейности перемещений стола на 4.5 мкм. Одним из наиболее эффективных способов уменьшения влияния внешних источников на ТД станков является установка оборудования в термостатных помещениях.

К внутренним источникам относятся источники, находящиеся в работающем станке. К ним относятся: электрооборудование, гидрооборудование, пары трения и др. От этих источников тепло передается к узлам станка конвективно или через сопряжение детали и вызывает их ТД. Большее влияние на надежность станка оказывают те источники тепла, которые находятся в его наиболее ответственных узлах, например в подшипниках шпиндельных узлов.

Эксперименты показывают, что фактическая температура нагрева опор шпиндельных узлов часто отличается от расчетной. Это свидетельствует о влиянии технологических факторов на процесс теплообразования в узлах. К ним относятся отклонения размеров, формы и взаимного расположения ответственных поверхностей, возникающие на этапах обработки и сборки. Их природа связана с преодолением сил трения, пластической и упругой деформацией, в первую очередь в подшипниках. Работа сил трения большей частью превращается в тепло. При росте

радиальной силы, действующей на подшипник, в нем усиливается выделение тепла. Увеличение радиальных сил в опорах может быть результатом отклонений от соосности поверхностей качения подшипников [3]. При росте отклонения от соосности от 10 до 20 мкм избыточная температура подшипника при частоте вращения 1000 мин^{-1} увеличивается от 15 до 45 °С [3].

Значительное влияние на ТД обрабатываемой заготовки узлов станка оказывает тепло, которое образуется при резании. Большая производительность резания часто вызывает большой нагрев заготовки. Для того, чтобы заготовка не сдвинулась с места при обработке ее закрепляют с большими силами. Часто это операция сопровождается деформациями или возникновением напряжений внутри заготовки. Нагрев заготовки должен вызвать ее расширение и удлинение, но если этим деформациям препятствуют силы закрепления, то в заготовке остаются тепловые напряжения, которые могут быть довольно значительными. В чугунах это напряжение составляет около $1 \text{ Н/}^\circ\text{С} \cdot \text{мм}^2$, а в стали – в 2.4 раза больше. Величины деформаций и напряжений зависят от коэффициента теплового расширения и модуля упругости.

Для сохранения тепловой стабильности, уменьшения ТД и повышения надежности станка необходимо выявлять все источники теплообразования и определять наиболее интенсивные из них. Должны быть установлены причины интенсивного теплообразования и приняты меры технологического и конструктивного характера для их устранения. Следует стремиться управлять тепловыми потоками внутри станка, отводя тепло от наиболее ответственных деталей, локализуя и изолируя источники.

Литература

1. Проников А.С. Надежность машин. М.Машиностроение, 1978.
2. Соколов Ю.Н. Тепловые деформации металлорежущих станков. СТИН, 2003, №10
3. Пустырев В.Л. Технологическое обеспечение соосности опор при сборке высокочастотных шпиндельных узлов. СТИН, 1989, №3

Температурные деформации технологической системы

Температурные деформации (ТД) технологической системы, связанные с неравномерным нагревом основных узлов станка и их последующим температурным расширением являются одним из наиболее сильных факторов, влияющих на точность обработки. ТД возникают от действия сил резания и трения. В результате работы этих сил, обрабатываемые детали, режущий инструмент и несущая система станка нагреваются, что приводит к ТД узлов станка. Температурное поле станков можно разделить на три вида[1].

К первому виду относится изменение температур тех точек станка, которые являются источниками интенсивного тепловыделения или расположены в непосредственной близости от последних. Стабилизация температур таких точек наступает через сравнительно короткие промежутки времени. Продолжительность времени стабилизации температур различных точек станка зависит от интенсивности тепловыделения и температуры окружающей среды. Тепловое равновесие, характеризующееся равенством тепловыделения и теплоотдачи, наступает гораздо быстрее при значительных разностях температур, т.е. при больших температурах нагревания и низких температурах окружающей среды. Продолжительность стабилизации температур нагревания зависит также от масс нагреваемых объектов.

Ко второму виду относятся такие изменения температур, которые стабилизируются на протяжении значительно большего промежутка времени, чем температурные изменения первого вида. Такое относительно небольшое нагревание свойственно обычно тем узлам станка, которые сами не являются источниками тепловыделения и отстоят от последних на значительном расстоянии. Эти узлы нагреваются главным образом под влиянием охлаждающей жидкости, температура которой постепенно повышается. Температурные изменения второго вида часто не стабилизируются на протяжении всей смены.

