

УДК 539.347

Лавриненков А.Д., Рогожа А.А.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина.

Моделирование процесса ультразвуковой осадки

Основной задачей операции осадки является уменьшение высоты образца с одновременным увеличением его поперечного сечения. Осадку применяют для уменьшения анизотропии механических свойств в осевом и поперечном направлениях, для более равномерного распределения и измельчения карбидов в сталях [1-5]. Учитывая неравномерность деформации, которая обусловлена силами трения на контактных поверхностях образца с инструментом образец приобретает бочкообразную форму. Одним из способов увеличения равномерности деформации в объеме образца является наложение ультразвуковых (УЗ) колебаний на деформирующий инструмент [6].

В работах Б. Лангенекера были получены интересные результаты о влиянии интенсивности ультразвуковых колебаний на деформационные характеристики металлов. Было показано, что путем подбора мощности ультразвука можно достичь разной степени разупрочнения даже в сверхпрочных материалах, таких, как низкоуглеродистая и нержавеющая сталь, бериллий, вольфрам и т. д. Во время пластического деформирования возможно два варианта введения ультразвука в зону деформации. Первый вариант: когда рабочий торец ультразвукового концентратора находится в пучности амплитуд ультразвуковых колебаний. Торец совершает колебания с определенной амплитудой и при контакте с заготовкой будет осуществлять деформирования заготовки. Второй вариант, когда очаг деформации находится в пучности амплитуд напряжений.

В ряде источников указывается, что наложение УЗ колебаний на инструмент позволяет снизить усилия процесса в 3-5 раз, а также добиться более равномерного распределения твердости. В зависимости от схемы подвода энергии УЗ колебаний к материалу меняется характер течения, неравномерность распределения деформаций и микротвердости по объему металла, сопротивления деформации. Практически во всех источниках говорится, что независимо от материала образца наблюдается эффект

разупрочнення (softening effect), уменьшение напряжения текучести деформированного металла. Одним из объяснений этого эффекта является концентрация энергии ультразвуковых колебаний в локальных участках материала со значительным увеличением подвижности дислокаций кристаллической решетки материала. Также отмечается, что при осадке с УЗ нагрузкой происходит более равномерное уменьшение размера зерна металла по объему образца.

В данной работе проведено конечно-элементное моделирование процесса осадки алюминиевого образца Д16 в программном комплексе QForm с целью определения влияния УЗ колебаний на характер распределения напряженно-деформированного состояния в образце, температуры, а также на геометрию обработанного образца.

Параметры процесса и схема процесса приведены в таблице и рис.1 соответственно.

Таблица 1. Параметры процесса УЗ осадки с/без УЗ нагрузкой

Материал заготовки	Д16
Тип операции	Пластическая деформация с учетом тепловых процессов
Температура заготовки T , °С	20
Частота УЗ колебаний f , кГц	22
Амплитуда УЗ колебаний A , мкм	20
Скорость перемещение инструмента V_z , м/с	20
Закон трения	Леванов
Коэффициент Леванова	1,25
Трение при УЗ нагрузке, без смазки	фактор трения – 0,5
Трение при осадки без УЗ нагрузки, смазка - минеральное масло	фактор трения – 0,15
Трение при осадке без УЗ нагрузки, без смазки	фактор трения – 0,5
Трение при осадке без УЗ нагрузки, без учета трения	фактор трения – 0
Степень деформации образца, %	20

