

Чухліб¹ В.Л. к.т.н., доц., Ашкелянець¹ А.В. к.т.н., доц., Ящук¹ А.О., Борисенко² А.Ю. к.т.н., ст. наук. співр.
1-Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, Україна;
2-Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОСАДКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МІКРОСТРУКТУРУ ПОКОВОК ЗІ СТАЛІ 20

Chuhlib¹ V., Ashkeljanec¹ A., Yashchuk¹ A., Borysenko² A.

1-National metallurgical academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine; 2-Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute NAS of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine

STUDY OF INFLUENCE OF DRAUGHTS TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES AND MIKROSTRUTURE OF FORGINGS FROM STEEL 20

Представлено результати експериментального дослідження впливу технологічних параметрів осадки на механічні властивості та структуру поковок зі сталі 20. Аналіз отриманих даних свідчить, що збільшення величини геометричного фактору та укову призводить до підвищення межі плинності матеріалу та зниження тимчасового опору матеріалу. Геометричний фактор на відміну від укову має більший вплив на межу плинності матеріалу. Вплив укову і геометричного фактору на показники тимчасового опору матеріалу приблизно однаковий. У зв'язку з нерівномірністю розподілу накопиченої деформації у об'ємі продеформованого металу спостерігаються три характерні зони, розміри яких залежать від фактору форми та від величини діючих напружень. Деформація на поверхні контакту з деформуючим інструментом ускладнена дією сил тертя. Як наслідок, структура у цій зоні є менш однорідною. У двох інших зонах за оптимального режиму деформації спостерігаються приблизно однакові структура та механічні характеристики.

Ключові слова: кування, осадка, уков, геометричний фактор, сталь, властивості, структура.

Вступ. Традиційно сукупність потрібних механічних властивостей сталевих поковок досягається за допомогою комплексного впливу деформації та подальшої термічної обробки, що в свою чергу потребує великих затрат матеріалів та енергії. Однією з причин проведення термічної обробки, зазвичай, є необхідність підвищення рівномірності властивостей і структури по ковки.

Вільне кування, як один з видів обробки металів тиском (ОМТ), робить можливим отримання складних поковок великих габаритних розмірів з відповідним до висунутих вимог рівнем механічних властивостей. Операція осадки є однією з основних операцій кування. Основними технологічними параметрами осадки є уков та геометричний фактор (фактор форми) [1]. У рамках оптимізації технологічного процесу кування стає питання можливості отримання необхідних механічних властивостей за рахунок вибору найбільш оптимальних показників деформаційного режиму таким чином, щоб зробити подальше проведення термічної обробки або необхідним за менш складним і витратним режимом, або ж не потрібним в загалі. Для цього потрібно встановити які фактори найбільш впливають на технологічний процес кування та яким чином за допомогою регулювання технологічних параметрів формозміни отримати необхідні властивості поковок.

Дослідження впливу цих параметрів на формування властивостей та структури досі є актуальним. Так за останні роки були проведені дослідження з розподілу нормальних напружень на контактній поверхні при осадці плоскими плитами [2], за допомогою математичного та комп'ютерного моделювання розглянуто процес осадки заготовок плитами різної конфігурації [3] та моделювання осадки циліндричної заготовки з метою виявлення можливих засобів впливу на процес осадки [4]. Однак, взаємозв'язок між технологічними параметрами кування та властивостями та структурою сталевих поковок все ще потребує подальшого дослідження.

Мета дослідження – експериментальне встановлення зв'язку між технологічними параметрами операції осадки та властивостями і мікроструктурою поковок із сталі 20. У якості зразків були обрані циліндри діаметром 32 мм, і висотою 32 та 64 мм. Хімічний склад зразків, що досліджувалися, містить: 0,21% С, 0,23% Si, 0,57% Mn, 0,10% Cr, 0,06% Ni, 0,07% Cu, 0,02% Al, 0,024% S та 0,017% P.

Матеріали і методика дослідження: перед проведенням експерименту було необхідним визначити та розглянути, які параметри технологічного процесу осадки оказують найбільш значний вплив на формування мікроструктури та механічні властивості поковок. Серед всіх параметрів були обрані уков та фактор форми.

