7. R. Noebe, T. Biles, and S.A. Padula. NiTi-based high-temperature shape-memory alloys: properties, prospects and potential applications, in *Advanced structural materials: properties, design optimization and applications*, (ed. W.O. Soboyejo and T.S. Srivatsan); 2007, New York, Taylor & Francis Group.
8. Z. Zhang, J. Frenzel, K. Neuking and G. Eggeler. Vacuum Induction of Ternary NiTiX (X = Cu, Fe, Hf, Zr) Shape Memory Alloys Using Graphite Crucibles // *Materials Transaction*. – 2006. – PP. 661 – 669.
9. М.Ю. Коллеров, А.А. Ильин, И.С. Полькин, А.С. Файнброн, Д.Е. Гусев, С.В. Хачин. Структурные аспекты технологии производства полуфабрикатов из сплавов на основе никелида титана // *Металлы*. 2007. № 5. с. 77 – 85.
10. М.Ю. Коллеров, А.В. Александров, Д.Е. Гусев. Влияние шихтового материала и метода выплавки на структуру и эффект запоминания формы слитков сплавов на основе никелида титана // *Технология легких сплавов*. 2012. № 2. с. 87 – 93.
11. Y. Tong, F. Chen, B. Tian, L. Li, Y. Zheng. Microstructure and martensitic transformation of Ti49Ni51-xHfx high temperature shape memory alloys // *Materials Letters*. – 2009. PP. 1869 – 1871.
12. Касимцев А.В. Физико-химия и технология получения порошков интерметаллидов, тугоплавких соединений и композиционных материалов гидридно-кальциевым методом: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.16.06. – М: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2010. – 44 с.
13. А.В. Касимцев, Г.В. Маркова, А.В. Шуйцев, Ю.В. Левинский, Т.А. Свиридова, А.В. Алпатов, Изменение структуры при консолидации гид-ридно-кальциевых порошков интерметаллида TiNi // *Металлург* 2014. № 11. С. 108-114.
14. А.В. Касимцев, Г.В. Маркова, А.В. Шуйцев, Ю.В. Левинский, Т.А. Свиридова, А.В. Алпатов, Порошковый гидридно-кальциевый интерме-таллид TiNi // *Известия ВУЗов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. 2014. № 3. С. 31-37.
15. А.В. Касимцев, Г.В. Маркова, А.В. Шуйцев, Т.А. Свиридова, С.С.Володько. Изменение структуры и свойств порошкового гидридно-кальциевого никелида титана при ротационной ковке // *Технология легких сплавов*. 2016. № 3. С. 44 – 52.
16. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. Т. 2. Формование и спекание: Учебник для вузов / Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. – М.: МИСИС, 2002. – 320 с.

Грачев С.П.

Моделирование и анализ точности механической обработки методом конечных элементов

*ФГБОУ ВО Вятский государственный университет
(Россия, Киров)*

doi: 10.18411/sr-10-12-2017-09

idsp: 000001:sr-10-12-2017-09

Аннотация

В статье рассмотрен пример анализа точности обработки детали малой жесткости путем моделирования напряженно-деформированного состояния процесса механической обработки методом конечных элементов.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, точность обработки, метод конечных элементов.

Наиболее трудоемкий и ответственный этап подготовки производства нового изделия – этап технологической подготовки производства. Ошибки при выборе стратегических решений, определяющих операции технологических процессов, варианты конструкций оснастки, специального инструмента, в дальнейшем оборачиваются значительными экономическими потерями.

Использование методов математического моделирования, особенно на первых этапах технологической подготовки, уменьшает вероятность возможных ошибок, повышает качество работ, снижает затраты и сроки технологической подготовки.

Данная статья посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния процесса механической обработки детали малой жесткости, с целью оценки точности, получаемых после обработки размеров.

Деталь, в виде тонкого кольца, изготавливается из титанового сплава.

Особенностью данной детали является недостаточная жесткость, что необходимо учитывать технологу при расчете усилия зажима в оснастке и назначении режимов резания. В процессе растачивания центрального отверстия возникают недопустимые перемещения, выходящие за предел допуска на размер, что приводит к браку.

В остальном деталь достаточно технологична. Труднообрабатываемые поверхности для обработки и контроля отсутствуют. Имеются хорошие базы для установки и закрепления.

Для решения задач деформируемого твердого тела применяют программное обеспечение, основанное на использовании метода конечных элементов - САЕ системы.

Использование САЕ систем значительно ускоряет процесс компьютерного моделирования. Однако для выполнения конечно-элементного анализа конструкции необходимо хорошо понимать физику рассматриваемого процесса. В случае некорректно поставленной задачи, решения будут не точными или неверными.

Одним из первых этапов постановки задачи является создание идеализированной геометрической модели. Модель должна быть корректной и максимально простой.

Большое значение имеет качество сетки. Сетка низкого качества не позволит получить верный результат. Степень дискретизации должна быть оправдана целью.

Выбор программных средств моделирования и расчета конструкций является сложной задачей. Система должна иметь интуитивный интерфейс, для быстрого доступа ко всем элементам расчетной модели. Экономно использовать вычислительные ресурсы, проводить численное моделирование для разных модификаций и конечно-элементных моделей на основе одной исходной конфигурации.

Для конечно-элементного анализа использовалась модель, созданная в системе Solid Works. При создании эффективной расчетной модели была изменена исходная геометрия путем удаления и упрощения элементов конструкции (технологических отверстий, фасок, скруглений).

Исследования выполнялись в среде SW Simulation.

Моделирование процесса резания производилось следующим образом.

Применялся статический анализ (Static Analysis). На модель детали накладывались силы, возникающие при закреплении в токарном патроне и соответствующие силы резания. Принятые ограничения приведены на рис. 1.

Составляющая усилия зажима W определялась из уравнения равновесия сил, возникающих при обработке наружной поверхности диаметром D_0 (наиболее нагруженного перехода).

Рис 1.

Уравнение равновесия имеет вид:

$$3 \cdot F_{\text{тр1}} \cdot \frac{D_3}{2} = \kappa \cdot P_z \cdot \frac{D_o}{2},$$

где $F_{\text{тр1}}$ - сила трения;

D_3 - диаметр закрепления;

D_o - диаметр обработки;

κ – коэффициент запаса, принимается $\kappa=2,5$;

P_z - составляющая силы резания по оси z.

Далее выполнялось разбиение модели на конечные элементы. Тип сетки – пространственные элементы (Solid Mesh).

Результаты визуализации конечно-элементного анализа представлены на рис. 2.

Рис. 2 – Визуализация конечно-элементного анализа: а - операция чернового растачивания; б - операция чистовое растачивание

Деформация детали находится в пределах зоны упругости. Максимальные деформации, возникающее в процессе обработки центрального отверстия на операции чернового растачивания, составляют 0,0488мм, а чистового растачивания - 0,0161мм. Поля допусков на размеры, согласно чертежа детали, равны соответственно 0,19 мм и 0,04 мм.

Это позволяет сделать вывод, что с учетом сделанных допущений, при выбранной схеме закрепления детали и назначенных режимах резания, размеры не выйдут за пределы поля допуска.

Таким образом, применение математического моделирования на начальных этапах технологической подготовки производства позволяет избежать возможных ошибок, сократить сроки и повысить качество технологической подготовки производства.

1. Технология машиностроения : учебник / А. А. Маталин. - 3-е изд., стер.. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 511
2. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в Solid Works Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010, 264 с.