

УДК 621.01

Матюхин А. Ю.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННОГО АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ С ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

Кольцевые заготовки получили широкое распространение в машиностроительном и металлургическом производствах. Они могут представлять как собственно изделие, так и полуфабрикат, который подвергается дальнейшей обработке: механическим способом или способами пластического формоизменения (свободная осадка между двумя плитами, осадка заготовки в матрице или на оправке). Моделирование процессов пластического формоизменения позволяет определить напряженно-деформированное состояние деформируемого тела, спрогнозировать конечный результат той или иной операции.

Моделирование пластической среды с применением программного продукта Deform-3D, представлены в работах [1–2]. Авторами проведен анализ напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов, а также определены зоны опасных сечений. Показано влияние высоты осаживаемой заготовки на образование дефектов внутри отверстия, связанных с неоднородным пластическим течением. Метод конечных элементов получил широкое распространение при решении прикладных задач теории пластичности и упругости. Идея МКЭ заключается в том, что любую непрерывную величину можно аппроксимировать кусочно-непрерывной функцией, которая строится на значениях исследуемой величины в конечном числе точек рассматриваемых элементов [3].

В работе [4] представлено решение прикладной задачи теории пластичности по определению напряженного состояния при осадке полой цилиндрической заготовки полуобратным методом с использованием гармонических функций. Для аналитического решения данной задачи были определены граничные условия, исходя из общепринятых теоретических данных. Получены величины и характер распределения относительных контактных нормальных и касательных напряжений. Основные результаты приведенной работы можно свести к эпюрам распределения напряжений на контакте (рис. 1).

Целью работы является сопоставление полученных теоретических результатов аналитического решения осесимметричной задачи теории пластичности, изложенных в работе [4] с численным решением. Инструментом для решения поставленной задачи принят расчетный комплекс ANSYS, работающий на одном из численных методов – методе конечных элементов.

Используя передовые решения ANSYS, можно моделировать любой тип геометрии, или задач. Обеспечиваются производительность, глубокое исследование проблемы в кратчайшие сроки. Качественное создание математической модели объекта исследования (точность исполнения геометрии, реальные свойства используемого материала, закрепление модели, приложение всевозможных нагрузок) гарантирует большую точность полученных результатов. Расчетный комплекс ANSYS зарекомендовал себя как надежный, экономически выгодный инструмент во всех отраслях машиностроения и металлургии. ANSYS может заменять аналитические решения и практические испытания реализацией на математических моделях физических процессов.

Создана конечно-элементная модель исследуемого образца. Материал конструкции – сталь, $E=200$ ГПа, $\mu=0,3$, $\rho=7800$ кг/м³. Конечно-элементная модель представлена на рис. 2.

Результаты моделирования пластического формоизменения толстостенного полого цилиндра в осевом направлении при различных факторах формы представлены на рис. 3–6.

