

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.735.3

DOI: 10.37142/2076-2151/2020-1(50)83

Жбанков Я. Г.
Алієв І. С.
Таган Л. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ КРУПНОГАБАРИТНИХ ПОКОВОК ПРОФІЛЬОВАНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Одним з найважливіших завдань сучасного металургійного виробництва є отримання продукції, яка відповідає необхідним параметрам якості з мінімальною собівартістю. Що стосується ковальського виробництва машинобудівних і металургійних підприємств, то забезпечення мінімальної собівартості можливе за рахунок оптимізації технологічного процесу шляхом виключення енергоємних операцій, зменшення кількості переходів кування і нагрівань, збільшення точності отримуваних виробів (збільшення КІМ), а також за рахунок зниження кількості невиправного браку.

Вагому частину номенклатури підприємств важкого машинобудування, що включають в себе ковальське виробництво, складають вироби типу плит. Основний спосіб кування таких виробів – це протяжка, причому протяжка може вестися інструментом різної конфігурації.

Дослідженню процесів кування протяжкою приділено велику увагу як вітчизняними, так і зарубіжними вченими. Так, наприклад, в роботі [1] наведено дослідження процесу протяжки заготовки плоскими бойками зі скосом і встановлені оптимальні геометричні параметри інструменту і параметри механічного режиму кування. Дослідження процесу протяжки інструментом більш складних форм (комбіновані, вирізні бойки, асиметричної форми, ступінчасті) також проведено в роботах зарубіжних дослідників [2–5] і вітчизняних дослідників [6–9]. З точки зору кування покровок типу плит, найбільш доцільним є використання плоских бойків (рис. 1), тому що саме вони дозволяють сформувати остаточну форму і розміри виробу [6, 10–11].



а



б

Рис. 1. Процес протяжки плоскими бойками на підприємстві Faircrest Steel Plant США (а) и Uddeholm's HAGFORS (б)

Такі плоскі бойки, як показує практика, повинні мати скошену робочу кромку. Скошена кромка на бойках при протяжці плит дозволяє зменшити величину бічної хвилястості і так званого «язика» на торці поковки. Незважаючи на те, що протяжка такими бойками вже проводиться досить часто на практиці, особливо при куванні низькопластичних металів зустрічається брак у вигляді поперечних тріщин (рис. 2), що пов'язано, в тому числі і з нераціональними параметрами розмірів інструменту, які в процесі кування не забезпечують сприятливої схеми напружено-деформованого стану (НДС).



Рис. 2. Фотографія дефектної поверхні плити при протяжці плоскими бойками

Для вибору раціональних параметрів бойків для кування плит, актуальним є розробка математичних моделей і рекомендацій на їх основі, які враховують ряд вихідних параметрів, таких як НДС заготовки та її формозміну.

Метою даної роботи є визначення раціональних параметрів плоских бойків зі скосом і механічного режиму протяжки на основі моделювання процесу методом скінченних елементів і експериментальна верифікація теоретичних досліджень.

Метод скінченних елементів зарекомендував себе як один з найбільш точних методів розрахунку процесів пластичного деформування в цілому і процесів кування крупних поковок зокрема. З використанням методу скінченних елементів проведено моделювання процесу протяжки плоскими бойками зі скосом. Вихідна заготовка мала квадратний поперечний переріз зі стороною квадрата 800 мм, довжина заготовки 2000 мм. Матеріал – сталь 38ХНМ. Початкова температура заготовки 1100° С, заготовка розбивалася на 50000 елементів, швидкість обтиснення заготовки бойком 20 мм/с, при моделюванні коефіцієнт пластичного тертя Зібеля приймався рівним 0,35. Протяжка здійснювалася плоскими бойками шириною $B = 1000$ мм з радіусом заокруглення кромки робочої поверхні 50 мм, кутами скосу 0, 10, 15, 20°.

Проведено дослідження впливу величини кута скоса α і довжини фаски L (рис. 3, а) на розподіл інтенсивності логарифмічних деформацій і напружень в заготовці і на формозміну (параметри b , b_1 , x (рис. 3, б)). Відносна довжина фаски L/B приймалася рівною 0,25, 0,35 і 0,45, відносна подача приймалася рівною 2/3 ширини бойка, величина обтиснення $\varepsilon_h = 0,15$.

