

УДК 621.735.32, 004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ОСАДКИ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Антощенко Ю.М., д.т.н., профессор
Таупек И.М., аспирант (wert8608@mail.ru)

Старооскольский технологический институт, филиал НИТУ «МИСиС»
(309516, Россия, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, д. 42)

Аннотация. Возникающее в процессе осадки цилиндрических заготовок напряженно-деформационное состояние оказывает значительное воздействие на формирование необходимых потребительских качеств готовых изделий. Значительное влияние на итоговое распределение деформаций и напряжений оказывает исходное соотношение высоты и диаметра заготовки. В условиях реальной осадки произвести анализ состояния металла часто бывает затруднительно, а подчас просто невозможно, однако современные средства компьютерного моделирования позволяют проникнуть вглубь исследуемого процесса. Для проверки адекватности получаемых данных в системе Simufact Forming было произведено моделирование осадки трех образцов с различными соотношениями высоты и диаметра (H_0/D_0 : 3,75; 1,875; 1,25). Далее результаты моделирования (напряженно-деформационное состояние, течение металла, распределение энергосиловых параметров процесса) сравнивались с данными реальных процессов, описанных в литературных источниках. Полученные результаты позволяют сделать вывод о качественной сходимости произведенного моделирования с реальными процессами. Это дает возможность использовать полученную методику моделирования для дальнейшего анализа процессов обработки металлов давлением.

Ключевые слова: ковка, осадка плоскими плитами, распределение деформаций, напряженно-деформационное состояние, течение металла, моделирование, метод конечных элементов, МКЭ.

Возникающее в процессе осадки напряженно-деформационное состояние заготовки оказывает значительное воздействие на формирование необходимых потребительских качеств готовых изделий. В реальных условиях анализ состояния металла во время протекания процесса затруднен, а подчас является просто невозможным. Однако, с развитием современных способов и систем численного моделирования [1, 2], в руках исследователей появился мощный и доступный инструментарий, позволяющий проникать вглубь процессов во время их непосредственно осуществления.

Для проверки адекватности результатов моделирования в САПР SolidWorks [3] были созданы три цилиндрических образца со следующими соотношениями H_0/D_0 : 3,75; 1,875; 1,25 (D_0/H_0 : 0,27; 0,53; 0,8).

Далее построенные модели импортировались в систему моделирования Simufact Forming. Встроенная база данных материалов не содержит обширного сортамента отечественных марок сталей, поэтому при моделировании заготовкам были присвоены реологические свойства стали С45 (немецкий аналог отечественной стали 45), температура заготовки на момент начала деформации была принята равномерной по всему сечению и составляла 1200 °С. Для описания сил трения, возникающих между рабочим инструментом и поковкой, использовался закон Амонтона-Кулона, коэффициент трения составлял 0,3. Скорость перемещения верхней плиты была постоянной и составляла 50 мм/с. Итоговая степень деформации для всех трех образцов составляла 83,3 %.

Согласно данным, полученным в работах [4, 5], при осадке высоких образцов в них образуются различные зоны распределения деформаций, показанные на

рис. 1. Так, к рабочему инструменту примыкают зоны 1 – области затрудненной деформации, к ним примыкают зоны локализованной деформации 2, в которых действуют максимальные тангенциальные напряжения под углом 45° к оси образца. На боковых поверхностях появляются зоны 3, в которых возникают растягивающие напряжения (в данном случае таких зон две и они расположены в верхней и нижней частях заготовки). В центре заготовки образуется зона 4 с равномерным распределением наиболее высоких значений деформации (рис. 1, а). В начальной стадии процесса происходит «двойное бочкообразование», которое исчезает при продолжении процесса. При этом происходит слияние двух зон 3 в одну, а также переход зоны 4 в поверхностных слоях металла в зону 3, которая теперь остается единственной кольцевой зоной (рис. 1, б). Далее зона 4 полностью поглощается зонами 2, которые после объединения образуют общую, имеющую крестообразную форму (рис. 1, в). При дальнейшей осадке наблюдается развитие зон 1, которые до этого не претерпевали значительных изменений: значения деформаций в них были гораздо ниже, чем в других зонах. В финальной стадии процесса зоны 1 разделяются на 1', в которой значения деформаций так и остаются крайне небольшими, и окружающую ее 1'' с более высокими значениями. Также в эту область частично перемещается и зона 3, уже имеющая более высокие (по сравнению с 1') значения деформаций (рис. 1, г).