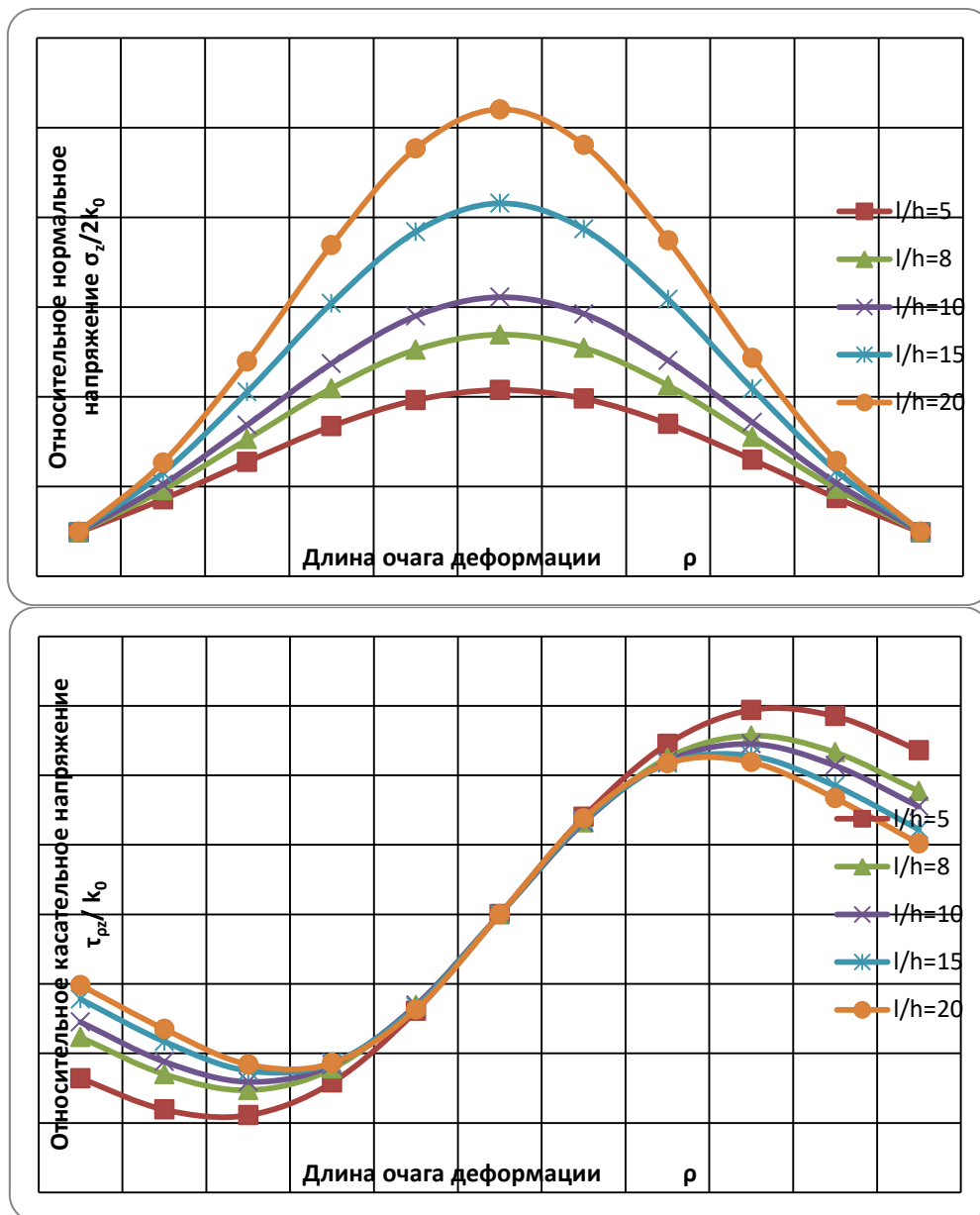


Рис. 1. Распределение нормальных и касательных контактных напряжений при коэффициенте трения $f=0,3$ и факторе формы $l/h=5,8,10,15,20$