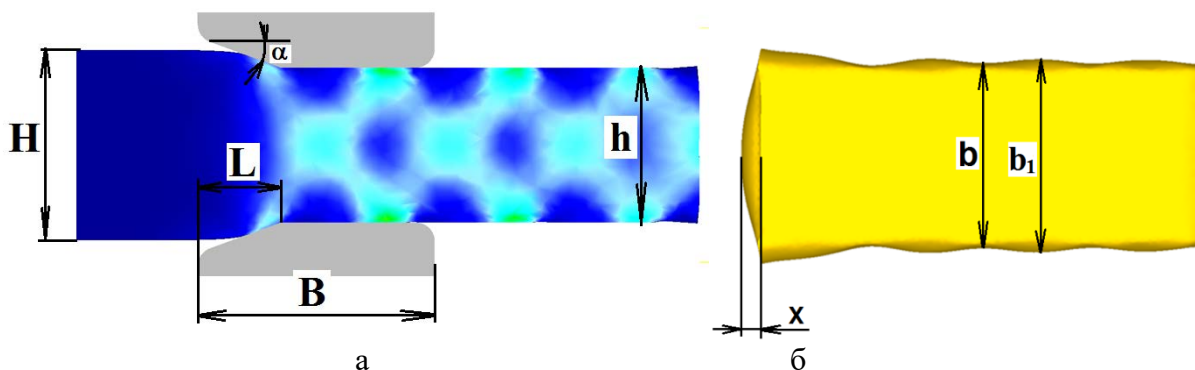


Рис. 3. Схема процесу протяжки бойками зі скосом (а) та заготовки після протяжки (б)

В результаті моделювання отримані поля розподілу інтенсивності логарифмічних деформацій в заготовці, в залежності від параметрів інструменту і режиму протяжки (рис. 4).

Встановлено, що найбільші деформації в заготовці в процесі протяжки плоскими бойками зосереджуються локально на поверхні заготовки і в центральній її частині. На поверхні заготовки деформації концентруються безпосередньо під кромкою плоского бойка і це обумовлено інтенсивним зсувом металу при стисненні на границі між жорстким недеформованим кінцем заготовки і кінцем заготовки, підданим деформації. Найбільші деформації на поверхні заготовки спостерігаються при протяжці бойком без скоса, тут вони досягають величини 0,7 при відносному обтисненні 0,15. Найменша величина деформації на поверхні заготовки при протяжці бойком з кутом скоса 10–15°, причому довжина фаски ніяк не впливає на величину деформації. При протяжці такими бойками інтенсивність логарифмічних деформацій дорівнює 0,35. Це говорить про те, що утворення поверхневої тріщини в даному випадку менш ймовірне.

Концентрація великих деформацій в центральній частині заготовки обумовлена великою площею контакту між заготовкою і інструментом. Видно, що зони максимальних деформацій в заготовці розташовані періодично, уздовж осі, що відповідає періодичним подачам заготовки в процесі протяжки. Така локалізація деформацій небажана, тому що вона веде до вичерпання ресурсу пластичності металу і утворення тріщини. Найменша нерівномірність розподілу деформацій в об'ємі заготовки відповідає протяжці бойком з кутом скоса $\alpha = 10^\circ$, і довжиною фаски $L/B = 0,35$ при постійній подачі, рівній 2/3 ширини бойка.

На основі отриманих даних про напружено-деформований стан заготовки був розрахований показник жорсткості схеми напруженого стану η для точки, що знаходиться на поверхні заготовки в зоні максимальних деформацій, за такою формулою

$$\eta = \frac{3 \cdot \sigma_{cp}}{\sigma_i}, \quad (1)$$

де σ_{cp} – середнє напруження, МПа;

σ_i – інтенсивність напружень, МПа.

Для визначення можливості утворення тріщини при протяжці на заготовці, за результатами моделювання, побудували шлях деформування [11] і наклали його на діаграму пластичності (рис. 4).

З рис. 5 видно, що найближче до кривої граничних деформацій знаходиться шлях деформування для точки на поверхні заготовки, яка протягується плоскими бойками без фаски. Це говорить про те, що поява поверхневих тріщин більш ймовірна для заготовки, яка протягується даним інструментом. Аналізуючи шляхи деформування для подібних точок поверхні заготовки, яка протягується бойками з різною величиною фаски, можна зробити висновок про те, що величина фаски надає певний вплив на можливість руйнування заготовки.

