

Закрепление тонкостенных деталей для высокоточной обработки

77-48211/514208

10, октябрь 2012

Савельева Л. В.

УДК: 621.9

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
lsavelieva2007@gmail.com

Изготовление деталей прецизионного машиностроения связано с трудностями обеспечения качества изделия: точности размера, точности формы, взаимного расположения поверхностей. Специфика прецизионной обработки связана с очень малыми величинами, которые приходится получать и изменять. Эти значения достигают микрометров и долей микрометров.

В свете новых требований к направлению развития науки и техники в нашей стране, эти точности, конечно, далеки от величин нанодиапазона, и, следовательно, не попадают в область приоритетных направлений. С другой стороны, техника и приборы, которые используют в авиационной промышленности, в космических технологиях и автомобилестроении не всегда содержат в конструкции детали области прецизионной технологии. Они чаще всего относятся к машиностроению нормальной и повышенной точности. Но их изготовление так же содержит ряд нерешенных и труднореализуемых задач, не входящих в список приоритетных направлений и, следовательно, эти области вынуждены развиваться недостаточными для достижения уровня конкурентоспособных изделий темпами.

Возвращаясь к прецизионным технологиям, они используются в наукоемких областях техники, таких как всевозможные летательные аппараты, элементы изделий криогенной техники, оптических приборов, и развитие этих областей в полной мере справедливо дополнять развитием не только прецизионных высокоточных технологий, но и его базы – общего машиностроения.

Очень значительная часть прецизионных деталей оказывается в области такой точности вследствие своей нежесткой конструкции. Это, в первую очередь, детали с тонкими стенками. Любое технологическое воздействие на такие конструкции, будь то силы закрепления от приспособления для механической обработки, или силы резания от инструмента, или даже воздействие от элементов измерительных приборов, вызовет прогибы, упругие деформации, которые окажутся достаточно большими, чтобы превысить величину допуска или исказить результаты измерения готовой детали.

Важная часть процесса обеспечения качества готовых прецизионных изделий связана со сборочными работами. Все проблемы прецизионных деталей при изготовлении и измерении относятся и к процессам и результатам сборки. Рассмотрим довольно распространенную конструкцию цилиндрической втулки с фланцевой частью. Для нашего конкретного случая цилиндрическая часть тонкостенная. К фланцу детали может крепиться другая деталь, или она может базироваться по своей внутренней или по наружной поверхности в изделии. Процесс базирования детали в конструкции по фланцевой части и закреплении ее, к примеру, винтами, вызовет деформацию самого фланца и цилиндрической поверхности. Сборка детали с базированием по внутренней цилиндрической поверхности аналогичен процессу базирования ее для механической обработки.

Конструкция рассматриваемой втулки состоит из двух частей: тонкостенной цилиндрической части и относительно массивной – фланца. Сечение перехода от одной части к другой – это сечение изменения жесткости детали. Кроме того, на краю детали тоже изменяется жесткость.

Расчеты показывают, что вблизи подобных конструктивных элементов, изменяющих жесткость детали, возникают прогибы. Величина этих прогибов не велика, но в условиях изначально низкой жесткости детали и высоких требований к точности ее элементов, они могут оказывать существенное влияние на качество изделия.

В технологии машиностроения «низкая жесткость» рассматривается с точки зрения изготовления: если происходит деформация элементов детали от сил закрепления (для любого технологического воздействия), соизмеримая с величиной допуска на размер или формы, то эту деталь считают нежесткой.

Анализ величин прогибов различных типов деталей от сил закрепления позволил сделать вывод, что в большей степени погрешности от сил при технологическом

воздействию проявляются у деталей оболочковой формы, которые относят к тонкостенным. Эти понятия совпадают с аналогичными понятиями в сопромате. Здесь тонкостенные детали определяются следующей зависимостью:

$$\frac{h}{a} \leq \frac{1}{20}, \quad (1)$$

где a – средний радиус детали; h – толщина стенки детали. При расчетах по этой зависимости допускается обычная для технических расчетов относительная погрешность порядка 5%.

