

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛУ ЗА ПОЗДОВЖНЬОГО ХОЛОДНОГО ВАЛЬЦЮВАННЯ СТУПІНЧАСТИХ ВАЛІВ

М. КОВАЛІК

Політехніка Радомська, Інститут машинобудування, Польща

Наведено результати дослідження впливу напруженості під час холодного пластичного деформування на структуру матеріалу і його міцність. Випробувано вали, отримані методом поздовжнього холодного вальцювання і виготовлені із легованої сталі, термічно поліпшеної перед формуванням до твердості HRC 34. Встановлено, що деформація змінює структуру і твердість матеріалу.

Ключові слова: структура матеріалу, міцність, пластична холодна деформація, поздовжнє вальцювання валів.

Холодне поздовжнє вальцювання ступінчастих валів. Поздовжнє вальцювання – сучасний метод точної холодної обробки валів [1]. Він полягає у формуванні сходинки вала відповідно підібраними роликками, які мають циліндричну частину, що передає навантаження на опорні роликки, і робочу, що відповідає поперечному перерізу сходинки вала. Наприклад, щоб одержати вали з круглим перерізом, використовують роликки з робочою частиною, яка має тороїдальну і дві конічні поверхні.

Загальну схему формування ступінчастих валів методом поздовжнього вальцювання подано на рис. 1. Вал 1 встановлено так, щоб він міг видовжуватися під час формування, і розміщено між двома формувальними роликками 2, які підпирають два опорні роликки 3. Роликки 2 мають циліндричну частину, що передає навантаження на опорні роликки, які, обертаючись навколо власної осі, дають можливість обертатися роликкам 2 під час вальцювання. Пластичне формування вала має кілька або кільканадцять технологічних проходів, серед яких можна виділити такі фази.

У фазі обтискання під дією зовнішніх сил формувальні роликки переміщуються поперек у напрямку осі вала. У результаті натиску у валі відновлюється робоча частина цих роликків і він несуттєво видовжується. Фаза обтискання в першому проході триває до моменту досягнення потрібного діаметра вала.

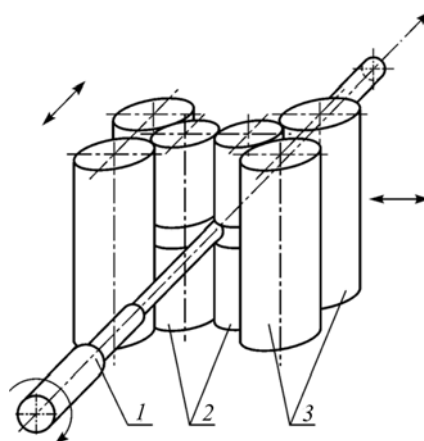


Рис. 1. Схема формування валів методом поздовжнього вальцювання: 1 – вал; 2 – формувальні роликки; 3 – опорні роликки.

Fig. 1. A chart of shafts forming by the method of longitudinal rolling: 1 – shaft; 2 – forming rollers; 3 – support rollers.

У фазі вальцювання формувальні ролики рухаються вздовж осі вала, в результаті чого змінюється поперечний його переріз, а також (одночасно) він видовжується внаслідок зменшення розмірів поперечного перерізу. Тут формувальні ролики переміщуються вздовж твірних профільованого валика. Потрібний поперечний переріз по всій довжині забезпечують постійним притисканням механізму з формувальними роликами до жорсткого упирання. Після цього ролики повертаються на вихідну позицію за одночасного оберту вала на кут 90° (для круглого перерізу). Повне сформування сходинок вала і досягнення його потрібної довжини відбувається за кілька або кільканадцять проходів. Їх кількість залежить від точності використовуваних параметрів обробки та початкової геометрії вала. Багатоступінчасті вали формують у кілька проходів по довжині вала, при цьому необхідно стільки пар роликів, скільки сходинок різних розмірів поперечних перерізів.

