

УДК 621.7

Чухліб<sup>1</sup> В. Л. к.т.н., доц.; Клемешов<sup>1</sup> Є. С.; Гринкевич<sup>1</sup> В. О. д.т.н., проф.; Дия<sup>2</sup> Х. д.т.н., проф.  
1- НМетАУ, м. Дніпропетровськ, Україна; 2- Політехніка Ченстоховська, м. Ченстохова, Польща

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПОПЕРЕДНЬОГО ОСАДЖУВАННЯ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ РОЗПОДІЛЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ В МЕТАЛІ ПРИ ПРОТЯГУВАННІ ЗАГОТОВОК З ТИТАНОВОГО СПЛАВУ

Chukhlib<sup>1</sup> V., Klemeshov<sup>1</sup> Y., Grinkevich<sup>1</sup> V., Dyja<sup>2</sup> H.

1 - National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine; 2 - Polytechnic of Chenshohowa, Czenstochowa, Poland

### RESEARCH OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF PROCESS OF PREUPSETTING ON THE UNEVEN DISTRIBUTION OF DEFORMATION IN THE METAL DURING THE DRAWING OF FORGINGS FROM TITANIUM ALLOY

*Розглянуто дослідження впливу характеристик параметрів процесу попереднього осаджування перед операцією ковальської витяжки на нерівномірність розподілення деформацій в поковках з титанових сплавів за допомогою математичного моделювання. Результатом дослідження є графічні залежності показника нерівномірності деформації. При аналізі результатів моделювання виявлено позитивний вплив операції осаджування перед протяжкою, а саме те, що зі збільшенням фактора форми заготовки та ступеню деформації при використанні осаджування підвищується рівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу. Визначено, що оптимальним параметром заготовки є  $h/D = 2$ , а оптимальний ступінь деформації при осаджуванні – 30 %.*

*Ключові слова:* осаджування; протягування; титан; фактор форми; ступінь деформації; розподілення деформації; показник нерівномірності деформації

#### Постановка проблеми

Як відомо, якість продукції повинна відповідати вимогам стандартів якості, тобто важливим є не тільки отримання необхідних геометричних розмірів поковки, але і досягнення необхідного рівня механічних властивостей. Зазвичай виробник продукції звертає увагу лише на дотримання високого рівня механічних властивостей та високої точності геометричних параметрів, однак неврахованим фактором є рівномірність розподілення механічних властивостей в металі. Так, наприклад, вважається що поковка має рівномірне розподілення механічних властивостей в об'ємі металу, але це не так.

Рівномірність напружено-деформованого стану в процесі деформації, і як наслідок – рівномірність розподілення механічних властивостей в металі, залежить від способу обробки тиском, а саме вільним куванням, на жаль, дуже складно досягти рівномірного напружено-деформованого стану металу, тому дослідження впливу параметрів операцій на напружено-деформований стан є важливим.

В даному дослідженні розглядається операція протягування з попереднім осаджуванням заготовки. Набути рівномірності напружено-деформованого стану в даному процесі обробки тиском складно, але зменшити нерівномірність в процесі кування можливо за допомогою варіювання параметрів процесу як осаджування, так і протягування.

Тому в даному дослідженні було вирішено дослідити вплив параметрів процесу попереднього осаджування, основними параметрами якого є геометричні розміри заготовки (фактор форми) та сумарний ступінь деформації. Також невід'ємною частиною вірності отримання даних є дотримання температурного інтервалу кування. Сукупність цих параметрів має вплив на рівномірність напружено-деформованого стану.

Тому, згідно вищесказаному, підвищення рівня механічних властивостей, і як наслідок - якості поковок, завжди є найактуальнішою проблемою досліджень процесів обробки металів тиском.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Однією з важливих частин удосконалення технологічного процесу є покращення економічних показників процесу виготовлення поковки. Так, наприклад, збільшення коефіцієнту використання металу та коефіцієнту використання тепла нагріву перед куванням, основні положення про яке розглянуто у роботі [1], може значно підвищити швидкість отримання поковок та зменшити собівартість продукції. Також необхідно не забувати про якість продукції, поліпшення якої може бути, наприклад, виготовлення поковок з прогнозованим рівнем механічних властивостей [2]. По темі виготовлення поковок із застосуванням операцій осаджування та

ковальської витяжки є багато джерел. Так, зокрема, типові схеми кантувань та обтиснень процесу ковальської витяжки, розрахунки переходів, а також розрахунку процесу формозміни металу або розрахунку силових параметрів процесу осаджування розглянуто в підручниках [3, 4].

На сьогоднішній день проведено багато досліджень операції осаджування, так як ця операція є не тільки основною при виготовленні поковки, але є і попередньою або проміжною, та навіть застосовується для тестування або визначення механічних властивостей сталей та сплавів [5]. Так, наприклад, в роботі [6] приведено метод розрахунку накопиченої деформації та інтенсивності логарифмічної деформації, що дозволяє доволі точно та швидко розрахувати ці показники. В роботі [7] приведено дослідження напружено-деформованого стану при вісесиметричному осаджуванні циліндричних заготовок за допомогою комп'ютерного моделювання. В роботі [8] приведена експериментально-аналітична методика дослідження напружено-деформованого стану бічної поверхні заготовки при вісесиметричному осаджуванні циліндричних заготовок. Також в деяких роботах [9, 10] приведено дослідження профілювання заготовок перед осаджуванням або осаджуванням заготовок рельєфними плитами.

