



УДК 621.7

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-3-12

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ГАРЯЧОГО ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛІВ

Швец Людмила Василівна, к.т.н., доцент
Чмих Катерина В'ячеславівна, аспірантка
Вінницький національний аграрний університет

Ludmila Shvets, Ph.D., Associate Professor
Kateryna Chmykh, Postgraduate
Vinnytsia National Agrarian University

Гаряча обробка металів тиском має ряд позитивних якостей: складові частини металу розподіляються рівномірніше, ніж до обробки; зменшуються розміри зерен, що призводить до поліпшення механічних властивостей; метал стає щільнішим. Метали, оброблені тиском, має волокнисту будову.

Процес гарячої обробки – це один з типів процесів формування металу і він протікає при температурах, вищих температури рекристалізації. При гарячій деформації також відбувається зміцнення металу (гарячий наклеп), але він цілком знімається в процесі рекристалізації. При ній пластичність металу вища, а опір деформації приблизно в 10 разів менший, ніж при холодній деформації.

Більшість металів мають температуру рекристалізації яка становить половину або одну третю температури плавлення металу. Тому можна сказати, що коли метал є пластично деформований вище температури рекристалізації, але нижче точки горіння це і є гарячий процес деформування металу.

Пружна, а потім пластична деформація виникають під впливом на матеріал зовнішніх сил. Обробка металів тиском можлива завдяки їх пластичності. Ознакою пружної деформації є її зворотність, тобто зникнення після зняття навантаження. Фізична суть пружної деформації пояснюється незначним відносним зміщенням атомів у кристалічній ґратці, які після зняття навантаження повертаються на попередні місця. Метою обробки тиском є максимальне наближення форми та розмірів заготовки до форми й розмірів деталі. Прутки круглого, квадратного, шестикутного профілів, фасонні профілі, труби, листи, дріт, кованки, штамповані деталі та інші отримують обробкою тиском. Близько 90% сталей і 50% кольорових металів і сплавів піддаються обробці тиском.

Існують такі метод гарячої обробки такі, як: гаряча прокатка, гаряче кування, гаряче штампування, гаряче волочіння.

Ключові слова: гаряча прокатка, гаряче кування, гаряче штампування, гаряче волочіння, деформування.

Рис. 7. Літ. 11

1. Постановка проблеми

Обробка тиском ґрунтується на здатності металу піддаватися пластичній деформації, тобто змінювати свою форму та розміри під дією зовнішніх сил без руйнування.

Холодне деформування відбувається при температурах, нижчих від температурного порогу рекристалізації. Холодне деформування супроводжується видовженням зерен, збільшенням густини дефектів, що підвищує міцність та твердість металу й зменшує його пластичність (явище наклепу). Під час холодного деформування отримують точність розмірів, якість поверхні, також міцність металу підвищується.

Гаряче деформування відбувається при температурах, вищих від температури порогу рекристалізації. У цьому випадку у металі одночасно зі зміцненням відбувається знеміцнення (рекристалізація). Внаслідок цього механічні властивості металу після гарячої обробки змінюються незначно. Гаряче деформування доцільно застосовувати для обробки малопластичних і важкодеформованих сплавів, а також злитків.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Прокатування (вальцювання) – це вид обробки, при якому заготовка обтискується обертовими валками прокатного стану. Поздовжнє прокатування (рис. 1. а): заготовка переміщується



перпендикулярно до осей валків, які обертаються в протилежних напрямках. До 90% усього прокату виготовляють поздовжнім прокатуванням (листи, стрічки, прутки). Поперечне прокатування (рис. 1. б): валки, що обертаються навколо паралельних осей в одному напрямі, обертають заготовку, яка деформується при примусовому переміщенні вздовж валків. Поперечне гвинтове прокатування (рис. 1. в): здійснюється при обертанні в одному напрямі валків, розміщених під кутом один до одного. Таке розташування валків забезпечує появу осьового зусилля, завдяки якому заготовка переміщується вздовж осей валків [1-11].

