

а с толщиной стенки 20 мм – соответственно 25 и 40 мкм. В отливках из сплава АК12 это различие меньше: 25 мкм (верхние зоны) и 30 мкм (нижние зоны) при толщине стенки 5 мм; 25 мкм (верхние зоны) и 35 мкм (нижние зоны) при толщине стенки 20 мм.

Твердость отливок находится в пределах: 70...100 НВ (сплав АК7ч), 70...120 НВ (сплав АК12) и 105...140 НВ (сплав АК18).

Прочностные и пластические характеристики отливок с толщиной стенки 10 мм определяли на нестандартных образцах, вырезанных из вертикальных стенок и сохранивших с двух сторон литую поверхность; их размеры следующие: длина 55...60 мм, толщина 9...10 мм. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Механические свойства отливок с толщиной стенки 10 мм (литое состояние)**

Сплав	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %
АК7ч	55,2	183,4	8,6
АК12	50,6	206,7	4,5
АК18	67,0	165,1	1,4

Проанализирована удаленность места разрушения разрывных образцов от нижнего торца отливки. Известно [1], что при пуансоном прессовании возможно образование спаев, распространяющихся от наружной поверхности вглубь стенки отливки по уровню заливки расплава в матрицу пресс-формы. В проведенных опытах для отливок с толщиной стенки 10 мм этот уровень соответствовал  $38 \pm 3$  мм от дна матрицы (и, следовательно, от нижнего торца отливки), а толщина дна была  $10 \pm 3$  мм. Разрыв образцов происходил на следующем расстоянии от нижнего торца отливки: 23 мм (сплав АК7ч), 13 мм (сплав АК12) и 21 мм (сплав АК18). Видно, что разрыв происходил не по уровню заливки расплава в матрицу, что косвенно свидетельствует об отсутствии в них спаев, указанных выше.

**Выводы**

1. Установлены закономерности затвердевания отливок из силуминов при пуансоном прессовании. Показано, что с увеличением толщины стенки от 5 до 20 мм возрастает время затвердевания отливок, что приводит к незначительному укрупнению структуры в целом и отдельных ее составляющих;
2. Даже при отсутствии дегазирующей и рафинирующей обработки расплава механические свойства отливок, прессованных при затвердевании, выше требований ГОСТ 1583-93.

**Литература**

1. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением. 2-ое изд./ Батышев А.И.: М.: Металлургия, 1990. – 144 с.
2. Штамповка жидкого металла: Литье с кристаллизацией под давлением /А.И. Батышев, Е.М. Базилевский, В.И. Бобров и др.; под ред. А.И. Батышева: М.: Машиностроение, 1979. – 200 с.
3. Литье с кристаллизацией под давлением/ Батышев К.А.: М.: Изд-во МГОУ, 2009. – 167 с.

**Тангенциальная компенсация крутильных колебаний заготовки в технологической системе комбинированной режущо-деформирующей обработки**

к.т.н. Анкин А.В., Чебышев А.И.  
 Университет машиностроения  
 8 (495) 223-05-34, ankin@mami.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрены подходы к моделированию технологических процессов и устройств для режущо-деформирующей обработки нежестких валов с дополнительными контурами связи.

*Ключевые слова:* комбинированная обработка, нежесткий вал, колебания, контур связи, режущий модуль, крутильные колебания, расчетная модель

В современном машиностроении проблема создания высокоэффективных технологических процессов механической обработки с учетом выполнения требований ресурсосбережения, энергосбережения и экологии является одной из наиболее важных. С ужесточением требований к качеству деталей и узлов машин большое значение в технологическом процессе их изготовления приобретают отделочные операции, во многом определяющие уровень эксплуатационных показателей машин.

Определенный эффект по снижению себестоимости дают методы комбинированной обработки, основанные на совмещении способов воздействия на обрабатываемый материал резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД).

Применение технологических процессов обработки, базирующихся на использовании комбинированных методов, позволяет повысить точность формы и размеров обрабатываемого нежесткого вала, обеспечить малую величину шероховатости поверхности, улучшить физико-механические свойства поверхностного слоя детали и, как следствие, повысить эксплуатационные показатели детали и узла механизма в целом, достичь высокой производительности обработки и снизить ее себестоимость за счет энерго- и ресурсосбережения, улучшить экологические условия производственного процесса.