З рис. 5 видно, що найменша ймовірність утворення поверхневої тріщини в заготовці, яка протягується бойками з кутом фаски 10 градусів і довжиною 450 мм ($L/B = 0,45$), що дозволяє рекомендувати такий інструмент для протяжки плит.

Для визначення раціональних параметрів кування з точки зору мінімальної кількості переходів, проведено дослідження формозміни заготовки в процесі протяжки бойками різної конфігурації. На рис. 6 наведено картини, які відображають формозміну заготовки після протяжки бойками різної конфігурації.

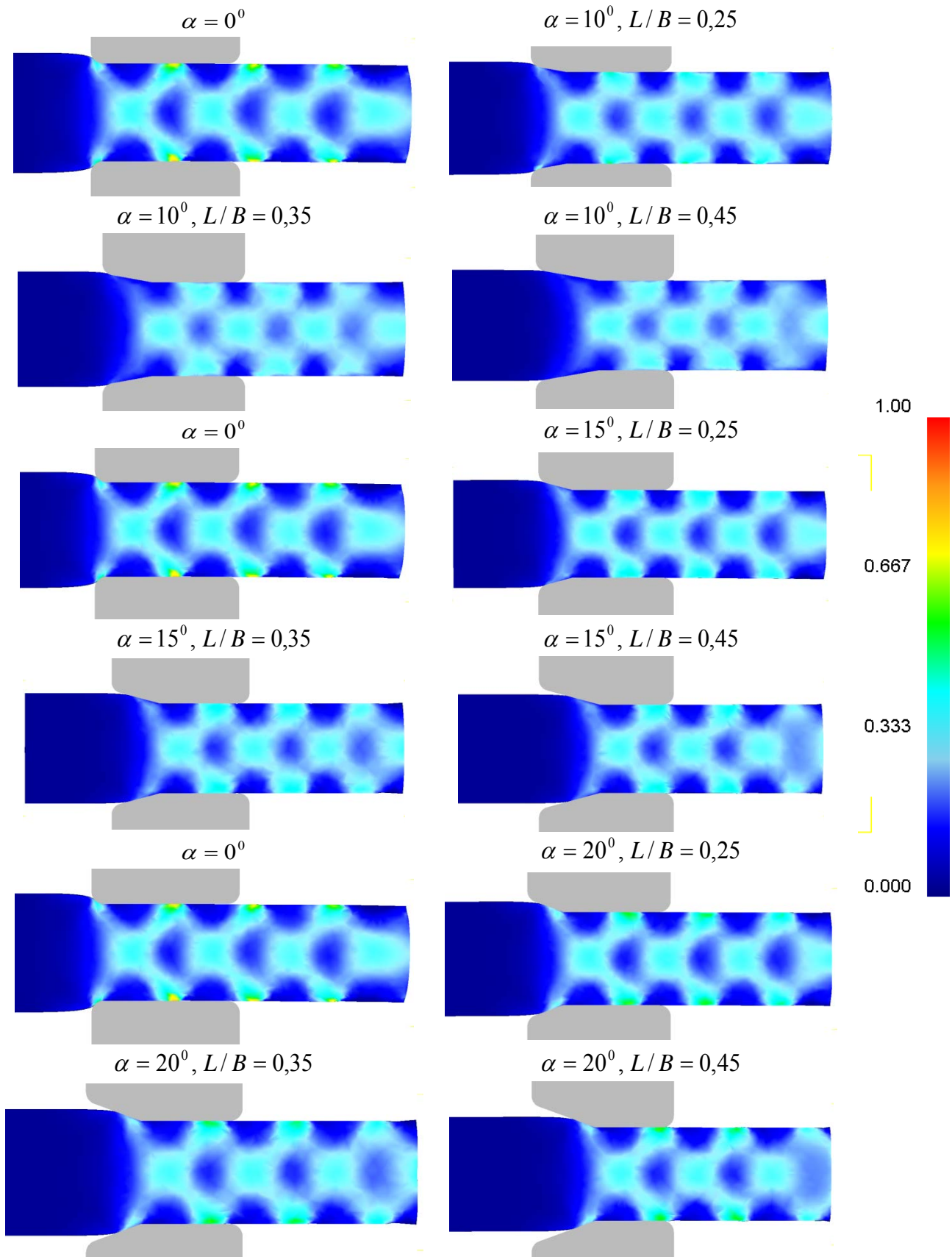


Рис. 4. Поля розподілу інтенсивності логарифмічних деформацій в поперечному перерізі заготовки в процесі протяжки плоскими бойками зі скосом різної величини при відносному стисненні заготовки, рівному 0,15 і подачі, рівній 2/3 ширини бойка