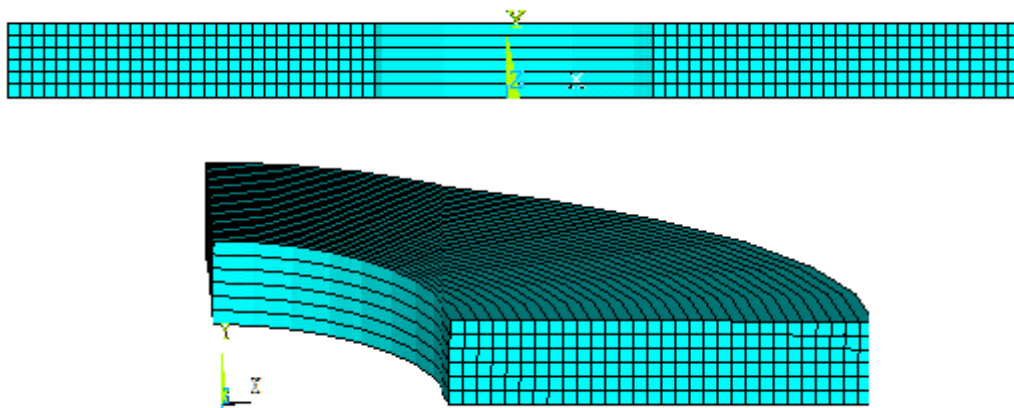


Рис. 2. Конечно-элементная модель

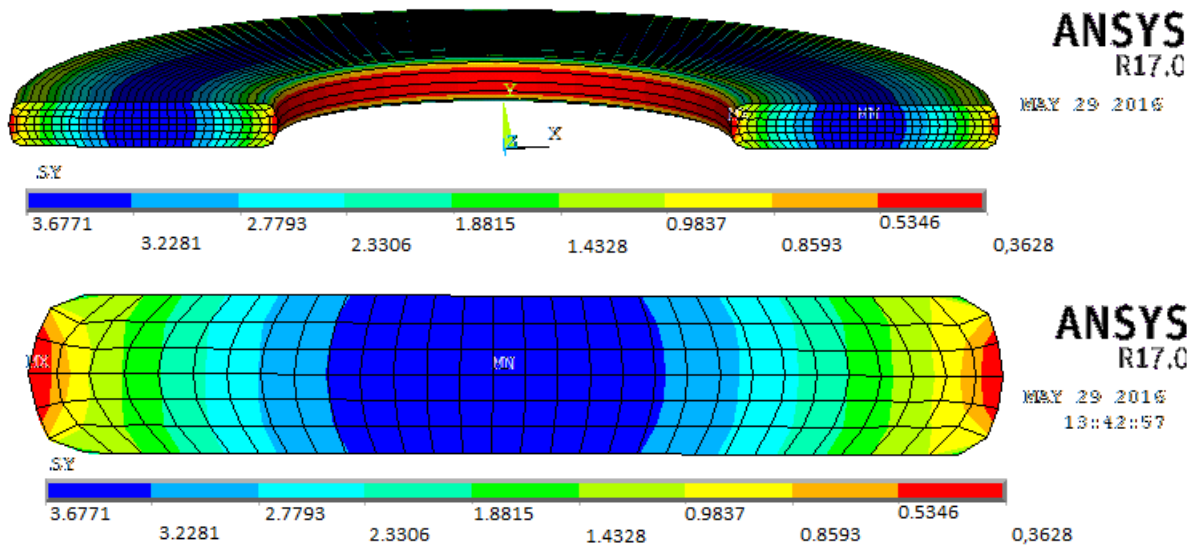


Рис. 3. Распределение нормальных контактных напряжений при коэффициенте трения $f=0,3$ и факторе формы $l/h=5$

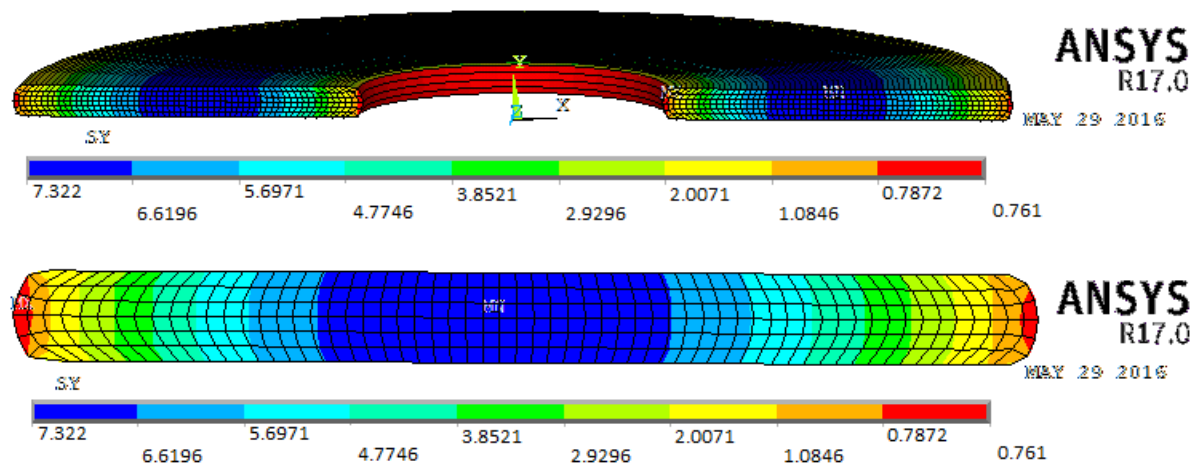


Рис. 4. Распределение нормальных контактных напряжений при коэффициенте трения $f=0,3$ и факторе формы $l/h=10$

