

УДК 621.983

ГАРЯЧИЙ ОБТИСК В МАТРИЦІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ЗАГОТОВОК ІЗ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Калюжний В.Л., Куліков І.П., Таранець К.К.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

***Анотація:** Розглянуте моделювання з використанням метода скінченних елементів гарячого обтиску в матриці спеціального профіля порожнистих заготовок із високовуглецевої сталі. Профіль матриці утворений перетином торів з постійним діаметром перерізу, які розташовані з певним кроком. Такий профіль матриці забезпечує зниження зусилля обтиску та зменшення розігріву матриці при формоутворенні. Встановлені залежність зусилля деформування від переміщення матриці, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті. У zdeформованій заготовці визначений температурний розподіл та напружено-деформований стан металу. По розподілу інтенсивності деформації оцінено пропрацювання структури металу пластичною деформацією. Також встановлені кінцеві форма і розміри виробу.*

***Ключові слова:** метод скінченних елементів; гарячий обтиск; порожниста заготовка; матриця спеціального профілю; зусилля; питомі зусилля; напруження; деформації; форма і розміри виробу*

При виробництві складових частин боєприпасів великого калібру використовують операції гарячого видавлювання, витягування з потоншенням та розкочування для формоутворення конусної частини. Для підвищення продуктивності замість розкочування застосовують операцію гарячого обтиску. При обтиску виникають складнощі, які пов'язані з виникненням потовщення стінок у донній частині zdeформованої заготовки по причині великих зусиль деформування. Використання при холодному обтиску конусних матриць спеціального профіля, в яких контактуюча поверхня утворена перетином торів з постійним діаметром перерізу та розташованих з певним кроком приводить до зниження зусилля обтиску та збільшення ступеню деформації за один перехід [1,2]. Актуальною задачею є застосування такого профіля при гарячому обтиску.

Метою роботи є встановлення за допомогою метода скінченних елементів параметрів гарячого обтиску порожнистих заготовок із високовуглецевої сталі С-60.

Схема обтиску в матриці спеціального профіля показана на рис. 1. Ліворуч від вісі симетрії наведене положення на початку обтиску, праворуч - в кінці обтиску. Порожниста заготовка 1 встановлюється в обоймі 2 на виштохувачі 3. Профіль матриці 4, яка закріплена до плити 5 і містить штовхач 6, утворений перетином торів з діаметром d перерізу та розташовані з кроком t . Зусилля обтиску P для отримання виробу 7 створюється при опусканні матриці 4 із швидкістю V_0 . Моделювання проводили в скінченно-елементній програмі DEFORM. Температура вихідної заготовки складала $1000\text{ }^\circ\text{C}$, швидкість деформування з коефіцієнтом тертя $\mu=0,3$ - $V_n=150$ мм/сек. Задача розглядалася як

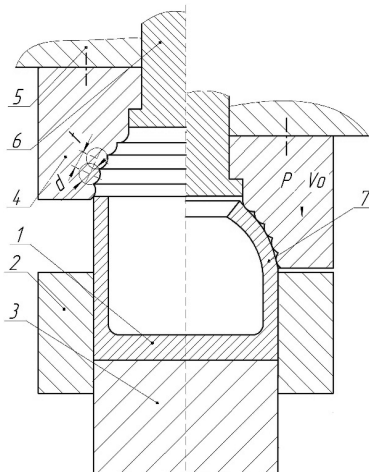


Рис. 1 - Схема обтиску в матриці спеціального профіля

вісесиметрична в циліндричних координатах ρ, z, θ .

Розрахункові схеми в розрізі показані на рис. 2. На рис. 2а приведена схема на початку обтиску. Порожниста заготовка 1 розміщена в обоймі 2 на виштовхувачі 3. Формоутворення виконується за допомогою матриці 4. При опусканні матриці 3 отримується виріб 5 (рис. 2б). Моделюванням встановлені розміри профіля матриці ($A=10$ мм і $b=5$ мм), які забезпечили формоутворення обтиском без загікання металу у впадінні профіля матриці. На рис. 3 зображений фрагмент контакту zdeформованої заготовки і матриці. Контакт заготовки з матрицею відбувається по виступах профіля, що з однієї сторони зменшує площу контакту і знижує сили тертя та зусилля деформування, а з іншої сторони приводить до меншого розігріву матриці.