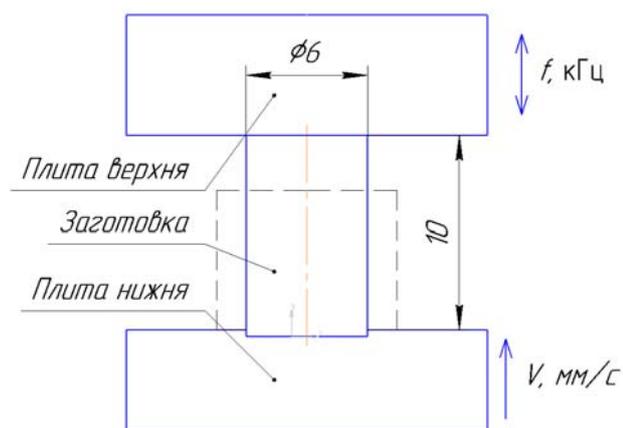


Рис. 1. Схема процесса осадки с/без УЗ нагрузки

При различных параметрах трения контур осаженных образцов отличается. На рис 2, в и г, форма образца имеет выраженную симметричную бочкообразность относительно торцов образца. При отсутствии трения (рис. 2, д) бочкообразность смещается в сторону верхнего торца.

При осадке с УЗ колебаниями (рис. 2, б) происходит практически равномерное увеличение диаметра по высоте, бочкообразность наблюдается только в нижней части. Следует отметить, что бочкообразность начинает формироваться только после контакта материала образца с фиксирующей кольцевой площадкой матрицы.

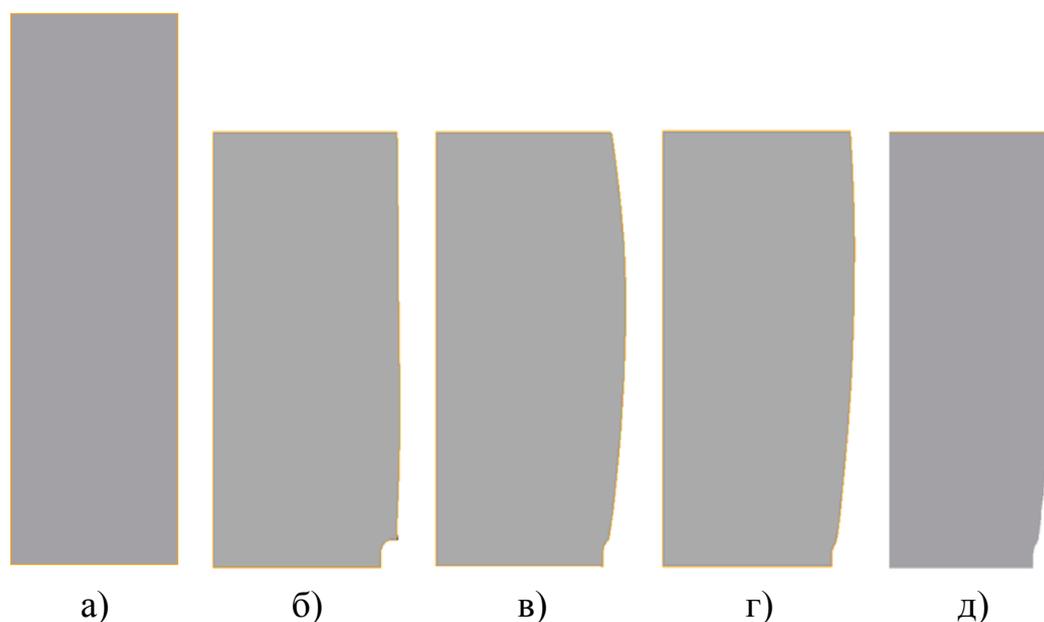


Рис. 2. Форма осаженных образцов (показаны половины заготовки и образцов)

а - заготовка, б - осадка с УЗ колебаниями, в - осадка без УЗ колебаний (смазка - минеральное масло), г - осадка без УЗ колебаний (без смазки), д - осадка без УЗ колебаний (без учета трения).

Інтенсивність напружень при осадке с УЗ нагрузкой превосходит интенсивность напружений при осадке без УЗ нагрузки. Это объясняется большими скоростями деформации, вызванные УЗ колебаниями инструмента, а также эффектом локализации пластической деформации.

На рис. 3 приведены сравнения статического усилия при осадке без УЗ нагрузки (пунктирная линия) с усилием при осадке с УЗ нагрузкой. При осадке с УЗ нагрузкой усилия процесса на 15-20% меньше усилия при осадке без УЗ нагрузки.