Уков, або уковка, характеризує величину та розподіл деформації у об'ємі металу, тобто являє собою еквівалент ступені пропрацювання металу. Чим чистіший і більше однорідний метал, тим при меншому значенні укову досягаються оптимальні структура і механічні характеристики металу в процесі деформації. Для операції осадки уков знаходиться за формулою:

$$Y = \frac{F_1}{F_0} = \frac{H_0}{H_1} \quad (1)$$

де F_1 та F_0 – кінцева та початкова площа перетину зразку, мм²; H_1 та H_0 – кінцева та початкова висота зразку, мм.

Геометричний фактор циліндричної заготовки являє собою відношення висоти заготовки H до діаметру D . Зазвичай для таких заготовок геометричний фактор приймають рівним $H/D \leq 3$ з метою запобігання перекосу їх осьової лінії. Від величини геометричного фактору залежить розподіл напружень у об'ємі заготовки [5].

При проведенні експерименту було досліджено вплив обох факторів з варіюванням на двох рівнях +0,5 та -0,5. В якості незалежних змінних були обрані геометричний фактор (X_1) та уков (X_2). У якості залежних змінних виступили механічні властивості – межа плинності σ_T (Y_1) та тимчасовий опір матеріалу σ_B (Y_2) [6].

Значення технологічних параметрів (незалежних змінних) в натуральному масштабі на усіх рівнях та порядок реалізації експерименту (№ зразку) приведені у таблицях 1 і 2.

Таблиця 1

Рівні досліджуваних факторів		
Фактори	Геометричний фактор, (X_1)	Уков, (X_2)
Основний рівень	1,5	2
Інтервал варіювання	0,5	0,5
Нижній рівень	1	1,5
Верхній рівень	2	2,5

Таблиця 2

Номер досліду	Значення досліджуваного фактору	
	Геометричний фактор, (X_1)	Уков, (X_2)
1	2	1,5
2	1	1,5
3	2	2,5
4	1	2,5

Нагрівання зразків проводилось у електричній печі опору до температури 1300°C. Процес кування виконувався на пневматичному молоті з масою падаючих частин 50 кг. Необхідний рівень обтиску отримувався за допомогою набору обмежувачів укову. Кожен дослід дублювався тричі і кожній спробі давався свій, індивідуальний номер. Досліди виконувались за один винос без подальшої термічної обробки зразків. Кінцева температура кування складала 850-950°C. Отримані під час експерименту зразки представлено на рисунку 1 а.

Після проведення експерименту для отриманих зразків були проведені випробування на міцність осадкою та отримані дані про механічні характеристики (межа плинності та тимчасовий опір) [7, 8]. Зразки для випробувань були отримані різанням (місце вирізу показано на рисунку 1 б штриховкою).

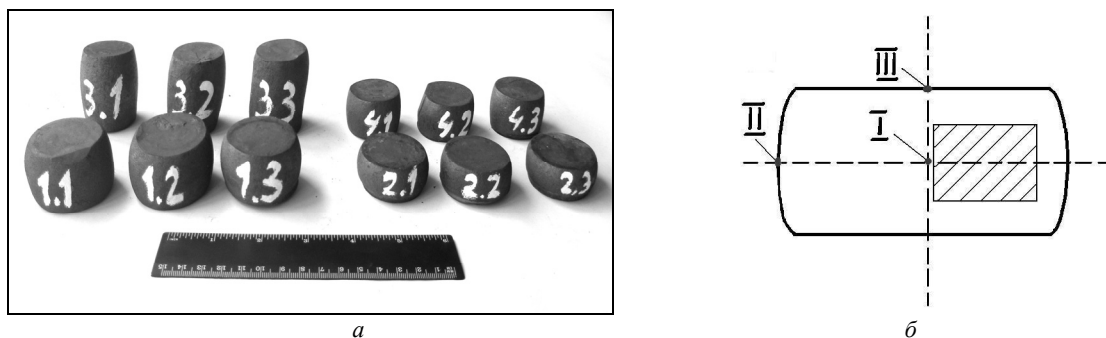


Рис. 1. Зразки після осадки: а-зображення зразків; б-схема проведення аналізу мікроструктури: I – у центрі зразку, II – на боковій поверхні, III – на поверхні контакту з деформуючим інструментом