Разработка комбинированных методов обработки в определенной степени позволила приблизиться к решению проблемы качественного и производительного изготовления нежестких валов за счет увеличения концентрации операций и выполнения принципа сохранения технологических баз. Применение технологических процессов комбинированной обработки позволяет также повысить точность формы и размеров обрабатываемого нежесткого вала, обеспечить малую величину шероховатости поверхности, улучшить физико-механические свойства поверхностного слоя детали и, как следствие, повысить эксплуатационные показатели детали и узла механизма в целом.

Существующие конструкции инструментов и устройств для осуществления комбинированной режущо-деформирующей обработки характеризует то, что недостаточная жесткость конструкций узлов и качество сопряжений обуславливает нарушение равновесного состояния системы действующих сил при обработке, что приводит к снижению точности и качества комбинированной режущо-деформирующей обработки.

Проведенные ранее исследования показали [1], что обеспечение точности комбинированной обработки нежестких валов в значительной степени зависит от вида силового состояния технологической системы. На основании этой предпосылки различают следующие виды силового состояния технологических систем:

- система действующих сил в технологической системе неустойчива, так называемые разомкнутые системы (рисунок 1);
- система действующих сил в технологической системе близка к устойчивой, так называемые системы с дополнительными замкнутыми относительно обрабатываемой детали контурами (рисунок 2).

Однако, как показывает проведенный анализ [2], разработанные ранее схемы инструментов для комбинированной обработки не обеспечивают в требуемой мере создание достаточно устойчивого силового состояния, элементы инструмента подвержены нагрузкам и, как следствие, имеют место их перемещения (рисунок 3), что влечет образование погрешности обработки.

Осуществление процесса обработки с высокой производительностью ведет к возникновению значительных крутильных колебаний нежестких валов, которые на начальном этапе математического моделирования технологической системы [3] не были учтены.

Сила, действующая на деталь, рассчитывалась по формуле [4], в которой не учтена составляющая погрешности обработки от крутильных колебаний.

$$P(\omega, V, h, \chi_1, \chi_2) \approx P_0 + C \cdot \varpi(x, t) + P_1 \cdot \left[ \varpi(x, t) \cos \omega \cdot t - a \frac{\varepsilon \cdot (x)}{2} \sin^2 \omega \cdot t + \Delta(x, t) \right]. \quad (1)$$

Эти колебания нарушают устойчивое силовое состояние подсистемы деталь-инструмент и являются следствием недостаточной жесткости элементов комбинированных

инструментов, отсутствия силовой взаимосвязи между режущими и деформирующими частями последних в начале и конце обработки, колебания жесткости подсистемы деталь-инструмент по длине обработки, слабой демпфирующей способности.

