

## ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ МЕХАНООБРАБОТКИ

Иванов И.Е., Новиков Ф.В., докт. техн. наук  
(г. Мариуполь, г. Харьков, Украина)

*In work the analysis of influence of methods of formation of forms on accuracy of machining is lead.*

Проблема обеспечения точности обработки деталей на металлорежущих станках связана с решением комплекса задач, направленных на поиск резервов повышения качества изделий в машиностроении. Рассмотрим основные факторы, определяющие погрешность обработки деталей.

Погрешность установки заготовки.

Погрешность металлорежущего станка (кинематическая и динамическая).

Погрешность настройки оборудования и инструмента.

Износ режущего инструмента.

Температурные деформации технологической системы.

В частности, погрешности, образованные настройкой оборудования и инструмента, а также установки заготовки приводят к существенному снижению точности обработки поверхности.

С точки зрения влияния погрешности обработки на работоспособность технологической системы можно выделить влияние параметра технологического режима обработки на надежность процесса. В этой связи целесообразно обратить внимание на методы формообразования, такие, как: метод следа; метод касания; метод копирования; метод обкатки. Любая поверхность обрабатываемой детали, идеальная и реальная, может быть представлена в виде направляющей и образующей линий, каждая из которых может быть создана одним из известных методов. Можно предположить, что сочетание методов, по существу, является характеристикой способности того или иного способа обработки заготовки обеспечить требуемые показатели точности. Это утверждение требует более подробного рассмотрения.

В общем случае для образования поверхности число движений формообразования равно сумме необходимых для образования каждой из производящих линий. С учетом числа совмещенных (повторяющихся) движений их число может быть представлено следующей зависимостью:

$$H_{\phi} = H_o + H_n - 0,5H_c,$$

где  $H_{\phi}$  – общее число формообразующих движений;  $H_o$  – число движений для получения образующей линии;  $H_n$  – число движений для получения направляющей линии;  $H_c$  – число совмещенных движений.

Количество и взаимосвязь движений формообразования, необходимых для образования реальной поверхности, являются одним из определяющих факторов кинематической структуры металлорежущего станка, что, несомненно, связано с возможностью и степенью влияния вида погрешности на точность обработки.

Образующая реальной поверхности осуществляется основным движением

резания, а направляющая формируется подачей обрабатывающего инструмента. Поскольку формообразующие движения являются основой кинематики металлорежущего станка - кинематическая схема станка в значительной мере определяет его компоновку. Компоновочные особенности металлорежущего станка определяют особенности его технологического оснащения. Все это в комплексе дает основания полагать, что именно формообразующие движения являются первичным признаком, характеризующим возможности достижения требуемой точности обработки деталей (табл. 1). Высказанные замечания имеют особое значение для изделий, требующих сложного формообразующего движения. При этом, очевидно, возникает перспектива на основе анализа формообразования обрабатываемой поверхности разрабатывать технологию их обработки.

Таблица 1

Примеры применения методов формообразования

метод формообразования: образующей (строка) и направляющей (столбец)				
	след	касание	копирование	обкатка
копирование	Метод реализуется при нарезании резьбы с помощью резьбового резца	Метод реализуется при фрезеровании резьбы дисковой фрезой	Метод реализуется при объемной штамповке. Резание со снятием стружки невозможно	Метод реализуется при накатывании поверхности роликом с целью повышения ее износостойкости

Ряд поверхностей деталей обладает свойством обратимости, позволяющим менять назначение производящих линий. Нередко такие поверхности являются более технологичными, так как увеличивают число возможных способов их получения. Выбор производящих линий и метода обработки должен осуществляться исходя из следующих основных принципов: простое получение точной образующей; производительное резание вдоль направляющей; простая структура металлорежущего станка. Однако необходимо создание методики, которая позволяла бы на основе количественных характеристик осуществлять соответствующий синтез технологических операций обработки заготовок. На рис. 1 представлена схема, отражающая связи факторов формообразования и показателей качества и эффективности обработки деталей при формировании технологической операции.

Проиллюстрируем это на примере обработки цилиндрической поверхности детали. Очевидно, что показателем точности обработки является погрешность диаметра цилиндрической поверхности. Если направляющая реальной поверхности есть прямая линия, а образующая - окружность, то влияние износа инструмента на образующую значительно ниже, чем на направляющую. Примем износ  $J$  инструмента с интенсивностью:

$$J = \frac{h_{max}}{L},$$

где  $h_{max}$  – максимальный износ инструмента;  $L$  – максимальный путь резания.