Незаперечні переваги описаного методу такі: широкі можливості формування сходинок із різними розмірами і формами поперечних перерізів за однієї технологічної операції; можливість обробки валів з матеріалів високої міцності; висока довговічність інструменту, а також простота автоматизації формування.

Вплив напружень під час формування на міцність валів. Під час формування вала можна виділити два види поздовжнього вальцювання: в системі волочіння за участі сили розтягу (рис. 2а) та штовхання за участі сили стиснення (рис. 2б). В обох випадках фази циклу вальцювання подібні, але різні напруження.

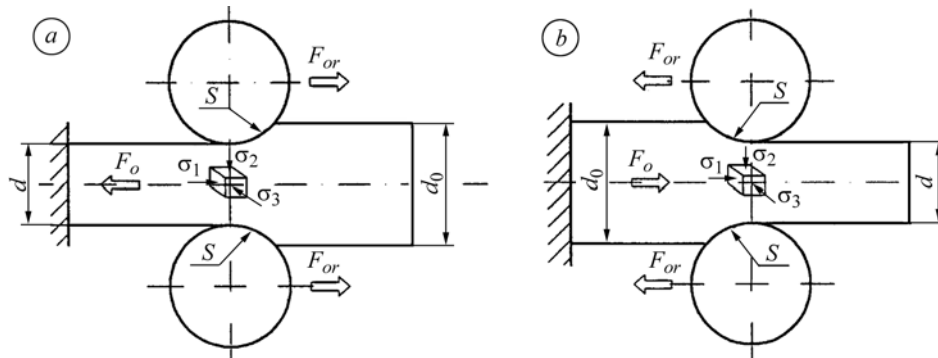


Рис. 2. Схеми навантаження вала і напруження під час поздовжнього вальцювання: а – у системі волочіння; б – у системі штовхання.

Fig. 2. A chart of the shaft loading and stress state under longitudinal rolling: а – in the system of drawing; б – in the system of pushing.

У системі волочіння діє осьова сила, яка розтягає сформовану сходинку вала, тому цей процес призначений для валів малих діаметрів. Вали в системі штовхання прості в кріпленні, але діаметр не може бути надто малим через можливість поздовжнього згину від осової сили стиску вала під час обробки. В системі волочіння матеріал піддається двоосьовому стиску з одноосьовим розтягом. За обробки в системі штовхання в зоні деформації спостерігається триосьове стискування. Відносну деформацію оцінювали за зміною лінійних розмірів і полів відповідних перерізів до і після деформування (рис. 3):

$$\varepsilon_l = \frac{l - l_0}{l}$$

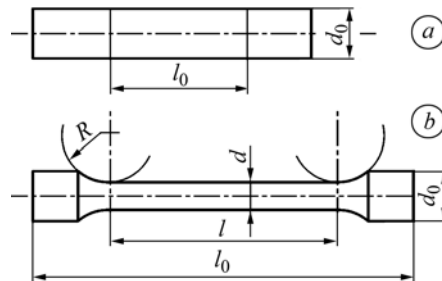
або після перетворення і врахування умов постійного об'єму:

$$\varepsilon_l = \frac{d^2 - d_0^2}{d_0^2},$$

де l_0 – початкова довжина вала до вальцювання; l – довжина вальцювання; d_0, d – діаметр вала до і після вальцювання.

Рис. 3. Схема вала до (а) і після (b) формування: R – робочий радіус ролика.

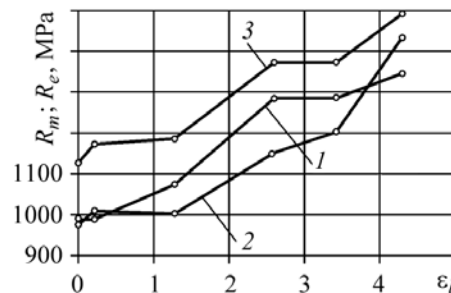
Fig. 3. A shaft chart before (a) and after (b) forming: R – working radius of a roller.



