

В целом можно сделать вывод, что независимо от дисперсности ПС действие ДП сводится к инициализации образования промежуточных интерметаллидов при температуре ниже, чем температура плавления легкоплавкого компонента. Полученные результаты могут использоваться для анализа физико-механических свойств наноматериалов, полученных методом газовой конденсацией в атмосфере инертного газа.

#### Литература

1. Гекузин Я.Е. Диффузионная зона. М. Наука, 1979, 344 с.
2. Богданов В.В., Кибец В.И., Парицкая Л.Н., Пузанов А.А., Сорокина Е.П., Чеканов М.И. Влияние малых гидростатических давлений на диффузионное фазообразования в дисперсных многослойных системах. ФММ, 1993, N11/12, С. 27-6.
3. Поварова К.Б., Проскурин В.Б., Левин В.П., Николаев А.Г., Казанская Ю.К., Фиров А.И. Влияние механического легирования на характер формирования интерметаллидной фазы в системе Ni-Al при реакционном спекании. Металлы, N4, 1994 г. с.67-75.

#### **Зависимость силы резания от колебаний формы поперечного сечения при комбинированной обработке нежестких труб**

д.т.н., проф. Максимов Ю.В., к.т.н., проф. Анкин А.В., Ветрова Е.А.  
МГТУ «МАМИ»

*В работе рассмотрен комбинированный метод режущо-деформирующей обработки нежестких деталей типа «полый цилиндр», который дает выигрыш в производительности, точности обработки и обеспечивает высокое качество обработанной поверхности. Этот метод характеризуется тем, что процессе обработки сопровождается изгибными и крутильными колебаниями, причинами возникновения которых являются геометрические погрешности в сечении заготовки, погрешность установки, погрешность статической настройки взаимоположения конструктивных элементов устройства для комбинированной обработки; погрешность статической настройки взаимоположения детали и рабочих элементов устройства; погрешность динамической настройки режущего и деформирующего инструментов и собственно устройства для комбинированной обработки. На основании анализа выражения для суммарной погрешности и уравнения крутильных колебаний получены формулы, определяющие реальную глубину резания и поперечную силу, действующую на деталь в процессе обработки. Рассмотрев процесс изменения поперечного сечения трубы на примере однократной обработки детали с требуемыми данными, (в данном случае поперечная сила будет максимальной), показано, что в процессе обработки поперечное сечение детали деформируется на ничтожно малую величину, которой в дальнейших расчетах можно пренебречь.*

Как показал ряд проведенных исследований [4], комбинированный метод режущо - деформирующей обработки нежестких труб дает выигрыш в производительности, высокие точностные показатели обработки (8 – 9 квалитет точности) и хорошую шероховатость поверхности ( $R_a = 0.08...0.32 \text{ мкм}$ ).

Однако в процессе обработки нежестких труб имеют место изгибные (поперечные) и крутильные колебания [1, 3].

Источником возникновения изгибных колебаний являются геометрические погрешности в сечении заготовки, интерпретируемые в первом приближении эксцентриситетом сечения; погрешность установки; погрешность статической настройки взаимоположения конструктивных элементов устройства для комбинированной обработки; погрешность статической настройки взаимоположения детали и рабочих элементов устройства; погрешность динамической настройки режущего и деформирующего инструментов и собственно устройства для комбинированной обработки [1]

$$\Delta = \Delta_y + \Delta_{cm_y} + \Delta_{cm_o} + \Delta_o \quad (1)$$

Взаимное расположение векторов указанных погрешностей принимаем таким, чтобы суммарная погрешность (вынуждающая сила) была наибольшей [1].

Анализ регрессионных уравнений вертикальной составляющей силы резания  $P_z$ , а именно она является вынуждающей для крутильных колебаний, показал, что наибольший коэффициент в уравнении регрессии стоит при факторе  $Y1$ , интерпретирующем глубину резания, тогда как частота вращения детали (фактор  $Y3$ ) практически не оказывает воздействия на эту составляющую в случае резца с круглой пластиной Ø16,2 мм [1]. Однако на составляющую  $P_x$  скорость резания оказывает существенное воздействие. Поэтому, определив закон изменения скорости резания (частоты вращения детали  $\omega = \omega_0 + \varphi'(x, t)$ ), мы уточним полученное ранее решение задачи об изгибных колебаниях нежесткого вала применительно нежесткой детали типа «полый цилиндр», а также сможем определить критические скорости его вращения с точки зрения изгибных и крутильных колебаний.