Також багато досліджень присвячено операції протягування (ковальської витяжки), яка застосовується, в більшій мірі, для виготовлення валів різного типу та заготовок для подальшої обробки тиском. Одним з таких досліджень є робота [11], в якій розглянуто аналіз результатів моделювання процесу протягування заготовки за схемою «проходами». Розподілення та інтенсивність деформації в середньому перерізі зони деформації в залежності від таких змінних факторів як ступінь деформації, відносна подача та кут вирізу нижнього бойка, наведені в роботі [12]. Також в цій роботі приведені дані проведеного експерименту та графічні залежності розрахунків розподілення та інтенсивності деформації. Є багато досліджень процесу протягування [13, 14, 15] присвячених саме дослідженню впливу форми інструменту на напружено-деформований стан металу. Зазвичай при куванні застосовують комбіновані бойки, як наприклад, в роботі [14] застосовано комплект бойків з верхнім пласким та нижнім вирізним напівкруглим, а в роботі [13] комплекти бойків з різними кутами вирізу нижнього бойка та пласким або скошеним верхнім бойком. Бойки також можуть бути не тільки пласкими, вирізними або комбінованими, але і мати незвичайну форму, наприклад з повздовжнім зсувом, як приведено в роботі [15].

В роботі [16] викладено принцип розрахунку та дана методика визначення напружень при протягуванні заготовки в комбінованих та вирізних бойках. При розрахунку в цій роботі використані положення теорії функцій комплексних змінних та конформних відображень. Приведена методика дозволяє визначити напружений стан в поперечному перерізі круглої заготовки при протягуванні в бойках різноманітної конфігурації та з різноманітними кутами вирізу при різних обтисненнях та коефіцієнтах тертя. Також методики розрахунку впливу кута вирізу нижнього бойка на напружено-деформований стан металу в зоні деформації розглянуто у підручнику [17].

Експериментальні дані про вплив технологічних параметрів процесу протягування на якість поковок з титанових сплавів приведені в роботі [18]. Дослідження проводилися в умовах металургійного заводу, а заготовки були зроблені з титанового сплаву VT9 та відковувалися при варіюванні відносної подачі, кута кантування та одиничного обтиснення. Якість металу з різних експериментальних партій порівнювалася для визначення кращого співвідношення параметрів кування.

З точки зору вільного кування, титанові сплави є мало дослідженими, але набувають все більшої популярності завдяки їхніх фізичних та механічних властивостей, які перевищують показники звичайних та деяких легованих сталей. Тому дослідження впливу деформаційних параметрів при куванні титану, а саме впливу осаджування перед протягуванням, є важливим для покращення технологічного процесу, а так як експериментальне визначення напружено-деформованого стану поковки при куванні є досить складним - було вирішено використати математичне моделювання для дослідження цього процесу.

#### **Постановка задачі**

Головною метою даної роботи є визначення впливу параметрів процесу осаджування перед ковальською витяжкою на напружено-деформований стан поковки з метою поліпшення механічних властивостей металу.

Із за складності дослідження напружено-деформованого стану металу під час кування, було запропоновано провести математичне моделювання процесу осаджування та подальшого протягування за допомогою комп'ютерної програми Forge 2008®. Для моделювання процесу було задано такі параметри: 1) матеріал заготовки – титановий сплав VT6; 2) діаметр заготовки 400 мм; 3) фактор форми ( $h/D$ ): 1 та 2; 4) ступінь деформації при осадці: 30 % та 50 %.

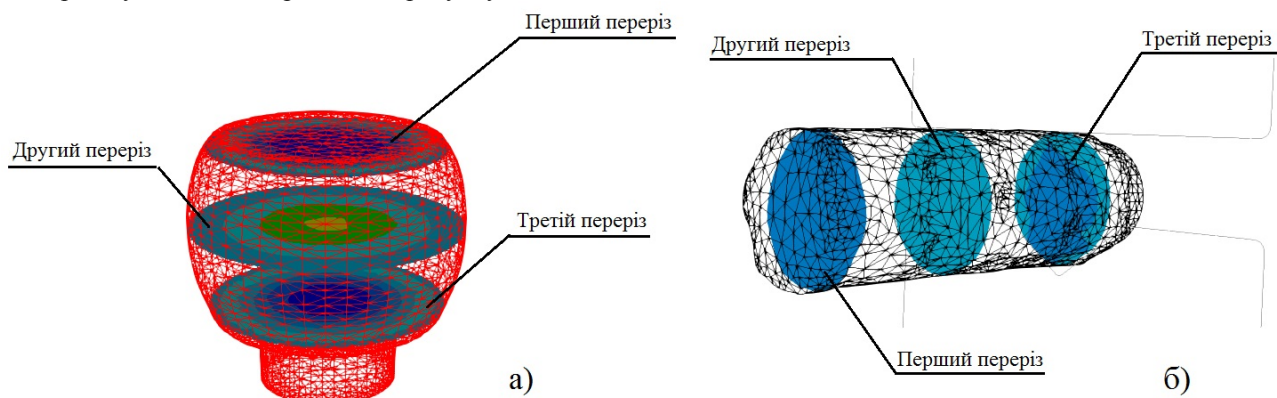
Також обрано оптимальний температурний інтервал для даного сплаву титану, який складає 1150 – 850 °С. Відповідно до технології кування титану необхідний підігрів інструменту для зменшення теплових витрат поковки. В даному випадку бойки підігріті до 300 °С. При моделюванні використовуються осаджувальні плити та комбіновані бойки - верхній плаский, а нижній вирізний. Розвал вирізу нижнього бойка становить 450 мм, а глибина вирізу – 160 мм.

Розроблена схема кантувань представляє собою схему кантувань «по кільцю» із 16 обтисненнями, тобто первинне обтиснення, потім два обтиснення з кантуванням на 120°, потім три обтиснення з кантуванням на 60°

і десять обтиснень з кантуванням на  $15^\circ$ . Сумарний ступінь деформації при протяжці складав 10 % за прохід, а відносна подача – 0,5.

Всього було промодельовано чотири процеси протягування з попереднім осаджуванням заготовки, при яких змінювалися геометричні параметри заготовки та ступінь деформації при осаджуванні. Таким чином отримано результати моделювання процесів з такими параметрами: 1) висота заготовки 400 мм, ступінь деформації 30 %; 2) висота заготовки 800 мм, ступінь деформації 30 %; 3) висота заготовки 400 мм, ступінь деформації 50 %; 4) висота заготовки 800 мм, ступінь деформації 50 %.