Досліджували вали з початковими діаметрами 11; 15; 19; 21 і 23 mm, деформовані до діаметра 10 mm. Тут $\varepsilon_l = 0,21; 1,25; 2,61; 3,41$ і $4,29$. Довжину вальцювання підбирали так, щоб отримати конструкцію вала, яка відповідає вимогам дослідження міцності за одноосьового статичного розтягу. Випробовували вали, виготовлені із легованої хромонікелемолібденової сталі 40HMNA, термічно обробленої перед деформуванням до твердості HRC 34. Цю сталь широко застосовують для виготовлення відповідальних частин машин, особливо валів.

Рис. 4. Залежність умовної границі пластичності $R_{0,2}$ (1, 2) і міцності на розтяг R_m (3) від відносної деформації вала ε_l для методів волочіння (крива 1), штовхання (крива 2) та волочіння і штовхання (крива 3).

Fig. 4. Dependence of conventional plastic limit, $R_{0,2}$, (1, 2) and tensile strength, R_m , (3) on relative deformation of a shaft, ε_l , for methods of drawing (curve 1), pushing (curve 2) and drawing and pushing (curve 3).



Виявлено одночасне монотонне зростання умовної границі пластичності $R_{0,2}$ і відносної деформації (рис. 4) з виразною тенденцією її зниження після перевищення деформації $\varepsilon_l = 2,61$. Вали, сформовані методом волочіння, мають вищу границю пластичності. Міцність на розтяг R_m зростала зі збільшенням деформації і була однаковою для валів, виконаних методами штовхання і волочіння.

Вплив деформації на структуру матеріалу під час поздовжнього вальцювання. Поздовжнє вальцювання призводить до однакових змін структури у всьому перерізі вала незалежно від методу деформування [2]. Вали виготовлено з легованої сталі 40HMNA, структура якої після термічної обробки має вигляд хаотично розташованих зерен голчастого сорбіту (рис. 5a). В результаті деформації матеріал починає видовжуватися, а зерна орієнтуються паралельно до осі вала. Коли $\varepsilon_l = 1,25$, зерна мають певне спрямування (рис. 5b), а якщо $\varepsilon_l = 2,61$ (рис. 5c, d), вони чітко зорієнтовані вздовж напрямку вальцювання і утворюють характерну текстуру змінання.

Після волочіння і штовхання з відносною деформацією $\varepsilon_l = 4,29$, зерна дуже виразно зім'яті і видовжені та укладені паралельно напрямку деформування.

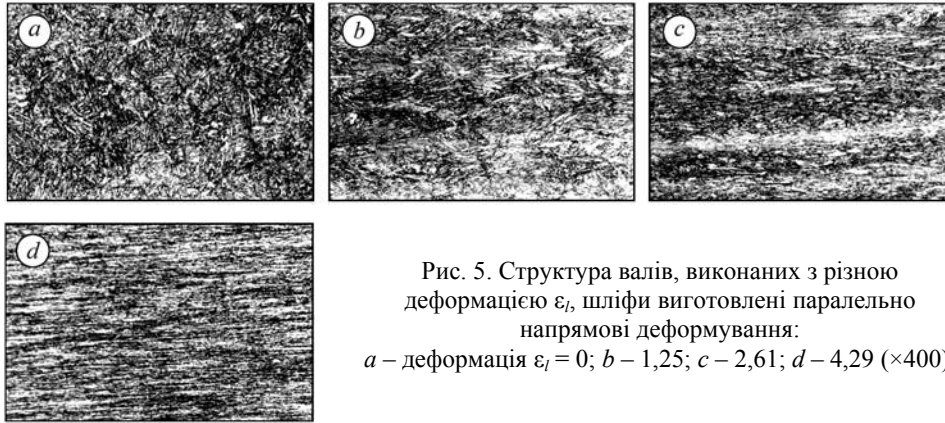


Рис. 5. Структура валів, виконаних з різною деформацією ε_l , шліфи виготовлені паралельно напрямку деформування:
a – деформація $\varepsilon_l = 0$; *b* – 1,25; *c* – 2,61; *d* – 4,29 ($\times 400$).