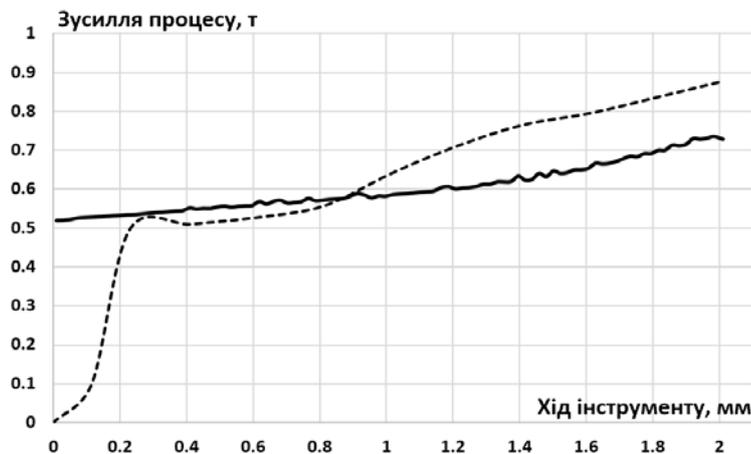


Рис. 3. Усилия процессов осадки с/без УЗ нагрузкой

При натурных исследованиях процесса осадки с УЗ нагрузкой отмечается, что статическое усилие практически равно нулю, деформация заготовки происходит в основном за счет динамической нагрузки УЗ колебаниями торца инструмента. Из-за этого, как отмечается, и происходит

202

расширение верхнего торца заготовки. Влияние ультразвука показано на рис. 4. Видно, что при переходе от осадки с УЗ к осадке без УЗ, стремительно начинает формироваться бочкообразная геометрия образца.

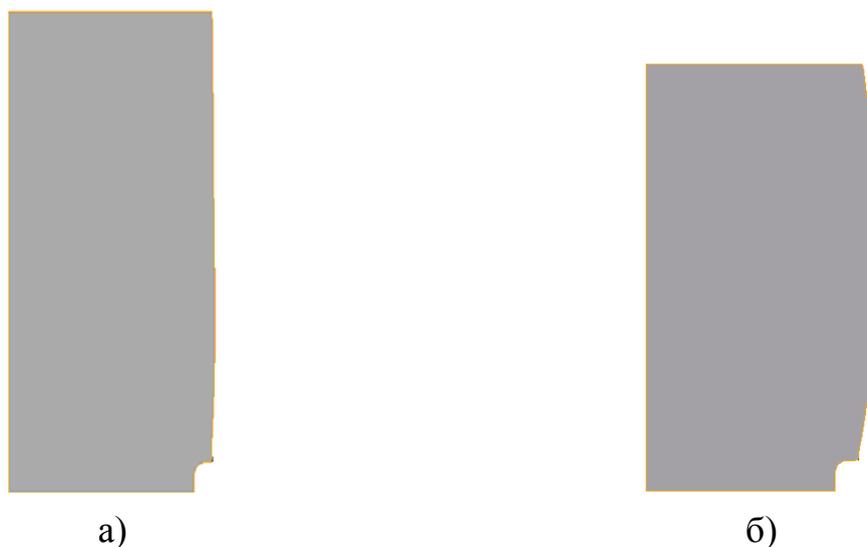


Рис. 4. Форма заготовки при 20% деформации с УЗ нагрузкой (а) и при дальнейшей деформации (до 30%), но уже без УЗ колебаний (б).

Из рис. 5 видно, что в отличие от осадки без УЗ осадка с УЗ нагрузкой характеризуется несимметричным расположением очага деформаций относительно высоты образца.