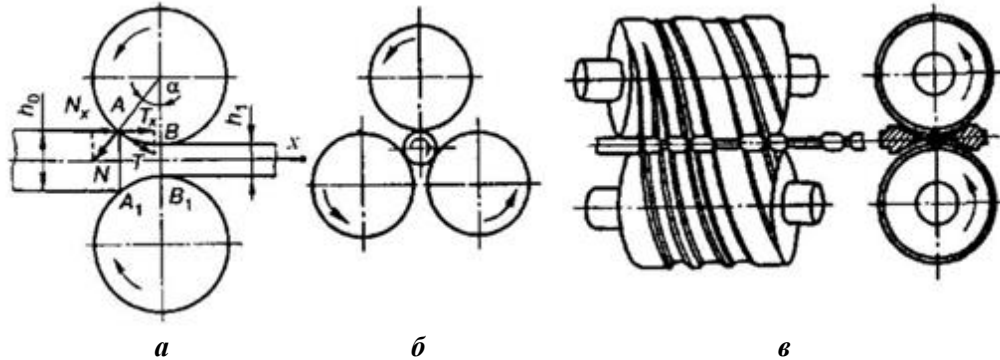


Рис. 1. Основні види прокатування: а – поздовжнє, б – поперечне, в – гвинтове

Зміна міцності (а) та пластичності (б) деформованої маловуглецевої сталі при нагріванні наведена на рис. 2.

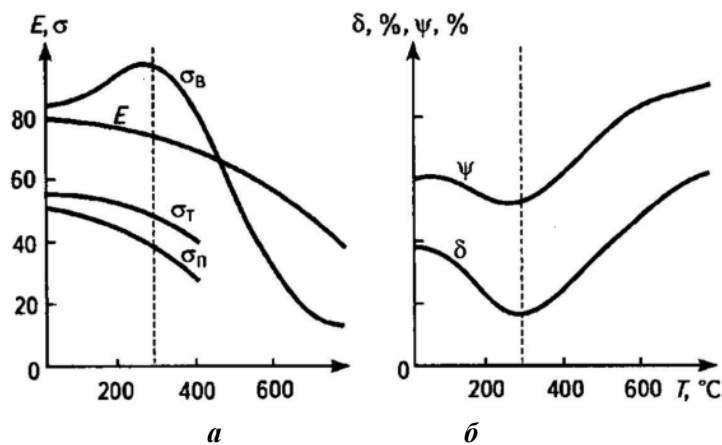


Рис. 2. Зміна міцності (а) та пластичності (б) деформованої маловуглецевої сталі при нагріванні

Зміна структури матеріалів при обробці тиском. Зерна подрібнюються та витягуються в напрямку пластичного деформування металу при зростанні ступеня деформації. Волокниста структура утворюється при значній деформації матеріалу. Структура матеріалу до і після деформації наведена на рис. 3.

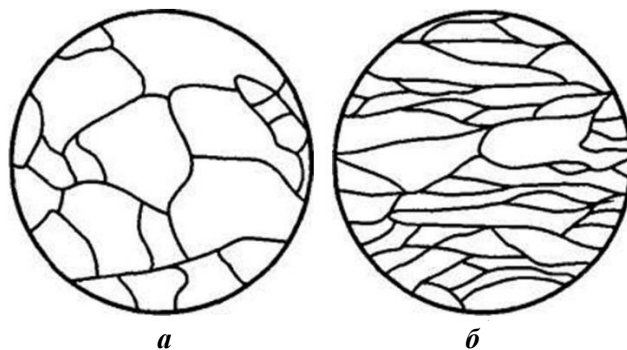


Рис. 3. Структура матеріалу до (а) і після (б) деформації



Існують різні етапи проведення гарячої обробки металу. Спочатку метал нагрівають до температури його рекристалізації, після чого фіксують проміжну та максимальну температуру, щоб отримати метал, що складається з максимальної кількості дрібних зерен [1, 2].

Кінцева температура підтримується трохи вище температури рекристалізації. І деформація, створена на останньому етапі, є відносно великою, щоб підтримувати розмір дрібних рекристалізованих зерен.

3. Мета досліджень

Існують такі методи гарячої обробки металів такі, як: гаряча прокатка, гаряче штампування, гаряче кування, гаряче волочіння. Метою даної роботи є аналіз методів гарячої обробки металів, визначення їх переваг та недоліки у порівнянні з холодним обробитком металів.

4. Виклад основного матеріалу

Гаряча прокатка – це процес деформування металу тиском, під час якого метал нагрівається вище температури рекристалізації, а потім пропускається через пару вальців, які прокочуються в протилежному напрямку, але з однаковою швидкістю, щоб його сплющити, подовжити, зменшити площу поперечного перерізу й отримати рівномірну товщину (рис.4).