К третьему виду относятся изменения температур тех точек станка, которые сами не являются источниками тепловыделения, а тепло к ним поступает от источников тепловыделения. Графики температурных изменений третьего вида имеют характерный S-образный вид. Это объясняется тем, что для распространения тепла до тех точек, которые сами не выделяют тепло, требуется некоторый промежуток времени. При этом время должно отсчитываться от начала работы станка. К третьему виду можно отнести изменения температур периферийных точек бабки изделия и столов круглошлифовальных станков.

Характер температурных изменений технологической системы аналитически выражается следующим выражением[2]:

$$\theta_i = \theta_0 \left(1 - e^{-\frac{\alpha}{c}\tau} \right)$$

θ_0 - установившееся температура;

α – коэффициент теплоотдачи;

c – теплоемкость материала;

τ – время протекание теплового процесса.

Закон изменения во времени тепловых деформаций также носит экспоненциальный характер [2]:

$$\Delta \ell_\tau = \Delta \ell_0 (1 - e^{-\beta\tau})$$

Параметр β зависит от коэффициента теплоотдачи и теплоемкости деформирующего объекта, а также от массы и размерных параметров. Полученные выше теоретические зависимости выведены исходя из условия непрерывности работы станка, перерывы в работе приводят к значительному искажению теоретических графиков.

С точки зрения точности размеров важным является то обстоятельство, что в станках имеется два вида ТД:

- стабилизирующиеся на протяжении сравнительно коротких промежутков времени;
- стабилизирующиеся за более длинные отрезки времени.

Суммарное влияние тех и других деформации вызывает сложное, в некоторых случаях не-монотонное изменение размеров обрабатываемой детали. Типичным примером ТД первого вида является деформации шлифовальных бабок и тепловое смещение шпинделей в подшипниках. Примером ТД второго вида могут являться деформации станин станков.

Оба вида ТД оказывают существенное влияние на точность обработки. Однако наиболее сильно влияют ТД второго вида. Это объясняется тем, что влияние указанных деформаций на точность размеров нельзя устранить методом предварительного разогрева станка, как например, можно устранить влияние ТД первого вида.

ТД металлорежущих станков вызывают не только погрешность размеров, но и погрешности формы обрабатываемых деталей (под влиянием коробления, тепловых перекосов и поворотов различных узлов станка). Возникновение конусности при обработке деталей на круглошлифовальных станках связано со смещением оси шпинделя бабки под влиянием нагрева подшипников. Искривление направляющих стола и поворот шлифовальной бабки могут являться следствием неравномерного нагрева станины станка, из-за неодинакового влияния на различные участки станины охлаждающей жидкости и охлаждающего вентиляционного эффекта, вызываемого вращением шлифовального круга. Перекосы и коробления могут возникать также и в результате неравномерного нагрева других узлов станка – шлифовальной бабки, стола и салазок. Указанные деформации достигают весьма значительных величин и, как правило, не стабилизируются в течение всей смены.

Литература

- 1.Соколов Ю.Н. Тепловые деформации металлорежущих станков СТИН, 2003, №10
2. Соколов Ю.Н. Расчет температурных полей и температурных деформаций металлорежущих станков: Рук. Материалы. М. ЭНИМС, 1978.

Баланс точности круглошлифовального станка

Баланс точности круглошлифовального станка представляет анализ суммарного влияния на точность размеров обрабатываемой детали износа режущего инструмента, тепловых и силовых деформаций технологической системы. Одним из способов составления баланса точности является использование метода решения плоских размерных цепей.

При построении размерных цепей круглошлифовального станка за охватывающее звено принимают расстояние от точки закрепления шлифовальной бабки до оси обрабатываемой детали рис.1. Замыкающим звеном является размер обрабатываемой детали [1].