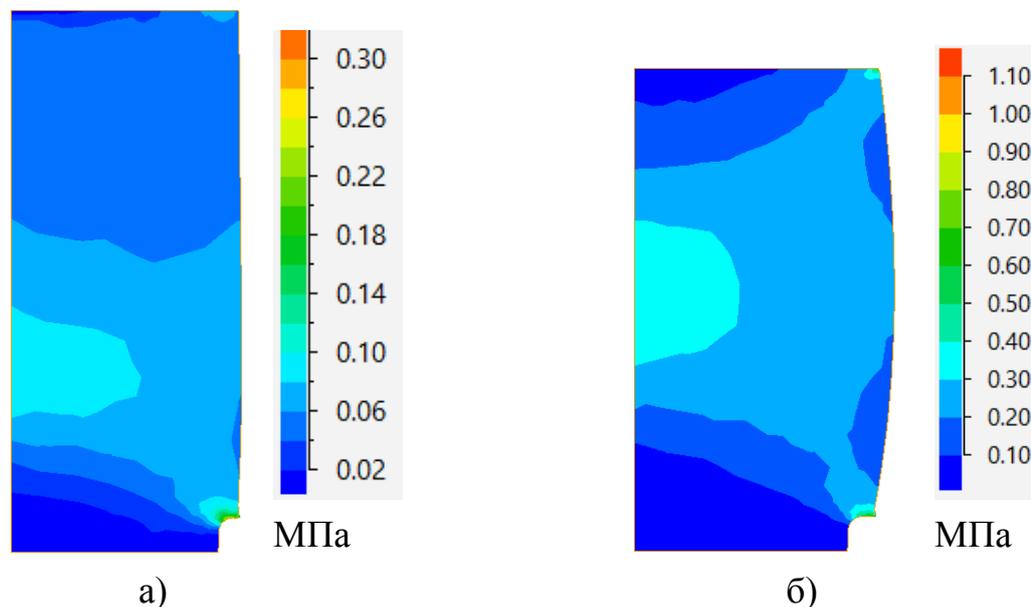


Рис. 5. Накопленная пластическая деформация при 20% деформации с УЗ нагрузкой (а) и при дальнейшей деформации (до 30%), но уже без УЗ колебаний (б).

Расположение очага температур соответствует расположению очага деформаций (рис. 6)

203

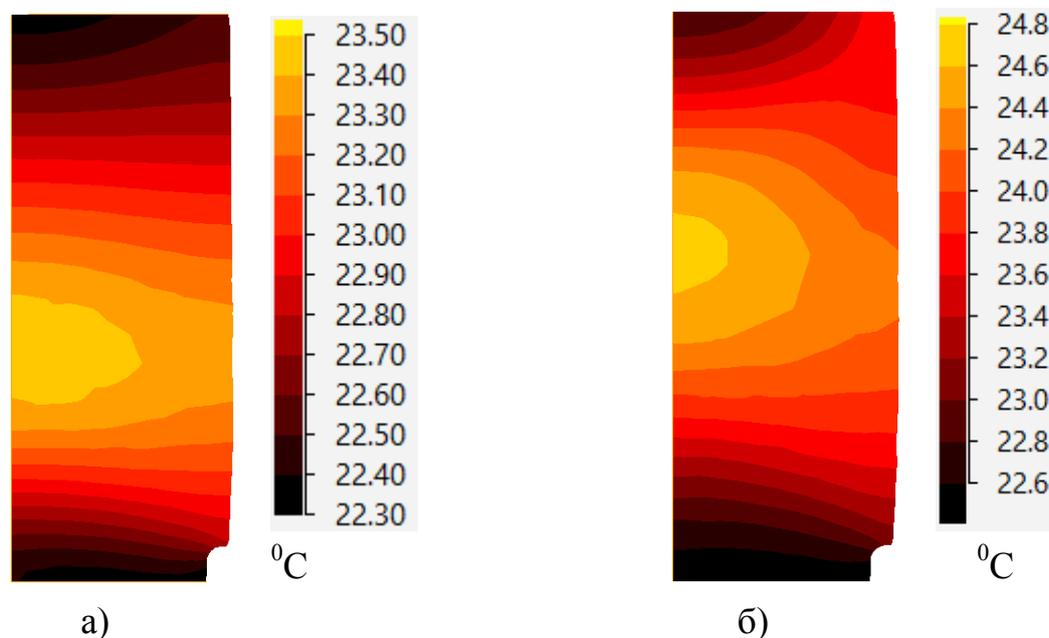


Рис. 6. Распределение температур в зависимости от влияния УЗ колебаний: а - осадка 20% с УЗ колебаниями; б - осадка 22% без УЗ колебаний.