У роботі був виконаний загальний якісний аналіз впливу параметрів осадки на рівномірність мікроструктури, що формується по перетину експериментальних зразків. Мікроструктурні дослідження

виконані при збільшенні 50-500 крат на шліфах експериментальних зразків після їх механічного полірування та травління у 3%-му спиртовому розчині азотної кислоти. Для виключення впливу можливого знеуглецювання сталі (після нагрівання під деформацію) на її мікроструктуру аналіз поверхневих ділянок зразків виконаний на відстані $\sim 0,5$ мм від їх країв.

Результати досліджень та їх обговорення. Дані випробувань міцності представлені у таблиці 3.

Таблиця 3

Залежність показників міцності зразків від параметрів осадки

Номер досліджу	Значення досліджуваного фактору		Межа плинності σ_T (Y_1), МПа	Тимчасовий опір матеріалу σ_B (Y_2), МПа
	Геометричний фактор, (X_1)	Уков, (X_2)		
1	2	1,5	329	624
2	1	1,5	206	670
3	2	2,5	407	600
4	1	2,5	286	614

За даними з випробувань міцності були отримані наступні рівняння регресії:

$$\sigma_T = 307,42 + 61,08 \cdot X_1 + 39,58 \cdot X_2; \quad (2)$$

$$\sigma_B = 627,33 - 14,83 \cdot X_1 - 20,17 \cdot X_2. \quad (3)$$

Аналіз рівнянь 2 і 3 свідчить, що фактор форми (X_1) має більший вплив на межу плинності σ_T (Y_1) – 60% проти 40% впливу значення укову (X_2), але як геометричний фактор, так і уков разом збільшують величину межі плинності σ_T . На величину тимчасового опору матеріалу σ_B (Y_2) вплив укову та геометричного фактору приблизно однаковий, проте зв'язок цих параметрів з величиною σ_B є зворотно пропорційним, отже збільшення укову та геометричного фактору призводить до зменшення тимчасового опору матеріалу.

Керуючись тим, що деформаційно-напружений стан при процесі осадки є симетричним відносно центру зразків для аналізу структури зразки були розрізані навпіл та з них було зроблено шліфи. На поверхні отриманих шліфів було обрано характерні зони: у центрі зразку, на боковій поверхні та на площині контакту з інструментом у місці знаходження осевих ліній зразку (рис. 1 б). Отримані при структурному аналізі зображення структур представлено на рисунку 2.

Мікроструктура всіх досліджуваних зразків є феррито-перлітною з більшим розміром перлітних ділянок в поверхневих зонах контакту зразків з деформуючим інструментом у процесі осадки. Структура поверхневих зон має відманштеттову морфологію (рис. 2, в, е, и, м). Така грубозерниста структура характерна для сталі 20 після високотемпературного нагрівання й уповільненого охолодження без деформації аустеніту або з її мінімальною величиною.

Найбільш дисперсна феррито-перлітна структура утворюється у центральних зонах зразків (рис. 2, а, г, ж, к), що свідчить про найбільш сприятливий вплив деформації аустеніту на подрібнення продуктів його розпаду. Бічні ділянки (рис. 2, б, д, з, л) мають проміжну мікробудову (розмір зерен фериту, перліту і їх співвідношення) між поверхневими і центральними зонами відповідних зразків.

У зразку № 3 з максимальним впливом геометричного фактора і укову на значення σ_T і мінімальний вплив на σ_B спостерігається найбільший розмір феритних і перлітних ділянок в центральній зоні (рис. 2, ж) у порівнянні з іншими зразками.