На рис. 4 показані зусилля та питомі зусилля обтиску. Залежність зусилля обтиску від переміщення матриці приведена на рис. 4а. Зусилля постійно зростає на протязі процесу формоутворення і досягає величини 744 кН в кінці обтиску. Питомі зусилля визначали по розподілу нормальних напружень σ_n на контактуючих поверхнях заготовки з деформуючим інструментом. Розподіли питомих зусиль зображені на рис. 4б. Тут і в подальшому показана половини zdeформованої заготовки, тонкими лініями представлений деформуючий інструмент, а розміри по всіх осях приведені в міліметрах. Найбільші величини вказаних напружень в межах $\sigma_n=350\div380$ МПа виникають на поверхні заготовки, яка контактує з матрицею. Максимальні значення напружень $\sigma_n=83$ МПа та $\sigma_n=40$ МПа отримані на обоймі та виштовхувачі відповідно. При наведених величинах питомих зусиль матриця та обойма не потребують бандажування.

Моделюванням встановлений напружено-деформований стан у zdeформованій заготовці. На рис. 5 показані розподіли компонент напружень при максимальному зусиллі обтиску. Напруження σ_r, σ_z і σ_θ стискаючі по всьому об'єму zdeформованої заготовки. Найбільший вплив на формоутворення обтиском мають тангенціальні напруження σ_θ , які можуть бути

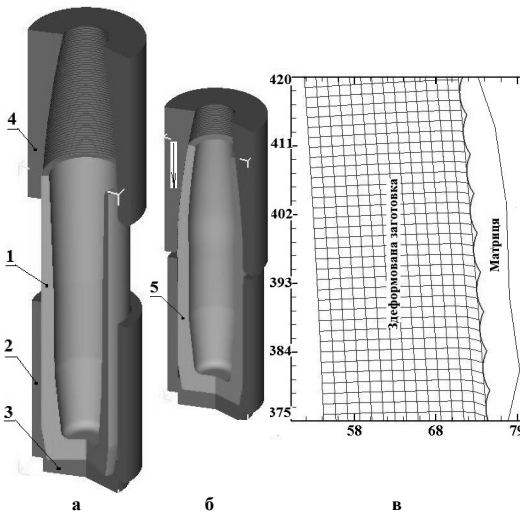


Рис. 2 – Розрахункові схеми: а – на початку обтиску, б – в кінці обтиску

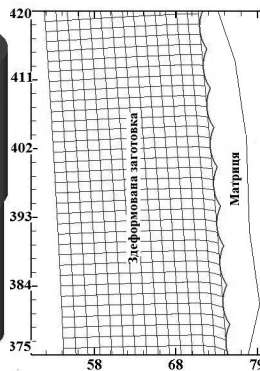


Рис. 3 – Фрагмент контакту zdeформованої заготовки і матриці

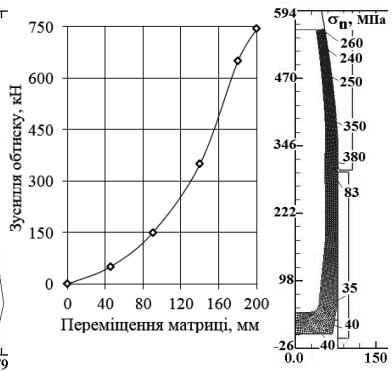


Рис. 4- Зусилля та питомі зусилля обтиску: а – залежність зусилля від переміщення матриці, б – розподіли питомих зусиль

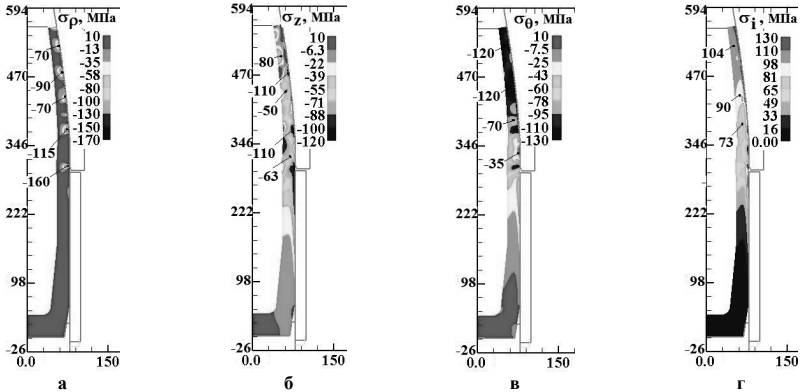


Рис. 5 - Розподіли компонент напружень у деформованій заготовці при максимальному зусиллі обтиску: а – розподіл радіальних напружень σ_ρ , б – розподіл осьових напружень σ_z , в - розподіл тангенціальних напружень σ_θ , г - розподіл інтенсивності напружень σ_i

причиною утворення меридіональних гофр на частині заготовки, що деформується. Величини цих напружень знаходяться у межах $\sigma_\theta = -70 \div -120$ МПа. Такі величини не можуть привести до гофрування.