С другой стороны, встречается и другое определение тонкостенной детали:

$$\frac{h}{a} \leq \frac{1}{5}. \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) показывают определенную условность понятия «тонкостенности». К примеру, при диаметре детали 100 мм по зависимости (1) $h \leq 2,5$ мм, а по (2) $h \leq 10$ мм. На этом этапе вступают в силу законы технологии: если силы от процесса закрепления или резания вызывают значительные деформации, то деталь будет считаться нежесткой.

Если рассматривать цилиндрические детали, то короткие принято называть кольцами, а более длинные – собственно оболочками. Оболочки по определению имеют криволинейные поверхности, расположенные на малом расстоянии друг от друга. Для них определено такое соотношение между длиной и другими геометрическими размерами:

$$l > 0,4\sqrt{ah}. \quad (3)$$

Тонкостенная деталь со средним диаметром 100 мм и $h = 2,5$ мм будет считаться оболочкой уже при $l > 4,5$ мм; а для $h = 10$ мм длина должна быть больше 8,9 мм. Этот конкретный пример показывает, что определяя класс «тонкостенные оболочковые детали», мы практически формируем значительный пласт деталей, которые, во-первых, достаточно широко распространены в общем, специальном машиностроении и в приборостроении. И, во-вторых, расчеты для них проводят по одним и тем же зависимостям.

Проведенные исследования формирования деформаций от сил закрепления тонкостенных оболочковых деталей показали, что зоны изменения жесткости детали

(вблизи фланцев, краев, вырезов и отверстий) так же являются и зонами увеличения деформаций от технологических сил.

Низкая жесткость оболочковых конструкций уже изначально подразумевает распределенную силу при закреплении. Равномерно распределенная сила закрепления предназначена не только для равномерной деформации оболочковой поверхности. Она в том числе является поддерживающей «основой» для компенсации прогибов от сил резания.

К примеру, резец точит наружную цилиндрическую поверхность. Он оказывает давление на обрабатываемую поверхность, но нежесткий характер заготовки вызовет неточность диаметрального размера и «копирование» элементов приспособления на участках базирования и закрепления заготовки. Поэтому равномерно распределенная нагрузка от сил закрепления таких заготовок является непременным условием обеспечения качества изделия.

Равномерно распределенная нагрузка при закреплении заготовок для технологического воздействия реализуется целым рядом приспособлений. Но, как показали исследования, такая нагрузка не вызывает равномерной деформации закрепленной поверхности. Применяя зависимости для определения прогибов для тонкостенных оболочковых заготовок, были рассчитаны величины максимальных значений деформаций обрабатываемой поверхности. Для гладкой цилиндрической детали со средним диаметром 80 мм, $h = 0,5$ мм и $l = 18$ мм при силе закрепления $Q = 500$ Н отклонение от цилиндричности будет достигать порядка 1 мкм. Это значение относится только к одной из составляющих суммарной погрешности механической обработки.

Характер прогиба обрабатываемой поверхности от сил закрепления показан на рисунке.



а)



б)

Рисунок. Увеличение радиуса заготовки от равномерно распределенных сил закрепления:

а – для гладкой заготовки; *б* – для заготовки с фланцем

Величины таких прогибов в машиностроении нормальной и даже повышенной точности не учитывают: они слишком малы по сравнению с другими составляющими суммарной погрешности механической обработки и практически не влияют на точность детали. Это существенно для прецизионного машиностроения, когда точность профиля поверхности может достигать четвертого знака после запятой.

Вывод. Закрепление деталей для высокоточной (прецизионной) обработки требует не столько распределенной нагрузки, сколько распределенной нагрузки по заданному закону,

который смог бы компенсировать увеличенные прогибы от действия сил вблизи зон с изменением жесткости.

Список литературы.

1. Дальский А.М., Кулешова З.Г. Сборка высокоточных соединений в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1988. – 304 с.
2. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек / 2-е изд., доп. и перераб. – Л.: Судпром ГИЗ, 1962. – 431 с.
3. Кузьминов С.А. Сварочные деформации судовых корпусных конструкций. – Л.: Судостроение, 1994. – 286 с.
4. Савельева Л.В. Создание неравномерной силы закрепления // Будущее машиностроения России: Тез. докл. XXII Межд. конф. Москва, 2011. С. 41.