Описанные области не имеют резко очерченных границ и, в свою очередь, характеризуются неравномерностью деформации (зональной неравномерностью) [6].

Результаты компьютерного моделирования по распределению интенсивности деформаций в сечении за-

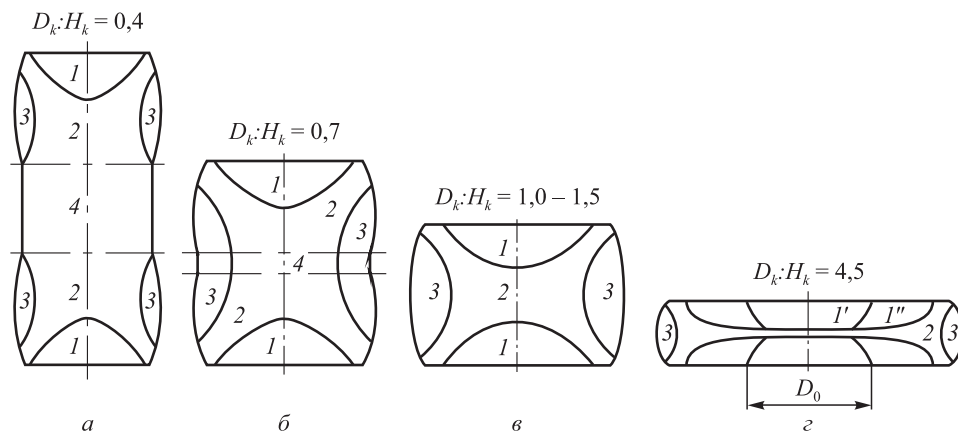


Рис. 1. Форма зон в объеме осаживаемого высокого цилиндрического образца

Fig. 1. Form of zones in the volume of high cylindrical sample during upsetting

готовки при осадке мало отличаются от литературных данных [4, 5].

Распределение интенсивности напряжений при осадке первого образца показано на рис. 2.

В начальных стадиях процесса наибольшие значения напряжений проявляются в зоне контакта плит и заготовки, это вызвано как более интенсивным остыванием заготовки вследствие теплообмена, так и силами трения, препятствующими течению поверхностных слоев металла в радиальном направлении. Также наблюдается возникновение очагов повышенных значений в местах образования очагов деформации под

зонами затрудненной деформации (рис. 2, а, б). При дальнейшей осадке происходит слияние этих очагов в один (рис. 2, в).

При дальнейшем процессе полученный очаг повышенных значений приобретает крестообразную форму, при этом также увеличиваются области с наибольшими напряжениями в зонах контакта заготовки с плитами (рис. 2, г, д). В финале процесса вышеупомянутые зоны практически соприкасаются, при этом в боковых областях наблюдаются наиболее низкие значения напряжений (рис. 2, е). Несмотря на более высокие значения интенсивности напряжений в местах