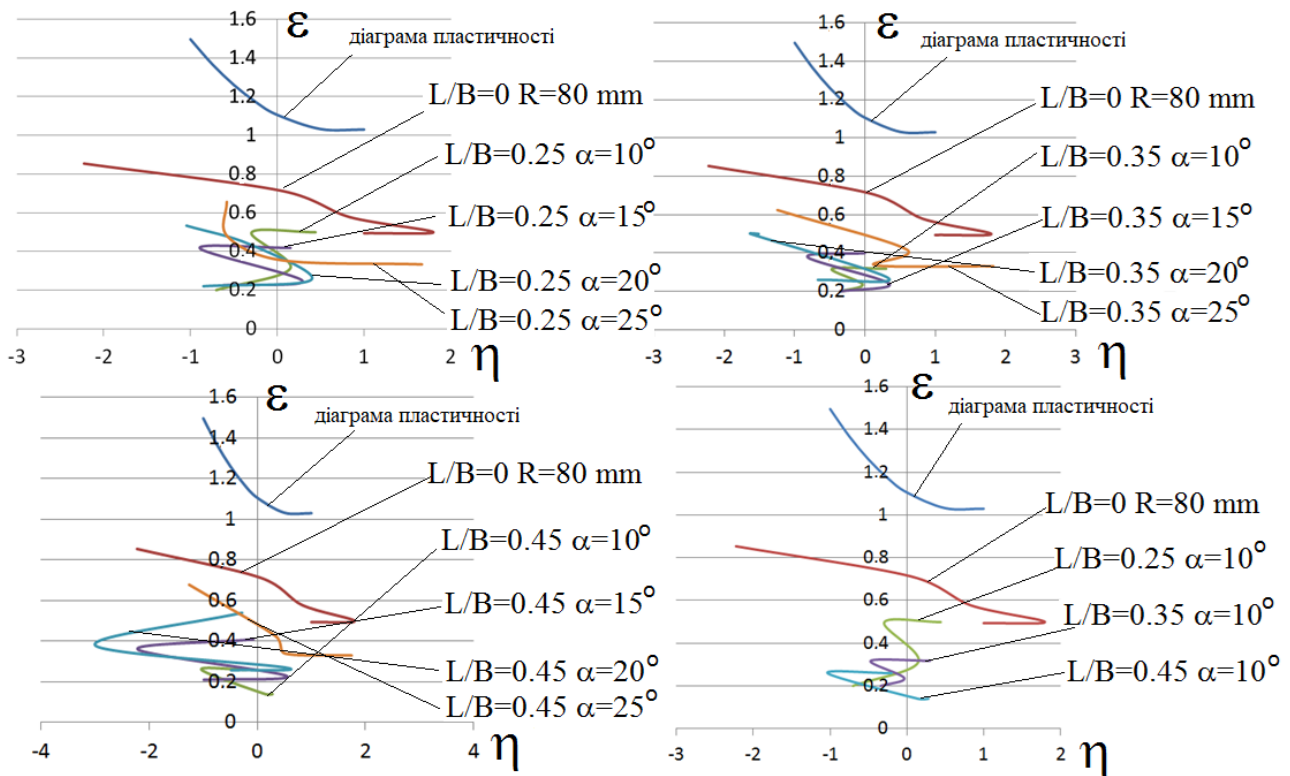


Рис. 5. Діаграма пластичності для сталі 38ХНМ (температура 1100 °С, швидкість деформації $8 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$) з нанесеним шляхом деформування для точки з поверхні заготовки, яка знаходиться безпосередньо під кромкою бойка при протяжці плоскими бойками зі скосом

