

УДК 62-85:539.319

Д.Т. Анкудинов, Л.Т. Раевская

Уральский государственный лесотехнический университет

Анкудинов Дмитрий Тимофеевич родился в 1931 г., окончил в 1956 г. Уральский государственный политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 214 печатных работ в области исследования кинематики и динамики пневматических двигателей.
Тел.: (343) 224-25-16



Раевская Лариса Трофимовна родилась в 1947 г., окончила в 1970 г. Уральский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 41 печатную работу в области исследования кинематики и динамики пневматических двигателей.
E-mail: raevskaya@usfeu.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПНЕВМОМОТОРА

Исследовано влияние параметров сечения ребра жесткости на характеристики напряженно-деформированного состояния поршня пневмомотора.

Ключевые слова: пневмомоторы лесного комплекса, метод конечных элементов ANSYS, конструктивные параметры.

Аксиально-поршневые пневмомоторы серии ДАР компактны, поскольку не имеют кривошипно-шатунного механизма, а оси вращения кулачкового ротора и движения поршня расположены параллельно. Их габариты и масса в 1,5–2,0 раза меньше, чем у моторов других конструкций и принципов действия при той же мощности. Двигатели серии ДАР могут быть рекомендованы для применения в машинах и оборудовании лесного комплекса и деревообрабатывающей промышленности. В настоящее время чаще всего используют пневмомотор ДАР-14М с характеристиками: мощность 10 кВт; частота вращения (номинальное значение) 400 об/мин; давление воздуха в газовой магистрали 0,5 МПа. Поршни пневмомотора литые, изготовлены из сплава АК7М2 (плотность $\rho = 2,8 \text{ г/см}^3$, модуль упругости 1-го рода $E = 71000 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,31$ [1]).

Анализ показал, что 80 % отказов пневмомоторов происходит из-за разрушения поршней, 12 % – кулачкового диска ротора, 4 % – пластмассовых заглушек цилиндров и т. д. Низкая долговечность алюминиевых поршней приводит к необходимости поиска наиболее конструктивных параметров этих деталей.

Появление инженерных программных комплексов, таких как МКЭ (метод конечных элементов) ANSYS, позволяет моделировать конструкции поршней, исследовать напряженно-деформированное состояние и подбирать наиболее рациональные параметры. Математическое моделирование позволяет разработать и внедрить новые более точные методики расчета и рационализации деталей пневмомоторов.

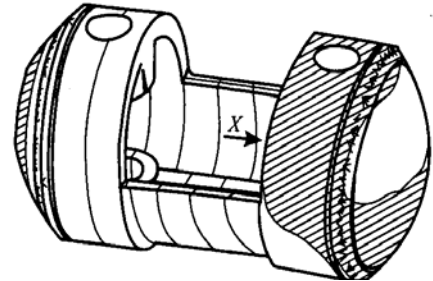


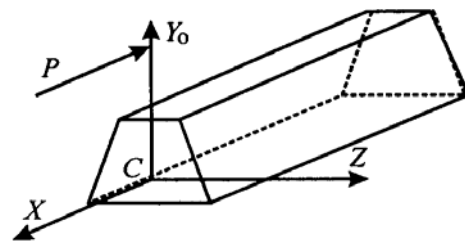
Рис. 1. Смещение точек в направлении, перпендикулярном оси поршня

Ранее было показано [2], что одной из причин появления трещин в области разрушения поршня пневмомотора является то, что он кроме растяжения – сжатия испытывает еще и деформацию изгиба, которая вызывает смещение точек торца поршня относительно оси Y , т. е. перпендикулярно оси поршня X , до $0,437E-05$ м (рис. 1). На рисунке ось Y направлена вверх. Смещение точек левого торца поршня происходит против этой оси. В области соединения ребра жесткости и опоры под поршневой палец появляются нормальные напряжения значительно выше средних, при этом верхняя часть ребра жесткости оказывается растянутой, а нижняя сжатой.

Причина возникновения деформации изгиба объясняется тем, что линия действия равнодействующей внешних сил P , которая совпадает с осью поршня, смещена относительно оси ребра жесткости на расстояние Y_0 , оставаясь параллельной этой оси (рис. 2). Возникает внецентренное растяжение – сжатие, что, как известно, приводит к появлению в сечениях ребра жесткости не только нормальной силы, но и изгибающего момента $M = PY_0$. В этом случае часть нормального напряжения, связанная с появлением изгибающего момента, по нашим оценкам, на порядок больше составляющей, связанной с нормальной силой. Очевидно, для уменьшения момента необходимо укоротить плечо Y_0 (при постоянном значении силы P). Это возможно, если изменить форму сечения ребра жесткости таким образом, чтобы его центр тяжести приблизился к оси поршня.