Тогда, записав уравнение для крутильных колебаний в виде [6]:

$$\varphi'' + p^2(\varphi) = P(x, t),$$

имеем в правой части составляющую  $P_z$  силы резания.

В этом уравнении:  $\varphi$  – угол закручивания;  $\varphi''$  – угловое ускорение;  $p = k_k$ ,

где:  $k_k$  – крутящий момент, отнесенный к углу поворота;

$I$  – момент инерции сечения относительно оси детали,

$$I = \frac{W(D-d)}{8g},$$

где:  $W$  – вес сечения

$D$  – наружный диаметр сечения

$d$  – внутренний диаметр сечения

$g$  – ускорение свободного падения

В случае детали типа «полый цилиндр» кругового поперечного сечения длиной  $l$  и диаметрами  $D$  и  $d$  жесткость при кручении можно определить по формуле:

$$k_k = \frac{GJ}{l} = \frac{\pi G(D-d)}{32 \cdot l},$$

где:  $G$  – модуль упругости материала при сдвиге

$J$  – момент сопротивления кручению, равный полярному моменту инерции

Решение уравнения свободных крутильных колебаний можно представить в виде:

$$\varphi = \varphi_0 \cos pt + (\varphi'_0 / p) \sin pt,$$

где:  $\varphi$  и  $\varphi'_0$  – угол поворота и угловая скорость в момент времени  $t = 0$ .

Пусть в начальный момент времени  $t = 0$  деталь нагружена силой  $P_{z0} = f(\omega_0, h_0, V, \theta_1, \theta_2)$ . Тогда скорость  $\varphi'_0 = 0$ , а поворот  $\varphi$  запишется как:  $\varphi_0 = M / k_k$ , где  $M = P_{z0} \cdot d / 2$

$$k_k = \frac{GJ}{l} = \frac{\pi G(D-d)}{32 \cdot x},$$

где:  $x$  – координата сечения [6].

Однако, принимая во внимание процесс обработки, величина  $x$  будет меняться во времени, т.е.  $x = 1 - Vt$ .

Таким образом, в общем виде угол поворота сечения будет записан в виде:

$$\varphi(x, t) = T(t) \cdot \Psi(x),$$

где:  $T(t)$  – функция времени

$\Psi(x)$  – координатная функция угла поворота

Координатная функция  $\Psi(x)$  находится при решении обыкновенного дифференциаль-

ного уравнения:

$$\varphi''(x) + P^2 \varphi(x) = 0,$$

где:  $P$  – частота собственных крутильных колебаний, умноженная на  $2\pi$ .

А функция времени  $T(t)$  может быть найдена из уравнения:

$$T(t)'' + \Omega^2 \cdot T(t) = P(x, t),$$

и представлена в виде:

$$T(t) = C_1 \cdot \cos \Omega t + C_2 \cdot \sin \Omega t,$$

здесь:  $C_1$  и  $C_2$  – произвольные постоянные, определяемые из начальных условий.

Под влиянием изгибных колебаний ось трубы изгибается, вследствие чего происходит изменение глубины резания. Причем изменение глубины резания на резцах равно по величине и противоположно по знаку. При вращении с угловой скоростью  $\omega$  изогнутой трубы, ось которой отклонена от оси  $OX$  в сечении  $X$  на величину поперечного перемещения  $\varpi(x, t)$ , эти изменения определяются по формуле [1]:

$$h_2(x, t) = \varpi(x, t)$$

Таким образом, реальная глубина резания, с учетом изложенного, определяется формулой [1]:

$$h(x, t) = h_0 + \frac{e_{зп}}{l_2} \left( l_2 - \frac{S_0 n}{60} t \right) + \left[ \frac{e_{дз} - e_{дп}}{l_2} \left( l_2 - \frac{S_0 n}{60} t \right) + e_{дп} \right] \cdot \cos(T(t) \cdot \psi(x))' t + \\ + \varpi(x, t) \cos(T(t) \cdot \psi(x))' t - a \frac{\varepsilon(x)}{2} \sin^2(T(t) \cdot \psi(x))' t$$

где:  $h_0$  – глубина резания, устанавливаемая по максимальному удалению обрабатываемой поверхности от ее центра;

$e_{зп}$  – несоосность переднего и заднего центров;

$e_{дп}$  – несоосность переднего центра и заготовки;

$e_{дз}$  – несоосность заднего центра и заготовки;

$n$  – частота вращения детали;

$S_0$  – осевая подача устройства для КРДО;

$t$  – глубина резания;

$a$  – большая полуось эллипса поперечного сечения заготовки;

$\varepsilon$  – эксцентриситет;

$l_2$  – длина детали.