Найбільш дрібнозерниста структура сталі формується в центральній зоні зразка № 2, що має максимальне значення σ_B і мінімальне значення σ_T . У цьому ж зразку, за попередньою оцінкою, мікроструктура центральної і бічної зони приблизно однакова, а мікроструктура поверхні дисперсної щодо інших зразків. Це свідчить про більш рівномірний і ефективний вплив деформації на формування кінцевої структури по перерізу.

З теоретичних основ ОМТ та металознавства відомо, що під час пластичної гарячої деформації металу спостерігається подрібнення зерен. Аналіз отриманих даних показує, що за деякого поєднання показників геометричного фактору і укову, всупроти теоретичним даним, спостерігається зростання зерен. Про це свідчать і ранні дослідження впливу технологічних параметрів операцій кування на мікроструктуру поковок із сталі 3пс [9].

Висновки

1. Збільшення величини геометричного фактору та укову призводить до підвищення межі плинності матеріалу та зниження тимчасового опору матеріалу. Геометричний фактор на відміну від укову має більший вплив на межу плинності матеріалу. Вплив укову і геометричного фактору на показники тимчасового опору матеріалу приблизно однаковий.
2. Варіювання технологічних параметрів ОМТ опосередковано впливає на процес утворення мікроструктури сталі, тим самим впливає на кінцеві властивості поковок. У об'ємі зразків можна виділити три

характерні зони: центральна зона, зона контакту з деформуючим інструментом та бічна зона. Наявність цих зон обумовлена нерівномірністю розподілу накопиченої деформації. Розміри зон залежать від вихідних та кінцевих розмірів зразків, тобто фактору форми, а також від величини напружень діючих у обсязі металу під час деформації. У зоні контакту з інструментом деформація металу ускладнюється дією сил тертя. Структура у цій

