

## **КОНИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Автор: Лукин Р.С.**

**Научный руководитель: д.т.н., профессор, Усаков В.И.**

*Сибирский федеральный университет*

В связи с бурным развитием за последние годы систем автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства в целом, а также с развитием инструментария численного моделирования в частности, появилась возможность повысить качественные характеристики на всех этапах производства таких сложных деталей как конические зубчатые колеса, полученные с помощью ресурсосберегающих технологий. Для данного исследования под ресурсосберегающими технологиями понимается холодная высадка с последующей индукционной закалкой и приработкой зубчатой пары с целью устранения такой трудоемкой операции как шлифовка. Целью данного исследования является создание системы проектирования конических передач из условия обеспечения эксплуатационных требований и требований к технологичности, реализуемых с помощью ресурсосберегающих технологий.

Совместное применение программ для автоматизированного построения и численного моделирования дает возможность получить деталь с заданными качественными характеристиками в кратчайшие сроки.

Краткие преимущества по сравнению с традиционными методами нарезания конических колес можно свести к следующим пунктам:

- снижается металлоотход;
- на выходе получается деталь, имеющая высокое качество поверхности (достоинство холодной высадки) и не требующие сложных операций по шлифовке;
- увеличивается прочность поверхностных слоев за счет наклепа, при этом волокна материала не перерезаются как при обработке резанием, а деформируются;
- при этом за счет предварительного уплотнения дислокаций значительно повышается эффективность последующей закалки (возрастает вязкость сердцевины, происходит переориентация и дробление зерен с последующим образованием благоприятной текстуры);
- Технология получения детали инвариантна к типу конической передачи с точки зрения направления зуба.

Современные средства компьютерного моделирования процессов ОМД позволяет провести полный анализ технологического процесса получения конической шестерни, а именно: рассчитать поля температур при предварительном подогреве заготовки до определенной температуры; штамповка с анализом наполняемости полости штампа, потребной силы деформирования, энергии деформирования, возможности возникновения дефектов в заготовке; по полученным результатам расчета штамповки рассчитать процесс нагрева с помощью ТВЧ и последующее охлаждение с закалкой поверхности.

Также с помощью дополнительных программных модулей (препроцессоров) имеется возможность автоматизировать построение модели в САД среде, что существенно повышает точность математической модели. А также автоматизировать проектировочные и проверочные расчеты с целью применения новейших

оптимизационных методов для полиструктурных существей. Такие инструменты по автоматизации проектирования позволяют существенно сократить объем перебираемых вариантов для численного расчета и служат так называемым «ситом» для входных данных.

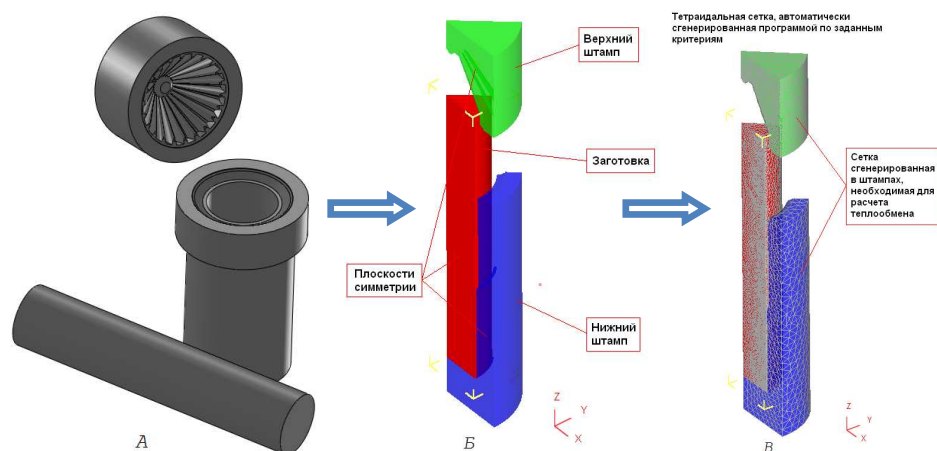


Рисунок 1 – Этапы моделирования

На рисунке 1 представлены этапы создания расчетной модели: *а* - по заданной геометрии шестерни в CAD среде строится ее трехмерная модель, по которой затем выполняется модель верхнего и нижнего штампа, а также рассчитывается размер заготовки с учетом отсутствия облоя при штамповке; *б* - затем создается расчетная модель состоящая из соответствующих сегментов деталей отсеченных плоскостями симметрии, угол между плоскостями выбирается из условий присутствия трех впадин зубьев в модели и угла между плоскостями более  $25^\circ$  для обеспечения правильности формы элементов. Для верхнего штампа описывается закон его движения (постоянная скорость для гидравлического пресса либо количество ударов и процент энергии удара для молота). Для штампа и заготовки выбирается модель материала с возможностью расчета теплопроводности; *в* - генерация сетки для расчетной модели, настройка контактного взаимодействия штампа с заготовкой связанная с выбором закона трения и погрешности расчета контакта, задание условий симметрии и поверхностей теплоотдачи.