Тогда влияние износа инструмента на погрешность направляющей  $\delta_n$  при токарной обработке будет определяться известным выражением:

$$\delta_n = \pi \cdot D \cdot J \cdot \frac{l_n \cdot n}{S_n}$$

где  $D$  – диаметр цилиндрической поверхности, мм;  $l_n$  – длина направляющей, мм;  $n$  – частота вращения шпинделя станка при обработке поверхности, об/мин;  $S_n$  – подача инструмента вдоль направляющей, мм/мин.

Влияние износа инструмента на погрешность направляющей  $\delta_0$  при токарной обработке будет определяться следующим выражением:

$$\delta_0 = \pi \cdot D \cdot J.$$



Рис. 1. Схема связи факторов формообразования и показателей качества и эффективности обработки деталей при формировании технологической операции.

Введем понятие о коэффициенте погрешности формообразования  $K_\phi$ , который может быть определен из следующего выражения:

$$K_\phi = \frac{\delta_0}{\delta_n}.$$

Для рассмотренного примера этот коэффициент имеет следующий вид:

$$K_\phi = \frac{S_n}{l_n \cdot n}.$$

Этот показатель принимает значения в интервале от 1 до асимптотического приближения к 0. Можно видеть, что в том случае, если  $K_\phi$  близок к 1, то метод формообразования не создает дополнительных трудностей в достижении точности обработки. Когда же этот коэффициент мал, тогда необходимо обеспечивать дополнительные технологические мероприятия, в том числе принимать меры к разработке специальной технологической оснастки.

Рассмотрим значения  $K_\phi$  на примере токарной обработки деталей длиной от 50 до 500 мм и подачами на оборот детали ( $S_n / n$ ) от 0,1 до 3,0 с шагом 0,2 (выполнено в среде MathCAD):

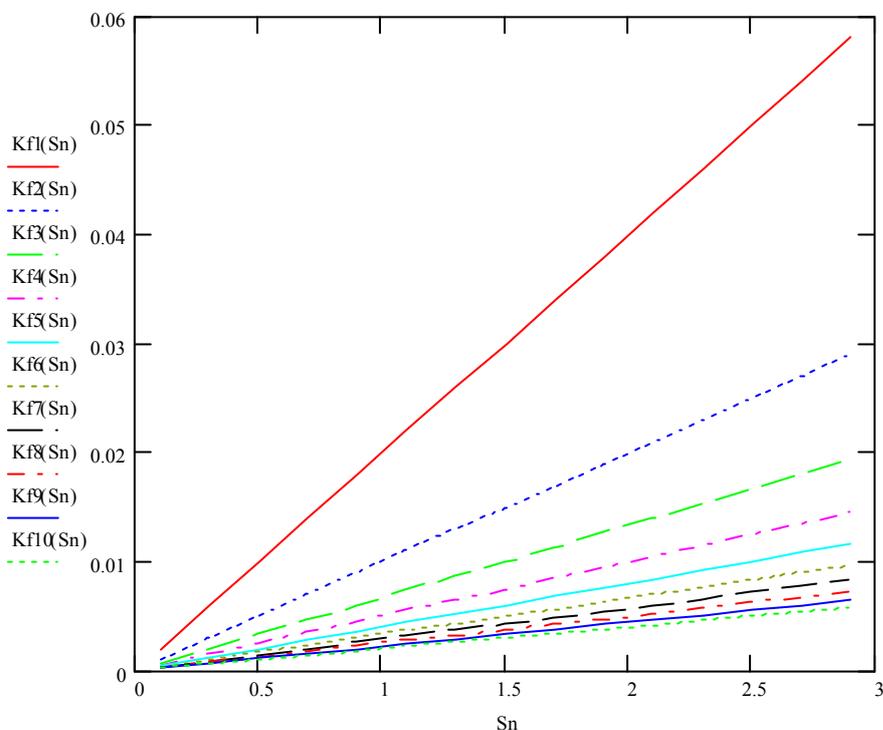
$$S_n := 0.1, 0.3.. 3$$

$$l_1 := 50 \quad l_2 := 100 \quad l_3 := 150 \quad l_4 := 200 \quad l_5 := 250 \quad l_6 := 300$$

$$l_7 := 350 \quad l_8 := 400 \quad l_9 := 450 \quad l_{10} := 500$$

$$K_{f1}(S_n) := \frac{S_n}{l_1} \quad K_{f2}(S_n) := \frac{S_n}{l_2} \quad K_{f3}(S_n) := \frac{S_n}{l_3} \quad K_{f4}(S_n) := \frac{S_n}{l_4} \quad K_{f5}(S_n) := \frac{S_n}{l_5}$$

$$K_{f6}(S_n) := \frac{S_n}{l_6} \quad K_{f7}(S_n) := \frac{S_n}{l_7} \quad K_{f8}(S_n) := \frac{S_n}{l_8} \quad K_{f9}(S_n) := \frac{S_n}{l_9} \quad K_{f10}(S_n) := \frac{S_n}{l_{10}}$$