Нами исследовано влияние параметров ребра жесткости на характеристики напряженно-деформированного состояния (НДС). Определяли параметры, при которых смещения, нормальные напряжения и деформации становятся меньше существующих в данном поршне в настоящее время. Для решения этой сложной задачи привлекали численные методы.

Рис. 2. Ребро жесткости: C – центр тяжести сечения; X – ось ребра жесткости; Y_0 – координата точки приложения силы P



Геометрическую модель поршня создавали в программе ANSYS. При расчете использовали конечно-элементную модель с произвольной сеткой конечных элементов, состоящей из 10-точечных тетраэдрических элементов (элемент SOLID92 в библиотеке конечных элементов ANSYS). В программном файле ANSYS последовательно меняли параметры сечения – основания трапеции a и b – в пределах от 4 до 20 мм. Для каждого набора параметров a , b была построена модель поршня и рассчитаны нормальные напряжения в направлениях координатных осей и плоскостях XY , YZ , ZX , а также главные нормальные напряжения. Вычислены упругие деформации в тех же направлениях и плоскостях, абсолютные смещения точек поршня в направлениях координатных осей и суммарные смещения. В поршне пневмомотора ДАР-14М длина ребра жесткости 60 мм, сечение, перпендикулярное его оси, имеет геометрическую форму трапеции с верхним основанием $a = 8$ мм и нижним $b = 16$ мм. Высота всех видов сечений задана одинаковой, равной исходному значению 15 мм. Это связано с движением кулачкового ротора, который при вращении не должен задевать ребро жесткости. Для некоторых сечений масса ребра жесткости несколько возрастала, но увеличение было столь мало по сравнению с массой поршня, что им пренебрегали (при массе поршня 1,65 кг наибольшая поправка за счет изменения ребра жесткости составила 0,6 %).

В табл. 1 приведены девять наборов параметров сечения, для которых получены наиболее значимые результаты. Номером 1 обозначено существующее в пневмомоторе ДАР-14М сечение ребра жесткости.

Результаты вычисления нормальных напряжений для разных сечений ребра жесткости приведены на рис. 3. Как видно, наиболее чувствительны к изменениям напряжения вдоль оси поршня X и оси Y , остальные слабо зависят от модификации ребра жесткости. Кроме того, нормальные напряжения сечений поршня с ребром под номером 9 ($a = 20$ мм, $b = 4$ мм) существенно меньше исходных. Для относительных упругих деформаций и смещений точек поршня наибольшие изменения были получены также в направлениях X , Y .

Наименьшие напряжения по осям X , Y , Z и в плоскости XY получены для сечения номер 9, YZ – для сечений 4, 8, 9, XZ – для сечений 6, 7, 9. Таким образом, наиболее эффективными оказались сечения 9 и 7, а также 4, 6 и 8.

Таблица 1

Номер сечения	a , мм	b , мм	Номер сечения	a , мм	b , мм
1	8	16	6	16	16
2	12	12	7	16	20
3	12	16	8	20	12
4	16	12	9	20	4
5	20	8			

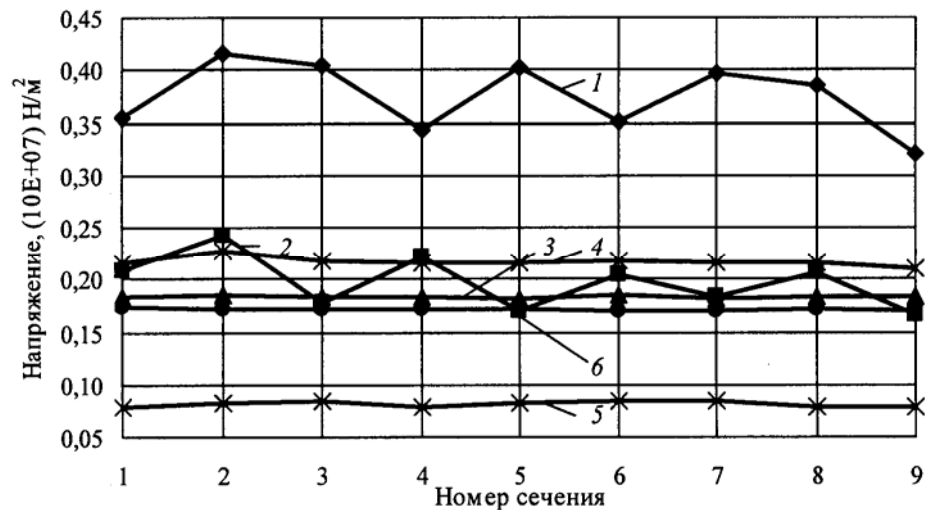


Рис. 3. Нормальные максимальные напряжения для разных наборов параметров сечения в направлениях координатных осей X (ряд 1), Y (ряд 2), Z (ряд 3) и в плоскостях XY (ряд 4), YZ (ряд 5), ZX (ряд 6)

Упругие наименьшие деформации получены вдоль оси X для сечения 9, относительно осей Y , Z – для сечения 7, в плоскости XY – для сечения 7, YZ – для сечения 8, XZ – для сечения 6. Эффективными оказались сечения 9, 7, а также 6, 8.