Наибольший интерес для данной технологии составляют зубчатые передачи с малым модулем (до 2 мм) и средним углом главного конуса (более  $30^\circ$ ). Ниже представлены результаты моделирования и расчета для конической шестерни с углом конуса 45 градусов, средним модулем 1 мм и числом зубьев 22. Принималась температура детали  $200^\circ\text{C}$ , полученная с помощью объемного, индукционного подогрева. Теплоотвод осуществлялся через поверхности контакта инструмента. Шаг интегрирования был принят в размере 0,1 мм из условий обеспечения приемлемой скорости расчета. Верхний штамп совершал поступательное движение со скоростью 50 мм/сек, при этом на модель накладывалось условие прекращения расчета при расстоянии между штампами менее одного шага интегрирования. Для соприкасающихся деталей была принята модель трения для холодной формовки с постоянным коэффициентом трения 0,12, при этом расчетная погрешность контакта (расстояние между узлами после которого они считаются контактирующими) принята 0,01 мм. Для заготовки принята модель однородного, изотропного материала AISI-1045 для холодной формовки с расчетным диапазоном температур от  $20^\circ\text{C}$  до  $1370^\circ\text{C}$  при допустимой скорости деформирования до 40 1/сек. Для модели штампа принят материал AISI-H13. Модель заготовки задана как пластичная и не учитывает эффект

пружинения возникающий в детали после снятия нагрузки, модель штампа задана как абсолютно твердая.

После расчета (расчет составляет порядка 300 итераций) можно просмотреть различные зависимости величин, а также их эпюры на теле детали.

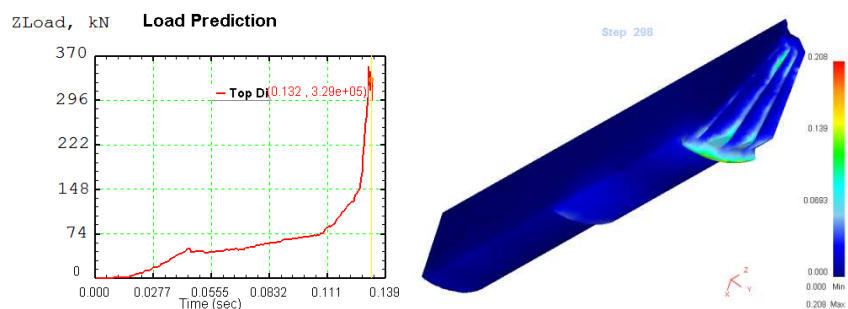


Рисунок 2 – Вертикальное усилие, кН; повреждения

На рисунке 2 представлены результаты расчета: слева показан график изменения вертикального усилия на верхнем штампе, служащий для оценки целесообразности применения оборудования по мощностному критерию; справа – повреждения в металле вследствие деформаций, помогающие спрогнозировать образование трещин в металле вследствие высокой скорости деформации.

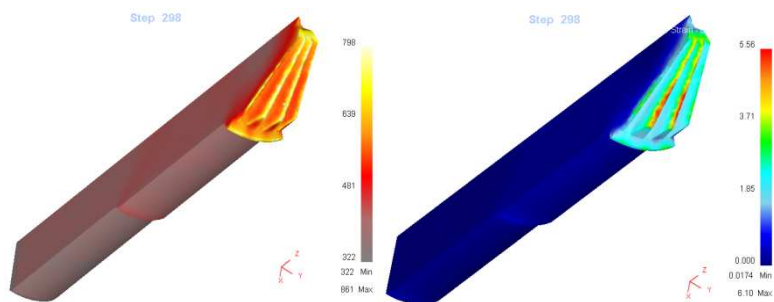


Рисунок 3 – Температура, °С; Эффективные деформации

На рисунке 3 показаны: слева – температурные поля возникающие из-за перехода механической энергии деформации в тепловую и как следствие приводящее к прогреву тела зуба, эта эпюра будет полезна для последующего анализа закалки зубьев с помощью ТВЧ; справа – эпюра эффективных деформаций.

Дополнительные средства контроля качества получаемого изделия, реализованные в программном пакете

- Возможность оценки износа инструмента, вследствие абразивного износа или усталостного выкрашивания с помощью средств для расчета инструмента;
- Оценка размеров и ориентации зерен для контроля качества стали;
- Возможность оценки преднапряженного состояния изделия для последующего прочностного анализа;
- Возможность оценки упрочнения, рассчитанного по заданной модели упрочнения, с последующим анализом твердости поверхности и сердцевины зуба шестерни;
- Анализ процесса закалки (в том числе и ТВЧ) и отпуска.

Рассмотренный способ синтеза модели, позволяет создавать высокоточные модели, с заданными качественными характеристиками и мощным инструментом контроля качества на всех этапах производства. При этом программные средства позволяют прогнозировать большинство как внешних (визуальных), так и внутренних

дефектов. Вкупе со специализированными программами по автоматизации проектирования и построения расчетных моделей это дает мощный и удобный инструмент для синтеза конических передач.