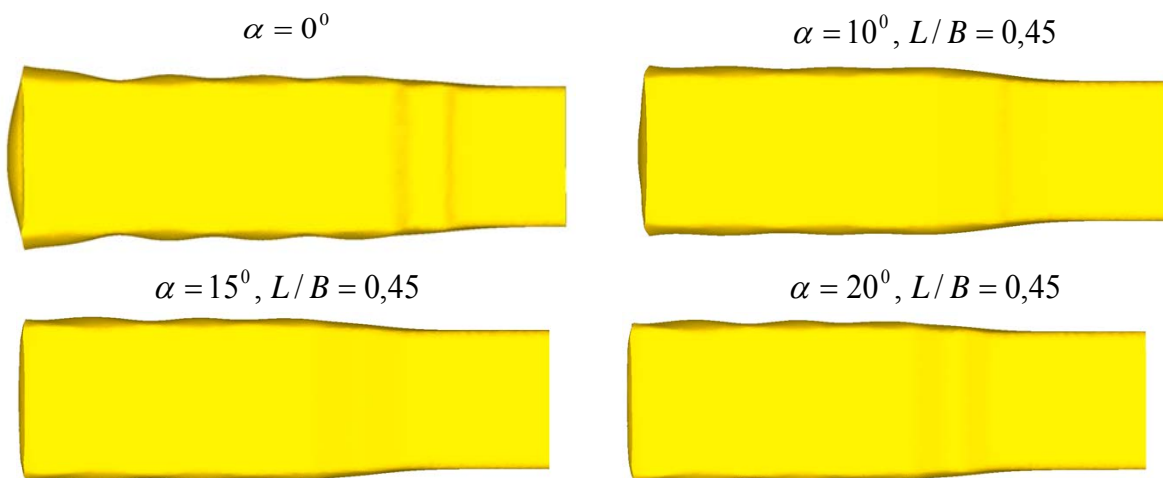


Рис. 6. Зовнішній вигляд заготовки після протяжки бойками різних розмірів (вид зверху) при сумарному відносному стисненні заготовки, рівному 0,3 (два проходи) і подачі, рівній 2/3 ширини бойка

Видно, що формозміна значною мірою визначається розмірами і формою інструменту. Так з рис. 6 випливає, що найбільша величина «язика» і бічна хвилястість на поковці буде утворюватися при протяжці плоским бойком без скоса. Протяжка скошеним бойком дозволяє істотно знизити величину даних дефектів, що приводить до зменшення технологічного часу на правку цих дефектів.

Для кількісної оцінки впливу параметрів інструменту на формозміну заготовки побудовані графіки залежностей таких параметрів, як відносна кривизна бічної поверхні b/b_1 (рис. 7, а) і відносна величина «язика» x/b (рис. 7, б).

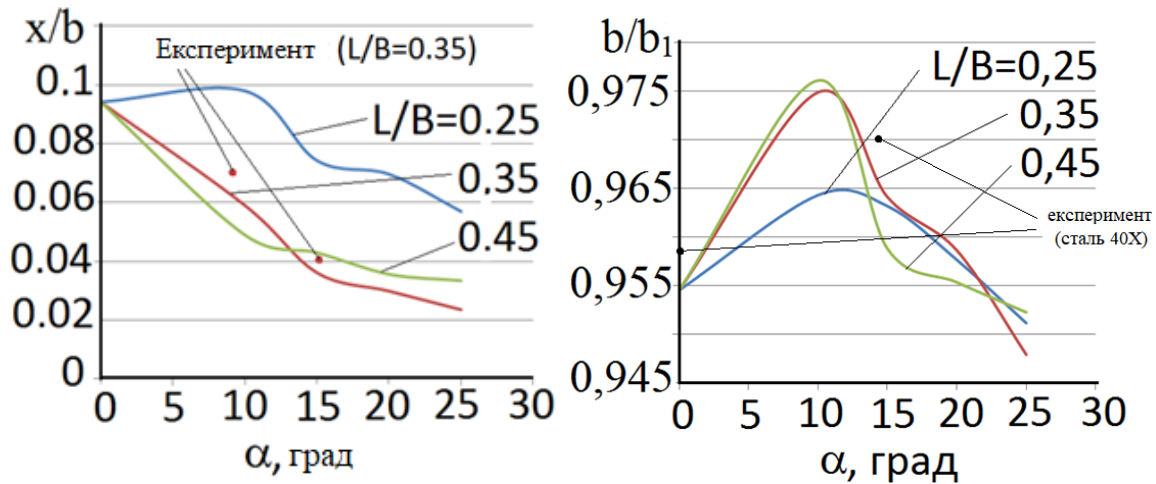


Рис. 7. Графіки залежності відносної величини «язика» (а) та відносної кривизни бічної поверхні (б) від геометричних параметрів інструменту