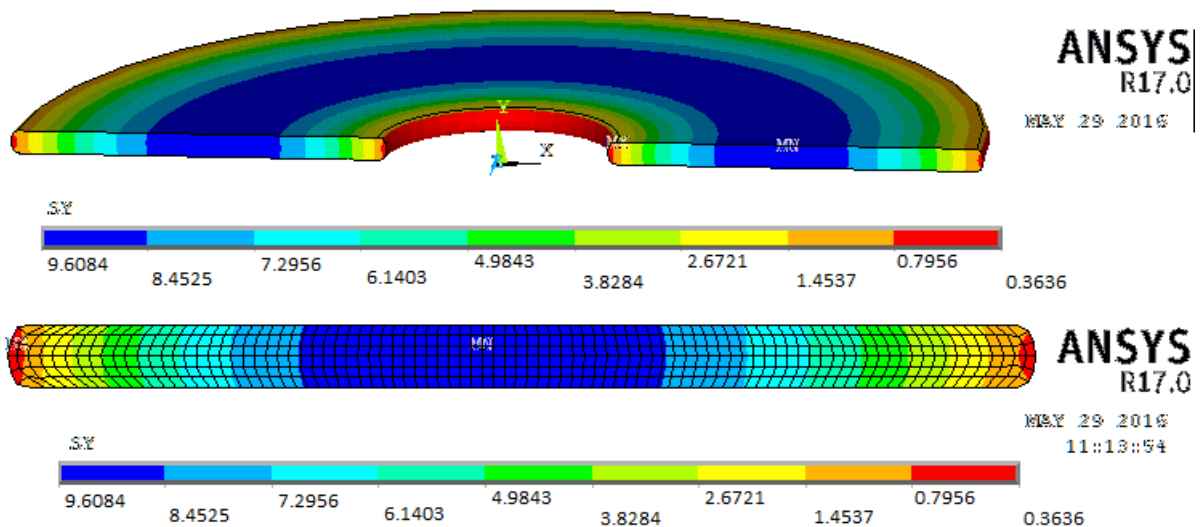


Рис. 5. Распределение нормальных контактных напряжений при коэффициенте трения $f=0,3$ и факторе формы $l/h=15$

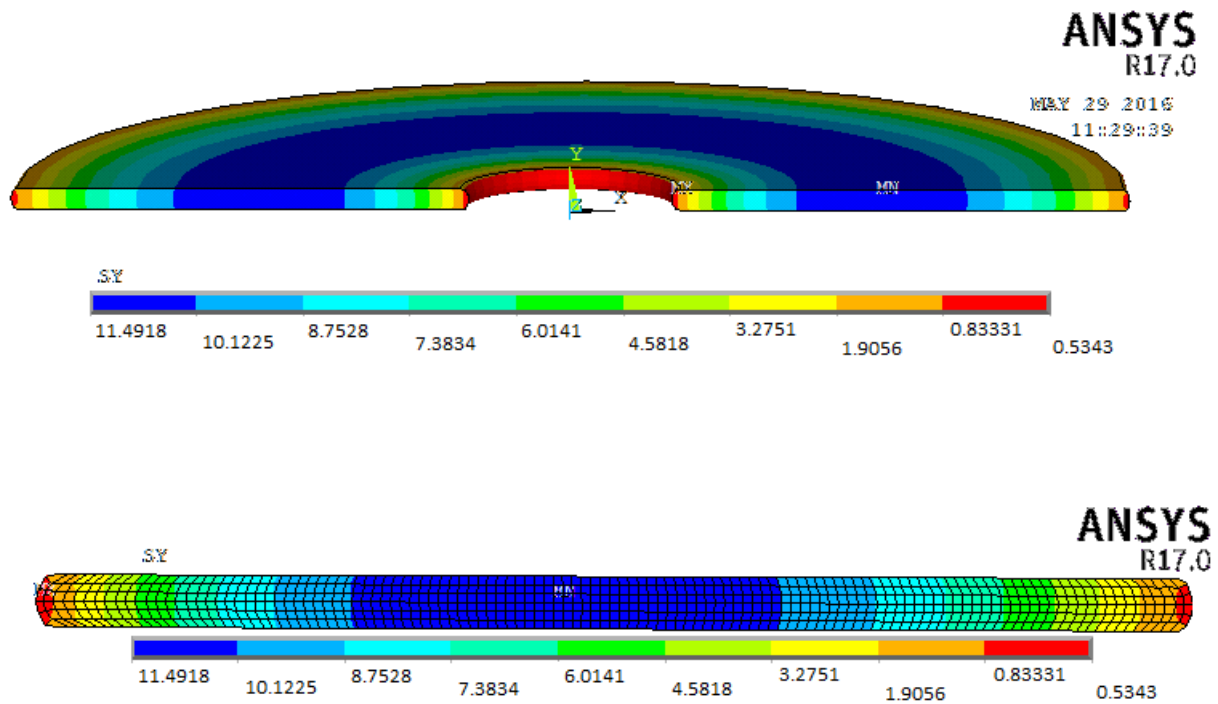


Рис. 6. Распределение нормальных контактных напряжений при коэффициенте трения $f=0,3$ и факторе формы $l/h=20$

Сопоставление результатов теоретического исследования и исследования методом конечных элементов в программе ANSYS представлено в табл. 1.

