

интенсивность деформации в точках замера твердости. Ряды на графиках отражают результаты замеров по толщине металла после прохода индентора (S_0), три ряда на равном расстоянии – по ширине канавки, в узловых точках по высоте отложены значения накопленных деформаций в данных точках.

С увеличением относительной глубины канавки интенсивность деформации увеличивается, а неравномерность по сечению уменьшается, что следует из графиков, представленных на рисунке 5.

Заключение

Для точного определения процесса деформации необходимо учитывать неравномерность свойств по толщине листа. С увеличением деформации ее неравномерность в процессе прокатки уменьшается.

Литература

1. Павлов И.М. Теория прокатки. – М.: Металлургиздат, 1950. – 610 с.
2. Губкин С.И. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургиздат, 1947. – 532 с.
3. Теория прокатки: Справочник / Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И. и др. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.
4. Типалин С.А. Экспериментальное исследование процесса выдавливания технологической канавки в оцинкованной полосе / Известия МГТУ «МАМИ», 2012. № 2. С. 208-213.
5. Типалин С.А. Определение накопленной деформации в процессе выдавливания технологической канавки / Заготовительные производства в машиностроении, 2013, № 8, с. 22-24.
6. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А. Исследование свойств многослойных листовых материалов / Заготовительные производства в машиностроении, 2013, № 1. С. 28-31.
7. Типалин С.А. Локализованный изгиб и скручивание оцинкованной полосы при формообразовании швеллера Известия МГТУ «МАМИ», 2012. № 2. , т. 2. С. 204-208.
8. Типалин С.А., Сапрыкин Б.Ю., Шпунькин Н.Ф. Краткий обзор многослойных листовых деформируемых материалов используемых для защиты от шума / Известия МГТУ «МАМИ», 2012. № 2., т. 2. С. 194-199.
9. Типалин С.А. Исследование изгиба упрочненного оцинкованного листа / Известия МГТУ «МАМИ», 2012. № 2., т. 2. С. 199-204.
10. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Колесов А.В. Упругий изгиб биметаллического листа / Известия МГТУ «МАМИ», 2013. № 1, т. 2. С. 105-108.
11. Павлов И.М., Гельдерман Л.С., Жукова А.И. Количественный анализ неравномерности деформации при ковке // Металлург. – 1936. – № 7. – С. 17 – 20.

Счетные подходы к определению аргумента функции силы

д.т.н. проф. Максимов Ю.В., к.т.н. доц. Анкин А.В., Чебышев А.И.

Университет машиностроения
8 (495) 223-05-34, ankin@mami.ru

Аннотация. В статье рассмотрены подходы к определению момента начала перемещений «плавающих» элементов конструкции режущего модуля комбинированного инструмента для обработки нежестких валов.

Ключевые слова: комбинированная обработка, нежесткий вал, колебания, режущий модуль, крутильные колебания.

Проблема обеспечения качества обработки при заданной или большей производительности технологического процесса всегда была актуальной в технологии машиностроения. При решении этой проблемы создавались новые методы обработки, разрабатывались технологические процессы и новые инструменты. При этом в ряде случаев обеспечение качества обработки не подкреплялось экономическими показателями эффективности от внедрения

технологического процесса.

Со временем к требованию обеспечения качества добавились требования ресурсосбережения, энергосбережения и экологической безопасности.

При том, что отделочные операции, во многом определяющие качество обработки, определяют и эксплуатационные показатели машин.

Известно, что 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.

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.

При этом для стабильного обеспечения параметров качества при применении ППД требуется, помимо точности статической настройки, обеспечение равномерного натяга деформирования, что часто не достигается из-за переустановки заготовки и невысокой точности предварительной, как правило токарной, обработки [1].

В развитии технологии машиностроения значительные трудности вызывали проблемы обработки деталей с низкой жесткостью и высокими требованиями по качеству. Наиболее яркими и распространенными представителями деталей с низкой жесткостью являются валы с отношением длины к диаметру более десяти, с требованиями по точности $IT\ 7...9$, по шероховатости поверхности $Ra < 0,16...0,32$ мкм.

