

Лабораторна робота № 3

ЗНАХОДЖЕННЯ СПЛЮЩЕНОЇ ДОВЖИНИ ДУГИ КОНТАКТУ ПРИ ХОЛОДНОМУ ПРОКАТУВАННІ

Мета роботи: експериментальне знаходження довжини дуги контакту при холодному прокатуванні штаб.

Теоретичні відомості

При прокатуванні штаб відбувається пружна і пластична деформація металу. Пружна деформація (зворотна) завжди передує пластичній (залишковій) деформації, але при гарячому прокатуванні пружна деформація штаби практично відсутня. Пластична деформація металу починається за умови, коли внутрішні напруження, що виникають у перетині штаби досягнуть напруження плинності (межі пружності) металу. Внутрішні напруги (без урахування сил тертя) при осаді зразка рівні:

$$\sigma_1 = P / F , \quad (3.1)$$

де P - зусилля деформації; F - площа контакту (площа перетину зразка).

Таким чином, пластична деформація виникне при нарузі σ_1 яке дещо перевищить межу пружності і досягне напруги плинності металу, тобто

$$\sigma_1 = \sigma_T , \quad (3.2)$$

де σ_T - напруга плинності металу.

Умова (3.2) дійсна як для металу прокатуваної штаби, так і самих валків.

Напруга текучості - нормований параметр для кожної конкретної марки сталі (чи іншого металу) і залежить від температури, ступеня і швидкості деформації металу.

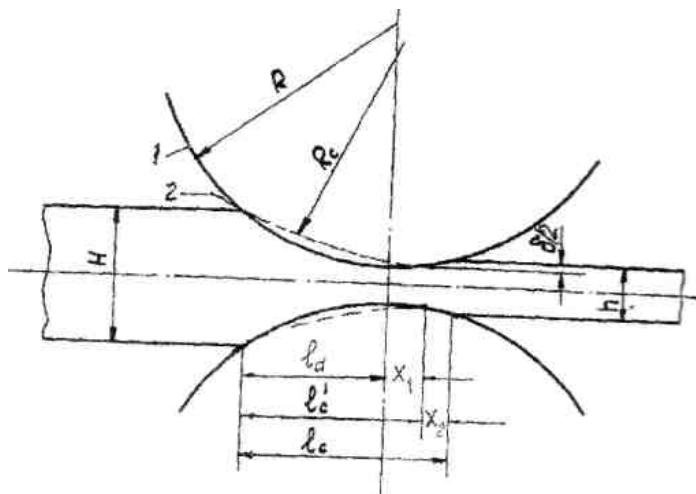
Оскільки штаба та валки знаходяться в контакті, то необхідно забезпечити умови деформації, при яких відбувається пластична деформація тільки штаби, але не валків. Для виконання цієї умови матеріал валків завжди

має великі величини напружень текучості, міцності і твердості. Так, наприклад, при гарячому прокатуванні (температура $t = 800-1200^{\circ}\text{C}$) метал штаби (сталь) має напругу текучості в межах $\sigma_T = 60-150\text{ Н/мм}^2$, напруга плинності металу валків зі сталі марки 50ХН $\sigma_T = 450\text{ Н/мм}^2$, а межа міцності $\sigma_B \approx 600 - 700\text{ Н/мм}^2$. При холодному прокатуванні штаб з низько вуглецевої сталі відмінність між напругами плинності штаби і валків мають менше розходження, але істотно розрізняються величини твердості металу (HB/HSD): штаба - (190-230)/(29-35); робочий валок - (650-680)/(93-97), де HB і HSD - відповідно твердості по Бринелю і Шору.

Високу твердість поверхневого шару валків отримують шляхом загартування, що одночасно забезпечує і підвищення міцності поверхневого шару валків. У зв'язку з цим робочі валки витримують контактні тиски, що значно перевищують напруги плинності металу.

Так, за даними А. В. Третьякова та ін. [4], при твердості валка 85HSD допустимі контактні напруги складають $p_{\text{доп}} = 2400\text{ Н/мм}^2$ (напруги плинності низько вуглецевої сталі після зміцнення з сумарним обтисненням $E_{\Sigma} = 60-70\%$ складають $\sigma_T = 600-750\text{ Н/мм}^2$). У зв'язку з вказаним при нормальному процесі прокатки валки зазнають тільки пружну деформацію. У разі аварійних ситуацій (накладення штаб, порив штаби, перевищення допустимих обтиснень) контактні тиски між штабою і валками можуть перевищити допустимі ($p_{\text{ср}} > p_{\text{доп}}$) і відбудеться місцева пластична деформація робочих валків (надав, навар штаби), що призводить до зупинки стану і заміні валків.