Наименьшие перемещения точек поршня вдоль осей X , Y получены для сечения 8, вдоль оси Z – для сечения 7, суммарное – для сечения 8. По параметру «смещение» более удачными оказались сечения 7, 8, менее – прямоугольное сечение 2, в котором практически все напряжения и упругие деформации оказались наибольшими, хотя смещения меньше существующих у поршня пневмомотора ДАР-14М. У прямоугольного сечения 6 характеристики лучше, чем у сечения 2. У пяти сечений (номера 2, 3, 5, 7, 8) нормальное напряжение вдоль оси поршня X превышает наблюдаемое в двигателе ДАР-14М. Из девяти сечений два имеют прямоугольную форму (номера 2, 6), три (1, 3, 7) – форму трапеций с верхним основанием меньше нижнего, остальные – форму перевернутой трапеции. Последние оказались самыми эффективными, поскольку их центр тяжести приближен к оси поршня.

Сечения с номерами 2, 9 не увеличивают массу поршня (их площадь равна площади существующего сечения, т. е. сечения под номером 1), что предпочтительно.

В табл. 2 приведены некоторые наиболее значимые результаты, которые показывают уменьшение максимальных нормальных напряжений, упругих деформаций и перемещений точек в моделях поршней с новыми параметрами ребер жесткости.

Таблица 2

Напряжение, параметры сечения, мм	Изменение напряжения, %	Упругая деформация, параметры сечения, мм	Изменение деформации, %	Смещение, параметры сечения, мм	Изменение смещения, %
$\Delta\sigma_X / \sigma_X$; $a = 20; b = 4$	9,86	$\Delta\varepsilon_X / \varepsilon_X$; $a = 20; b = 4$	11,84	$\Delta U_X / U_X$; $a = 20; b = 12$	7,45
$\Delta\sigma_Y / \sigma_Y$; $a = 20; b = 4$	20,09	$\Delta\varepsilon_Y / \varepsilon_Y$; $a = 16; b = 20$	11,81	$\Delta U_Y / U_Y$; $a = 20; b = 12$	7,50
$\Delta\sigma_Z / \sigma_Z$; $a = 16; b = 20$	1,60	$\Delta\varepsilon_Z / \varepsilon_Z$; $a = 16; b = 20$	1,10	$\Delta U_Z / U_Z$; $a = 16; b = 20$	6,80
$\Delta\sigma_{XY} / \sigma_{XY}$; $a = 20; b = 4$	2,78	$\Delta\varepsilon_{XY} / \varepsilon_{XY}$; $a = 16; b = 20$	0,56	$\Delta U_{\Sigma} / U_{\Sigma}$; $a = 20; b = 12$	7,49

Выводы

Наилучшими параметрами сечения ребра жесткости можно было бы признать $a = 20$ мм, $b = 4$ мм, при которых максимальное нормальное напряжение вдоль оси Y уменьшается более чем на 20 %, а упругая деформация на 11,84 %. Но поршень рассматриваемого пневмомотора литой, и возникает проблема с его отливкой, так как ребро жесткости с упомянутыми параметрами имеет сечение в виде перевернутой трапеции.

Для сечения с параметрами $a = 16$ мм, $b = 20$ мм упругая деформация в направлении Y уменьшилась более чем на 11 %, что позволяет считать это сечение более предпочтительным.

Окончательный ответ на вопрос о наиболее эффективном сечении ребра жесткости давать преждевременно. Необходимо продолжить изучение данной проблемы методами оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, А.П. Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1966. – 431 с.
2. Раевская, Л.Т. Математическое моделирование динамических процессов в аксиально-поршневых пневмомоторах [Текст] / Л.Т. Раевская // Материалы IX Всерос. съезда по теоретической и прикладной механике. Т. III (Нижний Новгород, 22–28 авг. 2006). – Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2006. – С.181–182.

Поступила 24.04.08

D.T. Ankudinov, L.T. Raevskaya
Ural State Forest Technical University

Investigation of Design Parameters Influence on Deflected Mode of Air Motor

The influence of section parameters of reinforcing rib on characteristics of deflected mode of air motor piston is investigated.

Keywords: air motor of forest complex, finite-element method ANSYS, design parameters.