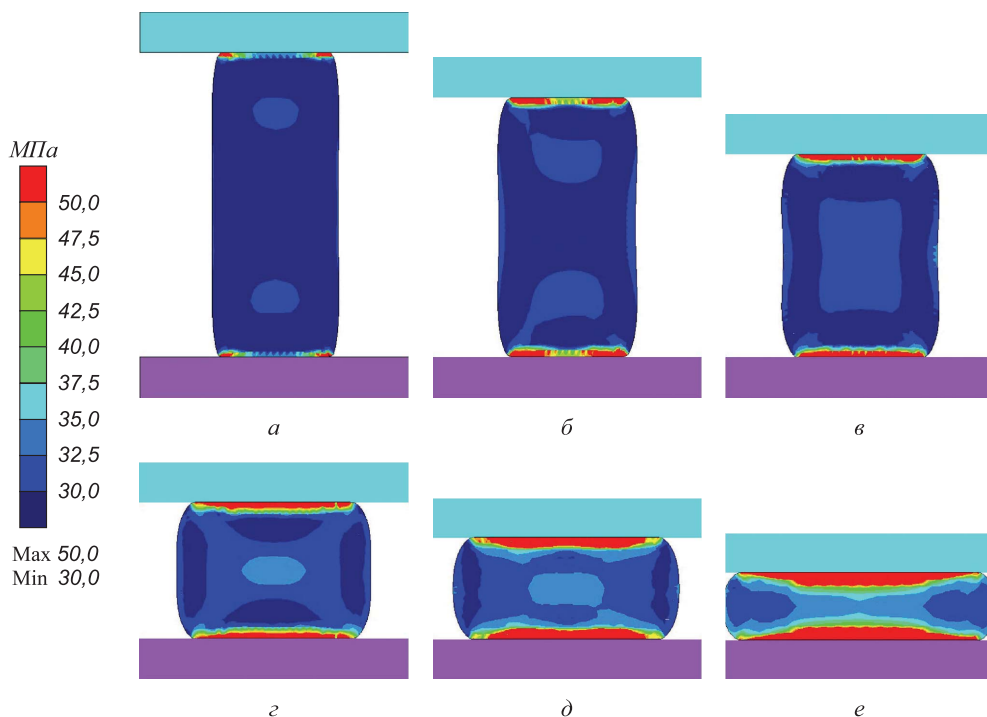


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений при осадке первого образца, %:
а – 25,0; б – 36,2; в – 50,0; г – 66,7; д – 75,0; е – 83,3

Fig. 2. Distribution of the effective stress at upsetting the first sample, %:
а – 25.0; б – 36.2; в – 50.0; г – 66.7; д – 75.0; е – 83.3

контакта металла с плитами, именно в данных областях образуются зоны затрудненной деформации. Подобная картина во многом вызвана силами контактного трения, которые затрудняют перемещение металла в радиальном направлении.

Распределение интенсивности напряжений второго образца, показанное на рис. 3, также отличается от данных первого образца. Как и при распределении деформаций, наблюдается изначальное формирование только одного очага повышенных значений, расположенного в центральной области (рис. 3, а). Максимальные значения интенсивности напряжений наблюдаются в виде кольцевой зоны, расположенной в местах контакта с плитами [7]. При дальнейшей осадке зона повышенных значений в центре постепенно увеличивается и приобретает крестообразную форму (рис. 3, б, в). Как и при осадке первого образца, происходит увеличение зон с максимальными значениями напряжений, расположен-

ных под плитами. При дальнейшей осадке происходит заполнение кольцевых зон максимальных значений и изменение их формы в куполообразную. Одновременно на границе данных зон (на этих местах до этого располагались области с минимальными значениями интенсивности напряжений) появляются области повышенных значений в виде их продолжения, которые превышают возникшие до этого напряжения в центральной области образца (рис. 3, з). Затем происходит смыкание данных областей и повышение значений интенсивности напряжений (рис. 3, д, е).

Распределение интенсивности напряжений при осадке третьего образца показано на рис. 4. Как видно, уже при сравнительно небольшой деформации в центральной области образца возникает область повышенных значений, ее местоположение соответствует началу распространения деформаций. При этом область также имеет крестообразную форму с максимальными

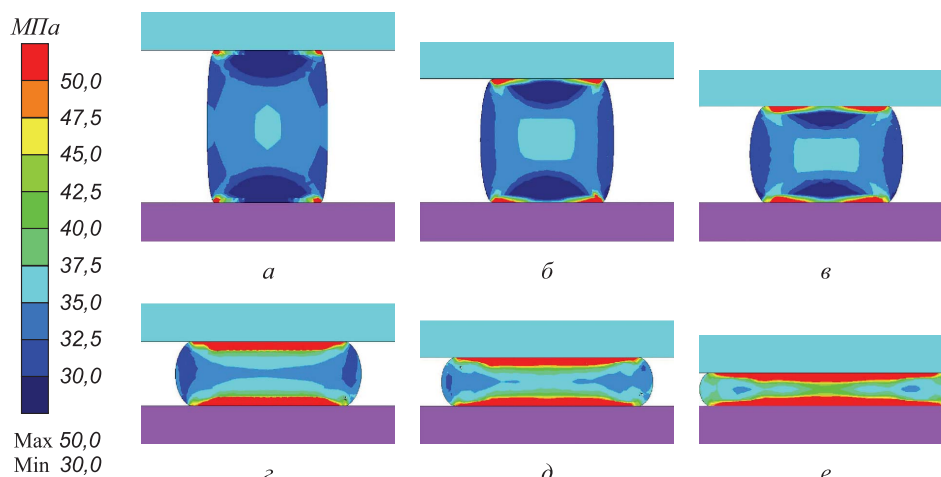


Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений при осадке второго образца, %:
а – 23,0; б – 36,7; в – 51,0; з – 67,3; д – 75,3; е – 83,3

Fig. 3. Distribution of the effective stress at upsetting the second sample, %:
а – 23.0; б – 36.7; в – 51.0; з – 67.3; д – 75.3; е – 83.3

