

Применение динамического моделирования для определения остаточных напряжений после алмазного выглаживания

**Авторы: Кирпичев В.А., Костичев В.Э.,
Михалкина С.А., Нагиев А.В.**

Разработана математическая модель оценки напряжённо-деформированного состояния упрочнённых методами поверхностного пластического деформирования деталей тепловых двигателей.

Эта модель учитывает нелинейность процессов поверхностного пластического деформирования, а также влияние технологических факторов и эксплуатационных нагрузок.

Она позволяет провести расчёт НДС от действия суммарных нагрузок как суммы рабочих и остаточных напряжений.

На основании математической модели с использованием расчётной системы ANSYS/LS-DYNA разработана комплексная методика анализа и оценки динамическим моделированием НДС деталей тепловых двигателей, учитывающая совместное действие технологических факторов, различные виды эксплуатационных нагрузок, режимы упрочняющей обработки. Обоснован выбор параметров расчётной модели, проведена оценка адекватности разработанных методик.

Решение поставленной задачи требует универсального подхода, позволяющего выполнять пошаговый расчёт, учитывающий сложные граничные условия и их изменение в процессе вычислений, а также изменение расчётной модели в пределах рассматриваемого шага расчёта.

Технология ANSYS LS-DYNA подходит для решения задач динамического взаимодействия твердых тел при средних или высоких нагрузках. Особенностью данного продукта является решение задач в явной постановке с учётом временного фактора, что позволяет детально исследовать процессы, протекающие в деталях при упрочнении методами поверхностного пластического деформирования, а также оценивать напряжённо-деформированное состояние деталей под действием нагрузок, описываемых сложными законами распределения по времени и соответствующих реальному рабочему циклу без существенных упрощений.

Для реализации поставленных задач с использованием метода динамического моделирования разработана комплексная методика анализа и оценки НДС коленчатых валов тепловых двигателей, включающая в себя реализованные в расчётной системе ANSYS/LS-DYNA методики, а именно:

1. методика расчёта напряжённо-деформированного состояния деталей, упрочнённых различными методами поверхностного пластического деформирования;
2. методика расчёта напряжённо-деформированного состояния упрочнённых деталей под действием рабочих нагрузок;
3. методика расчёта приращения предела выносливости по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений.

Методика расчёта напряжённо-деформированного состояния деталей, упрочнённых различными методами поверхностного пластического деформирования

Данная методика заключалась в создании модели заготовки и элементов технологической оснастки, инструмента и оборудования, а также в описании граничных условий по времени, наиболее точно отражающих процесс упрочнения. Кроме этого, методика включает в себя выбор и задание параметров, влияющих непосредственно на динамическую составляющую расчётов. Цель создания данной методики - определение остаточных напряжений в поверхностном слое при упрочнении каким-либо методом поверхностно-пластического деформирования, для обеспечения возможности определения среднеинтегральных остаточных напряжений и расчёта приращения предела выносливости.