На рис. 7-9 изображено напряженно-деформированное состояние образца при УЗ осадке.

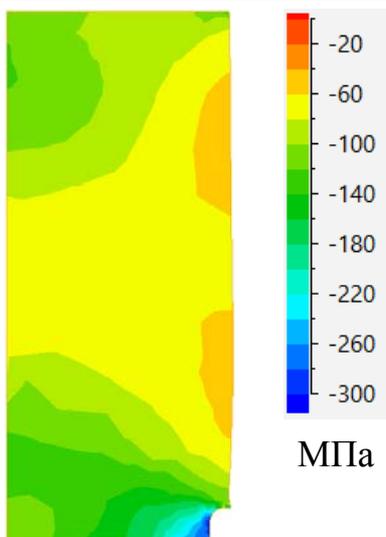


Рис. 7. Средние напряжения

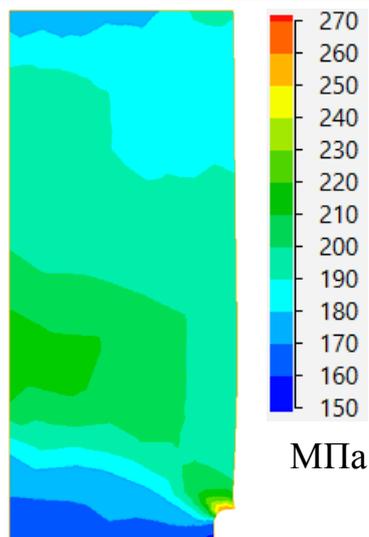


Рис.8. Интенсивность напряжений

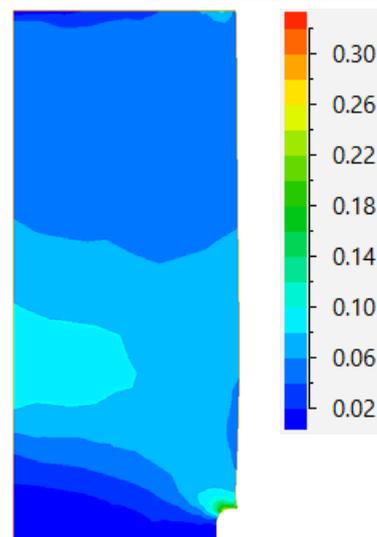


Рис. 9. Пластическая деформация

К моменту соприкосновения боковой поверхности образца с фиксирующим кольцом матрицы (рис. 10, а) очаг деформации находился в верхней части образца. Похожая картина наблюдается, когда осадка происходит быстрыми многократными ударами на молоте.

