

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОРШНЕВОМ ПАЛЬЦЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Вовк Л. П.

Донецкий национальный технический университет
Автомобильно-дорожный институт

В роботі розглянуті питання визначення комплексу механічних характеристик поршневого пальця, як пружньо-пластичного тіла. Розроблено кінцево-елементну схему розрахунку, яка дозволяє визначати поля контактних напружень на поверхні пальця. Представлені відповідні графічні залежності.

Нагрузка на поршневой палец изменяется с большой частотой и носит характер, близкий к ударному. Высокие температуры и контактные давления в бобышках поршня приводят к тому, что палец работает в условиях полужидкостного трения. Это ухудшает условия работы и увеличивает износ трущихся пар. Таким образом, работоспособность таких ответственных деталей в большой степени зависит от уровня контактных напряжений, для определения которых в каждом конкретном случае приходится решать контактную задачу. Решение таких задач, как правило, осложняется влиянием нелинейных факторов: упругопластических свойств материала, неоднородностью деталей, эффектами динамического взаимодействия, геометрической нелинейностью и т.д. Для расчета контактных напряжений применяют аналитические [1,2] и численные методы, среди которых наибольшее распространение получил метод конечного элемента [3-5]. Применяется также метод фотоупругости [4,5], однако такой метод хорошо работает для плоских моделей и не позволяет исследовать пространственные задачи.

Механические характеристики материала в процессе технологической обработки изменяются сложным образом, деталь становится неоднородной, а контроль качества таких изделий связан со сложными микроструктурными исследованиями. Оценка несущей способности неоднородных деталей связана с определением зависимостей комплекса механических характеристик от глубины (или другого характерного размера) и использовании этой информации в прочностном расчете.

Поршневые пальцы изготавливают из углеродистой или низколегированной стали и подвергают цементации на глубину от 0,5

мм до 2 мм. Глубина закалки достигает 2 мм с твердостью 58 - 65 HRC. В соответствии с особенностями работы поршневого пальца должен иметь прочную и вязкую сердцевину и твердую трущуюся поверхность. Для определения зависимостей механических характеристик от глубины цементации воспользуемся безобразцовым методом [6,7]. Суть метода заключается в ударном вдавливании конического индентора с углом 90° в предварительно отшлифованную поверхность поршневого пальца с торца на различной глубине. В процессе испытаний экспериментально определяли перемещение, скорость и ускорение индентора специальным прибором [6,7] и пересчитывали значения механических характеристик по методике многомерного корреляционного анализа.

Результаты испытаний представлены на рис.1.