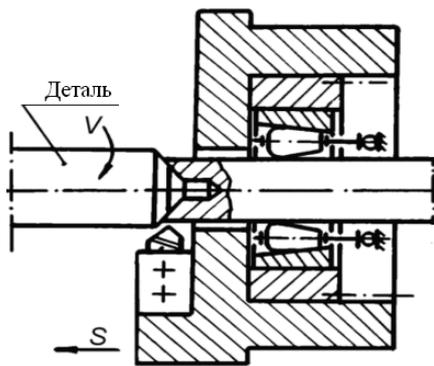


Рисунок 1. Разомкнутая система

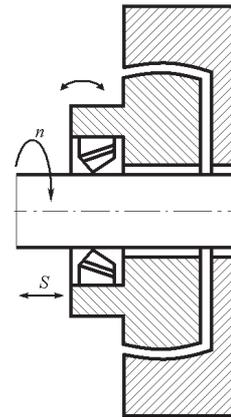


Рисунок 2. Система с дополнительными замкнутыми контурами

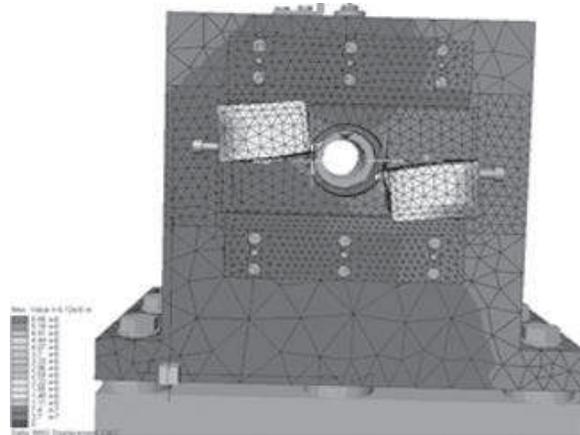


Рисунок 3. Результаты расчета перемещений

Крутильные колебания возникают в результате неравномерности периодического момента как движущих сил, так и сил сопротивления. Неравномерность крутящего момента вызывает неравномерность изменения угловой скорости вала, т. е. то ускорение, то замедление вращения. В каждом сечении вала будет своя степень неравномерности вращения, поскольку в одинаковый промежуток времени массы проходят разные углы и, следовательно, движутся с разными скоростями, что создаёт переменное кручение вала и динамические знакопеременные напряжения.

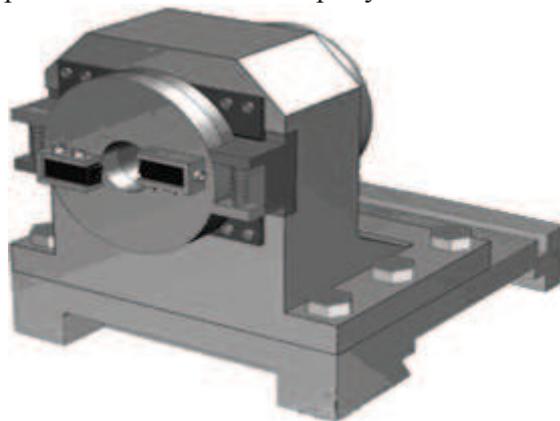
При совпадении частот собственных колебаний системы с частотой периодического крутящего момента движущих сил и сил сопротивления возникают резонансные колебания. В этом случае повышается уровень динамических переменных напряжений. В некоторых случаях возможны совместные колебания с различными видами деформации элементов системы например изгибно-крутильные колебания.

Одним из путей, способствующих решению указанных проблем, может стать использование концепции дополнительного силового замыкания [5] в процессе обработки данных деталей. В основу указанной концепции положен принцип создания дополнительных замкнутых относительно детали контуров связи.

Условное отсутствие взаимодействия с другими элементами технологической системы может достигаться путем введения для какого-либо элемента (элементов) дополнительного контура или самого дополнительного контура связи одной или более степеней свободы, снижением на определенную величину его жесткости и т.д. [6]. При создании нескольких дополнительных замкнутых относительно детали контуров связи следует учитывать, что контуры могут взаимодействовать между собой, так как обрабатываемая деталь является

общим элементом для всех контуров. В результате этого в технологической системе образуется интегральная колебательная система с новыми параметрами. Возможными путями управления параметрами вновь образованной системы являются изменение жесткостных характеристик, соотношения оборотной и изгибной частот колебаний нежесткого вала, придание степени свободы элементу или элементам контуров связи технологической системы и, как следствие, возможность осцилляции в процессе обработки, наложение дополнительных колебаний на элементы контуров связи технологической системы.

Конструкция и принцип работы перспективного устройства для комбинированной режущо-деформирующей обработки показаны на рисунке 4.



**Рисунок 4. Перспективное устройство для комбинированной режущо-деформирующей обработки**

Устройство состоит из режущего модуля и деформирующей головки. На плиту с помощью крепежных и регулировочных винтов устанавливается корпус головки. Плита крепится на суппорте токарного станка клином. Режущий модуль устройства состоит из корпуса резцового блока, удерживаемого подпружиненными прижимами в направляющих передней части корпуса головки, что обеспечивает линейное перемещение режущего модуля в направлении размерообразования относительно деформирующей головки. Сменные режущие пластины винтами закреплены в державки, установленные в карманах тангенциально задемпфированного диска. Боковые винты служат для регулировки вылета резцов. Диск устанавливается на корпус резцового блока через подшипник, что обеспечивает возможность его поворота вокруг оси заготовки. Пружины и обратный демпфер ограничивают угол поворота. Деформирующий модуль устанавливается в коническое отверстие, выполненное в задней части корпуса, и состоит из корпуса, в котором по коническому сопряжению установлен нажимной конус. Рабочие элементы в виде роликов, заключенные в сепаратор, обкатываются по нажимному конусу.

