

УДК 621.438.002.2

В. А. ТІТОВ, докт. техн. наук, проф., НТУУ «КПІ»;

Н. К. ЗЛОЧЕВСЬКА, канд. техн. наук, асистент, НТУУ «КПІ», Київ

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ТА СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГОМОГЕННИХ ТА СТРУКТУРНО-НЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ВЕЛИКИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗСУВУ

Встановлені закономірності формування структурних властивостей шляхом деформування в ізотермічних умовах. На основі експериментального формоутворення методом гвинтового уширяючого пресування та металографічних дослідів встановлений взаємозв'язок між ступеню інтенсивності деформацій та морфологією структури матеріалу, а також його механічними властивостями. Обґрунтовано підвищення пластичності за рахунок подрібнення структурних компонентів матеріалу.

Ключові слова: гвинтове уширяюче пресування, інтенсивна пластична деформація, структурні та механічні властивості, ізотермічне пресування.

Вступ. Серед методів обробки металів, що створюють великі деформації зсуву в осередку деформацій при зберіганні поперечного перерізу заготовки, найбільш поширеними, є рівноканальне кутове пресування [1, 2] та гвинтова екструзія [3]. В результаті великих пластичних деформацій зсуву розміри структурних елементів (зерен, кристалів, фрагментів та інших) зменшується і досягають значень, характерних для нано- і субмікрокристалічних структурних матеріалів. Внаслідок цього метали здобувають якісно нові властивості. Зокрема, вони мають високу (на 20–40% більше) міцність в поєднанні з великою пластичністю. Однак по ефективності впливу на структуру металу та продуктивності процесу більш перспективним є – метод гвинтової екструзії. Аналіз робіт [4–8] показав, що на механічні властивості отриманих заготовок в значній мірі впливають форма гвинтового каналу, наявність протитиску, якість вихідного матеріалу, змащення.

Тому, керування формою гвинтового каналу може забезпечити рівномірність механічних властивостей матеріалу заготовки. В якості процесу формування властивостей матеріалу заготовок обраний процес рівноканального гвинтового уширяючого пресування (ГУП), оснований на принципах гвинтової екструзії з використанням матриці, еліптичної форми перерізу запропонованої авторами [9].

Метою роботи є встановлення закономірностей формування властивостей гомогенних та структуро-неоднорідних матеріалів в ізотермічних умовах при гвинтовому уширяючому пресуванні.

Матеріали та методика експерименту. Для проведення експерименту була використана комп'ютеризована установка, яка монтується на гвинтовий фрикційний прес моделі ФА-124.

Вихідні зразки механічно обробляли до розмірів: діаметр 29,5 мм і висота 50 мм. Матеріали випробовуваних зразків: литий алюмінієвий сплав АК7, алюмінієво-літєвий сплав – 1420; цирконієвий сплав системи Zr-Nb; титановий сплав системи Ti-TiB_n евтектичного складу (бор – 1,55%, титановий сплав BT22 – основа), що відповідає об'ємному змістом TiB₂ близько 10%. Перед деформуванням заготовки нагрівали в печі типу СНОЛ 7,2/1000 до відповідних температур деформування. Пресування заготовок виконувалось за методикою робіт [10, 11, 12, 13, 14].

Постановка та результати дослідження та їх аналіз. Діаграма навантаження заготовок при пресуванні показана на рис.1.

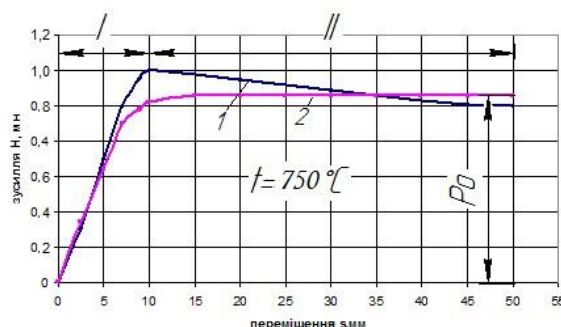
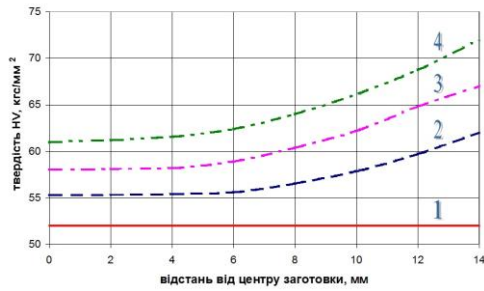


