**Гордеев А.С., Лаппо И.Н.**

**ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ МЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ**

Основной причиной образования геометрических погрешностей продольного профиля отверстия считаются температурные деформации инструмента. При анализе рабочих процессов обработки отверстий было установлено, что на точность продольного профиля отверстия также могут оказывать влияние: температурные деформации детали (которые до настоящего времени считались линейными); контактные деформации инструмента и детали; радиальное смещение оси инструмента от действия неуравновешенной радиальной силы резания. Точность обработки отверстий осевым инструментом в основном определяется температурным состоянием в зоне резания. Повышение температуры детали и инструмента при механической обработке отверстий осевым инструментом является результатом сложных процессов выделения, распределения и перераспределения тепловых потоков между инструментом, стружкой, деталью и отводом теплоты. Вторичный теплообмен, влияние геометрии инструмента и детали на теплофизические процессы, количественные исследования температурных деформаций инструмента и детали и методы их определения с учетом краевых эффектов в начале и конце отверстия в специальной литературе не рассматривались.

Анализ современного состояния методов исследования тепловых процессов при механической обработке резанием показал, что существующие методы адаптированы к декартовой системы координат, которая не позволяет учитывать особенности обработки осесимметричных поверхностей. Поэтому построение модели влияния температурных деформаций на качество полученных отверстий необходимо проводит в цилиндрических системах координат.

Тепловое состояние технологической системы не является стационарным. На это состояние влияют неравномерность выделяемого тепла, неоднородность обрабатываемого материала, перерывы в работе технологической системы и др.

Погрешность формы отверстия возникает вследствие тепловых деформаций заготовки в процессе ее обработки. Тепловые деформации возникают в результате движущегося вдоль оси формируемого отверстия "цилиндрического" источника тепла (сверла или развертки). Замена декартовых систем координат при моделировании процесса резания цилиндрическими позволит создать более адекватную модель.

Проведенные исследования показали, что перед источником тепла в заготовке движется опережающая тепловая волна. Когда источник тепла приближается к концу обрабатываемого участка, температура этого участка значительно увеличивается (в среднем в 2 раза по отношению к начальным участкам). Это приводит к расширению заготовки, снятию большего припуска и как следствие к искажению формы отверстия.

Основной причиной отклонения формы продольного сечения отверстия считаются температурные деформации инструмента. Однако при анализе условий обработки отверстий было установлено, что на форму продольного сечения отверстия также могут оказывать влияние температурные деформации заготовки, которые до настоящего времени считались линейными, контактные деформации инструмента и детали и радиальное смещение оси инструмента от действия радиальной силы резания. Поскольку все отмеченные составляющие деформации оказываются в зоне резания одновременно, суммарная погрешность продольного профиля отверстия в работе определялась в виде суммы погрешностей от температурных деформаций детали  и инструмента , упругих деформаций детали  и инструмента  и от смещения оси инструмента от радиальной силы резания .

Точность обработки в работе исследовалась на основе конструкции детали типа толстостенной и тонкостенной цилиндрической втулки, изготовленных из сталей 45 и 40Х, характерных для деталей гидро - и пневмоаппаратуры горношахтного оборудования, а также сплошного осевого и комбинированного инструмента (развертки и зенкеры) различных конструкций из быстрорежущей стали Р6М5.

При проведении экспериментальных исследований на станках 1341 и 6С12Ц температура в зоне резания измерялась методом естественной и искусственной термопары, а погрешность профиля продольного сечения - на специальной установке индикаторным нутромером. Измерения поперечных смещений оси инструмента и исследования температурной зависимости модуля упругости проводились на специальной установке.

Проведенные аналитические исследования температурного состояния позволили установить нелинейный характер изменения температуры в зоне резания по глубине проема. Однако для определения температурных деформаций необходимо иметь достаточно точные количественные показатели не только в продольном, но и в поперечном сечении детали. Поэтому для исследования количественных характеристик температурного состояния детали в работе использовались численные методы исследования. Задача определения температурных полей рассматривалась как цилиндрическая осесимметричная для прямоугольной области. Она решалась с учетом развития температурных полей во времени по мере продвижения теплового источника по поверхности отверстия. Непрерывный процесс тепловой нагрузки представлялся в виде дискретных положений теплового источника.

Анализ результатов экспериментальных измерений продольного профиля отверстия при различных режимах резания показал, что наибольшее влияние на разбитие отверстия оказывает скорость резания. Увеличение скорости резания в начале, середине и конце отверстия в пределах исследованного интервала скоростей приводит к увеличению разбивание отверстия (до 3,5 мкм посередине проема) за счет увеличения интенсивности тепловых потоков и увеличение температурных деформаций инструмента и детали. Увеличение глубины резания и подачи также способствует увеличению разбивки отверстия, однако, их влияние менее существенный (0,2 мкм при увеличении подачи и 0,6 мкм при увеличении глубины резания).