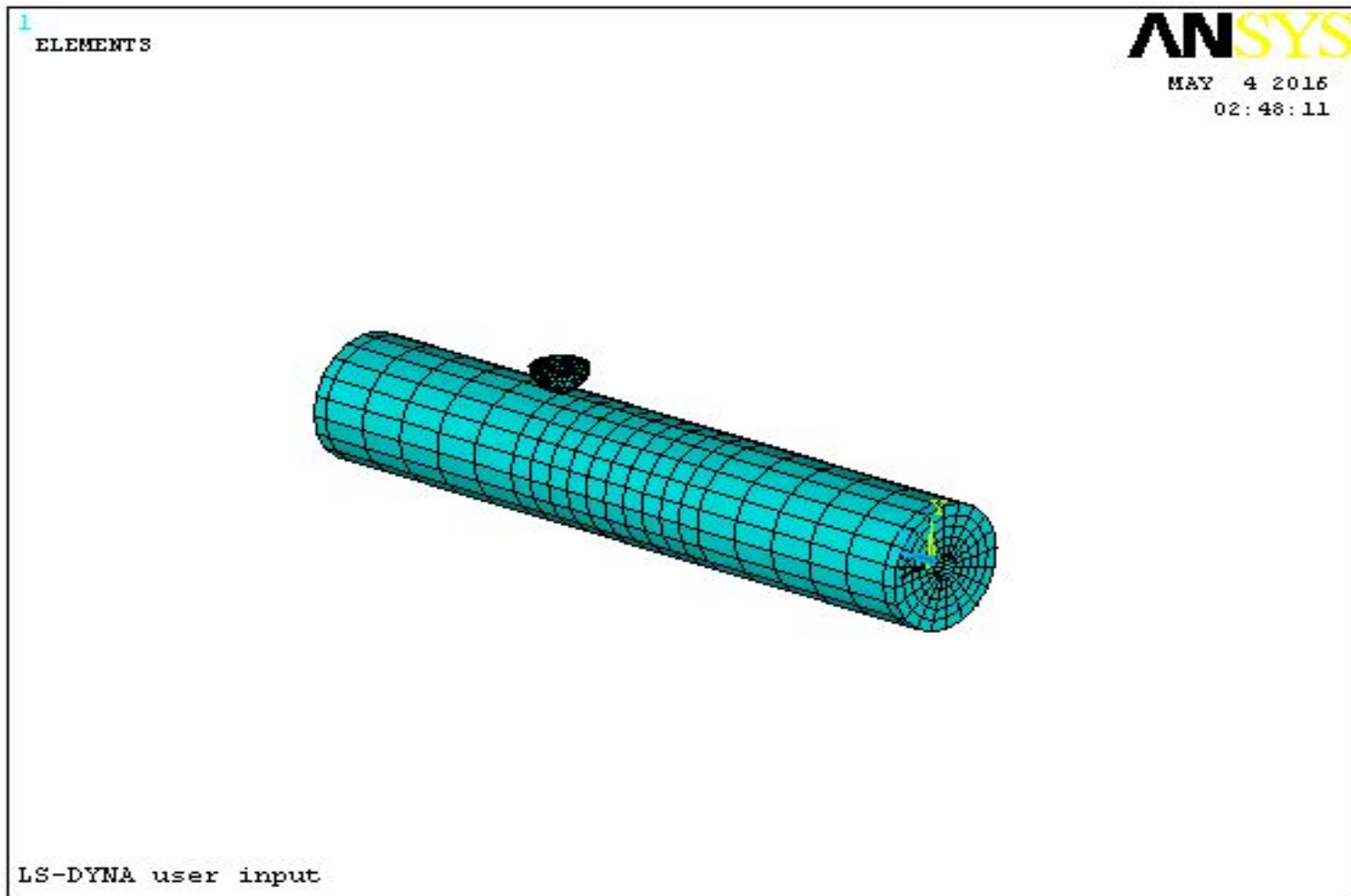
Оценка достоверности разработанной комплексной методики анализа и оценки напряжённо-деформированного состояния детали

Оценка достоверности разработанной методики определения остаточных напряжений в поверхностном слое после упрочнения производилась моделированием упрочнения поверхности стандартных цилиндрических образцов различными методами поверхностного пластического деформирования. Достоверность результатов расчётов подтверждена сравнением с экспериментальными данными, полученными другими авторами.

- Исследования проводились на цилиндрических образцах диаметром $D = 10$ мм. Усилие выглаживания – 0,1 кН. Упрочнение методом выглаживания выполнялось алмазным наконечником с профильным радиусом – 2 мм, продольной подачей 0,05 мм/об и частотой вращения образца – 160 мин^{-1} . Материал образцов – сталь ЭИ961, имеющая следующие механические характеристики

Предел текучести σ_T , МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %
992	1090	11,3	67,4