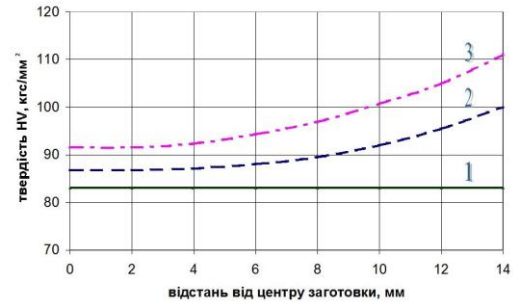
Рис. 1 – Типова діаграма залежності зусилля пресування від переміщення пуансону:
1 – експериментальна; 2 – теоретично-розрахункова

На рис. 1 наведено порівняння експериментальних (1) та теоретичних (2) залежностей зусилля-переміщення. Максимальна похибка теоретичного визначення зусилля чисельними методами не перевищує 12–14%.

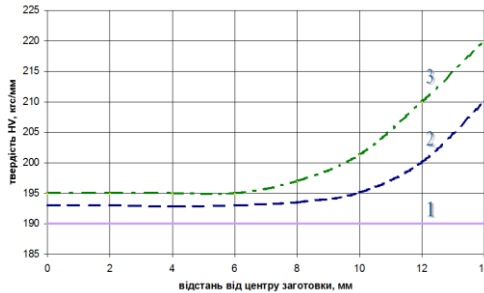
На рис. 2 показані залежності твердості по Віккерсу для заготовок з алюмінієвих цирконієвого та титанового сплавів поздовж радіальної координати для різної кількості проходів.



Сплав АК7



Сплав 1420



Сплав системи Zr-Nb

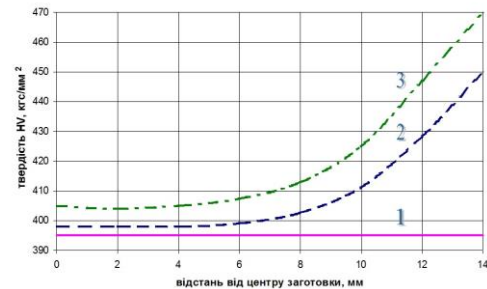
Сплав системи Ti-TiB_n

Рис. 2 – Залежність мікротвердості заготовки поздовж радіальної координати:
 1 – без обробки; 2 – після першого проходу; 3 – після другого проходу;
 4 – після третього проходу

Показано, що величина твердості підвищується при збільшенні ступеню накопиченої деформації (рис. 2), а максимальна твердість досягає в периферійній зоні. Порівняння залежностей твердості та ступеню деформації, яка розрахована чисельними методами [12], залежно від радіальної координати деформованої заготовки після першого проходу показує, що величина твердості пропорційна величині деформацій і може бути використана для оцінки деформацій. Це не суперечить методу заміру деформацій по заміру твердості матеріалів, основи якого розроблено Г.Д. Делем, Г.О. Смірновим-Аляєвим та іншими. Залежності показують, що при гвинтовому уширюючому пресуванні на першому проході основні деформації розвиваються у периферійній зоні зразка. На наступних проходах процесу пресування зона деформацій зсуву збільшується по величині і має тенденцію розповсюджуватись на всю товщину заготовки при умові багатократного проходження заготовкою гвинтового каналу при пресуванні (рис. 2).

На рис. 3 наведено порівняння мікроструктури зразка матеріалу АК7 в центральній та крайовій зонах в залежності від накопиченої деформації після декількох проходів.