Обеспечение заданных параметров качества обработки достигается в технологических системах (рисунок 2), реализующих методы комбинированной обработки, защищенные авторскими свидетельствами и патентами [2, 3].

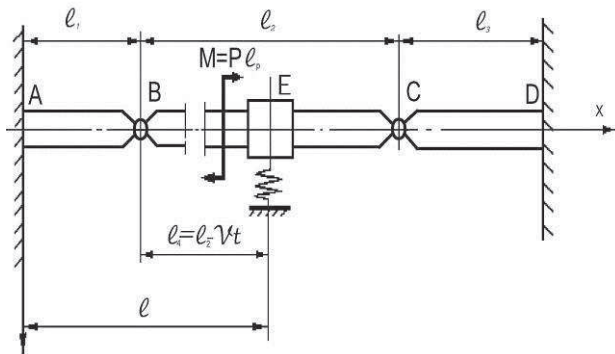


Рисунок 1. Механическая модель технологической системы

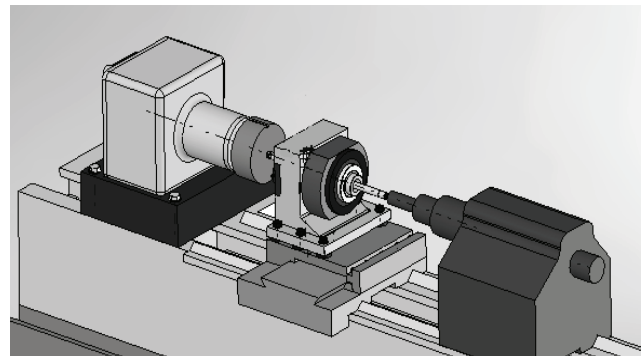


Рисунок 2. Технологическая модель обрабатывающей системы

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 эксплуатаци-

онные показатели детали и узла механизма в целом.

В ряде работ было показано, что точность комбинированной режущо-деформирующей обработки (КРДО) поверхностей вращения валов зависит от выполнения заданных функций режущим и люнетно-деформирующим модулем.

Назначение режущего модуля – удаление минимально необходимого припуска металла, обеспечение требуемых точностных параметров, размеров и формы изделия, а также формы и высоты микронеровностей для последующего поверхностного пластического деформирования (ППД). В результате ППД микронеровностей после резцовой обработки достигается только снижение высоты микронеровностей и упрочнение поверхностного слоя металла.

Первоначально при математическом моделировании процесса обработки [4] при расчете силы (1), действующей на деталь, не учитывались ее крутильные колебания:

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

Однако при реальном течении технологического процесса наблюдается нарушение равновесного состояния системы действующих сил при обработке, что приводит к снижению точности и качества комбинированной режущо-деформирующей обработки, вызываемое недостаточной жесткостью конструкций узлов и качеством сопряжений деталей инструмента и оборудования.

Известные конструкции инструментов и процессы реализации комбинированной режущо-деформирующей обработки еще недостаточно исследованы.

Не установлено влияние целого ряда факторов на процесс формо- и размерообразования, шероховатость поверхности, таких как, например, влияние изменения жесткости по длине обработки, колебательных процессов, взаимодействия частотных характеристик процесса обработки и ряда других.

Для проведения компьютерного инженерного анализа перспективной конструкции и условий работы инструмента методом конечных элементов была смоделирована его пространственная модель путем проектирования всех деталей, входящих в состав сборки, с последующей сборкой и наложением связей и ограничений (рисунок 3, 4) и разработана электронная модель резцового блока (в среде Unigraphics NX) [5].

