

УДК 621.77

**ОЦІНКА ДЕФОРМОВАНІСТІ МАТЕРІАЛУ КРИВОЛІНІЙНИХ ЗАГОТОВОК ПРИ
ХОЛОДНОМУ ВАЛЬЦЮВАННІ**

Матвійчук Віктор Андрійович, д.т.н., професор
Бубновська Ірина Анатоліївна, асистент
Вінницький національний аграрний університет
Matviychuk V.
Bubnovs'ka I.

Vinitsia National Agrarian University

Анотація: в роботі проведена оцінка деформованості алюмінієвих сплавів при холодному вальцюванні. Побудовані діаграми пластичності та шляхи деформування матеріалів криволінійних заготовок при вальцюванні конічними валками. Обґрунтовано використання критерію деформованості. Отримана залежність між ступенем обтиснення та інтенсивністю деформацій для точок вільної бічної поверхні заготовки при вальцюванні. Побудовано шлях деформування частинки матеріалу в зоні деформації поздовжнього перерізу середини заготовки при вальцюванні. Розроблено модель накопичення пошкоджень при немономтонному складному двоетапному вальцюванні.

Ключові слова: деформованість, холодне вальцювання, конічні валки, зона деформації, шляхи деформування, накопичення пошкоджень.

Вступ

Процес вальцювання традиційно використовується для багато прохідного гарячого протягування вихідних заготовок і отримання фасонних виробів під наступне штампування на пресі або молоті. При штампуванні значної кількості деталей, особливо з поздовжньою кривою віссю, достатньо у якості заготівельної операції провести холодне вальцювання за один-два проходи. Перешкоджає розвитку процесів холодного вальцювання недостатність інформації про механіку формоутворення криволінійних заготовок, в т.ч. про напружено-деформований стан (НДС) і деформованість їх матеріалу [1].

У результаті дослідження механіки формоутворення заготовок при вальцюванні нами розроблено спосіб виготовлення криволінійних заготовок двоетапним вальцюванням. Відповідно способу, вальцювання на першому етапі здійснюється на гладку бочку конічними валками (рис. 1), а на другому етапі проводиться вальцювання заготовки в калібрах циліндричних валків (рис. 2). Таким чином, забезпечення криволінійності заготовки на першому етапі реалізується за рахунок збільшення ступеня її обтискування з випуклої сторони, у результаті використання валків із заданою конусністю та зростання діаметра конічного валка в поперечному перерізі зони деформації. На другому етапі заготовка повертається на 90° і вальцюється в калібрах циліндричних валків. При цьому більш інтенсивно деформуються шари металу на випуклій стороні заготовки, де має місце менша площа плями контакту, що сприяє додатковому викривленню заготовки і забезпечує більш симетричну площу її поперечного перерізу.

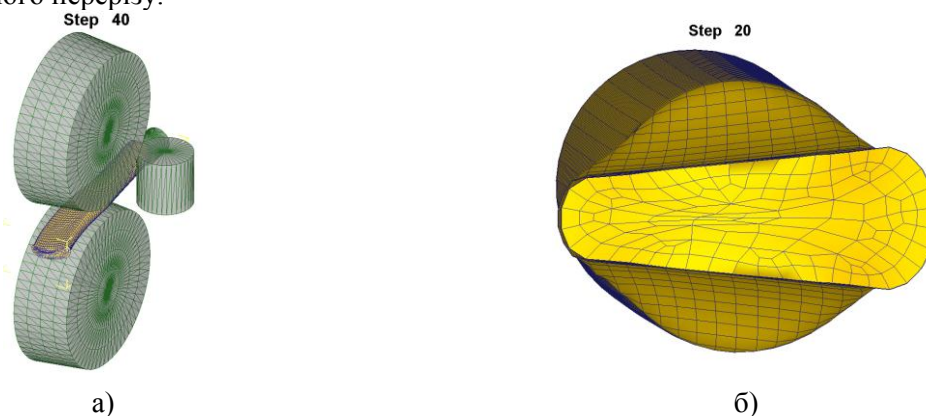


Рис. 1. Схема вальцювання заготовки конічними валками а) та форма поперечного перетину вальцюваної ділянки б)



При виготовленні криволінійних заготовок холодним вальцюванням особливо актуальним постає питання оцінки деформованості матеріалу заготовок, а отже встановлення граничної степені обтискування та механічних характеристик матеріалу виготовлюваних виробів. Очевидно, що зі зміною етапів вальцювання немонотонно змінюється НДС часток матеріалу заготовки, що вносить додаткові труднощі в процес оцінки деформованості матеріалу.