Розподіли компонент деформацій у деформованій заготовці приведені на рис. 6. При обтиску виникають розтягувальні радіальні ϵ_ρ і осьові ϵ_z деформації (рис. 6а-бб). Тангенціальні деформації ϵ_θ стискаючі (рис. 6в). По розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i можна оцінити пропрацювання структури металу гарячою пластичною деформацією (рис. 6г).

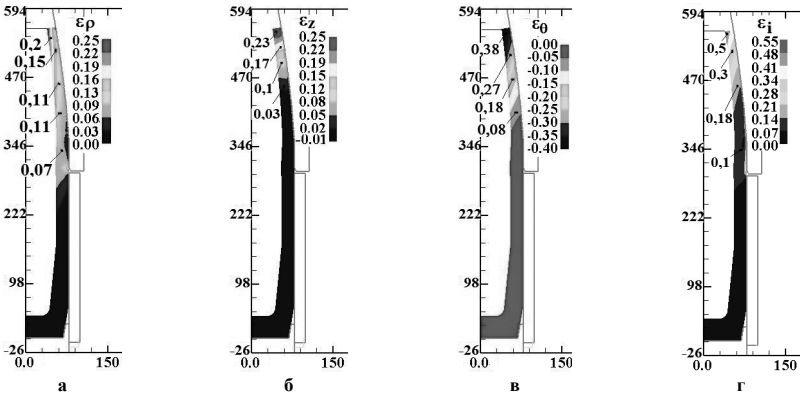


Рис. 6 - Розподіли компонент деформацій у деформованій заготовці: а – розподіл радіальних деформацій ϵ_ρ , б – розподіл осьових деформацій ϵ_z , в – розподіл тангенціальних деформацій ϵ_θ , г – розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i

Найбільші величини у межах $\epsilon_i = 0,3 \div 0,5$ отримані в області верхнього торця обтиснутої частини заготовки з подальшим зменшенням до $\epsilon_i = 0,1$ в місці переходу обтиснутої частини в

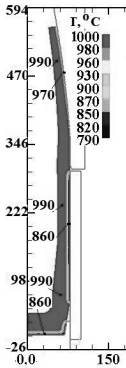


Рис. 7- Розподіл температури у здеформованій заготовці

недеформовану частину.

Розподіл температури у здеформованій заготовці в кінці процесу обтиску показаний на рис. 7. Температура у більшій частині об'єму заготовки знаходиться у межах $T=990$ °С. В шарах металу заготовки, які контактують з деформуючим інструментом має місце зниження температури. В місці контакту заготовки з матрицею температура знижується до $T=970$ °С. Ще більше зниження температури до $T=860$ °С має місце в шарах металу, які контактують з обоймою та виштовхувачем. Таким чином температурний інтервал гарячого обтиску витримується. При цьому немає необхідності нагрівання всієї заготовки, а можна за допомогою індукційного нагріву виконати нагрівання частини заготовки, яка підлягає обтиску.

На основі розрахункових даних розроблена конструкція штампового оснащення для отримання виробу необхідної форми. Конструкція штампа показана на рис. 8.