З рис. 7 видно, що відносна величина «язика» зменшується зі збільшенням кута скоса бойка, так при протяжці плоским бойком без скоса величина x/b становить близько 0,1, а при протяжці бойком з кутом скоса 25 градусів 0,03–0,05, що в 2–3 рази менше. Також великий вплив робить відносна довжина фаски. При $L/B = 0,25$ зі збільшенням кута скоса від 10 до 25 градусів параметр x/b зменшується від 0,1 до 0,05, а при $L/B = 0,35$ від 0,1 до 0,03. Оптимальним з точки зору величини дефекту «язика» є протяжка бойком з довжиною фаски, рівною 0,35 ширини бойка і кутом скоса фаски 10–20 градусів.

Величина бічної хвилястості також є чутливою до розмірів інструмента. Так максимальна величина b/b_1 спостерігається при протяжці бойком з кутом скоса 10 градусів і відносною величиною фаски L/B рівною 0,35. Таким чином, з точки зору найкращої формозміни заготовки в процесі протяжки плоскими бойками є бойок з кутом скоса 10–15 градусів і відносною довжиною скоса, рівною 0,35 від ширини бойка.

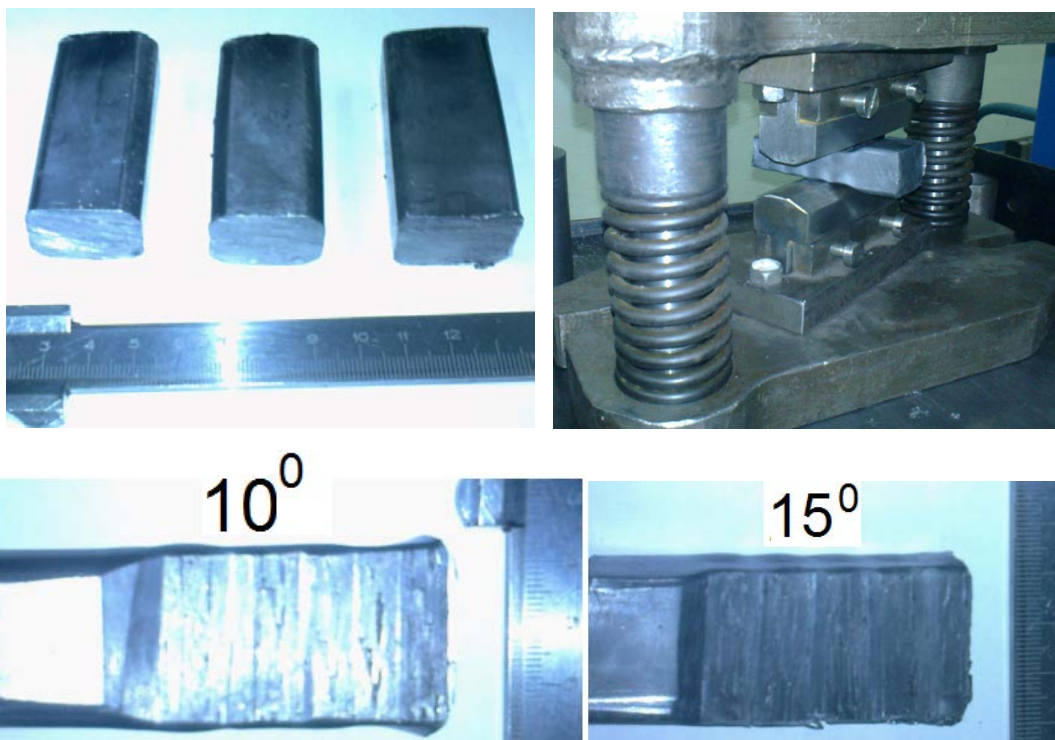


Рис. 8. Кування плит з матеріалу свинець С1

Для верифікації результатів теоретичних досліджень виконано експериментальні дослідження, які полягали в куванні заготовки протяжкою різними бойками: плоскими з радіусною кромкою і плоскими зі скосом (рис. 8–9). Вихідна заготовка квадратного перетину з розміром сторони, рівним 28 мм, ширина бойків 28 мм, кут скоса бойків 10° і 15° , довжина фаски $L = 9$ мм. Матеріал заготовки свинець С1 і сталь 40Х.