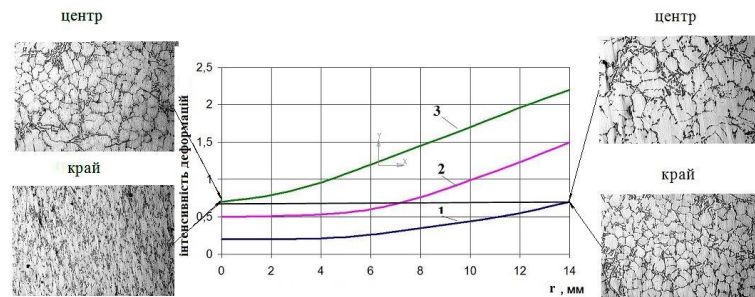


Рис. 3 – Вплив деформації на структуру матеріалу заготовки після ГУП для одного (1), двох (2), трьох (3) проходів

Показано, що вже після третього переходу в центральній зоні величина накопиченої деформації приблизно дорівнює величині деформації після першого проходів у крайовій зоні.

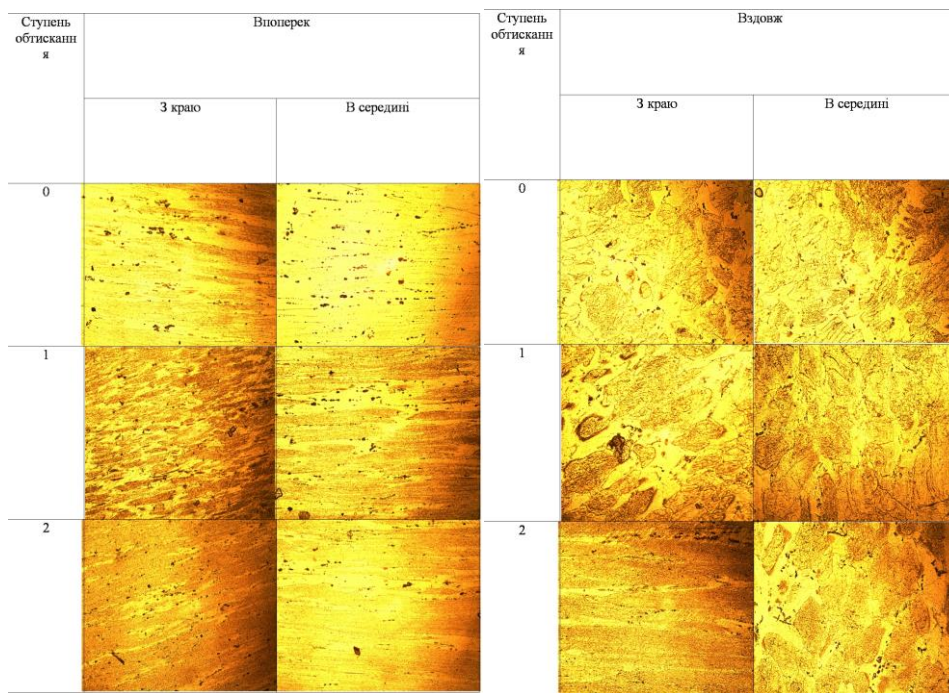


Рис. 4 – Вплив пластичних деформацій обробки зразків із сплаву 1420 на структуру металу: 0, 1, 2 – кількість циклів обробки відповідно

В результаті деформаційної обробки відбувається подрібнення зерен, структурних складових і очищення границь, а ступінь подрібнення кристалічної структури для всіх досліджених матеріалів зростає від центру до бічної поверхні зразка пропорційно до ступеню накопиченої деформації (рис. 4). Деформовані зерна орієнтуються в напрямку течії металу.

У периферійній зоні в зразках вже після двох циклів деформаційної обробки ГУП (рис. 5) спостерігається характерна деформована зона товщиною приблизно 5 мм. В результаті трьох циклів деформаційної обробки ширина периферійної зони збільшується до 7 мм, що відповідає приблизно 70% площі поперечного перерізу зразка. Таким чином деформації зсуву розповсюджуються від периферії заготовки до центру з кожним циклом обробки заготовки ГУП. Аналогічні результати отримані також для зразків сплаву Zr-1%Nb (рис. 6).