Уравнение размерной цепи:

$$r_{\text{дет}} = L - l - R \text{ или } d_{\text{дет}} = 2(L - l - R), \quad L = l_1 + l_2 :$$

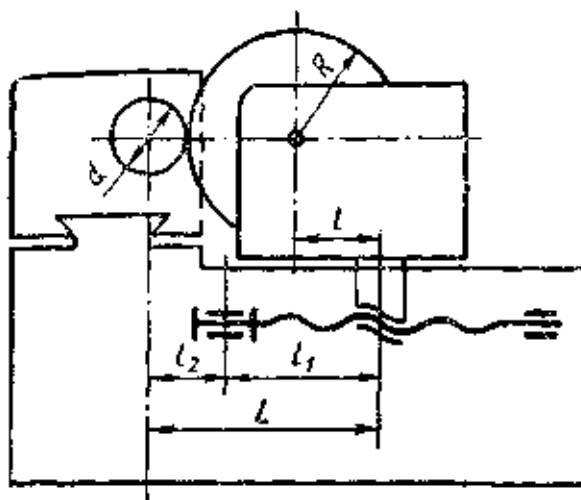


Рис.1 Размерная цепь баланса точности круглошлифовального станка

В данной размерной цепи звено L является увеличивающим, а звенья l уменьшающими. Переходя к отклонениям номинальных размеров звеньев (усредненным погрешностям) можно записать:

$$\Delta d = 2(\Delta L - \Delta l - \Delta R).$$

Погрешность ΔL возникает в результате тепловой и силовой деформаций ходового винта привода шлифовальной бабки (звено l_1), а также тепловой и силовой деформаций звена l_2 (расстояние от упора до линии центров). Кроме того, погрешность звена L зависит от силовых деформаций, возникающих в стыке ходового винта с упором. Погрешность Δl возникает в результате тепловой и силовой деформаций шлифовальной бабки (звено l). Погрешность ΔR является следствием износа режущего инструмента, а также его тепловой и силовой деформаций. При оценке влияния на точность обработки тепловых деформаций, кроме линейных тепловых деформаций, необходимо учитывать также деформации, вызывающие перекосы и повороты отдельных узлов станка. Например, при неодинаковом нагревании стенок станины станка они неодинаково деформируются, что приводит к повороту стола станка и как следствие к постепенному увеличению размеров обрабатываемых деталей [2].

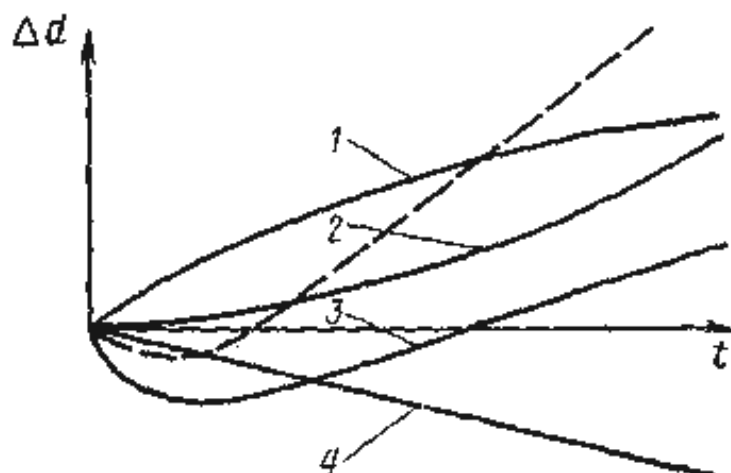


Рис. 2 Баланс точности круглошлифовального станка

Результирующее влияние на точность размеров деталей всех перечисленных выше факторов носит сложный характер и зависит от величин и интенсивности изменения во времени этих факторов. Шлифовальная бабка нагревается быстрее, чем станина. Поэтому в начальный период работы станка размеры шлифуемых деталей, как правило, уменьшаются. Однако по мере стабилизации тепловых деформаций шлифовальной бабки влияние тепловой деформации станины (плюс влияние размерного износа режущего инструмента) постепенно пересиливает первоначальную тенденцию к уменьшению размеров и, начиная с некоторого момента времени, вызывает их увеличение. На рис.2 изображены условные кривые изменения во времени размерного износа (1) режущего инструмента, тепловых (3) и силовых (2) деформаций технологической системы, а также график изменения тепловых деформаций обрабатываемых деталей (4). Штриховой линией показана примерная кривая суммарного изменения во времени размеров детали под влиянием совместного действия всех указанных факторов.

Таким образом, суммарное влияние на точность обработки износа режущего инструмента, тепловых и силовых деформаций технологической системы имеет весьма сложный характер и может вызывать как увеличение, так и уменьшение размеров обрабатываемых деталей.

Литература

1. Соколов Ю.Н. Расчет температурных полей и температурных деформаций металлорежущих станков: Рук. Материалы. М. ЭНИМС, 1978.
2. Соколов Ю.Н. Тепловые деформации металлорежущих станков, СТИН №10, 2004г.