Метою даної роботи є оцінка деформованості матеріалу криволінійних заготовок при холодному вальцюванні в умовах складного двоетапного деформування.

Нами був розроблений процес виготовлення криволінійних заготовок вальцюванням конічними валками і досліджений, як експериментально, так і шляхом використання імітаційного моделювання в програмному комплексі DEFORM 3D [2].

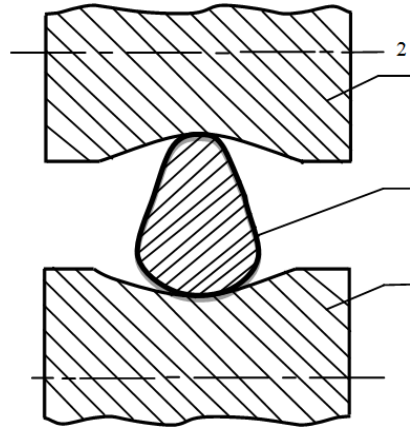


Рис. 2. Схема вальцювання криволінійної заготовки в калібрах циліндричних валків:
1 – криволінійна заготовка після попереднього етапу вальцювання; 2 – циліндричний валок з калібром

На рис. 3 представлені діаграми пластичності алюмінієвих сплавів та траєкторії шляхів деформування точок зовнішньої та внутрішньої вільних бічних поверхонь криволінійної заготовки в координатах: інтенсивність деформацій ε_u – показник жорсткості напруженого стану $\eta = I_1(T_\sigma) / \sqrt{3I_2(D_\sigma)}$, де $I_1(T_\sigma)$ і $I_2(D_\sigma)$ – перший інваріант тензора і другий інваріант девіатора напружень.

На основі приведених даних з використанням критерію деформовності В.А.Огороднікова [3] можна визначати використаний ресурс пластичності та граничні деформації для точок найбільш небезпечних зон бічних поверхонь заготовки.

При розрахунках НДС пластичної зони вальцьованої заготовки застосовували методику, основу на методах ліній току, функцій напружень і теорії R -функцій [4]. При цьому прямолінійну заготовку розрізали в поздовжньому напрямі, в площині розрізу наносили паралельні лінії, після чого половинки з'єднували, а після вальцювання і роз'єднання вимірювали координати точок ліній току в зоні деформації. На рис. 4 показано отриманий характер розподілу НДС на ділянці заготовки, розташованій між валками.

Показник напруженого стану в зоні деформації змінюється від величин $\eta = 1$ на вході в контакт з валками, до величин під валками $\eta = -3 \dots -5$.

Значення величини середнього за прохід показника η_c в площині деформованої прямолінійної заготовки показано на рис. 5. Для досліджених сплавів його величина становить $\eta_c = -1,2 \dots -1,5$, причому більші за абсолютною величиною значення відповідають матеріалам з діаграмами пластичності, що мають слабку залежність від показника η .

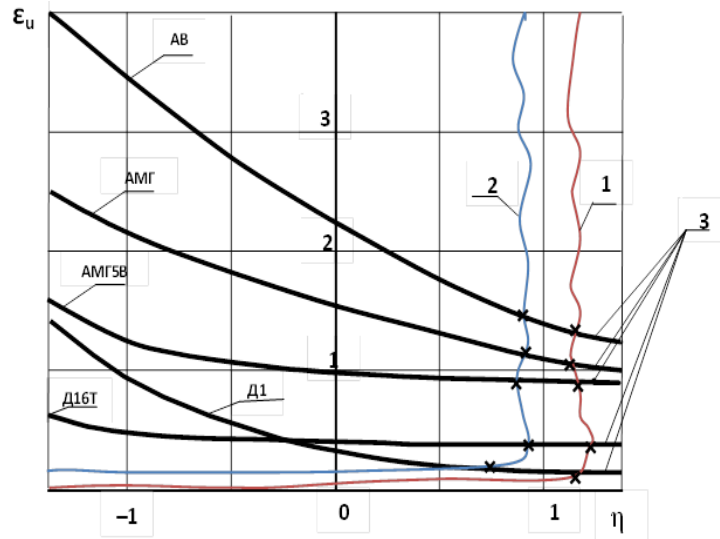
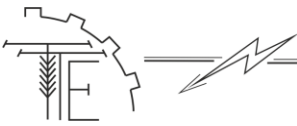