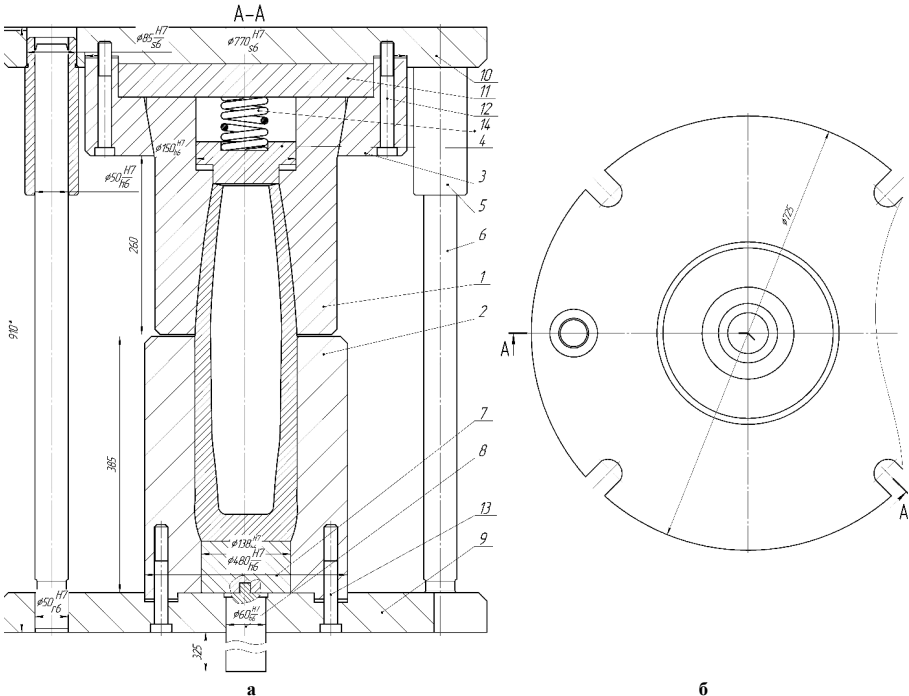


Рис. 10 - Конструкція штампа для обтиску

На рис. 8а зображена конструкція штампа в перерізі, а на рис. 9б – вигляд на нижню плиту. Штмп складається з верхньої плити 10 і нижньої плити 9, які направляються між собою за допомогою двох колонок 6 і втулок 5. До нижньої плити 9 за допомогою гвинтів 13 прикріплена обойма 2. В обоймі 2 розміщені опора 7 з штовхачем 8. До верхньої плити 10 за

допомогою кільця 3 і гвинтів 12 прикріплена матриця 1, яка спирається на плиту 11. В матриці 1 розміщений виштовхувач 4, що спирається на пружину 14.

Вихідну порожнисту заготовку встановлюють в обойму 2 на опору 7. Шляхом опускання верхньої плити 10 з матрицею 1 відбувається формоутворення виробу. При цьому заготовку верхнім торцем через виштовхувач 4 стискає пружину 14. Здеформована заготовка залишається в обоймі 2, тому що на початку руху верхньої плити 10 вгору виштовхування її з матриці 1 відбувається виштовхувачем 4 за допомогою пружини 14. Видалення zdeформованої заготовки із обойми 2 проходить за допомогою опори 7 та штовхача 8, який приводиться в дію від виштовхувача преса.

Висновки. 1. Методом скінченних елементів створена математична модель та проведений розрахунковий аналіз гарячого обтиску порожнистої заготовки із високовуглецевої сталі в матриці спеціального профіля. 2. Встановлені параметри для проектування технології: зусилля - для вибору пресового обладнання, розподіл питомих зусиль – для проектування штампового оснащення, форма і розміри виробу та розподіл інтенсивності деформацій – для оцінки якості виробу. 3. Розроблена конструкція штампа для реалізації гарячого обтиску на гідравлічному пресі.

Hot swage in die with special profile of hollow axisymmetric high-carbon steel workpiece

Kaljuzhnyi V.L., Kulikov I.P., Taranets K.K.

Abstract. This work explored hot swaging in the die with special profile of hollow axisymmetric high-carbon steel workpiece using finite element method. Die profile was formed out of permanent diameter tori, that are situated at a certain step. Such die profile provides reduction of swaging stress and die warming while forming. Were determined dependence of deformation force from die motion, specific forces distribution on the deforming tool, temperature scaling in the deformed workpiece at the end of the swaging and the strain-stress state. Based on the deformation intensity distribution, metal structure elaboration by plastic deformation was rated. Also, were defined item's final shape and dimensions.

Keywords: finite element method, hot swage, hollow workpiece, die with special profile, strain, specific strain, stress, deformation, item shape and dimensions.

Горячий обжим в матрице специального профиля осесимметричных полых заготовок из высокоуглеродистой стали

Калюжный В.Л., Куликов И.П., Таранец К.К.

Аннотация. Рассмотрено моделирование с использованием метода конечных элементов горячего обжима в матрице специального профиля полых заготовок из высокоуглеродистой стали. Профиль матрицы образован пересечением торов с постоянным диаметром сечения, которые расположены с определенным шагом. Такой профиль матрицы обеспечивает снижение усилия обжима и уменьшение разогрева матрицы при формообразовании. Установлены зависимость усилия деформирования от перемещения матрицы, распределение удельных усилий на деформирующем инструменте. В сформированной заготовке определено температурное распределение и напряженно-деформированное состояние в конце обжима. По распределению интенсивности деформаций оценена проработка структуры металла пластической деформацией. Также установлены конечные форма и размеры изделия.

Ключевые слова: метод конечных элементов горячий обжим, полая заготовка, матрица специального профиля, усилие, удельные усилия, напряжения, деформации, форма и размеры изделия.

Список літератури

1. Калюжный В.Л. Интенсификация обтиску трубчатых заготовок в конусной матрице / В.Л. Калюжный, І.В. Вихованець, С.Ю. Чувільов // Збірник наукових праць. Серія галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: НТУ, 2014. – № 2(41). – С. 113-121.
2. Калюжный О.В. Відкритий та закритий обтиск трубчатих заготовок з різною висотою в матриці спеціального профілю / О.В. Калюжный // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов, - Краматорск: ДГМА, 2014. - №2 (39). - С. 144-150