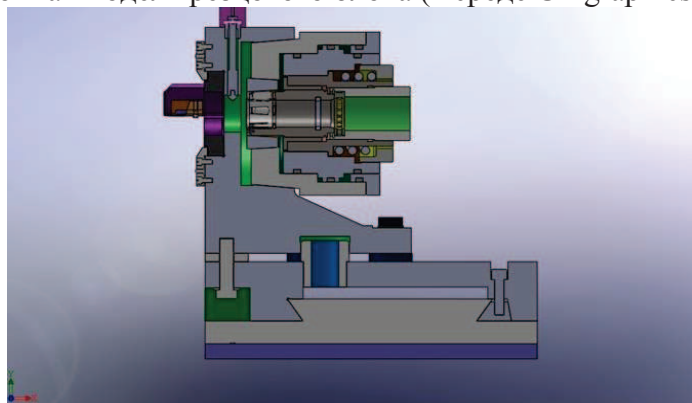


Рисунок 3. Пространственная модель инструмента

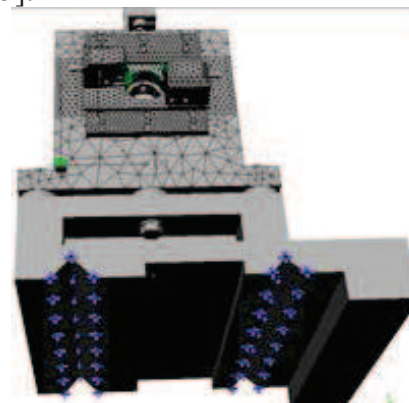


Рисунок 4. Расчетная модель комбинированного инструмента

Проведенный анализ показал, что существующая схема устройства для комбинированной обработки не обеспечивает в требуемой мере достаточно устойчивого силового состояния системы, элементы инструмента подвержены нагрузкам и, как следствие, имеют место их перемещения, что влечет образование погрешности обработки.

Результаты расчетов (рисунок 5) позволили разработать перспективную модель инструмента [1] с дисковым резцовым модулем (рисунки 6, 7 и 8), в основу которой заложено использование концепции дополнительного силового замыкания в процессе обработки деталей – принцип создания дополнительных замкнутых относительно детали контуров связи.

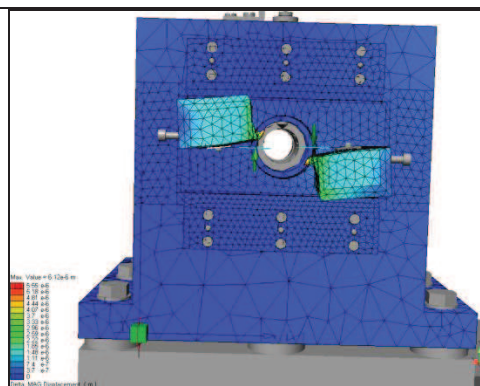


Рисунок 5. Результаты расчета деформации

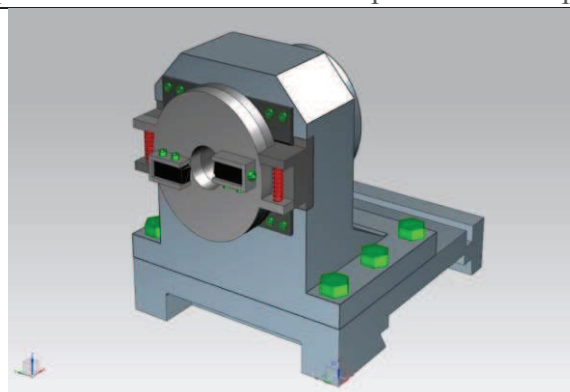


Рисунок 6. Перспективное устройство для комбинированной режуще-деформирующей обработки

Резцовый блок имеет две степени свободы, при этом в тангенциальном направлении применено дифференцированное демпфирование колебаний силы резания, а следовательно, и погрешности обработки.

При этом 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 не сразу, а по достижении определенной разностной составляющей силы резания на оппозитных резцах. Критерием определения величины этой составляющей является отсутствие смещения режущего модуля в направлении размерообразования.