Рис. 3. Шляхи деформування точок заготовки на зовнішній (1) і на внутрішній (2) поверхнях та діаграми пластичності алюмінієвих сплавів (3)

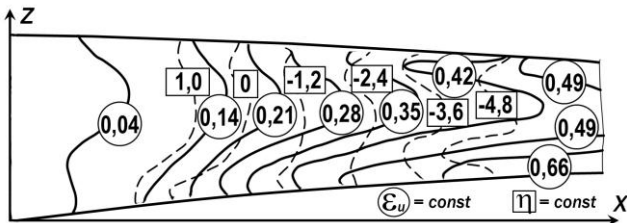


Рис. 4. Характер розподілу НДС в зоні деформації поздовжнього перерізу середини заготовки при вальцюванні

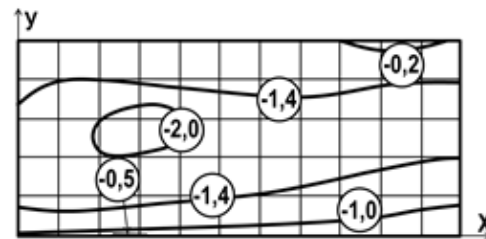


Рис. 5. Розподіл показника η_c по площині прямолинійної заготовки при вальцюванні

Оскільки визначена за допомогою діаграм пластичності гранична до руйнування інтенсивність деформацій не є зручною для використання при побудові технологічних процесів холодного вальцювання криволінійних заготовок, то нами був досліджений зв'язок між інтенсивністю деформацій і ступенем обтиснення заготовок при вальцюванні шляхом моделювання процесу в програмному комплексі DEFORM 3D. Ступінь обтиснення визначали як h_{δ}/D , де h_{δ} – товщина вальцьованої заготовки поблизу вільної бічної поверхні, D – діаметр вихідної заготовки.

Як видно із графіка, представленого на рис. 6, при деформаціях $\epsilon_u \geq 0,1$ зв'язок між інтенсивністю деформацій і ступенем обтиснення має лінійну залежність і може бути описаний рівнянням (1):

$$\frac{h_{\delta}}{D} = 0,818 - 0,723\epsilon_u. \quad (1)$$

Оскільки накопичення деформації проходить переважно при значеннях показника напруженого стану $\eta \approx +1$, то граничну до руйнування деформацію ϵ_* для матеріалу вальцьованої заготовки можна визначати за точкою перетину шляху деформування і відповідної діаграми пластичності. Тоді гранична на момент руйнування товщина вальцьованої заготовки визначиться із (1) за формулою:

$$h_* = (0,818 - 0,723\epsilon_*)D. \quad (2)$$

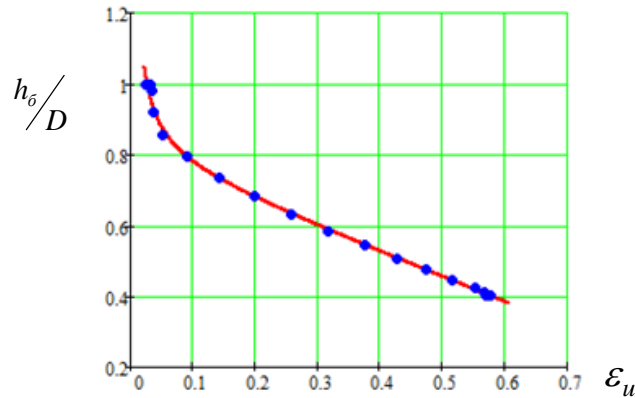
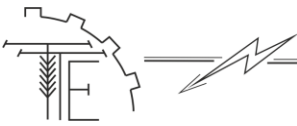


Рис. 6. Залежність між ступенем обтиснення і інтенсивністю деформацій для точок вільної бічної поверхні заготовки при вальцюванні

Таким чином, дослідженнями встановлено, що частки матеріалу вільної поверхні заготовки, зміна НДС яких на першому етапі описується шляхами деформування, представленими на рис. 3, на другому етапі деформуватимуться за схемою НДС, представленою на рис. 4,5. Дана схема для поздовжнього перерізу середини заготовки може бути представлена шляхом деформування (рис. 7), який описується рівнянням (3):

$$\epsilon_u = -0,071\eta + 0,1517. \quad (3)$$

А ті частки, що на першому етапі деформувалися при «м'яких» схемах НДС (рис. 4, 5, 7), на другому етапі підлягатимуть «жорстким» умовам деформування (рис. 3). При цьому спостерігається немонотонне деформування і для оцінки деформованості нами був використаний критерій В.М. Михалевича [5].