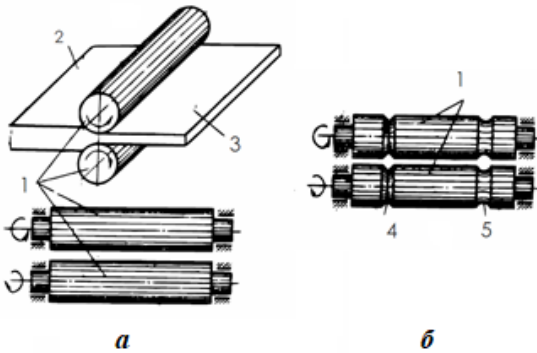


Рис. 4. Вальки прокатних станів:
а – для прокатування листів; б – для прокатування сортового металу; 1 – вальки; 2 – заготовка; 3 – готовий лист; 4 – ривчак для прокатування квадратного профілю; 5 – ривчак для прокатування круглого профілю

Процес гарячого штампування – це процес формування металу, під час якого метал нагрівається вище температури рекристалізації, стає пластичним і його заливають у штампи бажаного поперечного перерізу, щоб отримати потрібну форму (рис 5.).

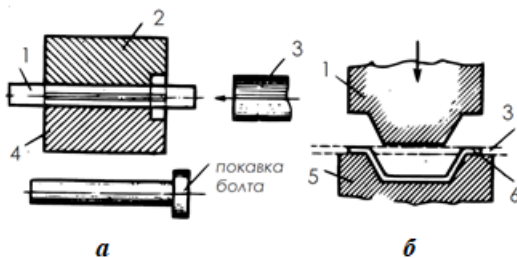


Рис. 5. Операції штампування: *а – схема штампування заготовки болта; б – схема роботи згинального штампа; 1 – заготовка; 2 – рухома частина матриці; 3 – пуансон; 4 – нерухома частина матриці; 5 – матриця; 6 – готовий виріб.*

Гаряче кування – це дуже важливий процес металообробки, який має велике комерційне значення, оскільки він використовується в багатьох галузях промисловості для виробництва різноманітних продуктів. (рис. 6.) [6].

Іншими словами, ми можемо сказати, що гаряча прокатка – це процес, у якому метал піддається пластичній деформації вище температури рекристалізації під час операції обробки або прокатки [3].

Його зазвичай використовують для виготовлення металевих пластин і листів. На сьогодні у світі гарячою прокаткою отримують близько 80% загального обсягу металопрокату. Адже це вимагає менших зусиль, а отже, і менше електроенергії. При гарячкатному процесі отримують нерівні, найчастіше середина листа «провалюється», так як напруга на заготовку розподіляється нерівномірно. Тому гарячу прокатку використовують там де поверхні або зовнішній вигляд не відіграють великої ролі (несучі конструкції, важне машинобудування) [3-5].

Близько 25% металевих заготовок, що виготовляються на підприємствах України, піддаються штампуванню. І отримані деталі за допомогою такого методу зазвичай складають від 50 до 70% від загальної конструкції механізмів, інструментів та побутових предметів [5, 6].

У цього методу багато переваг, ось наприклад основні з них: отримання великої кількості ідентичних конфігурацій, висока продуктивність, швидкість процесу, можливість випуску складних за формою деталей, економічність операцій, що призводить до зниження витрат матеріалу та зменшення браку.



Виробничий процес обробки металу тиском, який передбачає формування металу за допомогою локалізованих сил стиснення, який включає нагрівання, деформування та надання форми металу. Розрізняють ручне та машинне кування, де локалізовані сили подаються за допомогою ручного молотка або молоткової машини та кубиків [6-8].

За допомогою кування зазвичай отримують заготовки для подальшої механічної обробки, їх називають кованими поковками або просто поковками.

Кування є єдиним можливим способом виготовлення важких поковок (до 250 т і більше) типу валів гідрогенераторів, турбінних дисків, колінчастих валів суднових двигунів, валків прокатних станів і т.д. Поковки меншої маси (десятки і сотні кілограмів) можна виготовляти і куванням, і штампуванням [7].

Гаряче волочіння – це процес пластичного формування металу, під час якого метал протягують через матрицю або набір матриць для досягнення зменшення діаметру матеріалу. (рис.7).



Рис. 6. Гаряче кування

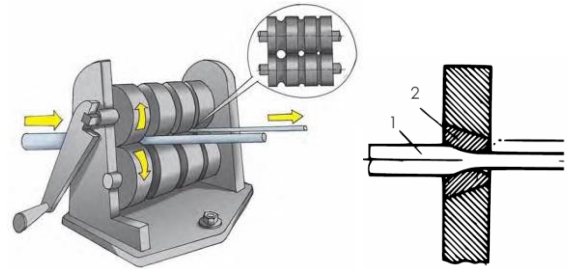


Рис. 7. Схема волочіння дроту: 1 – заготовка; 2 – фільтра; 3 – готовий виріб

Технологічний процес здійснюють на спеціальних станках і залежно від типу виділяють такі: із прямолінійним рухом металу, що простягається (рейковий, ланцюговий); з намотуванням оброблювального металу на барабан (барабанний) [9-10].