Для осуществления обработки устройство устанавливается на суппорт токарного станка. Задний центр устанавливается в пиноли задней бабки станка и имеет цилиндрическую направляющую втулку, служащую опорной поверхностью для роликов в начале обработки, а также для настройки на размер обработки резцов и роликов.

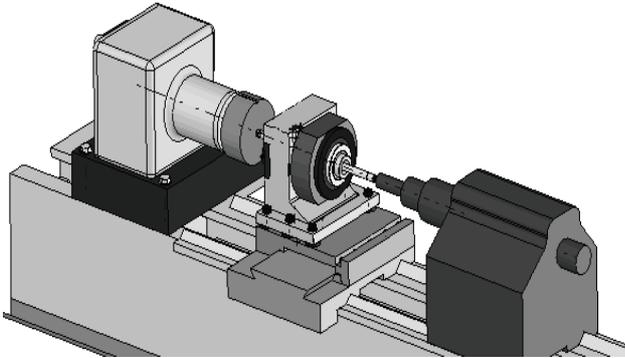
Между передним и задним центрами устанавливают заготовку и поджимают постоянной силой со стороны заднего центра. В начальный период ролики обкатываются по направляющей втулке, а при заходе на деталь перемещаются по поверхности, обработанной резцами «плавающего» резцового блока.

Современные средства пространственного моделирования незаменимы при проверке и оптимизации компоновки изделия, конечно-элементном анализе конструкции и технологичности изделия, составлении эксплуатационной документации, справочных руководств, каталогов запасных частей, представленных в электронном виде.

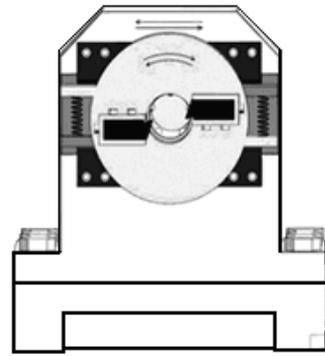
Системы компьютерного инженерного анализа не только позволяют оценить принципиальную работоспособность будущей конструкции (например, по условиям прочности) — они нашли широкое применение при моделировании технологических процессов металлообработки (рисунок 5). Современные конечно-элементные системы дают возможность модели-

ровать ситуации реальной эксплуатации изделий.

Это реализовано в проекте твердотельной модели резцового модуля (рисунок 6), в которой в «плавающий» в направлении размерообразования блок установлен задемпфированный в тангенциальном направлении диск с режущими элементами. В этом случае при превышении заданной в расчетной модели силы резания диск поворачивается относительно оси вращения детали на физически ограниченный угол, тем самым блокируя передачу возможного радиального смещения на «плавающий» резцовый модуль.



**Рисунок 5. Модель технологической системы**



**Рисунок 6. «Плавающий» резцовый модуль с дополнительным тангенциальным контуром связи**

Величина углового смещения определяется по известной формуле

$\varphi = \varphi_0 \cos pt + \frac{\varphi_0^1}{p} \sin pt$ , являющейся общим решением уравнения крутильных колебаний,

что учитывается в аргументе  $\omega$  дальнейших расчетов постоянной и переменной составляющей сил резания:

$$P_0 = P(\omega, v, h_0, \chi_1, \chi_2). \quad (2)$$

$$P_1 = \frac{\partial P(\omega, v, h_0, \chi_1, \chi_2)}{\partial \vartheta}. \quad (3)$$

При повороте тангенциального диска на угол  $\varphi$  скорость резания меняется (уменьшается), уменьшая и силу резания. При достижении экспериментально установленной разности сил резания на резах тангенциального диска пружины возвращают диск (скорость резания при этом растет) в равновесно-силовое положение, устраняя радиальное смещение резцового модуля.