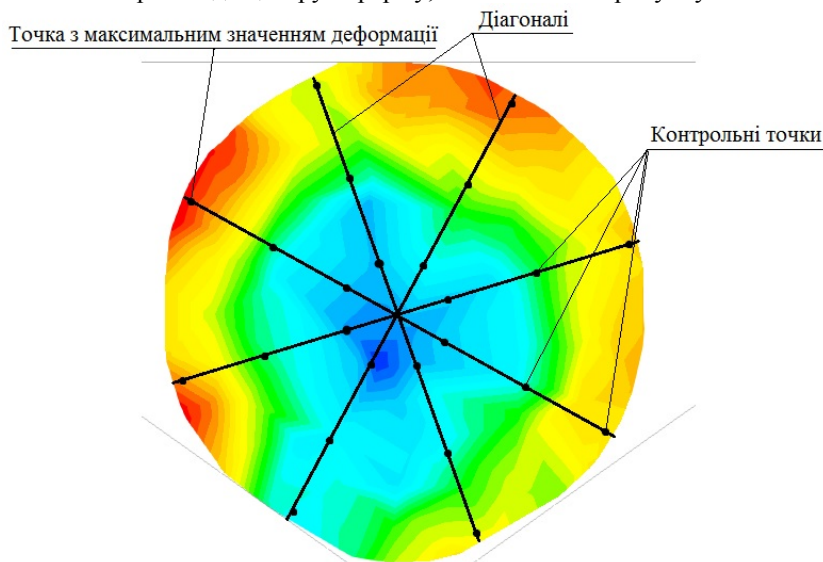
Аналіз результатів моделювання проведено в поперечних перерізах поковки на кінцевому етапі осаджування та на кінцевому етапі протягування. На кожному етапі (осаджування та протягування) було розглянуто показники деформації в трьох перерізах по висоті для осаджування та в трьох перерізах по довжині для протягування, як зображено на рисунку 1.



**Рис. 1. Схема розташування перерізів**  
а - рис.1.а для операції осаджування; б – рис.1.б для операції протягування

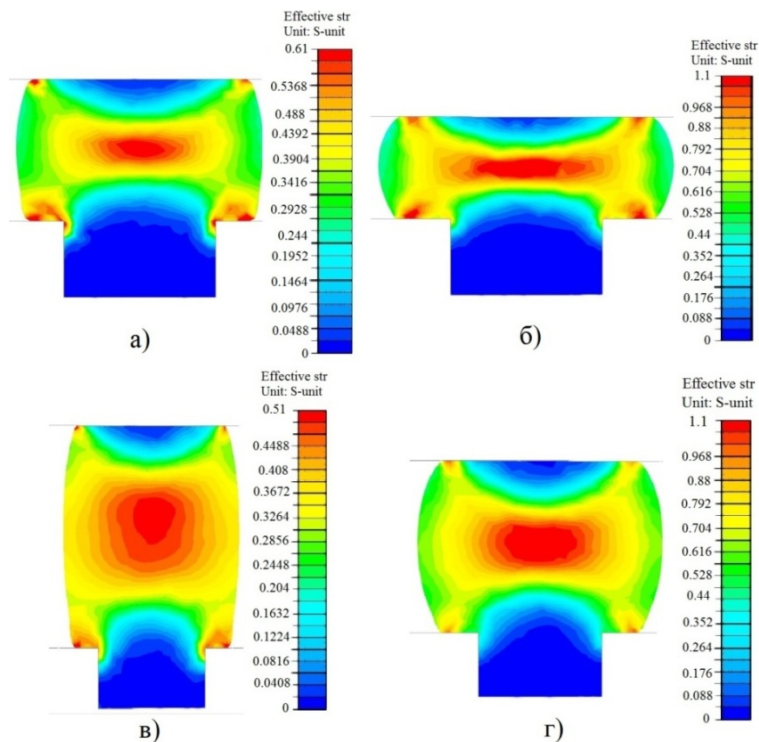
Рівномірність розподілення деформацій в металі визначається як можна меншою відмінністю показників деформації між собою в перерізі.

Для оцінки нерівномірності розподілення деформацій, яка представляє собою найменше відхилення показників еквівалентної деформації між собою в перерізі, був розрахований показник нерівномірності деформації  $K_n$ . Показник нерівномірності деформації може приймати значення не більше одиниці, так як є відношенням показників еквівалентної деформації в контрольних точках перерізу до максимального значення еквівалентної деформації в перерізі. В кожному перерізі побудовано чотири діагоналі, які розташовані під кутом  $45^\circ$  одна до одної. Далі на кожен діагональ було нанесено 6 контрольних точок симетрично до точки з максимальним значенням та симетрично до центру перерізу, як показано на рисунку 2.



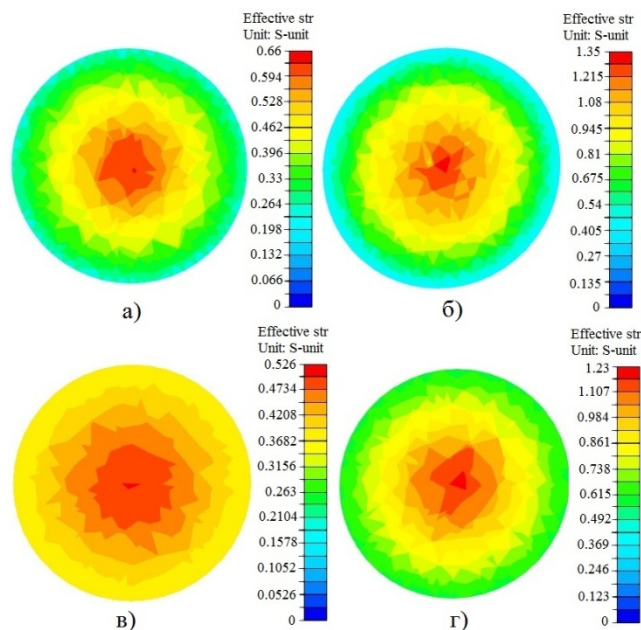
**Рис. 2. Схема розташування діагоналей та контрольних точок в перерізі при осаджуванні та протягуванні заготовок**

На рисунку 3 зображено розподілення деформацій в перерізі по висоті при осаджуванні заготовок з різним фактором форми та різним сумарним ступенем деформації.