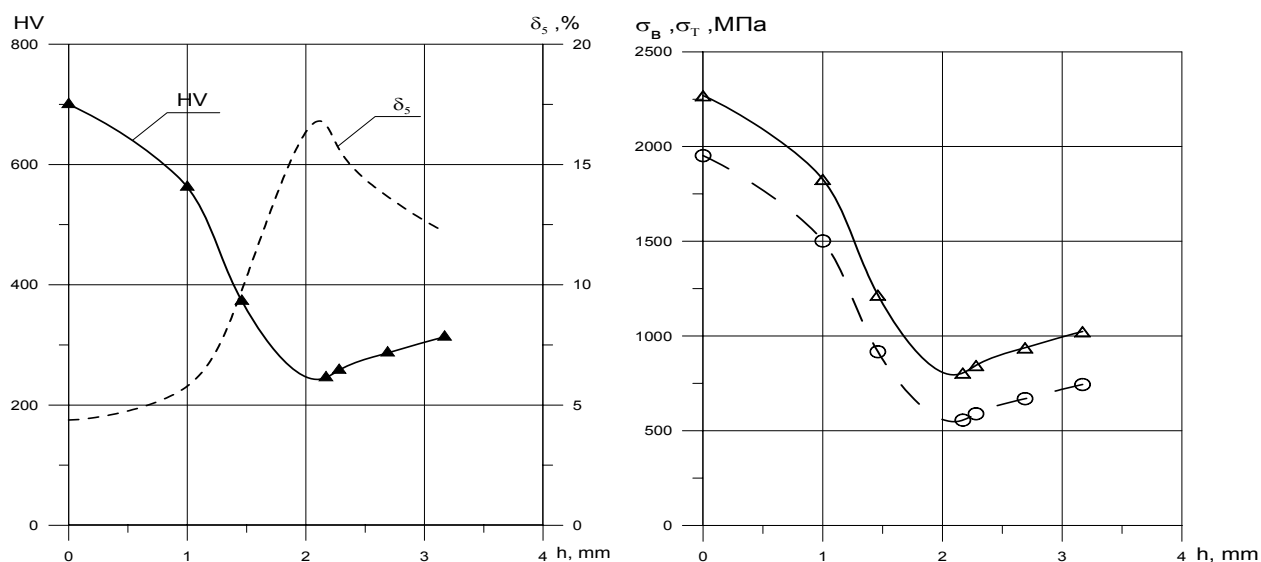


Рис.1. Зависимости твердости HV, относительного удлинения после разрыва δ_5 , пределов текучести σ_T и прочности σ_b от глубины цементованного слоя

Как видно из графиков поверхность поршневого пальца имеет самые высокие значения твердости HV, пределов текучести σ_T и прочности σ_b и самое низкое значение пластичности (относительное удлинение после разрыва) δ_5 . Далее по мере роста глубины прочностные характеристики падают, а показатели пластичности растут. Такое изменение характеристик наблюдается до середины стенки пальца, то есть до глубины 2 мм.

Теперь рассмотрим задачу об определении напряженно-деформированного состояния поршневого пальца, как неоднородного

упругопластического тела, работающего в контакте с упругопластическим материалом бобышек поршня и головки шатуна. В декартовой системе координат ось Z направим вдоль оси поршневого пальца. Ось Y направлена вертикально, нагрузка, зависящая от времени, действует вдоль оси Y . В силу симметрии рассмотрим $1/4$ часть задачи, как показано на рис.2. Первоначальный контакт имеет место по линии вдоль образующей цилиндров, затем поверхность контакта увеличивается и подлежит определению. Сверху на бобышку поршня действует распределенная нагрузка, интегральная величина которой P_{\max} равна разности силы давления газов при сгорании и сил инерции.