Проведемо оцінку деформованості матеріалу заготовки для випадку складного двохетапного деформування, коли на першому етапі має місце просте деформування (рис. 3), а на другому складне (рис. 7).

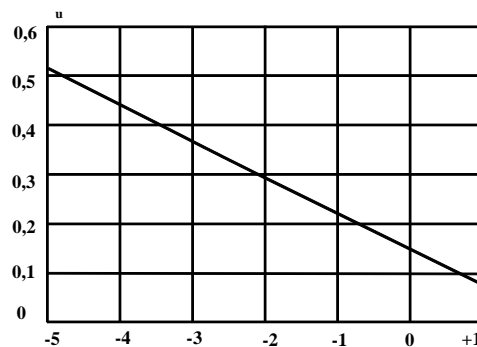


Рис. 7. Шлях деформування частинки матеріалу в зоні деформації поздовжнього перерізу середини заготовки при вальцюванні

При розробці моделі накопичення пошкоджень металів стосовно загального випадку немонотонного двохетапного деформування тензор-девіатор пошкоджень представлено у вигляді:

$$\Psi_{ij} = \Psi_{ij}^{(1)} + \Psi_{ij}^{(2)}, \quad (4)$$

де $\Psi_{ij}^{(1)}, \Psi_{ij}^{(2)}$ – тензори пошкоджень, накопичених на першому і другому етапах.

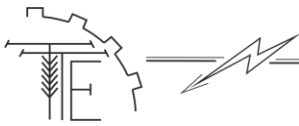
За міру пошкоджень обрано другий інваріант девіатора пошкоджень:

$$0 \leq \psi_u = \Psi_{ij} \cdot \Psi_{ij} \leq 1. \quad (5)$$

У вихідному стані $\psi_u = 0$, а настання граничного стану визначається умовою $\Psi_{ij} \cdot \Psi_{ij} = 1$.

На основі подання (4), з урахуванням (5), отримано:

$$\psi_u = \psi_u^{(1)} + 2 \cdot \Psi_{ij}^{(1)} \cdot \Psi_{ij}^{(2)} + \psi_u^{(2)}. \quad (6)$$



Для подальшого наповнення розроблюваної моделі конкретним змістом використано тензорно-нелінійний підхід описання накопичення пошкоджень. Для немонотонного двоетапного деформування у послідовності «просте-складне», з використанням степеневі функції отримана модель накопичення пошкоджень у вигляді

$$\Psi_u = \left(\varepsilon_u^{(1)} / \varepsilon_{*1}\right)^{2n} + 2 \left(\varepsilon_u^{(1)} / \varepsilon_{*1}\right)^{2n} \cdot \left[a^{(1)} \beta_{ij}^{(1)} + b^{(1)} \left(\beta_{ik}^{(1)} \beta_{kj}^{(1)} - (1/3) \delta_{ij} \right) \right] \cdot \Psi_{ij}^{(2)} + \Psi_u^{(2)}, \quad (7)$$

де

$$\Psi_{ij}^{(2)} = \int_{\varepsilon_u^{(1)}}^{\varepsilon_u^{(2)}} \left[A(\varepsilon_u) \cdot \beta_{ij}(\varepsilon_u) + B(\varepsilon_u) \cdot \left(\beta_{ik}(\varepsilon_u) \cdot \beta_{kj}(\varepsilon_u) - (1/3) \delta_{ij} \right) \right] d\varepsilon_u, \quad (8)$$

де $\varepsilon_u^{(k)}, (k=1,2)$ – накопичена пластична деформація наприкінці k – го етапу;

n – параметр степеневі апроксимації функції пошкоджень;

$b^{(k)}$ – коефіцієнт тензорної нелінійності, визначається властивостями матеріалу ($|b^k| \leq \sqrt{6}$);

$a^{(k)}$ – визначається коефіцієнтом $b^{(k)}$ і третім інваріантом тензора $\beta_{ij}^{(k)}$.

Модель накопичення пошкоджень (7) дозволяє визначати величину використаного ресурсу пластичності при немонотонному двоетапному деформуванні, коли на другому етапі спостерігається складне деформування.

Саме такий випадок має місце при реалізації процесу на першому етапі деформування матеріалу бічної поверхні заготовки, при якому спостерігається практично протягом всього процесу постійний показник напруженого стану, близький до умов одноосного розтягу (рис. 3). На другому етапі ці частинки деформуватимуться в умовах складного деформування ($\beta_{ij}(\varepsilon_u) \neq \text{const}$) (рис. 7).