Таблица 1
Сопоставление значений относительных средних контактных напряжений при коэффициенте трения $f = 0,3$

l/h, (фактор формы)	P/σ_s , (относительное среднее контактное напряжение)		Разница сопоставляемых величин относительного среднего контактного напряжения	Относительная погрешность, %
	МКЭ, ANSYS	Метод гармо- нических функций		
5	1,839	2,05	0,181	8,83
10	3,661	3,2	0,461	14,4
15	4,804	4,32	0,484	11,2
20	5,746	5,4	0,346	6,41

Как видно из табл. 1 при сопоставлении значений средних нормальных контактных напряжений при коэффициенте трения, равным 0,3, полученных в результате моделирования процесса в программном продукте ANSYS, и наших теоретических значений, относительная погрешность не превышает 15 %, что является не плохим показателем.

ВЫВОДЫ

Для подтверждения полученных теоретических результатов по решению плоской задачи теории пластичности в цилиндрических координатах, представленных в работе [4], было проведено исследование методом конечных элементов на базе программного продукта ANSYS. Сравнительный анализ полученных решений показал, что относительная погрешность сопоставимых величин относительного среднего контактного напряжения не превышает 15%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добранюк Ю. В. *Моделювання за допомогою програмного комплексу Deform – 3D напружено-деформованого стану на бічній поверхні циліндричного зразка під час торцевого стиснення* / Ю. В. Добранюк, Л. І. Алієва, В. М. Михалевич // *Обработка металлов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 4 (25). – С. 3–10.*
2. Михеенко Д. Ю. *Анализ напряженно-деформированного состояния металла при образовании механической связи методом конечных элементов* / Д. Ю. Михеенко, А. А. Сатонин, В. В. Шевченко // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 505–508.*
3. Павленко І. В. *Метод скінчених елементів в задачах опору матеріалів і лінійної пружності* / І. В. Павленко. – Суми : СумДУ, 2006. – 147 с.
4. Чигиринский В. В. *Граничные условия при решении плоской задачи пластичности в цилиндрических координатах* / В. В. Чигиринский, А. Ю. Матюхин // *Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – Запорожье: ЗНТУ, 2014. – № 1. – С. 138–142.*

REFERENCES

1. Dobranjuk Ju. V. *Modeljuvannja za dopomoguju programnogo kompleksu Deform – 3D napruzhenodeformovanogo stanu na bichnij poverhni cylindrychnogo zrazka pid chas torceвого stysnennja* / Ju. V. Dobranjuk, L. I. Aliiva, V. M. Myhalevyh // *Obrabotka metallov davlenyem : sbornyk nauchnih trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2010. – № 4 (25). – S. 3–10.*
2. Myheenko D. Ju. *Analyz naprjazhenno-deformirovannogo sostojanyja metalla pry obrazovanuu mehanicheskoj svjazy metodom konechnih elementov* / D. Ju Myheenko, A. A. Satonyn, V. V. Shevchenko // *Udoskonalennja procesiv i obladnannja obrobky tyskom u metalurgii' i mashynobuduvanni : temat. zb. nauk. pr. – Kramators'k : DDMA, 2007. – S. 505–508.*
3. Pavlenko I. V. *Metod skinchenyh elementiv v zadachah oporu materialiv i linijnoi' pruzhnosti* / I. V. Pavlenko. – Sumy : SumDU, 2006. – 147 s.
4. Chygyrynskyj V. V. *Granychnie uslovyja pry reshenny ploskoj zadachy plastychnosti v cylyndrycheskyh koordynatah* / V. V. Chygyrynskyj, A. Ju. Matjuhyn // *Novie materyali y tehnologyy y mashyno-stroenny. – Zaporozh'e: ZNTU, 2014. – № 1. – S. 138–142.*

Матюхин А. Ю. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД ЗНТУ

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье.

E-mail: mco2005@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 22.02.2017 г.