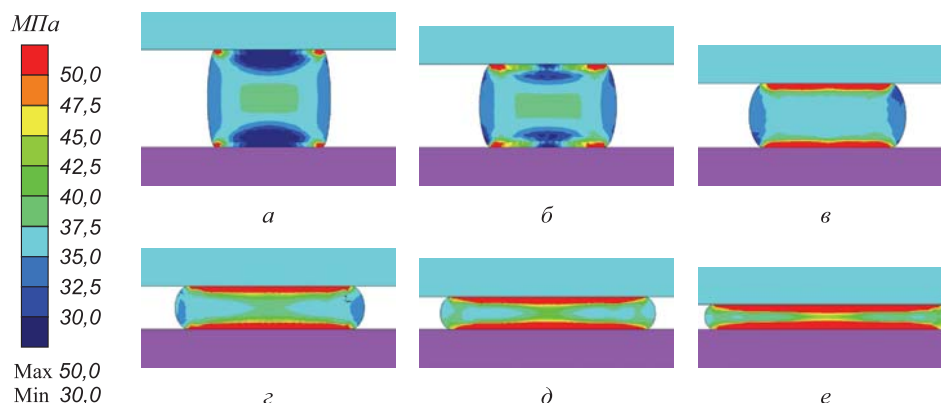


Рис. 4. Распределение интенсивности напряжений при осадке третьего образца, %:
а – 25,0; б – 36,6; в – 51,2; з – 67,2; д – 75,3; е – 83,3

Fig. 4. Distribution of the effective stress at upsetting the third sample, %:
а – 25.0; б – 36.6; в – 51.2; з – 67.2; д – 75.3; е – 83.3

значениями, расположенными в кольцевых областях в местах контакта с плитами. Непосредственно внутри кольцевых зон, под плитами, образуются зоны с минимальными значениями напряжений (рис. 4, а). При дальнейшей осадке данные области заметно уменьшаются, одновременно увеличиваются области с максимальными значениями (рис. 4, б). При относительной деформации порядка 50 % кольцевые зоны полностью заполняются и под плитами образуются сплошные зоны в виде сильно сплюснутых в вертикальном направлении куполов. Их окружают области с более низкими значениями сравнительно небольшого размера, которые переходят в центральную область с равномерным распределением напряжений (рис. 4, в). Дальнейшая осадка вызывает развитие переходных зон и их слияние в центральной области (рис. 4, з, д). При этом напряжение в центре продолжает возрастать вплоть до самого окончания процесса, но слияния зон с максимальными напряжениями, как у предыдущих образцов, не происходит (рис. 4, е).

Зависимость изменения удельных усилий осадки от перемещения верхней плиты показана на рис. 5.

Как видно, при осадке всех трех образцов в начальной стадии процесса присутствует заметный «зуб текучести», за которым следует область с пониженными значениями усилий. При этом, чем меньше соотношение D/H исходного образца, тем сильнее проявляется понижение значений. Подобная картина полностью согласуется с выводами, изложенными в работе [4].

Полученные результаты позволяют сделать вывод о качественной сходимости произведенного моделирования с данными реальных процессов. Это позволяет использовать предложенную методику моделирования для дальнейшего анализа процессов обработки металлов давлением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. – СПб: Наука, 2004. – 645 с.

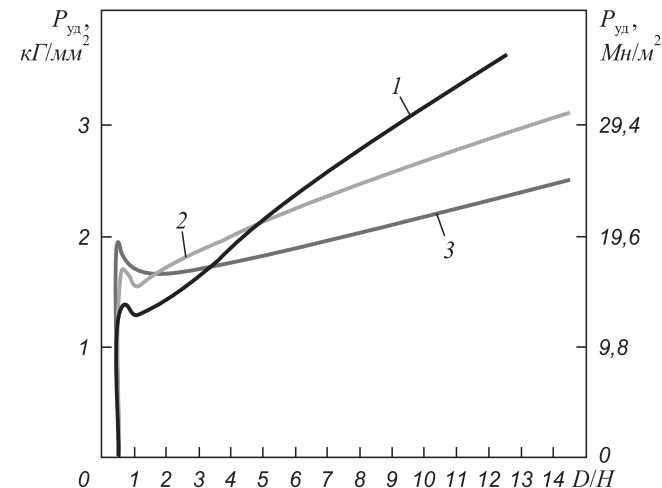


Рис. 5. Влияние величины сил трения на удельное усилие осадки высоких образцов из свинца ($D_0/H_0 = 0,5$):

1 – грубая очистка плит; 2 – чистовая обработка плит; 3 – шлифованные слабосмазанные плиты