Мгновенное значение скорости резания зависит как от линейной координаты устройства, так и от угла поворота обрабатываемого вала:  $V = F(x; \varphi)$ .

Выполненные расчеты показывают, что применение дополнительного контура связи, имеющего переменную жесткость и наличие угловой тангенциальной осцилляции резцового блока, позволяют повысить параметры качества обработки. Данное устройство может быть использовано при обработке деталей класса нежестких валов из труднообрабатываемых сталей.

### Литература

1. Образование погрешности при комбинированной обработке нежестких валов/ Ю.В. Максимов, А.В. Анкин: «Автомобильная промышленность», 1995, № 9, -с. 28-31.
2. Моделирование тангенциальных колебаний комбинированной режуще-деформирующей обработки нежестких валов/ А.В. Анкин, А.И. Чебышев: Реферируемый журнал «Известия МГТУ «МАМИ», № 1 (15), Т. 2, 2013, с. 11-14.
3. Математическое моделирование формообразования деталей класса нежестких валов/ А.В. Анкин, Ю.В. Максимов, В.И. Матяш: «Вестник машиностроения», 1997, № 3, с. 27-30.
4. Моделирование комбинированной обработки нежестких валов./ Ю.В. Максимов, Р.В. Логинов: «Химическое и нефтегазовое машиностроение», 1998, № 9-10, с. 61-63.

5. Максимов Ю.В. Повышение производительности обработки штоков пневмо- и гидроцилиндров за счет усовершенствования устройства для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием / Реферируемый журнал «Известия МГТУ «МАМИ», №2 (14), Т.2, 2012.

### **Гибкая технология изготовления кованных поршней в мелкосерийном производстве**

к.т.н. Поседко В.Н. Шibaев О.В.

Университет машиностроения, Москва  
8-9161 274043 Vladimir.Posedko@yandex.ru

*Аннотация.* Приводятся сведения о назначении, особенностях конструкции, работы и преимуществах кованных поршней, а также процессе изготовления заготовок и механической обработки таких поршней.

*Ключевые слова:* кованный поршень, изотермическая штамповка, заготовка, надёжность, долговечность, механическая обработка

Созданное на базе кафедры «Технология машиностроения» ООО «НПП Автотехнология - МАМИ» освоило мелкосерийный выпуск кованных поршней (хотя правильнее назвать процесс изготовления заготовки не ковкой, а изотермической штамповкой). Кованные поршни дороже литых, но они имеют ряд неоспоримых преимуществ: стойкость к тепловым и ударным нагрузкам, твердость, долговечность, надежность. Термоциклическая стойкость таких поршней в 5 раз выше, чем литых.

Поршень двигателя внутреннего сгорания (рисунок 1) – одна из самых сложных и ответственных (нагруженных) деталей.



**Рисунок 1. Поршень двигателя автомобиля ВАЗ**

Инерционные силы, возникающие в кривошипно-шатунном механизме при работе двигателя, увеличивают механические потери, снижают мощность, ресурс и максимальные обороты двигателя. По этой причине поршни современных высокооборотных двигателей изготавливаются из алюминиевых сплавов. Твердость алюминиевого сплава после литья и закалки находится в пределах 85...95 единиц по шкале Бринеля, для форсированных бензиновых двигателей или для дизелей этого недостаточно. Твердость кованных поршней, изготовленных из предварительно деформированных высококремнистых алюминиевых материалов АК4, АК12Д, (содержание кремния 10...12%), АК18Д (содержание кремния 17...19%) находится в пределах 115...135 единиц, а из гранулированного сплава 1379П доходит до 160 единиц по шкале Бринеля.

В процессе эксплуатации поверхность направляющей части поршня (юбки) должна иметь пятно контакта с поверхностью цилиндра и между указанными поверхностями должна сохраняться необходимая величина диаметрального зазора. Уменьшение пятна контакта приводит к повышенному износу поршня, а уменьшение зазора – к прихвату и заклиниванию мотора. Под воздействием сгорающей (в камере сгорания) рабочей смеси поршень нагревается и расширяется. Расширение происходит неравномерно, так как металл в конструкции поршня распределен неодинаково. Кроме нагрева поршень подвергается