Таким образом, значения коэффициента  $K_\phi$  для токарной обработки оказались значительно меньше единицы, что подтверждает необходимость тщательной технологической подготовки производства или выбора альтернативных методов формообразования.

К основным методам получения плоских поверхностей можно отнести: фрезерование торцовое и периферийное, строгание, шлифование торцовое и периферийное, протягивание, торцовое точение.

При фрезеровании поверхности периферией фрезы образующая линия получается методом копирования, а направляющая - методом касания. В результате коэффициент погрешности формообразования будет равен отношению износа инструмента образующей к износу инструмента направляющей:

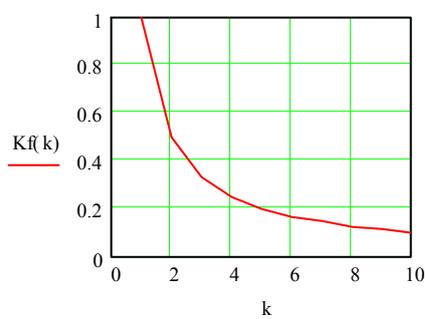
$$\delta_n = S \cdot n_\phi \cdot J \cdot k \cdot \frac{l_\phi}{n_3}, \quad \delta_0 = S \cdot n_\phi \cdot J \cdot \frac{l_\phi}{n_3},$$

где  $k$  – число проходов фрезы;  $S$  – подача фрезы на зуб;  $n_\phi$  – число оборотов фрезы;  $J$  – интенсивность износа фрезы;  $l_\phi$  – длина образующей фрезерования;  $n_3$  – число зубьев фрезы.

В результате для плоского фрезерования коэффициент погрешности формообразования  $K_\phi$  равен  $1/k$ . То есть, чем больше число проходов, тем меньше коэффициент  $K_\phi$ , что указывает на целесообразность создания специальных

$k := 1..10$

$Kf(k) := \frac{1}{k}$



технологических приемов механообработки.

Как видно из определения коэффициента  $K_\phi$ , он может быть вычислен по отношению к различным факторам погрешности обработки (выше было показано значение  $K_\phi$  применительно к износу инструмента). Можно предполагать, что общий показатель, характеризующий взаимосвязь метода формообразования и погрешности обработки может быть представлена следующей формулой:

$$K_{\phi\Sigma} = \sqrt{\sum_m (\lambda_i^2 \cdot K_{\phi_i}^2)},$$

где  $\lambda_i$  – эмпирический весовой коэффициент;  $K_{\phi_i}$  – коэффициент погрешности формообразования по  $i$ -тому фактору.

Общий смысл  $K_{\phi\Sigma}$  состоит в том, что увеличение его значения свидетельствует о повышении точности обработки, а снижение потребует дополнительной технологической подготовки и более детальной разработки технологической операции в целом или переработки ее содержания. Это становится наиболее актуальным при дифференциации операций. Действительно, в массовом и крупносерийном производствах выбор метода формообразования может явиться одним из наиболее эффективных путей повышения точности изготовления деталей.

Пофакторный и комплексный анализ коэффициента  $K_\phi$  позволяет разрабатывать технологические методы повышения точности обработки деталей. Необходимо отметить, что в подавляющем большинстве случаев наибольший вклад в величину  $K_\phi$  будет осуществлять фактор базирования заготовки. Безусловно, учет влияния погрешности базирования на формирование погрешности обработки должен производиться с учетом формообразования. Особенно важно это для сложных поверхностей и для автоматных операций. До настоящего времени не существовала обобщающая методика синтеза технологической операции на основе такого комплексного анализа. Целесообразность же

создания такой методики имеет место там, где следует проектировать технологическое оснащение, т.е. в серийном и массовом производствах.

Изложенный выше подход к количественной оценке погрешности формообразования позволяет развить общую методологию анализа факторов погрешности обработки на основе теории формообразования и обеспечить теоретическое обоснование новых технологических решений.