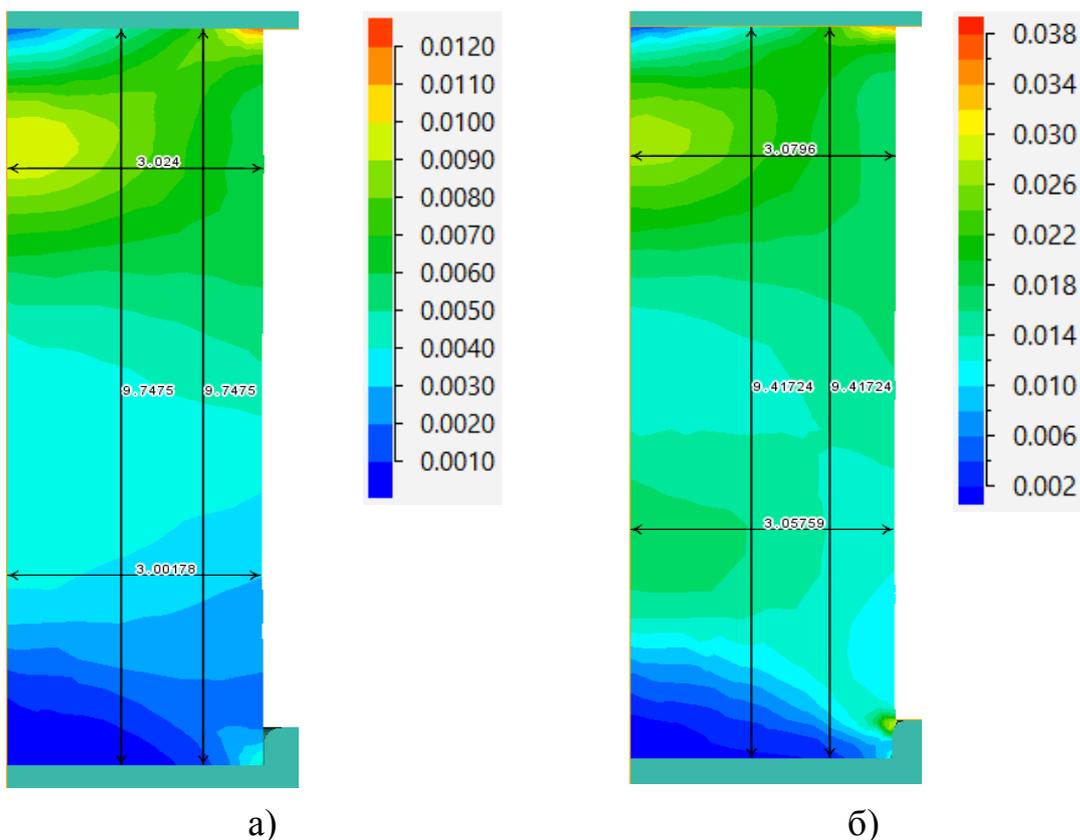
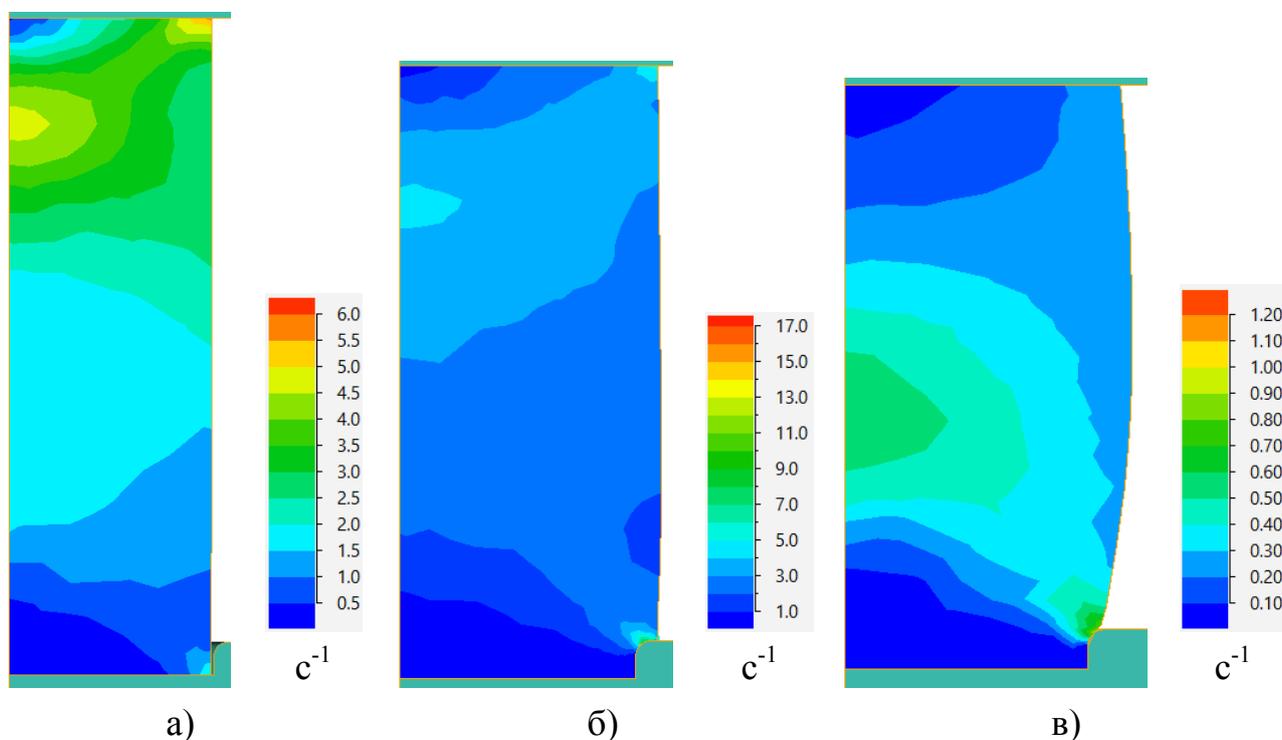