Обрабатывающая головка интерпретируется как поперечная сила, величина которой изменяется в процессе перемещения от точки С к В (рис. 1).

Силу  $P$  можно представить в виде [1]:

$$P(\omega, V, h, \chi_1, \chi_2) \approx P_0 + C \varpi(x, t) + P_1 \cdot \left[ \varpi(x, t) \cos \omega t - a \frac{\varepsilon(x)}{2} \sin^2 \omega t + \Delta(x, t) \right],$$

где:  $a$  – большая полуось эллипса поперечного сечения заготовки;

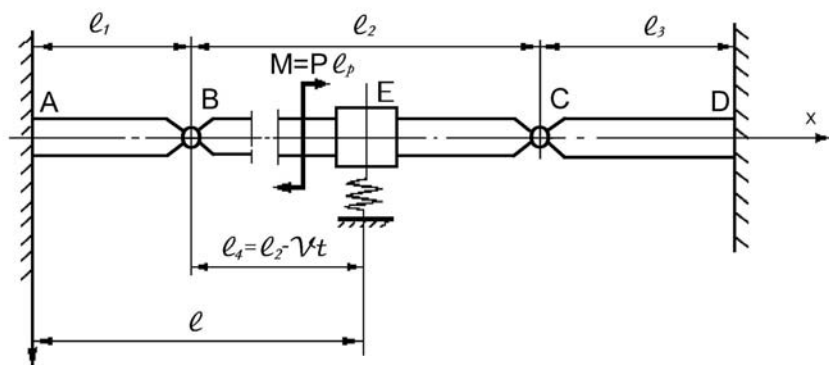
$\varepsilon$  – эксцентриситет;

$\Delta$  – приращение глубины резания в сечении с координатой  $x$  в момент времени  $t$ , вызванное погрешностью статической настройки устройства;

$\chi_1, \chi_2$  – параметры, отражающие механические свойства материала обрабатываемой детали и центров, а также иные технологические факторы и геометрические характеристики;

$$P_0 = P(\omega, V, h_0, \chi_1, \chi_2) \text{ и } P_1 = \frac{dP(\omega, V, h_0, \chi_1, \chi_2)}{d(h - h_0)} - \text{величины сил, определяемые техно-}$$

логом путем расчетов исходных данных по справочникам или опытным путем. Они зависят от технологических факторов и не зависят ни от времени, ни от координаты.

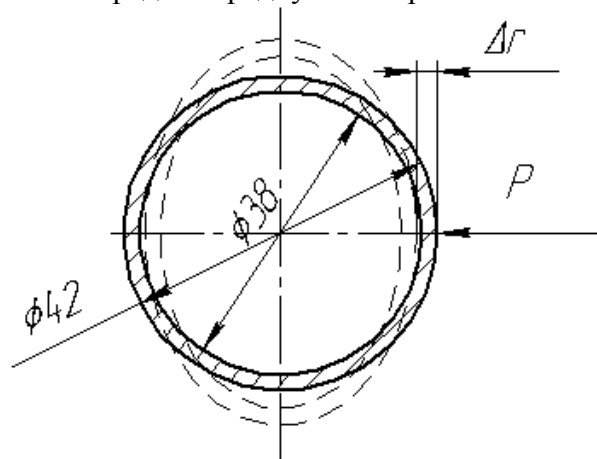


**Рис. 1. Механическая модель устройства для обработки нежестких труб комбинированным режуще-деформирующим методом.**

В соответствии с указанной выше формулой  $\varphi(x, t) = T(t) \cdot \Psi(x)$ , а  $\omega = \varphi'(x, t)$ , уравнение для поперечной силы  $P$  будет иметь вид:

$$P(\omega, V, h, \chi_1, \chi_2) \approx P_0 + C\varpi(x, t) + P_1 \cdot \left[ \varpi(x, t) \cos(T(t) \cdot \Psi(t))'t - a \frac{\varepsilon(x)}{2} \sin^2(T(t) \cdot \Psi(t))'t + \Delta(x, t) \right]$$

Так как поперечное сечение детали – кольцо, то под действием поперечной силы его форма будет меняться, что учитывается опосредованно в виде изменения эксцентриситета, интерпретирующего изменение среднего радиуса поперечного сечения детали (рис. 2).