Отримані результати підтверджують теоретичні припущення про вплив геометрії інструмента на течію металу в процесі кування плит. Відхилення параметрів x/b і b/b_1 , отримані на основі теоретичних досліджень, знаходиться в межах 5–15 % (див. рис. 7).

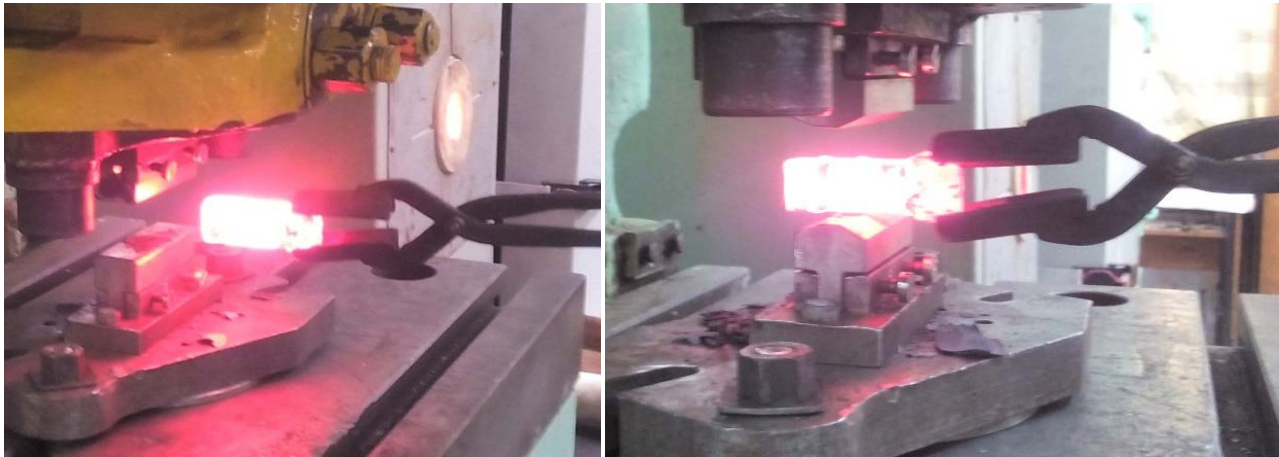


Рис. 9. Процес кування плит плоскими бойками (а) та бойками зі скосом (б) заготовки зі сталі 40Х

ВИСНОВКИ

Встановлено, що протяжка плит плоскими бойками зі скосом є найбільш раціональною, з точки зору кількості переходів кування і НДС заготовки. Для мінімізації ймовірності утворення поверхневих тріщин при куванні плит, необхідно забезпечити мінімальну неоднорідність розподілу деформацій в заготовці при протяжці плоскими бойками. Це досягається застосуванням бойка спеціальної форми, зі скошеною робочою кромкою, причому кут скоса $\alpha = 10^\circ$ і довжина фаски $L/B = 0,35$ при постійній подачі, рівній $2/3$ ширини бойка. Визначено, що найменша ймовірність утворення поверхневих тріщин у заготовці, яка протягується бойками з кутом фаски 10 градусів і довжиною $L/B = 0,45$. З точки зору найкращої формозміни заготовки в процесі протяжки плоскими бойками є боек з кутом скоса 10–15 градусів і відносною довжиною скоса, рівною 0,35 від ширини бойка.

