

Применение МКЭ-моделирования в расчетах пластических свойств упрочняемого металла в процессах ППД

В.Ю. Блюменштейн
д.т.н., профессор

Эксплуатационные свойства и долговечность деталей машин в существенной мере зависят от качества поверхностного слоя, включая микрогеометрию, упрочнение и остаточные напряжения. Упрочнение в условиях холодной деформации определяется схемой напряженно-деформированного состояния очага пластической деформации, где существенную роль играет среднее нормальное напряжение σ . Среднее нормальное напряжение равно одной трети суммы главных напряжений или одной трети первого инварианта тензора напряжений. При этом под гидростатическим напряжением понимают среднее нормальное напряжение, взятое с противоположным знаком.

Исследования ведущих ученых показали, что высокое среднее нормальное напряжение позволяет накапливать в упрочняемом материале большие деформации без его разрушения. Об этом свидетельствуют диаграммы пластичности металлов. Так, степень деформации сдвига (пластичность), накопленная металлом к моменту разрушения, в зависимости от показателя схемы напряженного состояния, равного $\Pi = \sigma/T = -1,0$ (где T – интенсивность касательных напряжений), составила: для стали 20 – $\Lambda_p \sim 3,3$; стали 45 – $\Lambda_p \sim 2,6$; стали 12Х18Н10Т – $\Lambda_p \sim 5,6$; стали 30ХГСА – $\Lambda_p \sim 5,1$. При увеличении гидростатического напряжения предельные накопленные деформации существенно возрастают. В максимально возможной мере использовать высокое гидростатическое напряжение удастся в процессах равноканального углового прессования (РКУП), комбинированного воздействия интенсивной пластической деформацией и термической обработки, кручения с наложением высокого гидростатического давления и др. Анализ результатов исследований процессов поверхностного пластического деформирования (ППД) свидетельствуют о стремлении авторов получить в очаге деформации схемы с максимальными сжимающими напряжениями.

Цель работы – исследование процессов ППД и оценка влияния гидростатического напряжения в очаге пластической деформации на упрочнение металла. Автором проведены теоретические исследования процессов ППД с использованием метода конечных элементов (МКЭ) и показана роль гидростатического напряжения в накоплении деформаций и исчерпании запаса пластичности. Исследованию подлежали процессы ППД образцов из стали 45 (ГОСТ 1050-88 *HV160-180*): обкатывания торovým роликовым инструментом в наследственной постановке, размерного совмещенного обкатывания и обкатывания мультирадиусным инструментом – 4-х радиусным роликом.

По результатам моделирования выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния и оценка накопленной деформации сдвига и степени исчерпания запаса пластичности в зависимости от среднего нормального напряжения. Показано, что создание в очаге деформации сложного напряженно-деформированного состояния с преобладающим высоким гидростатическим напряжением позволяет накапливать большие деформации без разрушения металла поверхностного слоя.

Развитие методов ППД возможно путем реализации схем, создающих мощную гидростатику, и позволяющих существенно повысить ресурс обрабатываемых деталей.