Fig. 5. Influence of the friction forces on the specific upset force of high lead samples ($D_0/H_0 = 0.5$):

1 – roughly cleaned dies; 2 – finished dies; 3 – polished dies with poorly lubrication

2. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
 3. Антощенко Ю.М., Таупек И.М., Горбачев Д.С. Возможностьковки заготовок из высоколегированных сталей и сплавов на радиально-обжимных машинах // Кузнечно-штамповочное производство. 2013. №1. С. 38 – 41.
 4. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 601 с.
 5. Охрименко Я.М., Тюрин В.А. Теория процессовковки: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1977. – 295 с.
 6. Тюрин В.А., Мохов А.И. Теория обработки металлов давлением: Учебник для вузов / Под ред. В.А. Тюрина. – Волгоград: РПК «Политехник», 2000. – 414 с.
 7. Ли К., Кобояси С. Анализ осесимметричной осадки и поперечной осадки в условиях плоской деформации сплошных цилиндрических заготовок методом конечных элементов // Тр. Американского общества инженеров-механиков. Сер. В. 1971. № 2.

© 2015 г. Антощенко Ю.М., Таупек И.М.
 Поступила 20 октября 2014 г.

RESEARCH OF THE PROCESS OF AXISYMMETRIC UPSETTING BY COMPUTER SIMULATION

*Antoshchenkov Yu.M., Dr. Sci. (Eng.), Professor
 Taupek I.M., Postgraduate (wert8608@mail.ru)*

Stary Oskol Technological Institute of National University of Science and Technology “MISiS” (42, Makarenko, Staryi Oskol, Belgorod Region, 309516, Russia)

Abstract. Arising in the process of upsetting of cylindrical workpieces stress-strain state has a significant effect on the necessary consumer qualities of the finished products. Significant influence on the final distribution of strain and stress has the original aspect ratio of height and diameter of the workpiece. It is often difficult to analyze state of

the metal in real conditions of upsetting, and sometimes it is impossible, but modern methods of computer simulation allow to penetrate deep into researching process. To verify the adequacy of the data obtained in the Simufact Forming the authors made modeling of upsetting of three samples with different ratios of height and diameter (H_0/D_0 : 3,75; 1,875; 1,25). Next, the simulation results (stress-strain state, metal flow, distribution power parameters of the process) were compared with the actual processes described in the literature. The obtained results allow to make a conclusion about high qualitative convergence of the produced simulation with real processes.

Keywords: forging, upsetting by flat dies, strain distribution, stress-strained state, metal flow, simulation, finite element method, FEM.

REFERENCES

1. Rybin Yu.I., Rudskoi A.I., Zolotov A.M. *Matematicheskoe modelirovanie i proektirovanie tekhnologicheskikh protsessov obrabotki metallov davleniem* [Mathematical modeling and design process of metal forming processes]. St. Petersburg: Nauka, 2004. 645 p. (In Russ.)
2. Gun G.Ya. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov obrabotki metallov davleniem* [Mathematical modeling of metal forming processes]. Moscow: Metallurgiya, 1983. 351 p. (In Russ.)
3. Antoshchenkov Yu.M., Taupek I.M., Gorbachev D.S. The possibility of forging of billets of high-alloy steels and alloys on radial crimping machines. *Kuznechno-shtampovoechnoe proizvodstvo*, 2013, no. 1, pp. 38–41. (In Russ.)
4. Okhrimenko Ya.M. *Tekhnologiya kuznechno-shtampovochного производства* [The technology of forging and stamping production]. Moscow: Mashinostroenie, 1966. 601 p. (In Russ.)
5. Okhrimenko Ya.M., Tyurin V.A. *Teoriya protsessov kovki. Ucheb. posobie dlya vuzov* [The theory of the forging processes. Textbook for universities]. Moscow: “Vyssh. Shkola”, 1977. 295 p. (In Russ.)
6. Tyurin V.A., Mokhov A.I. *Teoriya obrabotki metallov davleniem: Uchebnyk dlya vuzov* [Theory of Metal Forming: Textbook for universities]. Tyurin V.A. ed. Volgograd: RPK “Politehnik”, 2000. (In Russ.)
7. Li K., Koboyasi S. Analysis of axisymmetric upset and transverse upset in the conditions of plane strain of solid cylindrical workpieces by finite element method. *Tr. Amerikanskogo ob-va inzhenerov – mekhanikov*. Ser. V. 1971, no. 2. (In Russ.)

Received October 20, 2014