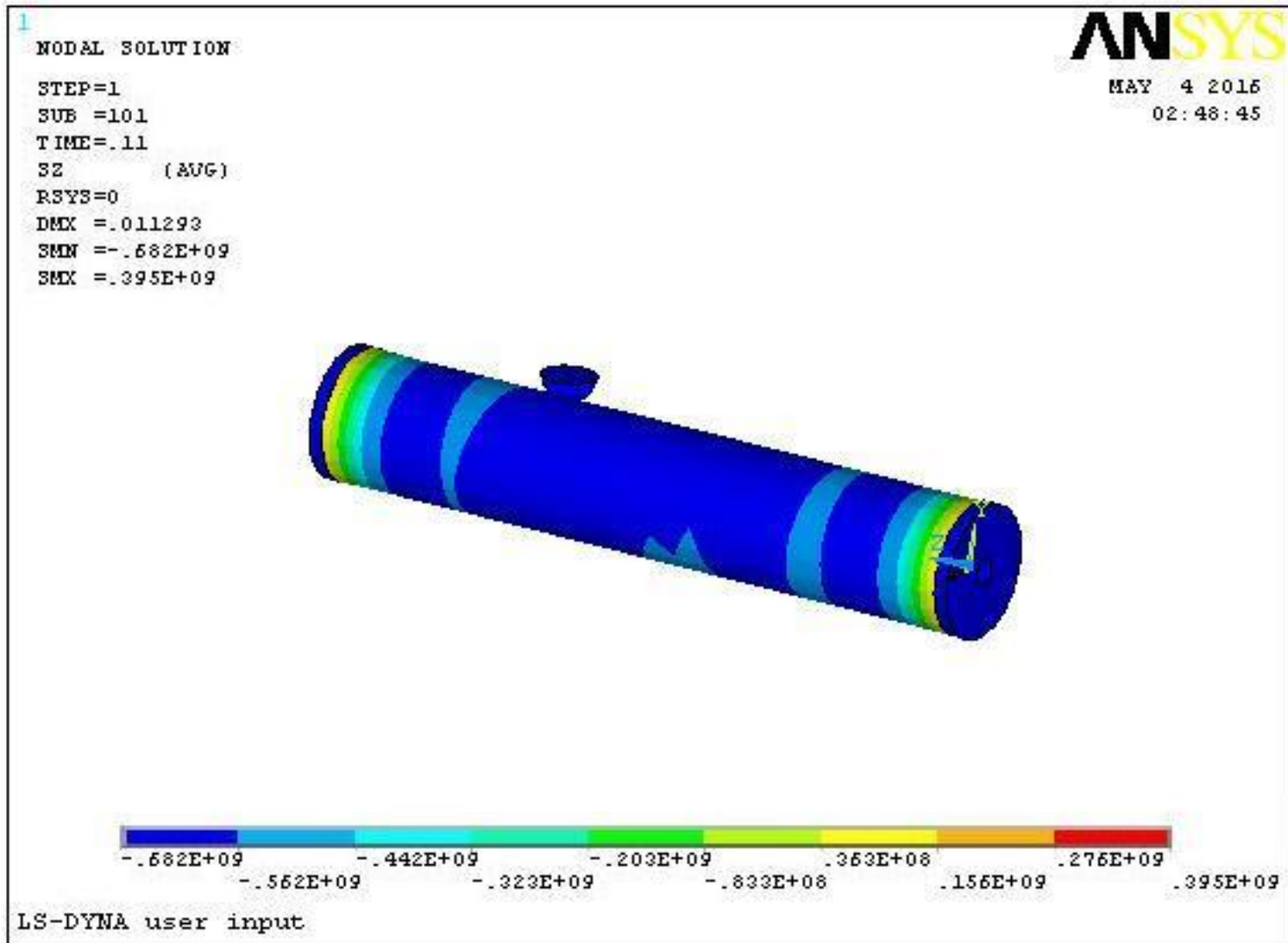
Конечно-элементная модель процесса упрочнения цилиндрической детали алмазным выглаживанием