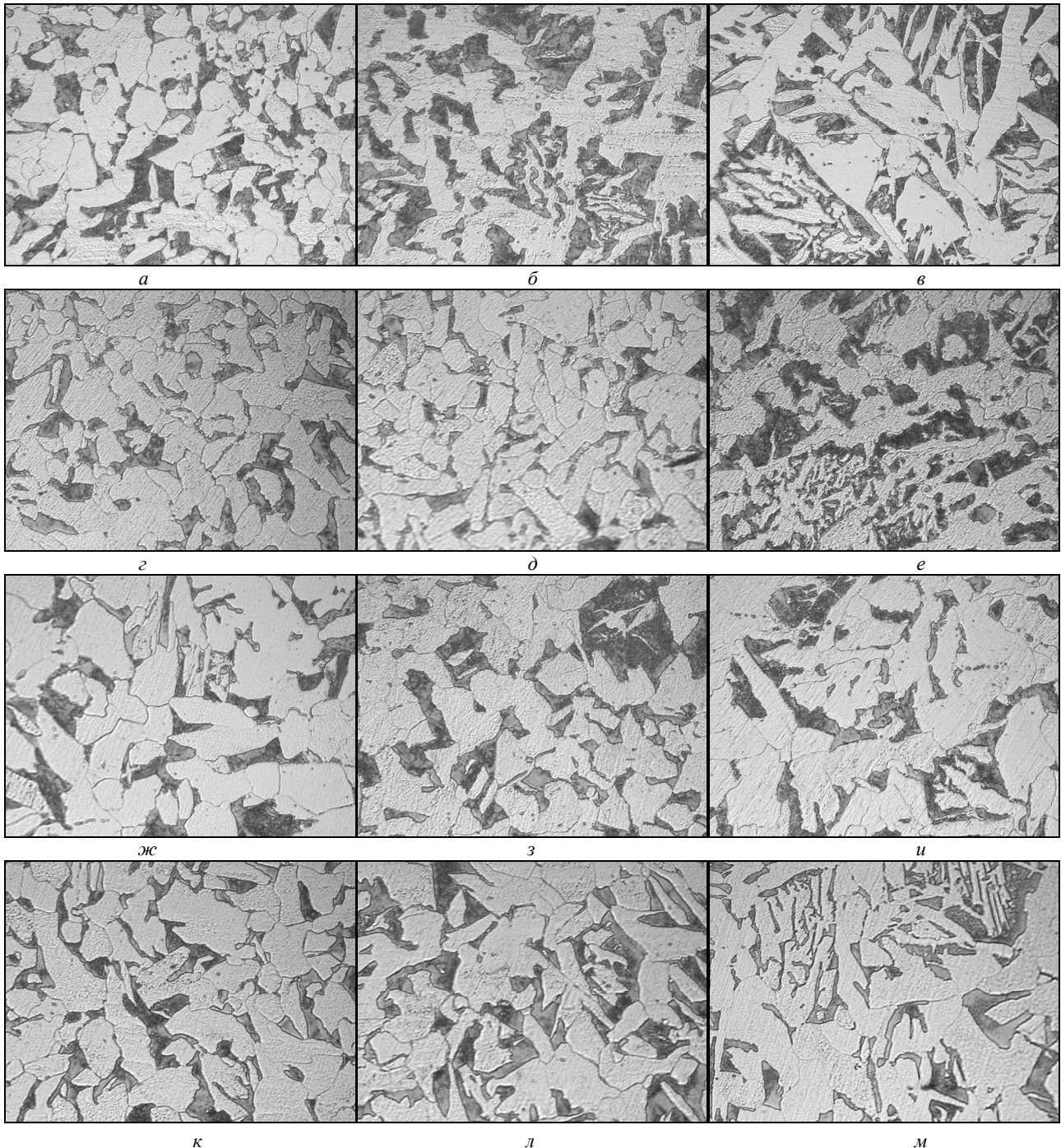


Рис. 2. Мікροструктура зразків зі сталі 20 після різних режимів осадки, $\times 250$: *а, б, в* - зразок № 1; *г, д, е* - зразок № 2; *ж, з, и* - зразок № 3; *к, л, м* - зразок № 4. *а, г, ж, к* - в центральних зонах; *б, д, з, л* - на бічних ділянках; *в, е, и, м* - на поверхнях контакту

зоні має менш однорідна та менш дисперсна. У центральній зоні спостерігається всебічне стиснення і структура є більш однорідною, оскільки такий деформаційно-напружений стан є найбільш вигідним для формування однорідної та високодисперсної структури. Бічна зона є проміжною між центральною зоною та зоною контакту з деформуючим інструментом за своєю структурою. Однак за оптимального режиму деформації мікροструктура центральної і бічної зони приблизно однакова, а отже приблизно однакові і механічні властивості.

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования влияния технологических параметров осадки на механические свойства и структуру поковок из стали 20. Анализ полученных данных свидетельствует, что увеличение величины геометрического фактора и уков приводит к повышению предела текучести материала и снижению временного сопротивления материала. Геометрический фактор в отличие от уков имеет большее влияние на предел текучести материала. Влияние уков и геометрического фактора на показатели временного сопротивления материала примерно одинаково. В связи с неравномерностью распределения накопленной деформации в объеме продеформированного металла наблюдаются три характерные зоны, размеры которых зависят от фактора формы и от величины действующих напряжений. Деформация на поверхности контакта с деформирующим инструментом осложнена действием сил трения. Как следствие, структура в этой зоне является менее однородной. В двух других зонах при оптимальном режиме деформации наблюдаются примерно одинаковые структура и механические характеристики.
Ключевые слова: ковка, осадка, уков, геометрический фактор, сталь, свойства, структура.

Abstract. Contains results of experimental research of influence of technological parameters of draught on the mechanical properties and structure of steel forgings 20.

Purpose. Finding correlation between draught deformations mode and forgings properties and structure.

Design/methodology/approach. As a result of the experiment obtained regression equation defining the degree and character of influence of factor of forging reduction and geometric factor on the mechanical properties of metal (yield strength and tensile strength). Also at work was performed general qualitative analysis of influence of parameters of sediments on the uniformity of microstructure, formed by the cross-sections of the experimental samples.

Findings. geometric factor have more significant influence on the tensile strength than forging reduction level, and the equal influence on the yield strength. Increasing of value of the geometric factor and forgings reduction leads to increasing yield strength of material and reduce the tensile strength of the material. Geometrical factor as opposed to forging reduction has a greater influence on the yield strength of material. Influence of forging reduction and geometric factors on parameters of tensile strength of the material about the same.