**Рис. 3. Розподілення деформацій в перерізі при осаджуванні заготовки з різним сумарним ступенем деформації та фактором форми**  
 а–рис.3.а  $\varepsilon = 30\%$ ,  $h/D = 1$ ; б–рис.3.б  $\varepsilon = 50\%$ ,  $h/D = 1$ ; в–рис.3.в  $\varepsilon = 30\%$ ,  $h/D = 2$ ; г–рис.3.г  $\varepsilon = 50\%$ ,  $h/D = 2$

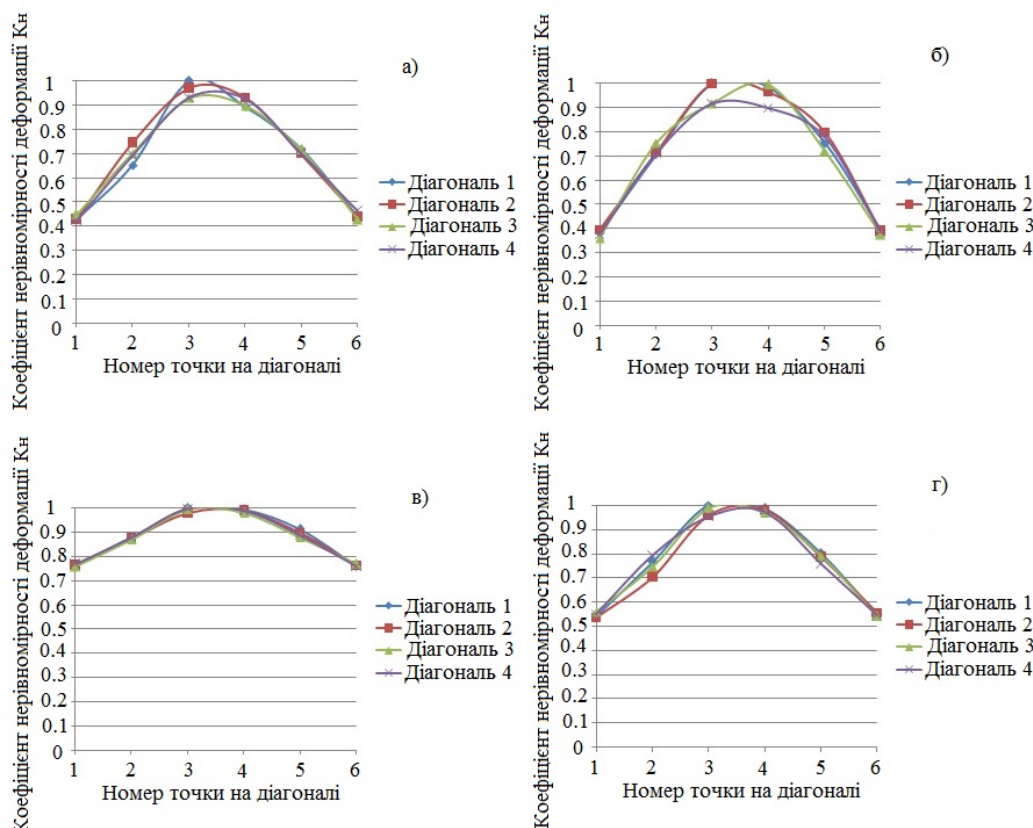
Також на рисунку 4 приведено розподілення деформацій в поперечному перерізі на половині висоти при осаджуванні заготовок.



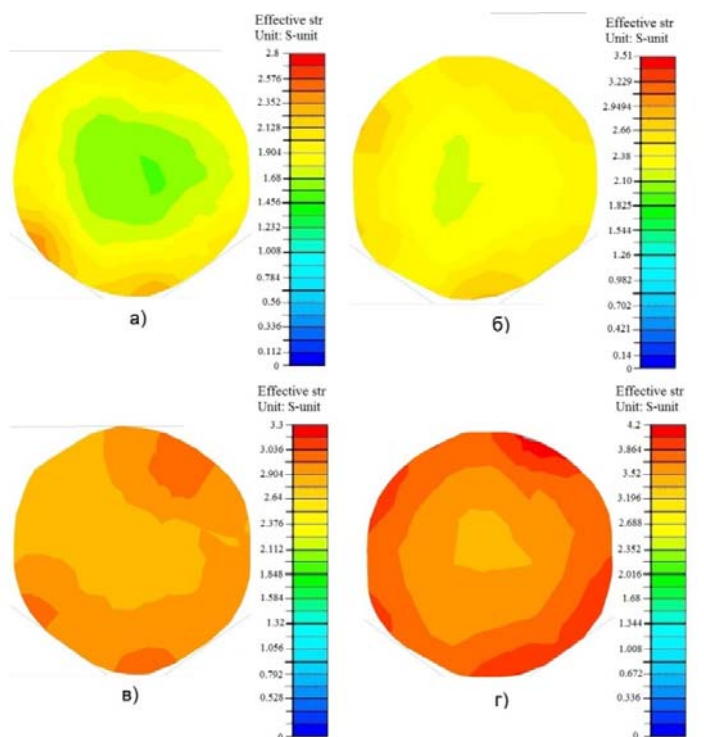
**Рис. 4. Розподілення деформацій в поперечному перерізі при осаджуванні заготовок**  
 а–рис.4.а  $\varepsilon = 30\%$ ,  $h/D = 1$ ; б–рис.4.б  $\varepsilon = 50\%$ ,  $h/D = 1$ ; в–рис.4.в  $\varepsilon = 30\%$ ,  $h/D = 2$ ; г–рис.4.г  $\varepsilon = 50\%$ ,  $h/D = 2$