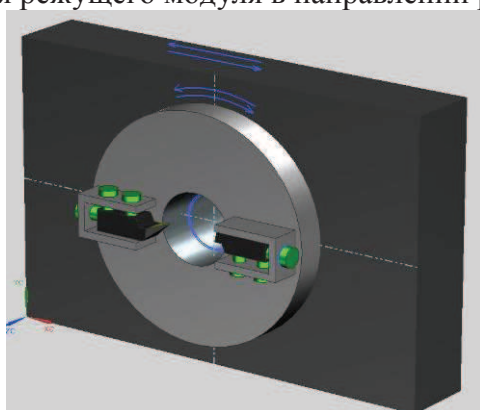


Рисунок 7. «Плавающий» резцовый блок с дополнительным тангенциальным контуром связи

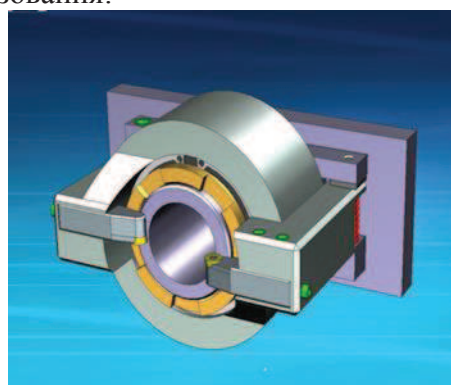


Рисунок 8. Пространственная модель режущего модуля с двумя степенями свободы

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

На основании изложенного разработан алгоритм расчета погрешности обработки в технологической системе комбинированной режуще-деформирующей обработки нежестких валов, который заключается в следующем:

- первоначально задаются исходные данные, к числу которых относятся технологические режимы ведения обработки, статические и динамические характеристики технологической системы, ее элементов;
- на первой итерации выполняется расчет силы резания (разностной составляющей) с учетом динамики процесса обработки, связанной с поперечными колебаниями детали под

действием перерезывающей силы;

- полученное значение подставляется в уравнение крутильных колебаний для определения угла поворота сечения детали и ускорения;
- на следующей итерации вновь рассчитывается разностная составляющая и сравнивается с критериальными значениями, на основании чего делается заключение о том, отработал ли первый тангенциальный демпфирующий элемент возможное смещение в направлении размерообразования;
- в случае, если разностная составляющая превысила установленное значение, рассчитывается сила превышения, которая поступает во второй блок сравнения;
- снова выполняются проверочные расчеты и определяется возможность смещения модуля в направлении размерообразования, опираясь на критериальные значения силы;
- и только на третьей итерации, после того, как демпфирующие способности всех трех элементов режущего модуля были превышены, рассчитывается величина погрешности обработки от оставшейся незадемпфированной разностной составляющей силы резания.

Величина углового смещения определяется по известной формуле

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

что учитывается в аргументе ω дальнейших расчетов постоянной и переменной составляющих сил резания:

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

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

Таким образом, мы имеем дело с параметрическими колебаниями, описываемыми уравнениями типа Матье-Хилла, т.к. аргумент зависит от функции, значение которой определяется этим аргументом. Аналитическое решение таких уравнений довольно трудоемко, поэтому на настоящем этапе для исследований процесса размерообразования и определения погрешности обработки были применены счетные возможности современных систем компьютерного инженерного анализа, которые не только позволяют оценить принципиальную работоспособность будущей конструкции, например, по условиям прочности, но и выполнить моделирование технологических процессов металлообработки.

Литература

1. Анкин А.В., Чебышев А.И. Тангенциальная компенсация крутильных колебаний заготовки в технологической системе комбинированной режуще-деформирующей обработки / Журнал Известия МГТУ «МАМИ», № 1 (19), т. 2, 2014.
2. Максимов Ю.В., Ветрова Е.А. Колебания поперечного сечения нежесткой детали типа полый цилиндр при комбинированной обработке резанием и поверхностным пластическим деформированием / Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», № 1(7), 2009, с. 124-127.
3. Анкин А.В., Максимов Ю.В. Способ комбинированной обработки резанием и ППД и устройство для его осуществления (авторское свидетельство) - № 1801737, В24В 39/02 Б.И. 10, 1994.
4. Анкин А.В., Максимов Ю.В., Матяш В.И. Математическое моделирование формообразования деталей класса нежестких валов. – «Вестник машиностроения», 1997, № 3, С. 27-30.
5. Анкин А.В. Тангенциальные колебания при совмещении резания и поверхностного пластического деформирования нежестких валов / Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», № 2 (14), т. 2, 2012.