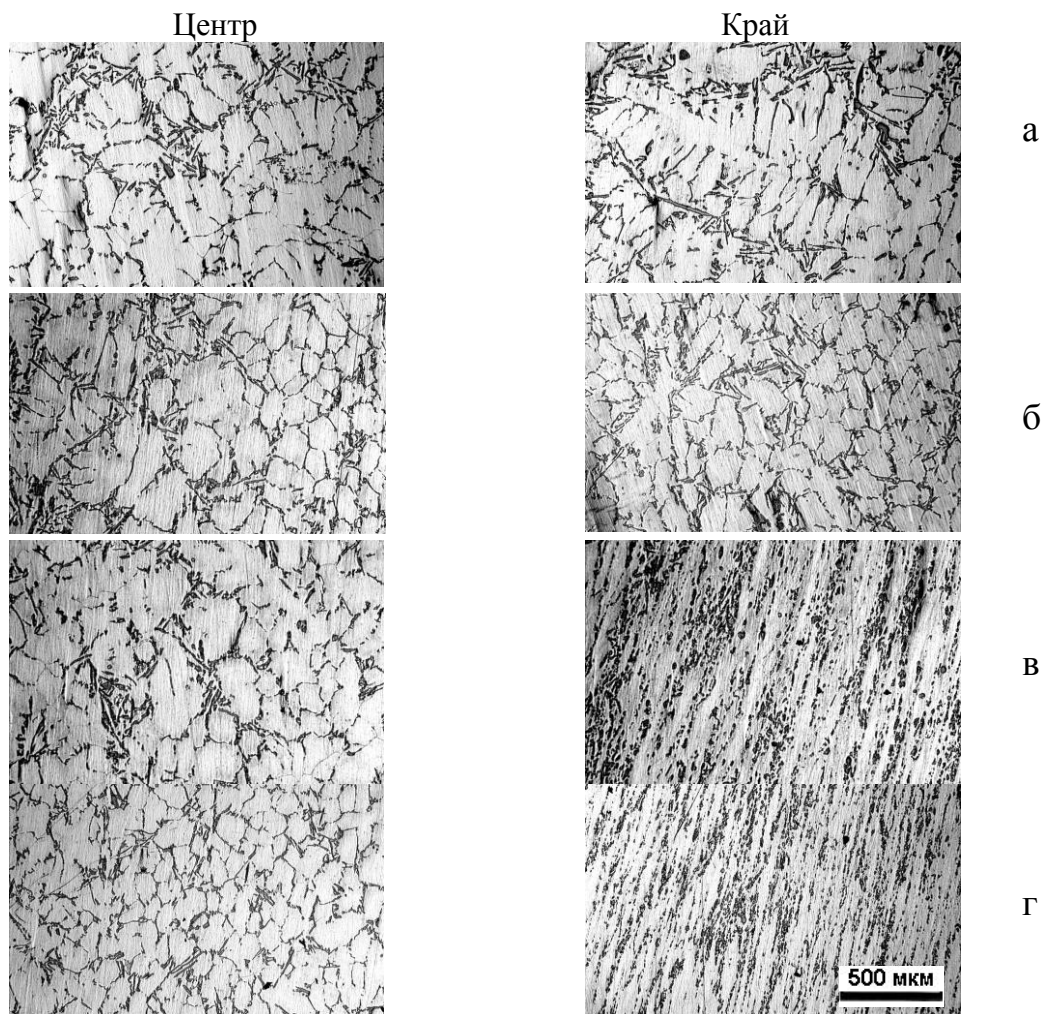


Рис. 6 – Вплив інтенсивних пластичних деформацій обробки на структуру металу в осьовій площині литих зразків із сплаву АК7: а, б, в, г – кількість циклів обробки 0, 1, 2 і 3 відповідно