Як бачимо, фактор форми та ступінь деформації має свій вплив на величину показників деформації та її рівномірність розподілення. Таким чином можна зробити висновок, що величина накопиченої деформації сильно залежить від сумарного ступеню деформації, тобто зі збільшенням обтиснення зростає і рівень накопиченої деформації. Також деякий вплив на показники накопиченої деформації має і фактор форми. Як видно з рисунку 4, величина накопиченої деформації має менші значення при  $h/D = 2$ , ніж при  $h/D = 1$ . Також проаналізувавши рисунок 4, можна зробити висновок, що зі збільшенням фактора форми зростає і рівномірність розподілення деформацій в металі, а зі збільшенням обтиснення – навпаки, рівномірність розподілення деформації зменшується.

Такий висновок підтверджує аналіз побудованих графічних залежностей показника нерівномірності деформації  $K_n$ , які зображені на рисунку 5.



**Рис. 5. Графічна залежність показника нерівномірності деформації при варіюванні фактора форми та ступеню обтиснення**  
 а–рис.5.а  $\epsilon = 30\%$ ,  $h/D = 1$ ; б–рис.5.б  $\epsilon = 50\%$ ,  $h/D = 1$ ; в – рис.5.в  $\epsilon = 30\%$ ,  $h/D = 2$ ; г – рис.5.г  $\epsilon = 50\%$ ,  $h/D = 2$



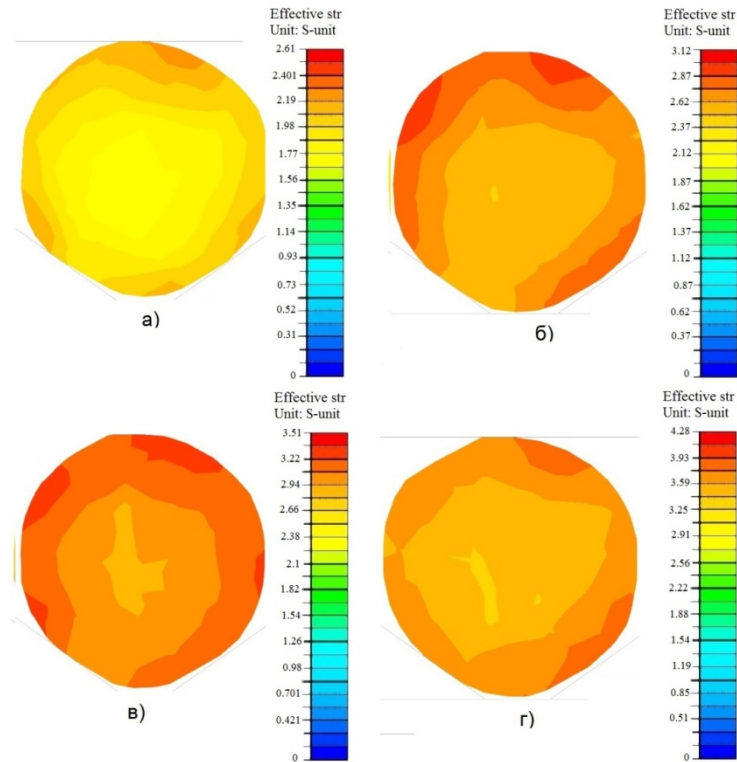
**Рис. 6. Розподілення деформацій при першому проході при протягуванні, а–рис.6.а  $\epsilon = 30\%$ ,  $h/D = 1$ ; б–рис.6.б  $\epsilon = 30\%$ ,  $h/D = 2$ ; в – рис.6.в  $\epsilon = 50\%$ ,  $h/D = 1$ ; г – рис.6.г  $\epsilon = 50\%$ ,  $h/D = 2$**

Проаналізувавши графічні залежності, можна зробити висновок, що оптимальні показники рівномірності розподілення деформацій має заготовка з фактором форми, який дорівнює 2, та ступенем деформації 30 %, тому що саме в цьому випадку отримана найменша нерівномірність розподілення деформацій в перерізі. Як видно з графіку (рис. 5.в), найменше значення коефіцієнта нерівномірності деформації має показники найбільш наближені до одиниці.

Далі розглянемо результати моделювання процесу протягування попередньо осаджених заготовок.

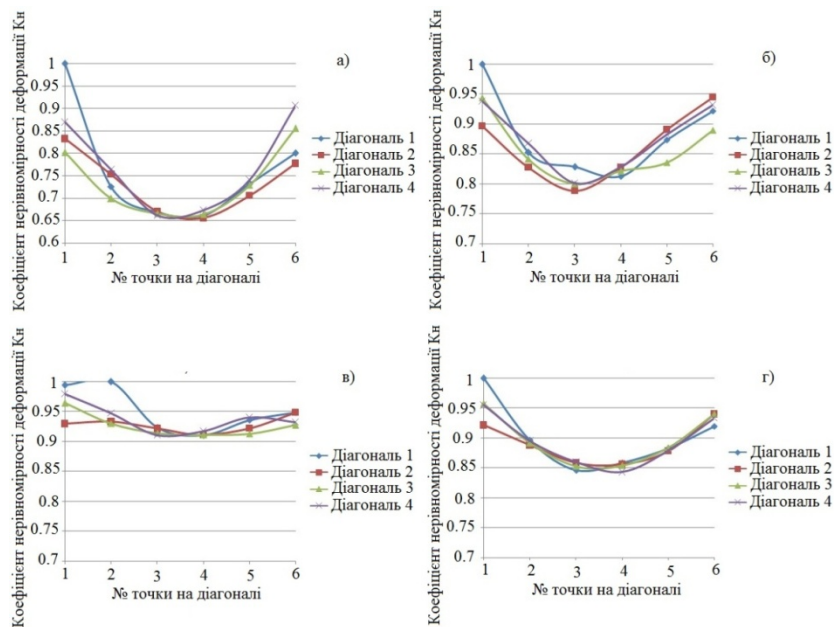
На рисунку 6 та 7 приведено розподілення деформацій в третьому поперечному перерізі при першому та другому проході по довжині з попереднім осаджуванням заготовки.