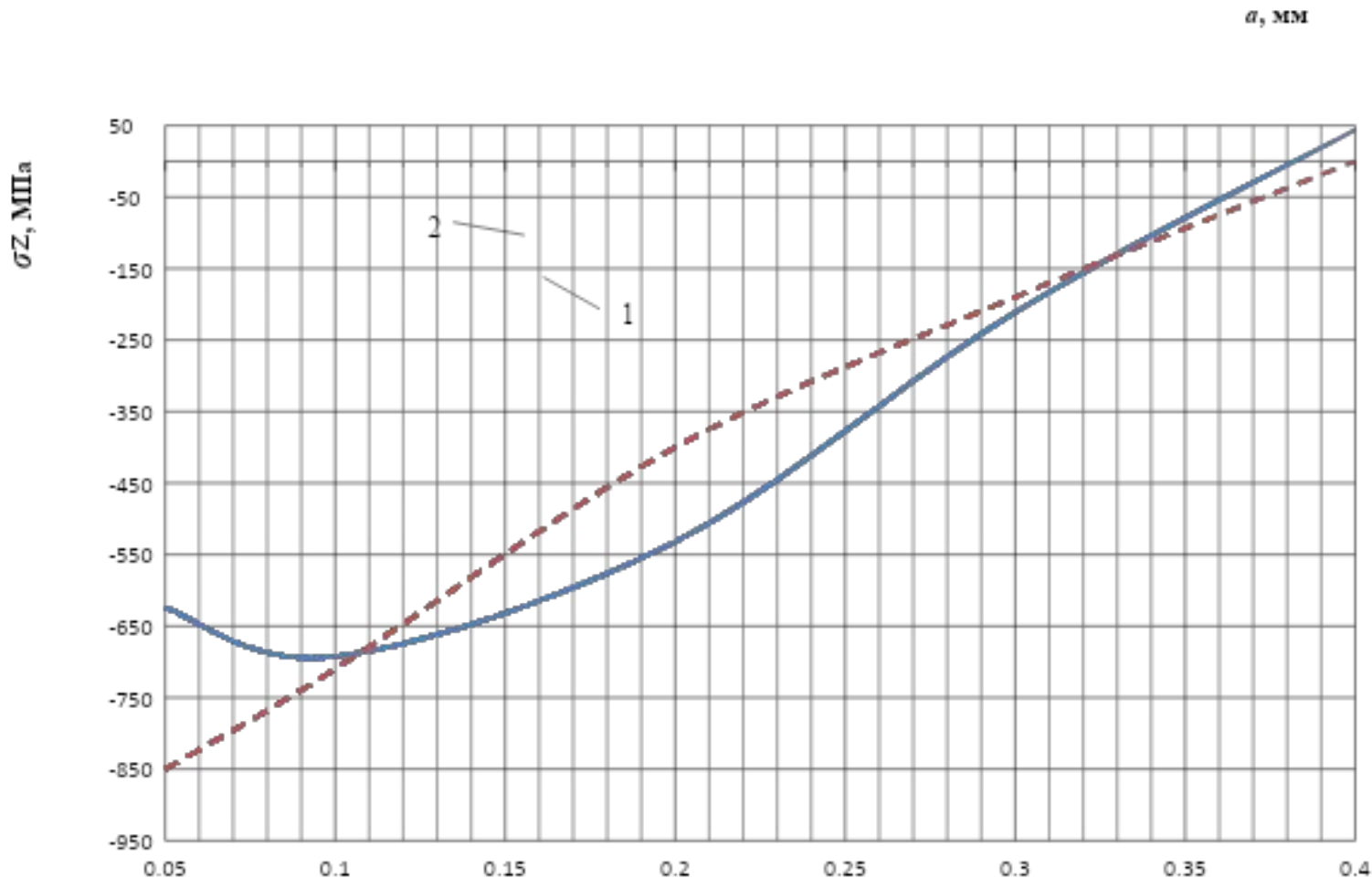
Для описания граничных условий создавались массивы времени, усилия обкатки, вращения заготовки и перемещения алмаза. Так как алмаз имеет продольную подачу, а частота вращения заготовки 160 мин^{-1} , то для обкатки участка образца длиной 5 мм потребуется 10-12 секунд. Массивы для задания граничных условий упрочнения алмазным выглаживанием с продольной подачей представлены в таблице 2.

Время процесса, сек	Усилие обкатки, Н	Частота вращения, рад/с	Продольное перемещение алмаза, мм
0	0	0	0
0,01	10	16,7	0,001
10	100	16,7	5
10,1	0	0	5

Напряжённно-деформированное состояние цилиндрической детали после упрочнения



Распределение осевых остаточных напряжений σ_z по толщине поверхностного слоя цилиндрического образца после алмазного выглаживания: 1 – расчётная эпюра; 2 – эксперимент



СРАВНЕНИЕ РАСЧЁТА И ЭСПЕРИМЕНТА

Параметры	Критическая глубина нераспространяющейся трещины $t_{кр}$, мм	Максимальные сжимающие ОН на глубине 0,05 мм σ_z , МПа
Испытания	0,19	-790
Расчёт	0,216	-675

Анализ результатов показал, что погрешность определения максимальных остаточных напряжений сжатия на глубине 0,05 мм по сравнению с испытаниями составляет не более 15%. Объясняется это тем, что процесс упрочнения производился с использованием СОЖ, что не учитывалось при моделировании процесса выглаживания.

Результаты данной работы позволяют без проведения дополнительных испытаний производить оценку влияния режимов алмазного выглаживания на остаточные напряжения в поверхностном слое.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!