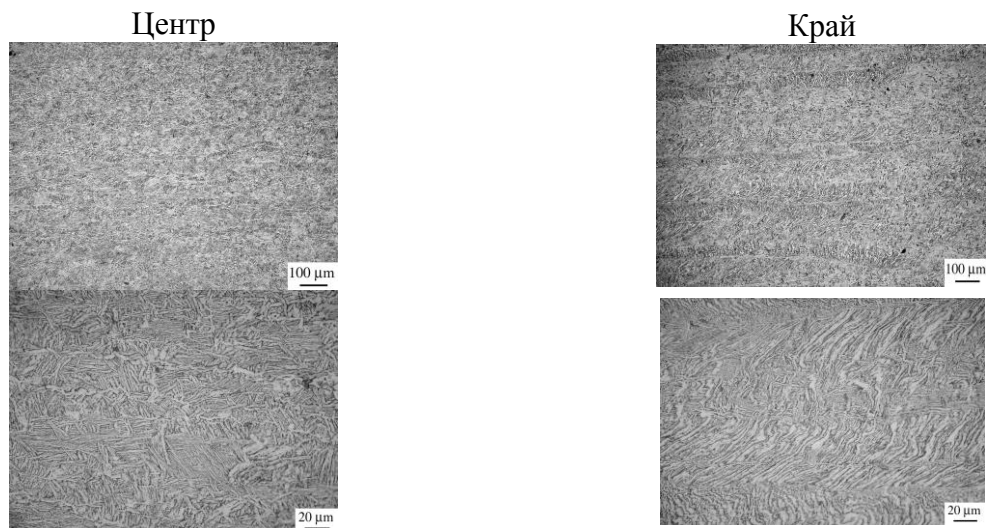


Рис. 7 – Вплив пластичних деформацій обробки на структуру металу в поперечній площині литих зразків із сплаву Zr 1% Nb

Для титанового сплаву системи Ti-TiB_n (рис. 8) встановлено, що в результаті пластичної деформації ГУП відбувається подрібнення твердої фази TiB_n.

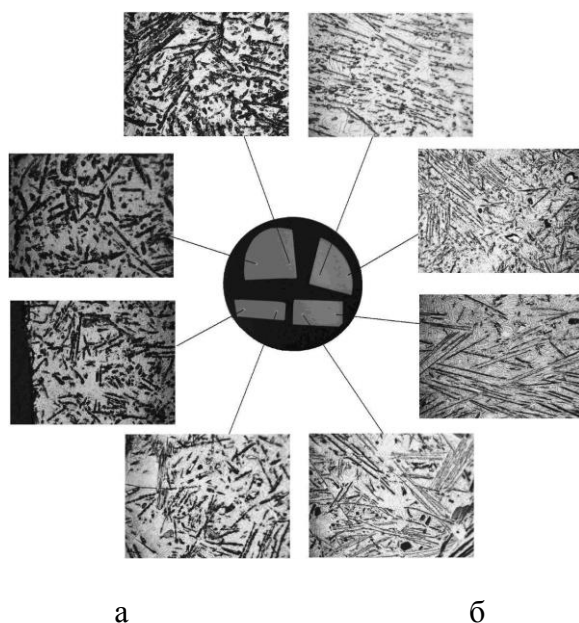


Рис. 8 – Металографічне дослідження зразка: а – зразок без обробки; б – зразок після обробки ГУП

В результаті цього розмір часток TiB_n зменшується в 1,5-3,0 рази в шарах близьких до периферії і в центральній зоні 1,1-1,3 рази. Елементи твердої фази приймають упорядковане розташування в напрямку примусових градієнтів деформацій зсуву. На границях злому твердої фази TiB_n відбувається заліковування пошкоджень, оскільки подрібнення виникає в умовах всебічного стискання при гарячій пластичній деформації.

Металографічний аналіз дозволяє також заключити, що у повздовжньому напрямку мікроструктура сплавів практично не залежить від ступеня деформації і є однаковою в усіх областях.

Механічні властивості на стиск визначені на зразках зі сплаву АК7 і 1420 відповідно до ГОСТ 25.503 – 97, а також на зразках зі сплаву Zr-Nb і Ti-TiB_n при дослідях на розтяг відповідно до ГОСТ 1497 – 84. На рис. 9 наведені залежності величин границь текучості $\sigma_{0,2}$ та границь міцності σ_B від кількості проходів при ГУП.

Результати дослідження механічних властивостей показують, що після деформування величина міцності підвищується: для сплаву АК7 глобулярної структури після першого проходу на 13–15%, після другого проходу на 18–20%, після третього на 23–25%; для сплаву 1420 після першого проходу на 15–18%, а після другого проходу на 19–24%; для сплаву системи Zr-Nb після першого проходу на 10–12%, а після другого проходу на 15–17%; для сплаву системи Ti-TiB_n після першого проходу на 10–13%, а після другого проходу на 16–17%. При цьому відносне подовження зразків при одноосному розтягуванні практично не змінюється.