Як видно з рисунків 6 та 7, зі збільшенням фактора форми та ступеню деформації при осаджуванні, збільшується і рівень накопиченої деформації кінцевих показників при протягуванні. Однак операція протягування призводить до великого збільшення нерівномірності розподілення деформацій, як це видно з зон розподілення деформацій на рисунку 6 та 7.



**Рис. 7. Розподілення деформацій при першому проході при протягуванні**  
 а–рис.7.а  $\epsilon = 30\%$ ,  $h/D = 1$ ; б–рис.7.б  $\epsilon = 30\%$ ,  $h/D = 2$ ; в – рис.7.в  $\epsilon = 50\%$ ,  $h/D = 1$ ; г – рис.7.г  $\epsilon = 50\%$ ,  $h/D = 2$

Більш детальний аналіз нерівномірності розподілення деформацій проведено за допомогою побудови графіків. На рисунку 8 та 9 зображено показники нерівномірності деформації в контрольних точках на діагоналях перерізу при протягуванні при першому та другому проході по довжині.



**Рис. 8. Розподілення показника нерівномірності деформації при протягуванні заготовки за перший прохід**  
 а–рис.8.а  $\epsilon = 30\%$ ,  $h/D = 1$ ; б–рис.8.б  $\epsilon = 30\%$ ,  $h/D = 2$ ; в – рис.8.в  $\epsilon = 50\%$ ,  $h/D = 1$ ; г – рис.8.г  $\epsilon = 50\%$ ,  $h/D = 2$

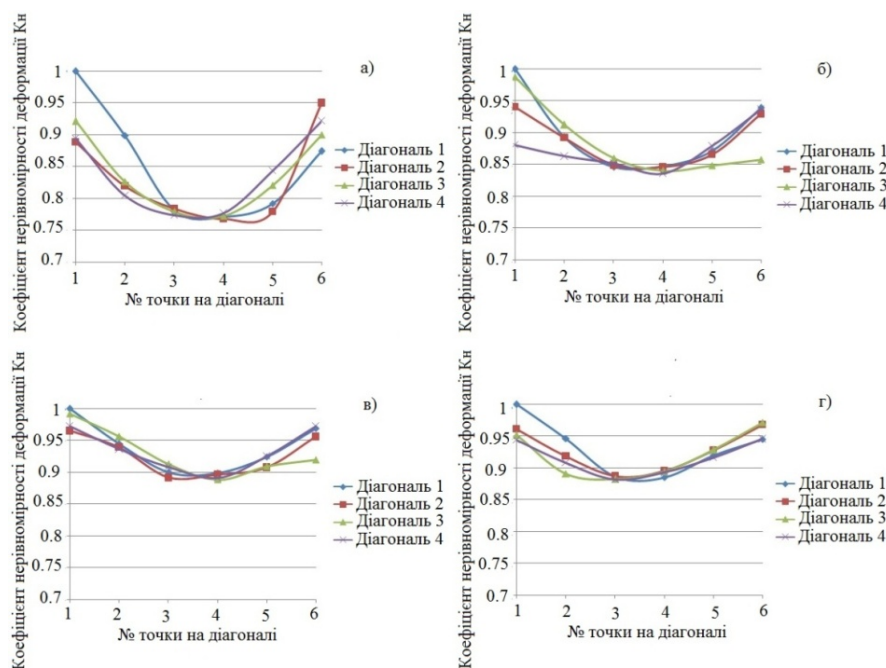


Рис. 9. Розподілення показника нерівномірності деформації в перерізі при протягуванні заготовки за другий прохід а–рис.9.а  $\varepsilon = 30\%$ ,  $h/D = 1$ ; б–рис.9.б  $\varepsilon = 30\%$ ,  $h/D = 2$ ; в – рис.9.в  $\varepsilon = 50\%$ ,  $h/D = 1$ ; г – рис.9.г  $\varepsilon = 50\%$ ,  $h/D = 2$

Таким чином, розглянувши графіки розподілення показника нерівномірності деформації, з рисунків 8 та 9 видно, що зі збільшенням фактора форми та ступеню деформації при осаджуванні рівномірність розподілення деформацій в поковці зростає.

#### Висновки проведеного дослідження

1) Операція осадки перед протяжкою має великий вплив на показники деформації. Вибір оптимального співвідношення деформаційних параметрів при послідовному виконанні осаджування та протягування зумовлює якість отриманої поковки. Згідно вищесказаному, за допомогою варіювання параметрів операції осаджування, таких як фактор форми ( $h/D$ ) та ступінь деформації, можна збільшувати рівномірність розподілення деформацій в поковці. При цьому необхідно враховувати той факт, що розподілення деформації по перерізу поковки носитиме нерівномірний характер, а варіювання параметрів деформаційної проробки, при взаємно рівновісних за характером навантажень, операціями осаджування та протягування, дозволяє знизити нерівномірність деформації.

2) Відношення висоти до діаметру заготовки (фактор форми) є основним показником, що характеризує геометрію заготовки перед осаджуванням. За результатами досліджень при осаджуванні титанового сплаву фактор форми заготовки майже не впливає на кінцеві показники рівномірності розподілення деформацій в металі. Так, наприклад, при порівнянні результатів протягування, виходячи з рисунків 8 та 9, при осаджуванні заготовки з фактором форми 1 та 2, більш рівномірне, хоча і незначне, розподілення деформацій присутнє при  $h/D = 2$ . Також можна зробити висновок, що оптимальною величиною фактора форми заготовки є  $h/D = 2$ .