**Рис. 2. Изменение формы поперечного сечения детали под действием поперечной силы  $P$ .**

Изменение формы поперечного сечения деталей типа «полый цилиндр» рассмотрим на примере однопроходной механической обработки трубы с наружным диаметром 42 мм и внутренним диаметром 38 мм. Глубина резания  $t_{рез} = 1$  мм на резец (см. устройство для комбинированной обработки).

Мы рассматриваем процесс однопроходной обработки детали ввиду того, что в данном случае величина перерезывающей силы  $P$  будет максимальной,  $\Delta r$  также примет наибольшее значение. За исключением рассматриваемого случая обработки,  $\Delta r$ , возникающая в процессе обработки труб указанных размеров, ничтожно мала, поэтому ей при расчетах можно пренебречь.

Под действием перерезывающей силы  $P$  поперечное сечение трубы будет сдеформи-

ровано на  $\Delta r = (0.1 \dots 0.05) t_{рез} = 0.2 \dots 0.1$  мм.

В дальнейшем будет рассмотрен вопрос о законе изменения  $\Delta r$ .

#### **Выводы**

В процессе комбинированной режущо-деформирующей обработки нежесткой детали типа «полый цилиндр» происходит деформация поперечного сечения детали под действием перерезывающей силы, но величина деформации настолько мала, что в дальнейших расчетах ей можно пренебречь.

#### **Литература**

1. Анкин А.В. Повышение производительности и качества комбинированной обработки нежестких валов. Дисс. ... к.т.н., М., МАМИ, 1993.
2. Максимов Ю.В. Исследование условий обеспечения качества обработки нежестких валов. Дисс. ... к.т.н., М., МАМИ, 1981, 310 с.
3. Максимов Ю.В. Обеспечение качества и производительности обработки нежестких валов применением технологических систем с дополнительными контурами связи. Дисс. ... д.т.н., М., МГТУ «МАМИ», 2000.
4. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 1978.- 152 с.
5. Смелянский В.М. и др. Размерное совмещенное обкатывание детали. // «Станки и инструмент», № 11, 1981, С. 35-36.
6. Тимошенко С.П. Теория колебаний в инженерном деле. ГНТИ, М.-Л., 1931.- 344 с.
7. Чистосердов П.С. Управление точностью обработки при совмещении резания и ППД. // «Вестник машиностроения», № 11, 1985, С. 54-57.

#### **К вопросу об оптимизации условий обработки для высокоскоростных технологических систем**

к.т.н., доц. Михайлов В.А., Шершаков Н.А.  
МГТУ «МАМИ»

*Исследования направлены на изучение наиболее эффективных систем управления условиями обработки как на стадии конструкторско-технологической подготовки производства, так и в процессе эксплуатации оборудования. Применение метода иерархического параллельно-последовательного композиционного проектирования и управления технологическими системами с использованием для принятия решения функции качества обеспечивает: повышение точности конструкторско-технологических решений при создании высокоточных и надежных технологических систем с высоким ресурсом работы, требуемую точность управления рабочими процессами, а также сокращение времени на подготовку управляющих программ и уменьшение затрат на проверку решений.*

В сложившейся экономической ситуации нельзя рассчитывать на способы подъема конкурентоспособности производства, основанные только на привлечении больших капитальных средств. Известно, например, что наибольшую отдачу дают методы повышения качества, ориентированные на усовершенствование организации жизненного цикла изделия (ЖЦИ). К числу таких методов относятся, прежде всего, информационные технологии. В этих условиях традиционный, последовательный подход к разработке новых изделий и управления технологическими процессами уступает место другому, получившему название «Иерархического параллельно-последовательного метода проектирования, управления, эксплуатации и восстановления». Эта технология является принципиально новой, и ее базой является интегрированный подход, как к разработке технологических процессоров, так и к обеспечению жизненного цикла изделия (ЖЦИ). В основе технологии лежит идея совмещенного проектирования изделия, а также процессов его изготовления и сопровождения, координируемая с помощью специально создаваемой для этой цели распределенной информационной среды, которая и позволяет экономить не только время (время сокращается на 25-