Таким чином, можна рекомендувати для протяжки плит плоскі бойки з кутом скоса 10–15° і відносною довжиною фаски $L/B = 0,35..0,45$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Banaszek G., Szota P. A comprehensive numerical analysis of the effect of relative feed during the operation of stretch forging of large ingots in profiled anvils. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005. 169, pp. 437–444.
2. Dyja H., Banaszek G., Mroz S., Berski S. Modelling of shape anvils in free hot forging of long products. *Journal of Materials Processing Technology*. 2004. 157-158, pp. 131–137.
3. Banaszek G., Stefanik A. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging. *Journal of Materials Processing Technology*. 2006. 177, pp. 238–242.
4. Dyja H., Banaszek G., Berski S., Mroz S. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products. *Journal of Materials Processing Technology*. 2004. 157-158, pp. 496–501.
5. Park C.Y., Yang D.Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis. *Journal of Materials Processing Technology*. 1997. 72, pp. 32–41.
6. Markov O.E., Perig A.V., Markova M.A., Zlygoriev V.N. Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. 83, pp. 2159–2174.

7. Охрименко Я.М. Повышение эффективности и качества работы в кузнечном производстве. *Кузнечно-штамповочное производство*. 2007. 8. С. 1–7.
8. Соколов Л.Н., Каргин Б.С. Усовершенствование технологииковки комбинированными бойками. *Известия вузов. Черная металлургия*. 1974. 1. С. 102–103.
9. Иванушкин П.Ф., Каргин Б.С. Влияние формы бойков на интенсивность протяжки и распределение деформаций. *Известия вузов. Черная металлургия*. 1971. 1. С. 96–100.
10. Найзабеков А.Б., Котелкин А.В., Петров В.А., Воронцов В.К., и др. Ковка поковок прямоугольного сечения и заготовок штамповых кубиков. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1990. 10. С. 4–6.
11. Zhibankov I.G., Perig A.V., Aliieva L.I. New schemes of forging plates, shafts, and discs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. 82, pp. 287–301. ISSN 0268-3768 (Print). ISSN 1433-3015 (Online) DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7377-7>

REFERENCES

1. Banaszek G., Szota P. A comprehensive numerical analysis of the effect of relative feed during the operation of stretch forging of large ingots in profiled anvils. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005. 169, pp. 437–444.
2. Dyja H., Banaszek G., Mroz S., Berski S. Modelling of shape anvils in free hot forging of long products. *Journal of Materials Processing Technology*. 2004. 157-158, pp. 131–137.
3. Banaszek G., Stefanik A. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging. *Journal of Materials Processing Technology*. 2006. 177, pp. 238–242.
4. Dyja H., Banaszek G., Berski S., Mroz S. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products. *Journal of Materials Processing Technology*. 2004. 157-158, pp. 496–501.
5. Park C.Y., Yang D.Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis. *Journal of Materials Processing Technology*. 1997. 72, pp. 32–41.
6. Markov O.E., Perig A.V., Markova M.A., Zlygoriev V.N. Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. 83, pp. 2159–2174. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-8217-5>
7. Okhrymenko Ya.M. Improving the efficiency and quality of work in forging. *Forging and stamping production*. 2007. 8, pp. 1–7. (in Russian).
8. Sokolov L.N., Kargin B.S. Improvement of the technology of forging with combined dies. Proceedings of universities. *Izvestiya. Ferrous metallurgy*. 1974. 1, pp. 102-103. (in Russian).
9. Ivanushkin P.F., Kargin B.S. Influence of the shape of the strikers on the intensity of broaching and the distribution of deformations Proceedings of universities. *Izvestiya. Ferrous metallurgy*. 1971. 1, pp. 96-100. (in Russian).
10. Nayzabekov AB, Kotelkin AV, Petrov VA, Vorontsov VK, et al. Forging of rectangular forgings and blanks of die cubes. *Forging and stamping production*. 1990. 10, pp. 4-6. (in Russian).
11. Zhibankov I.G., Perig A.V., Aliieva L.I. New schemes of forging plates, shafts, and discs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016. 82, pp. 287–301. ISSN 0268-3768 (Print). ISSN 1433-3015 (Online) DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7377-7>

Жбанков Я. Г. – д-р техн. наук, доцент, провідний науковий співробітник ДДМА;
e-mail: yzhbankov@gmail.com

Алієв І. С. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМТ ДДМА;
e-mail: igramaliev@gmail.com

Таган Л. В. – канд. техн. наук, ст. викл. каф. ОМТ ДДМА;
e-mail: l.vik.tagan@gmail.com

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.