3) Збільшення ступеню деформації при осаджуванні, виходячи з рисунку 5, негативно впливає на рівномірність розподілення деформацій в металі на етапі осаджування заготовки, тобто збільшення ступеню деформації, як при факторі форми  $h/D = 1$ , так і при факторі форми  $h/D = 2$ , збільшує нерівномірність розподілення деформацій. Однак на етапі протягування попередньо осадженої заготовки негативний вплив переходить в позитивний, тобто чим більше було обтиснення при осаджуванні – тим рівномірніше розподілення деформацій має поковка після протягування. Також, судячи з рисунків 5, 8 та 9, можна зробити висновок, що після протягування, найменшу нерівномірність розподілення деформацій мала заготовка з показником ступеню деформації при осаджуванні 30%. Таким чином, оптимальним значенням сумарного ступеню деформації при осаджуванні є 30%.

**Анотація.** Рассмотрены исследования влияния характеристик параметров процесса предварительной осадки перед операцией кузнечной вытяжки, на неравномерность распределения деформаций в поковках из титановых сплавов с помощью математического моделирования. Результатом исследования являются графические зависимости показателя неравномерности деформации. При анализе результатов моделирования выявлено положительное влияние операции осадки

перед протяжкою, а именно то, что с увеличением фактора формы заготовки и степени деформации при осадке повышается равномерность распределения деформаций в объеме металла. Определено, что оптимальным параметром заготовки есть  $h/D = 2$ , а оптимальная степень деформации при осадке – 30 %.

*Ключевые слова:* осадка; протяжка; титан; фактор формы; степень деформации; распределение деформаций; показатель неравномерности деформации

#### **Abstract.**

*Purpose.* Review research of the influence of characteristics parameters of the upsetting process before the operation of drawing on the uneven strain distribution in the forgings from titanium alloys by mathematical modeling.

*Design/methodology/approach.* Decided to use the mathematical modelling of the forging process by using the programm software, that is based on the method of finite elements, "Forge 2008".

*Findings.* The result of this work - are graphical dependences of deformation non-uniformity. In the analysis of simulation results revealed the positive effect of the upsetting operation before drawing, namely, that with increasing the shape factor of the workpiece and the degree of deformation at upsetting process increases the uniformity of distribution of deformation in volume of the metal. Determined that the optimal parameter of the workpiece is  $h/D = 2$ , and the optimal degree of deformation at the upsetting process – 30 %.

*Keywords:* upsetting; drawing; titanium; form factor; degree of deformation; strain distribution; indicator of deformation non-uniformity

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. Стасовский Ю.Н. Ресурсосбережение в процессах обработки металлов давлением: состояние, проблемы, перспективы / Ю.Н. Стасовский, В.Л. Чухлеб // Вестник НТУ «ХПИ». 2009. №1. С. 93-102.
2. Чухлеб В.Л. Основы разработки технологических процес сов обработки давлением сталей и сплавов с прогнозируемым уровнем качества металлопродукции / В.Л. Чухлеб, А.Н. Тумко, А.В. Ашкелянец // Вестник НТУ «ХПИ». 2011. №1. С. 110-120.
3. Соколов Л.М. Технологія кування: підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л.М. Соколов, І.С. Алієв, О.Є. Марков, Л.І. Алієва. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 268 с.
4. Охрименко Я.М. Теория процессовковки. Учеб. Пособие для вузов / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин - М., «Высш. школа», 1977. 295 с.
5. Миленин А.А. Математическая модель процесса волочения проволоки и труб из сплава MgCa08 в подогреваемых волоках / А.А. Миленин, П. Кустра, М. Пачко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2010. №1 (18). С. 189-198.
6. Михалевич В.М. Накопичена деформація та інтенсивність логарифмічних деформацій при осадці циліндричних зразків з бочко утворенням / В.М. Михалевич, Ю.В. Добранюк // Обработка материалов давлением. 2009. №1 (20). С. 129-134.
7. Михалевич В.М. Усовершенствование экспериментально-аналитической методики исследования напряженно-деформированного состояния боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке / В.М. Михалевич, Ю.В. Добранюк, Е.А. Трещ // Наукові праці ВНТУ. 2011. №4. С. 1-8.
8. Антощенко Ю.М. Исследование состояния металла при осесимметричной осадке средствами компьютерных технологий / Ю.М. Антощенко, И.М. Таупек [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://econf.rae.ru/article/8617>
9. Жбанков Я.Г. Определение рациональных параметров профилированных заготовок, подвергаемых осадке плоскими плитами / Я.Г. Жбанков, О.Е. Марков, Р.И. Сивак // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2013. №8. С. 8-15.
10. Кухарь В.В. Смещенные объемы при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми плитами / В.В. Кухарь, В.А. Бурко // Обработка материалов давлением. 2008. №1 (19). С. 177-182.
11. Гринкевич В.А. Теоретические исследования кузнечной операции протяжки при использовании схемы деформации «проходами» / В.А. Гринкевич, В.Л. Чухлеб, Г. Банашек, А.В. Ашкелянец // Вестник НТУ «ХПИ». 2014. №44. С. 28-34.
12. Мохов А.И. Повышение качества деформированного металла при ковке крупных поковок валов / А.И. Мохов, В.С. Максимук, А.Ю. Петунин, С.И. Данилин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1995. №5. С. 5-7.
13. Алиев И.С. Моделирование кузнечной протяжки в комбинированных бойках несимметричной формы / И.С. Алиев, Я.Г. Жбанков, Л.В. Таган // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. 2013. №3 (69). С. 77-83.
14. Кухарь В.В. Экспериментальные исследования режимов кузнечной протяжки заготовок с обкаткой в комбинированных бойках / В.В. Кухарь, О.В. Василевский // Вестник НТУ «ХПИ». 2013. №43. С. 139-148.
15. Алиева Л.И. Ковка поковок типа валов с продольным сдвигом специальными бойками / Л.И. Алиева, Я.Г. Жбанков, В.Ю. Станков // Вестник НТУ «ХПИ». 2013. №43. С. 3-10.
16. Назарьян В.А. Расчет напряженного состояния при ковке-протяжке заготовок круглого сечения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1998. №6. С. 13-16.
17. Кальченко П.П. Новые технологические процессыковки крупных пресовых поковок.: монография / П.П. Кальченко, О.Е. Марков – Краматорск: ДГМА, 2014. – 100 с.
18. Машеков С.А. Влияние технологических параметровковки на качество заготовок из титановых сплавов / С.А. Машеков, В.А. Петров, А.В. Котелкин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1991. №9. С. 4-5.