Висновки. 1. Показано, що в результаті деформаційної обробки відбувається подрібнення зерен, а ступінь подрібнення кристалічної структури для всіх досліджених матеріалів зростає від центру до периферії пропорційно величині накопиченої деформації. Здеформовані зерна орієнтуються (витягуються) в напрямку течії металу. Після ізотермічного ГУП величина границі міцності підвищується для сплаву АК7 на 18–20%, для сплаву 1420 відповідно 19–24%, а для сплаву Zr-1%Nb відповідно 15–17%. При цьому відносне подовження зразків при одноосному розтягуванні, практично не змінюється.

2. Встановлено, що в результаті пластичної деформації ізотермічного ГУП відбувається подрібнення твердої керамічної фази TiB_n. В результаті цього розмір часток TiB_n зменшується в 1,5–3,0 рази в шарах близьких до периферії і в центральній зоні в 1,1–1,3 рази. Елементи твердої фази приймають упорядковане розташування в напрямку максимальних градієнтів деформацій

зсуву. На границях злому твердої фази TiV_n відбувається залікування пошкоджень при всебічному стиску в умовах гарячої пластичної деформації.

Список літератури: 1. Schuh C.A. The effect of solid solution W additions on the mechanical properties of nanocrystalline Ni/ C.A. Schuh, T.G. Nieh, H. Iwasaki // Acta Materialia. — 2003. — v.51. —P.431–443. 2. Боткін А.В. Деформационные и силовые параметры процесса равноканального углового прессования длинномерной заготовки по схеме «Conform»/А.В. Боткін, Р.З. Валієв, А.Н. Абрамов, А.Г. Рааб // Кузнечно–штамповочное производство. Обработка материалов давлением – 2009. № 11, с. 8–14 3. Бейгельзімер Я.Е. Винтовое прессование: технологические аспекты/ Я.Е Бейгельзімер, Д.В. Орлов, С.Г. Синков, А.В.Решітов. // Физика и техника высоких давлений.–2002.– Том №12, №4, с. 40–46. 4. Бейгельзімер Я. Є. Уширяющая экструзия как метод устранения неравномерности свойств по сечению заготовки./ Я.Е Бейгельзімер, А.В.Решітов, С.Г. Синков // ВІСНИК Домбаської державної машинобудівної академії, 2005, №2, с.57–61. 5. Саїтова Л.Р. Повышение механических свойств сплава Ti–6Al–4V способами равноканального углового прессования и последующей пластической деформации./ Л. Р. Саїтова, І. П. Семенова, Г. І. Рааб, Р. З. Валієв // Физика и техника высоких давлений 2004, том 14, №4, с. 19–23. 6. Матросов Н.І. Влияние равноканального многоуглового прессования на структуру, фазовый состав и свойства сплава Nb–Ti / Н.І.Матросов, В.В.Чішко, В.Ю.Дмитренко, Є.А. Павловская, Л.Ф. Сеннікова, В.З.Спусканюк, В.В. Чабаненко, С.В. Васильєв, Е.А. Медведская, Б.А.Шевченко // Физика и техника высоких давлений 2005, том 15, №1. С.95–53. 7. Коришонов А.І. Исследование влияния количества циклов равноканального углового прессования на скоростную чувствительность титана VT1–0/А.І. Коришонов, І.І. Ведєрніков, Л.В. Поляков, А.А. Смоляков, Т.Н. Кравченко, І.В. Коротченко // Физика и техника высоких давлений 2006, том. 16, №4. С. 68–71. 8. Мурашкін М.Ю. Особенности структуры и механические свойства алюминиевого сплава 6061, подвергнутого обработке равноканальным угловым прессованием в параллельных каналах /М.Ю. Мурашкін, Є.В. Бобрук, А.Р. Кільмаєстов, Р.З.Валієв // Физика металлов и металловедение, 2008, том 108, №4, С. 439–447. 9. Варюхін В.Н. Влияние винтовой гидроэкструзии и прокатки на изменение субмикроструктуры меди /В.Н. Варюхін, Е.Г. Пашинская, С.В. Добаткін, С.Г. Синков, В.М. Ткаченко, А.В. Решітов // Физика и техника высоких давлений 2002, том 12, №4, с.53–59. 10. Патент України № 64346 Матриця для зміцнення матеріалу при багаторазовому пресуванні /В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Н.К. Злочевська, Е.В. Кондратюк, Г.І. Пейчев., опубл. 10.11.2011. Бюл.21. 11. Злочевська Н.К. Закономірності формування структурних та механічних властивостей сплава системи Zr– Nb в умовах інтенсивних пластичних деформацій // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. № 43 (1016) с. 114–120. 12. Злочевская Н.К. Деякі закономірності формування структурних властивостей ливарного сплаву АК7ч в умовах інтенсивних пластичних деформацій / Н.К. Злочевская, В.М. Дука, В.В. Піманов, П.С.Вишневський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2011. № 62. с. 251–254 13. Семенченко А.И. Изотермическое прессование литых заготовок из сплава Ак7ч / А.И Семенченко, Н.К. Злочевская, А.Г. Вернидуб, Л.К.Шеневидько // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2011. № 62. с.237–241. 14. Добровлянський С.М. Установка для дослідження пресування в ізотермічних умовах / С.М. Добровлянський, П.С. Вишневський, С.Ф. Калантир, Н. К Злочевська // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2009. № 56. с. 189–192.