Рис. 2.10. Пластическая деформация и размеры заготовки до (а) и после (б) контакта нижней части заготовки с цилиндрической частью матрицы.

При этом в начале процесса УЗ осадки, когда нижняя цилиндрическая часть не касается матрицы, увеличение диаметра верхней части заготовки происходит интенсивней, чем нижней части (рис. 2.10 а и б). За счет больших скоростей деформации происходит локализация пластической деформации.



205

Рис. 2.11. Скорость деформаций при: а - начале УЗ осадке до момента контакта нижней цилиндрической части заготовки с матрицей; б - в конце УЗ осадки; в - в конце осадки без УЗ нагрузки.

После начала контакта нижней цилиндрической части заготовки с матрицей увеличение диаметра нижней и верхней части заготовки происходит равномерно.

Выводы:

В результате конечно-элементного моделирования процесса УЗ осадки образца были получены результаты, которые хорошо коррелируются с результатами использованных информационных источников как в отношении компьютерного моделирования процесса, так и натуральных экспериментов.

Было установлено, что во время УЗ осадки, при котором рабочий торец УЗ инструмента находится в пучности амплитуд колебаний, до определенного момента наблюдается эффект разупрочнения материала (softening effect), при котором энергия ультразвука концентрируется в определенном объеме

матеріала. Это также связано со скоростью распространения деформации в образце.

Установлено, что при осадке с ультразвуком формирования бочкообразности образца практически не происходит, что позволяет получить более равномерные деформации по объему образца, а также увеличить степень деформации образца.

Список использованных источников:

1. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х т. / Ред. Совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985 – Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка/Под ред. Е.И. Семенова, 1985. 568 с., ил.
2. Yanxiong Liu, Sergey Suslov, Qingyou Han, Lin Hua, Clause Xu. Comparison between ultrasonic vibration-assisted upsetting and conventional upsetting. – Metallurgical and materials transactions A. – Vol. 44A. – July 2013. – pp.32-43.
3. Jung-Chung, YU-Chung Tsai. Investigation of the effect of ultrasonic vibration-assisted micro-upsetting on brass. – Material science and engineering A 580 (2013). – pp.125-132.
4. Zhendong Xie, Yanjin Guan, Jiqiang Zhai, Lihua Zhu, Chongkai Zhong. Study of ultrasonic vibration assisted upsetting of 6063 aluminum alloy. - Procedia Engineering 207 (2017). – 490-495.
5. J.-C. Hung, C.-C. Lin. Investigations on the material property changes of ultrasonic-vibration assisted aluminum alloy upsetting. - Materials and Design 45 (2013). - pp. 412–420.
6. J.-C. Hung et al. Frictional effect of ultrasonic-vibration on upsetting. - Ultrasonics 46 (2007). – pp. 277–284.
7. Haiyang Zhou, Hongzhi Cui, Qing H. Qin. Influence of ultrasonic vibration on the plasticity of metals during compression process. Journal of Materials Processing Tech. 251 (2018), pp. 164-159.