Fig. 5. Structure of shafts, obtained with different deformation, ε_l , thin sections are made parallel to the deformation direction: *a* – deformation $\varepsilon_l = 0$; *b* – 1.25; *c* – 2.61; *d* – 4.29 ($\times 400$).

Фрактографічні дослідження зламів валів, виконані в межах відносної деформації $\varepsilon_r = 0 \dots 4,29$. Встановлено, що злами невальцьованих валів ($\varepsilon_l = 0$), розтягнених статично (рис. 6*a*), подібні і мають вигляд конусу-чаші. Різниця в більш поширеній волокнистій серцевині і появи в одному зламі попеременно утворених у результаті зрізу внутрішніх і зовнішніх конусних поверхонь.

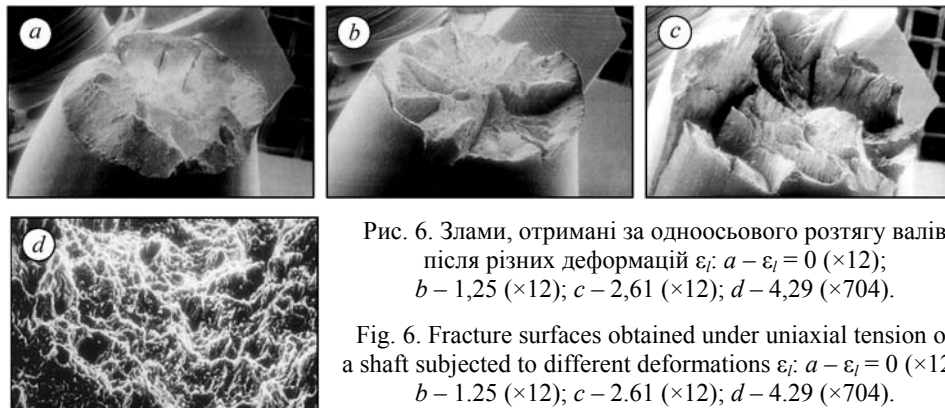


Рис. 6. Злами, отримані за одноосового розтягу валів після різних деформацій ε_l : *a* – $\varepsilon_l = 0$ ($\times 12$); *b* – 1,25 ($\times 12$); *c* – 2,61 ($\times 12$); *d* – 4,29 ($\times 704$).

Fig. 6. Fracture surfaces obtained under uniaxial tension of a shaft subjected to different deformations ε_l : *a* – $\varepsilon_l = 0$ ($\times 12$); *b* – 1.25 ($\times 12$); *c* – 2.61 ($\times 12$); *d* – 4.29 ($\times 704$).

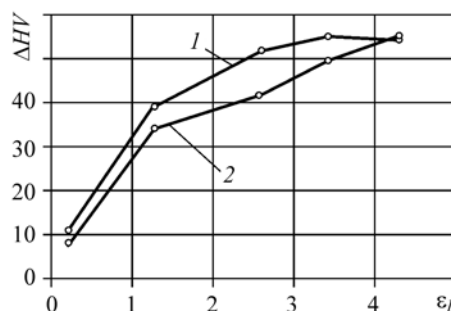
Злами валів, деформованих у дослідженому інтервалі (рис. 6*b, c*), змінювалися зі зростанням деформації на 0,21...4,29. Зникала конусна оболонка і зростала частка нахилених під кутом 45° макроскопічно гладких поверхонь зрізу. Появлялися радіусні щілини і збільшувалась нерегулярність поверхні. Мікроскопічні дослідження виявили пластичний характер розриву (рис. 6*d*) в інтервалі $\varepsilon_l = 0 \dots 4,29$. Із ростом деформації стає виразнішим рельєф поверхні: зростають висота піків та заглиблень, схили значно крутіші, що свідчить про суттєву текстуру матеріалу. Нерівномірність поверхні розтріскування свідчить про зсуви і витяжки на різних площинах. Із ростом деформації ε_l збільшується кількість тріщин зламу і їх глибина в напрямку розміщення волокон після пластичної обробки.