Bibliography (transliterated): 1. Schuh C.A. The effect of solid solution W additions on the mechanical properties of nanocrystalline Ni/ C.A. Schuh, T.G. Nieh, H. Iwasaki // Acta Materialia. — 2003. — v.51. — P. 431–443. 2/ Botkin A.V. Deformatsionnyie i silovyye parametryi protsessa ravnokanalnogo uglovogo pressovaniya dlinnomernoy zagotovki po sheme «Conform»/A.V. Botkin, R.Z. Valiev, A.N. Abramov, A.G. Raab // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem – 2009. No 11, p. 8–14. 3. Beygelzimer Ya.E. Vintovoe pressovanie: tehnologicheskie aspektyi/ Ya.E Beygelzimer, D.V. Orlov, S.G. Sinkov, A.V. Reshitov. // Fizika i tehnika vyisokih davleniy. – 2002 – Vol; No 12, No 4, p. 40–46. 4. Beygelzimer Ya. E. Ushiryayuschaya ekstruziya kak metod ustraneniya neravnomernosti svoystv po secheniyu zagotovki./ Ya.E Beygelzimer, A.V. Reshitov, S.G. Sinkov // VISNIK Dombaskoyi derzhavnoyi mashinobudivnoyi akademiyi, 2005, No 2, p. 57–61. 5. SaItova L.R. Povyishenie mehanicheskikh svoystv splava Ti–6Al–4V sposobami ravnokonalnogo uglovogo pressovaniya i posleduyuschey plasticheskoy deformatsii./ L. R. SaItova, I. P. Semenova, G. I. Raab, R. Z. Valiev // Fizika i tehnika vyisokih davleniy 2004, tom 14, No 4, p. 19–23. 6. Matrosov N.I. Vliyanie ravnokanalnogo mnogouglovogo pressovaniya na