**References**

1. Stasovskij, Ju.N and Chuhleb, V.L. (2009), Resursoberezenie v procesah obrabotki metallov davlenim: sostojanie, problemy, perspektivy, *Vestnik NTU «HPI»*, no.1, pp. 93-102.
2. Chuhleb, V.L., Tumko, A.N. and Ashkeljanec A.V. (2011), Osnovy razrabotki tehnologicheskikh proces sov obrabotki davlenim stalej i splavov s prognoziruemyym urovnem kachestva metalloprodukcii. *Vestnik NTU «HPI»*, vol.1, pp. 110-120.
3. Sokolov, L.M., Aliev, I.S., Markov, O.E. and Alieva L.I. (2011), *Tehnologija kuvannja: pidruchnik dlja studentiv vishhix tehnicnih navchal'nih zakladiv*, DDMA, Kramators'k, Ukraine.
4. Ohrimenko, Ja.M. and Tjurin, V.A. (1977), *Teorija processov kovki*, Ucheb. Posobie dlja vuzov, Vyssh. shkola, Moscow, Russia.
5. Milenin, A.A., Kustra, P. and Pachko M. (2010), Matematicheskaja model' processa volochenija provoloki i trub iz splava MgCa08 v podogrevaemyh volokah, *Visnik Donbas'koj derzhavnoj mashinobudivnoj akademii*, no.1 (18), pp. 189-198.
6. Myhalevych, V.M. and Dobranjuk, Ju.V. (2009), Nakopichena deformacija ta intensivnist' logarifmichnih deformacij pri osadci cilindrichnih zrazkiv z bochko utvorennjam, *Obrabotka materialov davleniem*, no.1 (20), pp. 129-134.
7. Mihalevich, V.M., Dobranjuk, Ju.V. and Trach E.A. (2011), Uovershenstvovanie jeksperimental'no-analiticheskoy metodiki issledovanija naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija bokovoj poverhnosti cilindricheskikh obrazcov pri osesimmetrichnoj osadke. *Naukovi praci VNTU*, no.4. pp. 1-8.
8. Antoshhenkov, Ju.M. and Taupek I.M. Issledovanie sostojanija metalla pri osesimmetrichnoj osadke sredstvami komp'juternyh tehnologij, available at: <http://econf.rae.ru/article/8617>.
9. Zhbankov, Ja.G., Markov O.E. and Sivak R.I. (2013), Opredelenie racional'nyh parametrov profilirovannyh zagotovok, podvergaemyh osadke ploskimi plitami, *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem*, No.8, pp.8-15.
10. Kuhar', V.V. and Burko V.A. (2008), Smeshhennye ob'emy pri osadke cilindricheskikh zagotovok vypuklymi plitami, *Obrabotka materialov davleniem*, vol.1 (19), pp. 177-182.
11. Grinkevich, V.A., Chuhleb, V.L., Banashek, G. and Ashkeljanec A.V. (2014), Teoreticheskie issledovanija kuznechnoj operacii protjazhki pri ispol'zovanii shemy deformacii «prohodami», *Vestnik NTU «HPI»*, vol. 44, pp. 28-34.
12. Mohov, A.I., Maksimuk, V.S., Petunin, A.Ju. and Danilin, S.I. (1995), Povyshenie kachestva deformirovannogo metalla pri kovke krupnyh pokovok valov, *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem*, vol.5, pp. 5-7.
13. Aliev, I.S., Zhbankov, Ja.G. and Tagan, L.V. (2013), Modelirovanie kuznechnoj protjazhki v kombinirovannyh bojkah nesimmetrichnoj formy, *Visnik NTUU «KPI». Serija mashinobuduvannja*, vol. 3 (69), pp. 77-83.
14. Kuhar', V.V. and Vasilevskij O.V. (2013), Jeksperimental'nye issledovanija rezhimov kuznechnoj protjazhki zagotovok s obkatkoj v kombinirovannyh bojkah, *Vestnik NTU «HPI»*, vol.43, pp. 139-148.
15. Alieva, L.I., Zhbankov, Ja.G. and Stankov V.Ju. (2013), Kovka pokovok tipa valov s prodol'nym sdvigom special'nymi bojkami, *Vestnik NTU «HPI»*, vol.43, pp. 3-10.
16. Nazar'jan, V.A. (1998), Raschet naprjazhenogo sostojanija pri kovke-protjazhke zagotovok kruglogo sechenija, *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem*, vol.6, pp. 13-16.
17. Kal'chenko, P.P., and Markov O.E. (2014), Novye tehnologicheskie processy kovki krupnyh pressovyh pokovok, monografija DGMA, Kramatorsk.
18. Mashekov, S.A., Petrov, V.A. and A.V. (1991), Kotelkin Vlijanie tehnologicheskikh parametrov kovki na kachestvo zagotovok iz titanovyh splavov, *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem*, vol.9, pp. 4-5.

Подана до редакції 05.04.2016