Originality/value. Variation of technological parameters of draught allows getting forgings with better properties and equable structure.

Keywords: forging, draught, forging reduction, geometric factor, steel, properties, structure.

1. Охрименко Я.М. Теория процессов ковки //Охрименко Я.М., Тюрин В.А.– М.,Высшая школа, 1977. – 295 с.
2. Кухарь В.В. Новые подходы к исследованию бочкообразования при осадке / [Кухарь В.В., Лаврентик О.А., Павлова и др.] // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2005. – С. 241-246.
3. Соломонов К.Н. Возможности компьютерного анализа осадки заготовки / Соломонов К.Н., Абашкин В.П. //Технология лёгких сплавов. — 2008. — №2. — С. 96-100.
4. Тюрин В.А. /Инновационные технологии ковки с применением макросдвигов /Тюрин В.А.//Кузнечно-штамповочное производство. – 2007. - №11 – С. 11-20.
5. Сторожев М.В. /Теория обработки металлов давлением //М.В.Сторожев, Е.А.Попов. – М.: Машиностроение,1977. – 423 с.
6. Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов: Учебник для вузов.// Новик Ф. С., Арсов Я. Б. - М.: Машиностроение, 1980.-304 с.
7. Авдеев Б. А. Техника определения механических свойств материалов: Учебник для вузов/ Авдеев Б. А. -М.: Машиностроение, 1965.- 484 с.
8. Жуковец И. И. /Механические испытания металлов: Учебник для сред. ПТУ.- 2-ое изд, перераб. и доп./ Жуковец И. И//. - М. : Высш. шк., 1986.- 199 с.
9. Чухліб В.Л. Дослідження впливу технологічних параметрів протяжки на молоті на мікроструктуру поковок із сталі 3пс / Чухліб В.Л, Борисенко А.Ю. //Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»-2009 - №57 – С.47-49.

REFERENCES

1. Ohrymenko Ya.M., Tyuryn V.A Teoryya processov kovky. Moscow: Vyshchaja shkola, 1977. 295 p.
2. Kuhar' V.V., Lavrentyk O.A., Pavlova O.P. Novye podhody k yssledovanyju bochkoobrazovanyja pry osadke. Udoskonalennja procesiv ta obladnannja obrobky tyskom u mashynobuduvanni ta metalurgii': Zb. nauk. pr. Kramators'k, 2005. pp. 241-246.
3. Solomonov K.N., Abashkyn V.P. Vozmozhnasty komp'yuternogo analiza osadky zagotovky. Tehnologyya l'ogkyh splavov. 2008. No 2. pp. 96-100.
4. Tyuryn V.A. Ynnovatsionnyye tehnologyy kovky s prymenenyem makrosdvygov. Kuznechno-shtampovochnoe proyzvodstvo. 2007. No 11. pp. 11-20.
5. Storozhev M.V., E.A.Popov Teoryya obrabotky metallov davlenyem. Moscow: Mashynostroenye, 1977. 423 p.
6. Novyk F. S., Arsov Ja. B. Optymyzacyja processov tehnologyy metallov metodamy planyrovanyya eksperymentov: Uchebnyk dlja vuzov. Moscow: Mashynostroenye, 1980. 304 p.
7. Avdeev B. A. Tehnyka opredelenyya mehanycheskyh svojstv materyalov: Uchebnyk dlja vuzov. Moscow: Mashynostroenye, 1965. 484 p.
8. Zhukovec Y. Y. Mehanycheskye yspytanyja metallov: Uchebnyk dlja sred. PTU.- 2-oe yzd, pererab. y dop. Moscow : Vyssh. shk., 1986. 199 p.
9. Chuhlib V.L., Borysenko A.Yu. Doslidzhennja vplyvu tehnologichnyh parametriv protjazhky na moloti na mikrostrukturu pokovok iz stali 3ps. Journal of Mechanical Engineering of NTUU «KPI», 2009, No 57, pp.47-49.