Відповідного до цього цей процес характеризується параметрами: коефіцієнтом витяжки й ступенем деформації.

Його використовують при виробництві прутків або дротів для досягнення будь-якого поперечного перерізу.

Щодо до переваг цього методу то їх можна виділити декілька: значне підвищення точності кінцевого профілю, можливість інтенсивної формозміни за рахунок збільшення кількості проходів і також зниження ймовірності утворення тріщин.

Переваги процесу гарячої обробки [10-11]:

- Гаряча обробка підходить для масового виробництва;
- Форму і розмір металу можна легко змінити;
- Оскільки температура матеріалу вище температури рекристалізації, будь-яка робота може бути виконана з металом без будь-якого стресу загартування;
- Оскільки матеріал знаходиться при високій температурі, він має вищу пластичність, що означає, що немає обмежень на гарячу обробку металу;
- Завдяки гарячій обробці метали мають дрібну зернисту структуру, за рахунок чого поліпшуються механічні властивості.
- Пористість значно зменшується.
- Якщо немає помилок, гаряча робота не вплине на міцність, твердість, корозійність тощо.
- При високій температурі зменшується напруження зсуву, тому для необхідної деформації потрібна набагато менша сила.
- Оскільки метал знаходиться в пластичному стані, може бути досягнута більша деформація.
- Це може покращити механічні, фізичні та хімічні властивості.
- Це швидко, економічно та надійно.

Недоліки гарячої роботи [10-11]:

- Процеси окислення призводять до поганої обробки поверхні.
- Через процеси окислення втрата вуглецю іноді призводить до зниження міцності.
- Обслуговування та використання установок для гарячої обробки складне.
- Потрібні дорогі агрегати, такі як газова піч або індукційний нагрівач.



- Точність розмірів важко досягти через теплове розширення металу.
- Він підходить не для всіх видів металів.

5. Висновки

Це один із важливих методів обробки металу тиском, який допомагає обробній промисловості виробляти різноманітну продукцію. Процес гарячої обробки металу включає деформацію металу при певній високій температурі (вище точки рекристалізації металу). Під час цього процесу рекристалізація відбувається одночасно з деформацією металу.

Явище, що відбувається при досить високій температурі, називається рекристалізацією, вона прискорює ріст зерен у структурі металу, в результаті чого метал складається з абсолютно нових зерен.

Температура гарячої обробки металу залежить від температури рекристалізації, наприклад, для вуглецевої сталі потрібна температура більше 1000 градусів за Цельсієм. Утворення нової зернистої структури (за рахунок рекристалізації) швидко усуває спотворену зернисту структуру та деформаційне зміцнення, яке виникає внаслідок деформації металу під час гарячої обробки.

Метал розкришиться, якщо процес виконується при температурі плавлення або близько до неї.

Список використаних джерел

1. Pulupec M., Shvets L. Characteristics and thermomechanical modes of aluminum alloys hot deformation. Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference. Ternopil Ivan Pulyk National Technical University and Scientific Publishing House «SciView». 2019. P. 195–204.
2. Shvets L., Trukhanska O. Experimental studies of technological parameters of rolling of samples from aluminum alloys during isothermal deform. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2022. № 80. P. 61–76.
3. Shvets L. Development of the device, restoration of places of landing bearings. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 1. (100). P. 133–138.
4. Shvets L. Extension value, with hot rolled aluminum alloy specimens, round section in smooth rollers. Monography. *Scientific foundations of modern engineering. Boston (USA)*. 2020. P. 234–240.
5. Shvets L. Restoration of body parts. *Colloquium-journal, Poland*. 2021. № 8 (95). P. 44–53 DOI: 10.24412/2520-6990-2021-895-44-53.
6. Shvets L. The essence and possibility of the method of isothermal deformation. *Slovak international scientific journal*. 2020. Vol. 1. № 42. P. 16–24.
7. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Похиленко Г. М. Навчальний посібник. Технологія обробки металів і сплавів тиском. Видавничий центр НАУ: Київ, 2020. 86с.
8. Будяк Р. В., Посвятенко Е. К., Швець Л. В., Жученко Г. А. Конструкційні матеріали і технології. Навчальний посібник. Вінницький національний аграрний університет. 2020. 240 с.
9. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000. 264 с.
10. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми. 2002. 259 с.
11. Скрябін С. А., Гунько І. В., Швець Л. В. Вальцювання заготовок із алюмінієвих сплавів в умовах ізотермічного та наближених до нього деформування: монографія. Вінниця: ПП "Едельвейс і К", 2010. 134 с.