Висновки

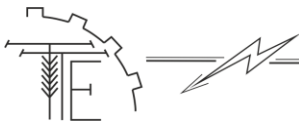
В результаті проведеної оцінки деформованості алюмінієвих сплавів при холодному вальцюванні конічними валками отримано залежність між ступенем обтиснення та інтенсивністю деформацій для точок вільної бічної поверхні заготовки, що дає можливість визначення граничної на момент руйнування товщини вальцьованої заготовки. Розроблена модель накопичення пошкоджень дозволяє визначати величину використаного ресурсу пластичності при немонотонному двоетапному вальцюванні, коли на другому етапі спостерігається складне деформування.

Список літератури

1. Смирнов В.К. Вальцовка заготовок под штамповку. М.: Машиностроение, 1964 – 124 с.
2. Матвійчук В.А. Розширення технологічних можливостей процесу вальцювання виробів./В.А. Матвійчук, І.А. Бубновська//Сучасні агротехнології: тенденції та інновації мат. Всеукр. Наук.-практ. Конф., 17-18 листопада 2015 р.: – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2015. – Т.3. – С. 59-61.
3. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением /В. А. Огородников. – Киев: Вища школа. 1983. – 175 с.
4. Матвійчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: Монография / В. А. Матвійчук, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с.
5. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / Михалевич В. М.. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1998. – 195 с. — ISBN 966-7199-20-7.

References

1. Smyrnov V.K. Val'tsovka zahotovok pod shtampovku. M.: Mashynostroenye, 1964 – 124 s.
2. Matviychuk V.A. Rozshyrennya tekhnolohichnykh mozhlyvostey protsesu val'tsyuvannya vyrobiv./V.A. Matviychuk, I.A. Bubnov's'ka//Suchasni ahrotekhnolohiyi: tendentsiyi ta innovatsiyi mat. Vseukr. Nauk.-prakt. Konf., 17-18 lystopada 2015 r.: – Vinnytsya: RVV VNAU, 2015. – T.3. – S. 59-61.
3. Ohorodnykov V. A. Otsenka deformatsionnosti metallov pry obrabotke davlenyem /V. A. Ohorodnykov. – Kyev: Vyshcha shkola. 1983. – 175 s.
4. Matviychuk V. A. Sovershenstvovanye protsessov lokal'noy rotatsyonnoy obrabotky davlenyem na osnove analiza deformatsionnosti metallov: Monohrafiya / V. A. Matviychuk, Y. S. Alyev. – Kramatorsk: DHMA, 2009. – 268 s.
5. Mykhalevych V. M. Tenzorni modeli nakopychennya poshkodzhen' / Mykhalevych V. M.. – Vinnytsya: UNIVERSUM – Vinnytsya, 1998. – 195 s. — ISBN 966-7199-20-7.



ОЦЕНКА ДЕФОРМИРУЕМОСТИ МАТЕРИАЛА КРИВОЛИНЕЙНЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ХОЛОДНОЙ ВАЛЬЦОВКЕ

Аннотация: в работе проведена оценка деформируемости алюминиевых сплавов при холодной вальцовке. Построены диаграммы пластичности и пути деформирования материалов криволинейных заготовок при вальцовке коническими валками. Обосновано использование критерия деформируемости. Получена зависимость между степенью обжатия и интенсивностью деформаций для точек свободной боковой поверхности заготовки при вальцовке. Построено путь деформирования частицы материала в зоне деформации продольного сечения середины заготовки при вальцовке. Разработана модель накопления повреждений при немонотонной сложной двухэтапной вальцовке.

Ключевые слова: деформируемость, холодная вальцовка, конические валки, зона деформации, пути деформирования, накопление повреждений.

EVALUATION OF MATERIAL DEFORMOVNOSTI CURVILINEAR BLANKS IN COLD ROLLING

Abstract: we evaluated the deformability of aluminum alloys after cold rolling. Diagrams and ways plasticity deformation of materials by rolling pieces of curved conical rollers are constructed. Justified the use of the criterion of deformability. The dependence between the degree of compression and deformation intensity points for a free lateral surface of the workpiece during rolling is obtained. A way of deformation of a material particle in a zone of deformation of a longitudinal section of the middle of a workpiece during rolling is constructed. The model of damage accumulation at non-monotonous complex two-stage rolling is developed.

Keywords: deformability, cold rolling, tapered roller, a zone of deformation, deformation paths, the accumulation of damage.