Твердість валів, виготовлених методами волочіння і штовхання (рис. 7). Вивчали методом Вікерса. Заміряли твердість валів до і після вальцювання. Мікротвердість заміряли на шліфах, виготовлених поперечно і поздовжньо відносно напрямку деформування. Мікротвердість у поздовжньому перерізі була мінімально більша в результаті посилення анізотропії. Мікротвердість однакова на всій поверхні перерізу незалежно від методу волочіння чи штовхання. Заміряли, пере-

міщаючи по поверхні від краю до центру проби з кроком 0,1 mm. Середня мікротвердість за навантаження 8 N становила 390 μ HV, а розкид був у межах ± 20 μ HV.

Рис. 7. Зміни приросту твердості ΔHV у функції відносної деформації ε_l валів, виконаних методами волочіння (1) і штовхання (2).

Fig. 7. Change in the hardness increment, ΔHV , in the function of relative deformation, ε_l , of shafts, prepared by the method of drawing (1) and pushing (2).



Встановлено монотонне зростання твердості залежно від деформації з виразною тенденцією зниження за більших деформацій для валів, виконаних методами волочіння і штовхання [3]. Твердість знаходилася в межах 340...395 HV залежно від деформації. Максимальний приріст твердості 55 HV і був однаковий для валів, виконаних обома методами.

ВИСНОВКИ

Виявлено, що поздовжнє холодне вальцювання валів із легованої сталі 40HMNA, термічно обробленої перед формуванням до твердості HRC 34, суттєво підвищує їх міцність. Міцність на розтяг R_m валів, отриманих методами волочіння і штовхання, однакова в усьому інтервалі деформацій. Умовна границя пластичності $R_{0,2}$ в інтервалі деформацій $\varepsilon_l = 1,25 \div 3,41$ є вища на 15% для валів, сформованих волочінням. За тієї самої відносної деформації ε_l для обох методів під час металографічних і фрактографічних досліджень не виявлено різниці як в мікроскопічній картині структури, так і на сканованих знімках. Подібно під час волочіння і штовхання розвивалася текстура матеріалу, пов'язана зі зростанням деформації. В фрактографічних дослідженнях спостерігається збільшення кількості тріщин зрізу з ростом деформації для обох методів.

РЕЗЮМЕ. Приведены результаты исследования влияния напряженности при холодном пластическом деформировании на структуру материала и его прочность. Испытаны валы, полученные методом продольного холодного вальцевания и изготовленные из легированной стали, термически улучшенной перед формированием до твердости HRC 34. Установлено, что деформация изменяет структуру и твердость материала.

SUMMARY. Investigation results on the influence of intensity under cold plastic deformation on materials structure and its strength are presented. Shafts, obtained by the method of longitudinal rolling and made of the alloyed steel, thermally hardened before forming to the hardness of HRC 34, were tested.

1. *Kształtowanie wałków stopniowanych metodą walcowania wzdłużnego* / J. Jezierski i inne // *Mechanik.* – 1983. – № 11.
2. *Kowalik M.* Badanie wybranych właściwości mechanicznych wałków walcowanych wzdłużnie na zimno z różnym stopniem odkształcenia. – *Politechnika Radomska*, 1996.
3. *Kowalik M.* Wpływ wysokości nierówności powierzchni na wartość siły nacisku podczas wykańczającego walcowania wałków stopniowanych // *Mechanik.* – 2010. – № 4.

Одержано 16.07.2010