References

- [1] Pulupec, M., Shvets, L. (2019). Characteristics and thermomechanical modes of aluminum alloys hot deformation. Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, Ternopil. Ternopil Ivan Pulyk National Technical University and Scientific Publishing House «SciView». 195–204. [in English].
- [2] Shvets, L., Trukhanska, O. (2022). Experimental studies of technological parameters of rolling of samples from aluminum alloys during isothermal deform. *Norwegian Journal of development of the International Science*, 80. 61–76. [in English].
- [3] Shvets, L. (2021). Development of the device, restoration of places of landing bearings. *Vibration in engineering and technology*, 1 (100). 133–138. [in English].
- [4] Shvets, L. (2020). Extension value, with hot rolled aluminum alloy specimens, round section in smooth rollers. Monography. *Scientific foundations of modern engineering. Boston (USA)*. 234–240. [in English].



- [5] Shvets, L. (2021). Restoration of body parts. *Colloquium-journal, Poland*, 8 (95). 44–53 DOI: 10.24412/2520-6990-2021-895-44-53. [in English].
- [6] Shvets, L. (2020). The essence and possibility of the method of isothermal deformation. *Slovak international scientific journal*, 1 (42). 16–24. [in English].
- [7] Aftandilyants, E.G., Zazymko, O.V., Pokhilenko, H.M. (2020). *Tutorial. Technology of processing metals and alloys by pressure*. NAU Publishing Center. [in Ukrainian].
- [8] Budyak, R.V., Posvyatenko, E.K., Shvets, L.V., Zhuchenko, G.A. (2020). *Construction materials and technologies*. Tutorial. Vinnytsia National Agrarian University. [in Ukrainian].
- [9] Popovych, V. (2010). *Technology of structural materials and materials science*. Book I. Lviv. [in Ukrainian].
- [10] Popovych, V., Golubets, V. (2012). *Technology of structural materials and materials science*. Book II. Sumy. [in Ukrainian].
- [11] Skryabin, S.A., Gunko, I.V., Shvets, L.V. (2012). *Rolling of billets from aluminum alloys under conditions of isothermal and deformation close to it: monography*. Vinnytsia: PP "Edelweiss and K". [in Ukrainian].

ANALYTICAL RESEARCH METHODS OF HOT DEFORMATION OF METALS

Hot processing of metals by pressure has a number of positive qualities: the constituent parts of the metal are distributed more evenly than before processing; grain sizes decrease, which leads to improved mechanical properties; the metal becomes denser. Pressure-treated metals have a fibrous structure.

The hot working process is one of the types of metal forming processes and it takes place at temperatures higher than the recrystallization temperature. During hot deformation, the metal is also strengthened (hot deformation), but it is completely removed in the process of recrystallization. With it, the plasticity of the metal is higher, and the resistance to deformation is approximately 10 times lower than during cold deformation.

Most metals have a recrystallization temperature that is half or one-third of the melting temperature of the metal. Therefore, we can say that when the metal is plastically deformed above the recrystallization temperature, but below the burning point, this is a hot process of metal deformation.

Elastic and then plastic deformation occur under the influence of external forces on the material. Pressure treatment of metals is possible due to their plasticity. A sign of elastic deformation is its reversibility, that is, its disappearance after removal of the load. The physical essence of elastic deformation is explained by the slight relative displacement of atoms in the crystal lattice, which return to their previous positions after the load is removed.

There are such methods of hot processing as: hot rolling, hot forging, hot stamping, hot drawing.

Key words: hot rolling, hot forging, hot stamping, hot drawing, deformation.

Fig. 7. Ref. 11.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Швець Людмила Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії і технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (ВНАУ, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: shlv0505@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4364-0126>).

Чмих Катерина В'ячеславівна – аспірантка першого року навчання Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: catherina099@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8873-4436>).

Ludmila Shvets – Ph.D., Associate Professor, Department of Agricultural Engineering and Technical Service Vinnytsia National Agrarian University (Sunny str., 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: shlv0505@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4364-0126>).

Kateryna Chmykh – is a first-year Postgraduate at the Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: catherina099@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8873-4436>).