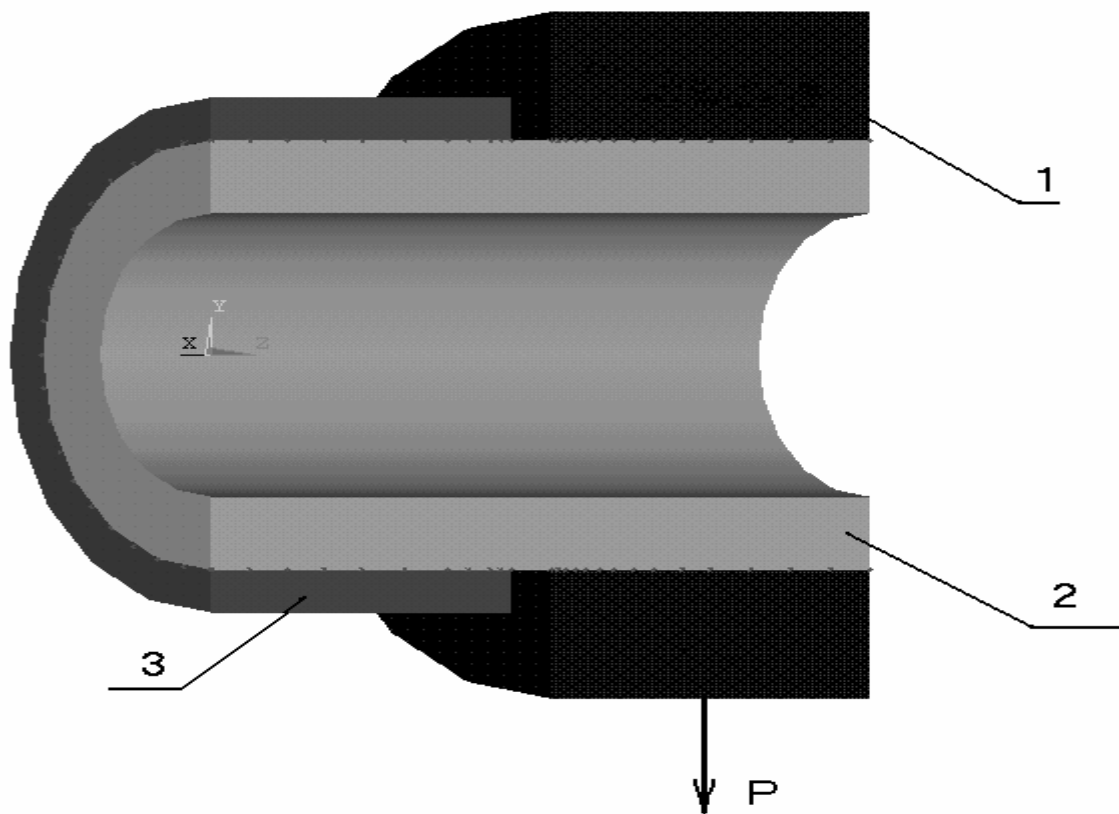


Рис.3. Схема нагружения поршневого пальца (1 - бобышка поршня; 2 – поршневой палец; 3 – головка шатуна).

Материал поршневого пальца – сталь 45, подвергнутая цементации с последующей закалкой ТВЧ, $E_{\text{пн}}=2.05e+11$ Па, $\nu_{\text{пн}}=0.3$ (коэффициент Пуассона). Механические характеристики пальца изменяются по глубине, как показано на рис. 1 и 2. Материал бобышки – алюминиевый сплав, $E_6=0.7e+11$ Па, $\nu_6=0.34$. Материал головки шатуна – бронза, $E_6=1.1e+11$ Па, $\nu_6=0.34$.

Упругопластические характеристики материала бобышек и головки шатуна задаются пределом текучести и модулем упрочнения в соответствии с кривой деформирования.

Размеры зоны контакта и закон контактных напряжений заранее неизвестны, и их необходимо определить в результате решения задачи. Для предотвращения проникновения узлов одного тела внутрь другого между ними моделировали контактные элементы (общим числом более 36000). Для обнаружения условий проникновения задаются контактные узлы, а на поверхности поршневого пальца – контактные элементы. Вместе они образуют контактную пару. Контактный узел, попадая на поверхность контактного элемента скользит вдоль нее с коэффициентом трения μ . При вычислении контактных сил использовался известный метод штрафных функций. Жесткость контактных элементов была принята равной жесткости первого слоя основания.

В рамках теории малых упругопластических деформаций уравнения движения системы конечных элементов при заданных граничных условиях решали по схеме Ньюмарка.

Связь перемещений и деформаций устанавливается зависимостями Коши, а между напряжениями и деформациями устанавливается в виде кусочно-линейных зависимостей с кинематическим упрочнением и критерием текучести по условию Мизеса.

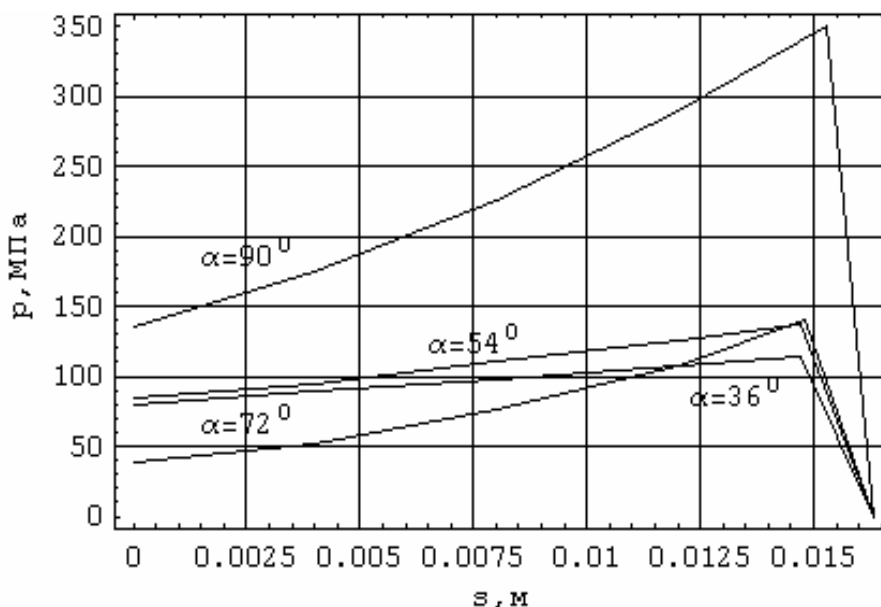


Рис.3. Зависимость контактных напряжений между поршневым пальцем и головкой шатуна по длине зоны контакта (0 – середина головки) $\alpha=90^\circ, 72^\circ, 54^\circ, 36^\circ$.