структуру, fazovyyi sostav i svoystva splava Nb–Ti / N.I.Matrosov, V.V.ChIshko, V.Yu.Dmitrenko, E.A. Pavlovskaya, L.F. SEnnIkova, V.Z.Spuskanyuk, V.V. Chabanenko, S.V. VasilEv, E.A. MEduEdskaya, B.A.Shevchenko // Fizika i tehnika vyisokih davleniy 2005, vol 15, No 1. P. 95–53. 7. Korshunov A.I. Issledovanie vliyaniya kolichestva tsiklov ravnokanalnogo uglovogo pressovaniya na skorostnuyu chuvstvitelnost titana VT1–0/ A.I. Korshunov, I.I. VEDErnIkov, L.V. Polyakov, A.A. Smolyakov, T.N. Kravchenko, I.V. Korotchenkova // Fizika i tehnika vyisokih davleniy 2006, vol. 16, No 4. P. 68–71. 8. MurashkIn M.Yu. Osobenosti strukturyi i mehanicheskie svoystva alyuminievogo splava 6061, podvergnutogo obrabotke ravnokanalnyim uglovym pressovaniem v parallelnyih kanalah /M.Yu. MurashkIn, E.V. Bobruk, A.R. KilmamEtov, R.Z. VallEv // Fizika metallov i metallovedenie, 2008, vol 108, No 4, P. 439–447. 9 VaryuhIn V.N. Vliyanie vintovoy gidroekstruzii i prokatki na izmenenie submikrostrukturyi medi /V.N. VaryuhIn, E.G. Pashinskaya, S.V. DobatkIn, S.G. Sinkov, V.M. Tkachenko, A.V. REshEtov // Fizika i tehnika vyisokih davleniy 2002, tom 12, No 4, p. 53–59. 10. Patent UkraYini No 64346 Matritsya dlya zmltsnennyya materIalu pri bagatorazovomu presuvannI /V.A. TItov, M.S. Trivaylo, N.K. Zlochevska, E.V. Kondratyuk, G.I. Peychev., opubl. 10.11.2011. Byul.21. 11. Zlochevska N.K. ZakonomIrnostI formuvannya strukturnih ta mehanIchnih vlastivostey splava sistemi Zr–Nb v umovah Intensivnih plastichnih deformatsIy // VIsnik NTU «KHPI». – 2013. No 43 (1016) p. 114–120. 12. Zlochevska N.K. DeyakI zakonomIrnostI formuvannya strukturnih vlastivostey livarnogo splavu AK7ch v umovah Intensivnih plastichnih deformatsIy / N.K. Zlochevska, V.M. Duka, V.V. Plmanov, P.S.Vishnevskiy // VIsnik NTUU«KPI». SerIya «Mashinobuduvannya». – 2011. No 62. p. 251–254. 13. Semenchenko A.I. Izotermicheskoe pressovanie lityih zagotovok iz splava Ak7ch / A.I. Semenchenko, N.K. Zlochevska, A.G. Vernidub, L.K. Shenevidko // Vestnik Natsionalnogo tehnikeskogo universiteta Ukrainy «Kievskiy politehnicheskiy institut». Seriya «Mashinostroenie». – 2011. No 62. p. 237–241. 14. Dobrovlyanskiy S.M. Ustanovka dlya doslIdzhennyya presuvannya v IzotermIchnih umovah / S.M. Dobrovlyanskiy, P.S. Vishnevskiy, S.F. Kalantir, N.K. Zlochevska // VIsnik NTUU «KPI». SerIya «Mashinobuduvannya». – 2009. – No 56. p. 189–192.

Надійшла (received) 12.11.2015

УДК 628.16:621.981.3

О. І. ТРИШЕВСЬКИЙ, докт. техн. наук, проф., ХНТУСГ

ім. П. Василенка, Харків,

М. В. САЛТАВЕЦЬ, інж., ХНТУСГ ім. П. Василенка, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ШАРІВ МЕТАЛУ І ІНТЕНСИВНОСТІ ВИДІЛЕННЯ ТЕПЛА ПРИ ЧИСЕЛЬНОМУ РІШЕННІ ЗАДАЧ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ

Встановлено, що для чисельного рішення теплофізичних задач теплообміну системи валок – полоса, що описуються рівняннями нестационарної теплопровідності, найбільш ефективним є вибраний метод кінцевих від’ємностей, на основі якого визначені залежності швидкості переміщення шарів металу і підвищення температури внаслідок його пластичного деформування. Виконані дослідження є основою для подальшого вирішення нелінійних задач, що описуються рівняннями нестационарної теплопровідності, зокрема задач теплового стану системи валок – полоса при прокатці.

Ключові слова: гаряча прокатка, смуга, математична модель, тепловий стан, надшвидкісне охолодження, чисельне рішення, метод кінцевих різниць.

Вступ. Відомо, що з метою скорочення часу технологічного процесу і економії енергетичних витрат, розроблено устаткування для надшвидкісного охолодження листа