Пружна деформація бочок валків має місце у всіх випадках прокатки штаб і вона надає відповідний вплив на геометричні параметри осередку деформації і, отже, на кінематичні та силові параметри прокатки. Проте помітний вплив на вказані параметри пружне сплющування валків надає при нормальних контактних тисках $p_{\text{ср}} \geq 300\text{ Н/мм}^2$ (прокатка в останніх 3 – 4 х - клітках чистової групи неперервного штабового стану гарячої прокатки і у всіх випадках холодної прокатки штаб).



1-контур жорсткого валка; 2 - контур пружно деформованого валка

Рисунок 3.1 - Схема осередку деформації при холодному прокатуванні

У результаті пружного деформування валка в осередку деформації відбуваються такі зміни (рис. 3.1):

- збільшується радіус валка з R до R_c ;
- збільшується довжина дуги контакту на величину x_1 (з l_d до l_c');
- зменшується величина обтиснення.

При холодному прокатуванні в осередку деформації відбувається пружна деформація самої штаби, а на виході з осередку деформації з довжиною l_c' висотні розміри штаби відновлюються на величину δ за рахунок чого загальна довжина осередку зростає на величину x_2 .

На рис. 3.1 маємо: H і h - товщина вихідна і кінцева; δ - величина пружної деформації штаби; R і R_c - радіуси відповідно жорсткого і пружно деформованого валка; l_d - довжина дуги контакту на жорсткому валку; x_1 і x_2 - збільшення довжини дуги відповідно за рахунок пружних деформацій валка і штаби; l_c' - довжина дуги контакту з урахуванням сплюснення валка; l_c - повна довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валка і штаби.

Для теоретичного розрахунку параметрів l_d , l_c' та l_c використовують відомі формули (без урахування натягання штаби):

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (3.3)$$

$$l'_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R \cdot \Delta h(1 - c \cdot f_{\Pi} / 2h_{cp})}}{2(1 - c \cdot f_{\Pi} / 2h_{cp})}; \quad (3.4)$$

$$c = \sigma_{\phi} \cdot R / 47500; x_2 = \sigma_{\phi 1} R / 95000; \quad (3.5)$$

$$l_c = l'_c + x_2; h_{cp} = \sqrt{H \cdot h}, \quad (3.6)$$

де Δh - фактичне абсолютна обтиснення; f_{Π} - показник тертя; h_{cp} - середня товщина штаби; σ_{ϕ} - середнє опір металу у осередку деформації; $\sigma_{\phi 1}$ - опір металу деформації після прокатки:

$$\sigma_{\phi} = 1,15 \cdot \sigma_T; \sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot \sigma_{T1} \quad (3.7)$$

де σ_T і σ_{T1} - межа текучості металу і середня межа текучості металу в осередку деформації і після прокатки.

Формули (3.5) придатні при прокатуванні сталевих штаби в сталевих валках. Величини межі текучості σ_T і σ_{T1} відомі. При розрахунку сплющеної дуги при прокатуванні алюмінієвих штаб (алюміній марки А1) параметри σ_T і σ_{T1} і x_2 визначають за наступними формулами (для алюмінію модуль пружності дорівнює $E = 67500 \text{ Н/мм}^2$): межа текучості алюмінію за А. В. Третьяковим (для А1) [4]:

$$\sigma_0 = 60 \text{ Н/мм}^2; \sigma_{T1} = 60 + 6,4 \cdot e^{0,62}; \quad (3.8)$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15[\sigma_{T0} + 0,67(\sigma_{T1} - \sigma_{T0})],$$

де σ_{T0} - межа текучості до деформації; e - сумарне відносне обтиснення за n - кількість проходів.

Параметр x_2 дорівнює:

$$\sigma_{\phi} = 1,15 \cdot \sigma_T; x_2 = \sigma_{\phi 1} \cdot R / 29000. \quad (3.9)$$

Для міді марки М1-М4 маємо (модуль пружності $E = 100000 \text{ Н/мм}^2$):

$$\sigma_0 = 81 \text{ Н/мм}^2; \sigma_{T1} = 81 + 6,3 \cdot e^{0,41}; \quad (3.10)$$

$$\sigma_\phi = 1,15 \sigma_{T1}, x_2 = \sigma_{\phi 1} \cdot R / 48300. \quad (3.11)$$

Експериментальне визначення довжини дуги контакту

Існує кілька методів експериментального дослідження сплющеної довжини дуги контакту. Два з них можуть бути використані тільки в лабораторних умовах і вимагають застосування спеціальних датчиків, що вбудовуються у валки, та електронної апаратури. Ці датчики фіксують період проходження штаби довжини осередку деформації. Одночасно фіксується час і проходження штаби осередку деформації та швидкість валків v і за формулою розраховують довжину дуги контакту:

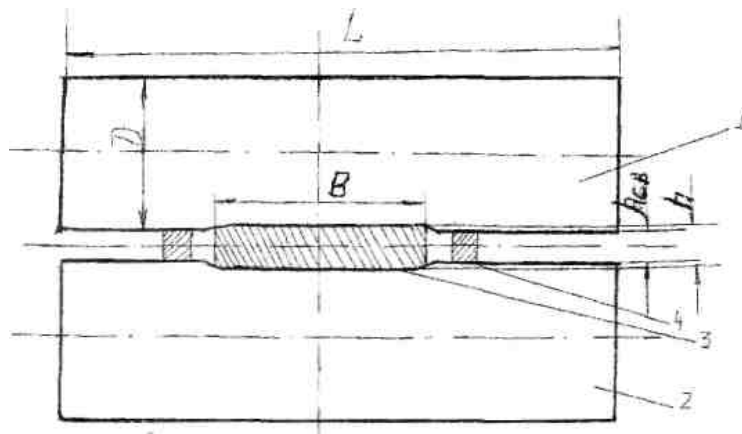
$$l_c = v \cdot t,$$

А. В. Третьяков пропонує визначати довжину дуги контакту l_c по зусиллю прокатки [4]:

$$l_c = \sqrt{R(\Delta h + P / 4.75B)}. \quad (3.12)$$

У цій формулі: P - у тонах; $B, R, \Delta h$ - у міліметрах. Проте для визначення довжини l_c необхідне застосування месдоз і спеціальної апаратури для вимірювання зусилля прокатки.

Простий метод вимірювання сплющеної дуги контакту запропонований В. О. Ніколаєвим [3]. Цей метод не вимагає спеціальних вимірювальних пристроїв та апаратури. Метод заснований на одночасному прокатуванні в валках штаб з різними механічними властивостями. Причому одна штаба має більш високі величини напруги плинності (випробуваний матеріал) і дві смужки свідки зі значно меншими величинами напруги текучості. Наприклад, якщо випробуваний матеріал із сталі, то свідками можуть бути штаби зі свинцю або відпаленого алюмінію. При прокатуванні штаб з міді або алюмінію в якості свідків використовують штаби зі свинцю (рис. 3.2).



1, 2 - валки; 3 - сталеві штаби; 4-свинцеві смужки («свідки»)

Рисунок 3.2 - Схема до визначення сплющеної дуги контакту при холодному прокатуванні штаб

На рис. 3.2 представлена схема прокатки штаб з різного матеріалу. Наприклад, середня штаба зі сталі (міді, алюмінію), а дві крайні смужки зі свинцю. На контакті сталеві штаби відбуваються пружні деформації самої штаби і валків в результаті чого абсолютне обтиснення зменшується, а товщина штаби h збільшується порівняно з умовами прокатки в абсолютно жорстких валках. Для свинцевих штаб ($\sigma_T = 10-15 \text{ Н/мм}^2$) сталеві валки є практично абсолютно жорсткими і пружні деформації валків практично відсутні. Товщина свинцевої штаби h_{cb} відповідає фактичному зазору між валками з дотриманням пружної віддачі штаби під дією зусилля прокатки. Зі сказаного очевидно, що якщо б валки мали абсолютну жорсткість, то при прокатуванні сталеві штаби отримаємо $h=h_{cb}$ і тоді $l'_c=l_d$.

У реальних умовах прокатки сплющену довжину дуги контакту слід розраховувати за формулою

$$l'_c = \sqrt{R \cdot (H - h_{cb})}; \quad (3.13)$$

$$l'_c = \sqrt{R_c \cdot (H - h)}. \quad (3.14)$$

У формулі (3.13) довжина дуги l'_c отримана в жорстких валку, а у

вираженні (3.14) довжина дуги l'_c отримана для фактичного обтиснення сталевих штаби у пружно деформованих валках з радіусом R_c .

Вирішуючи спільно вирази (3.13 і 3.14) отримаємо

$$\frac{R_c}{R} = \frac{H - h_{CB}}{H - h} = \frac{\Delta h_{CB}}{\Delta h}. \quad (3.15)$$

Повну довжину дуги контакту розраховують за формулою (3.6).

З формули (3.12) отримаємо формулу для розрахунку зусилля прокатки

$$P = \frac{4.75B(l_c^2 - R\Delta h)}{R}, \quad (3.16)$$

де l_c - відома величина сплющеної довжини дуги контакту.

Для проведення досліджень застосовують штаби товщиною $H = 1-2$ мм, шириною $B = 20-40$ мм, а свідки - шириною $5-10$ мм (довжина штаб $150-200$ мм). Штаби і свідки прокатують у валках діаметром $D = 250$ (200) мм.

Усі виміри і дані заносять до таблиці.

Контрольні запитання

1. При яких контактних напруженнях відбувається сплющення валків?
2. Які складові сплющеної дуги контакту?
3. Опишіть механізм пружної та пластичної деформації.
4. Від яких параметрів залежить напруження течії металу?
5. При яких видах прокатки має місце пружна деформація прокатних валків?
6. Які процеси виникають в осередку деформації через пружну деформацію валка?
7. Які марки сталі використовують для виготовлення прокатних валків?