Результаты решения задачи об определении напряженно-деформированного состояния поршневого пальца получены в виде полей напряжений, деформаций и перемещений в численном виде. Зависимости контактных напряжений на поверхности пальца в головке шатуна показаны на рис.3. Здесь рассмотрены продольные сечения пальца, при этом значению угла $\alpha = 90^\circ$ соответствует вертикальная плоскость. Анализ этих графиков показывает, что нелинейные свойства материала перераспределяют контактные напряжения, действующие в различных сечениях. При нагружении палец изгибается, а его сечения теряют форму окружности и овализируются. Это приводит к изменению эпюры контактных напряжений.

Зависимости контактных напряжений, возникающих на поверхности пальца в зоне контакта с бобышкой, показаны на рис. 4. Здесь также рассмотрены продольные сечения пальца и характер возникающих контактных напряжений в этих сечениях.

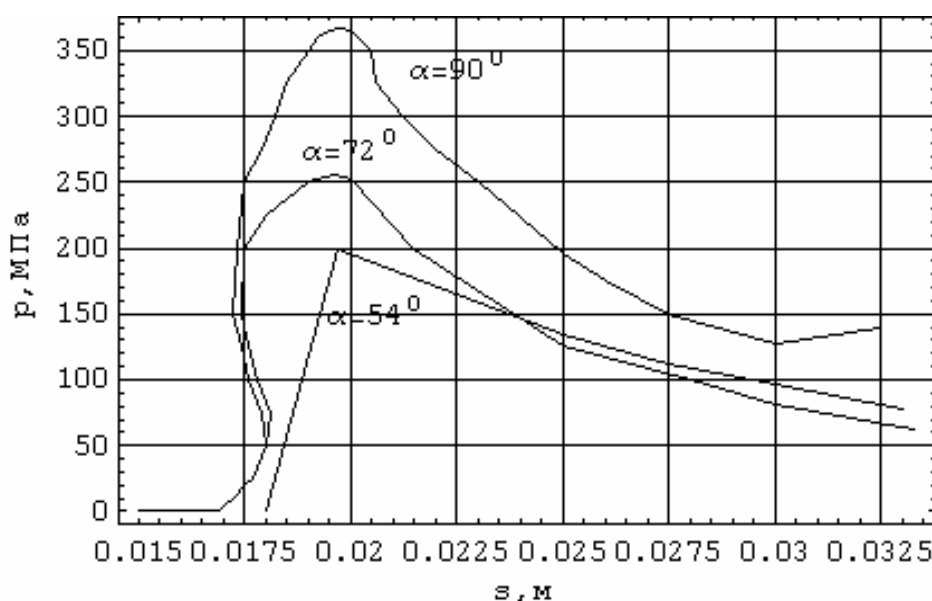


Рис.4. Зависимость контактных напряжений между поршневым пальцем и бобышкой поршня по длине зоны контакта $\alpha=90^\circ, 72^\circ, 54^\circ$.

Анализ результатов расчета показывает, что выбранная схема расчета и ее конечноэлементная реализация позволяет достаточно точно прогнозировать напряженно-деформированное состояние поршневого пальца в динамической пространственной постановке с учетом упругопластических свойств материала.

Литература:

1. Александров В.М., Кадомцев И.Г., Царюк Л.Б. Осесимметричные контактные задачи для упругопластических тел // Трение и износ.- 1984.- Т.1.- №1.- С.16-26.
2. Александров В.М., Ромалис Б.Л. Контактные задачи в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1986.- 176 с.
3. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях.- М.: Машиностроение. -1986.- 224 с.
4. Дроздов Ю.Н., Наумова Н.М., Ушаков Б.Н. Определение контактных напряжений в шарнирных соединениях //Вестник машиностроения.- 1997. -№8.- С.21-24.
5. Дроздов Ю.Н., Наумова Н.М., Ушаков Б.Н. Контактные напряжения в шарнирных соединениях с подшипниками скольжения // Проблемы машиностроения и надежности машин. -1996.- №1.
6. Беленький Д.М., Бескопыльный А.Н. Измерение вектора механических свойств материала деталей машин // Вестник машиностроения.- 1997.-№8. - С.44-47.
7. Беленький Д.М., Бескопыльный А.Н. Измерение механических свойств материала деталей машин и элементов конструкций // Заводская лаборатория. -1994. -№8.- С.47-50.