

## ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ В ЗАГОТОВЦІ ПРИ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВІЙ ПРОКАТЦІ

*В роботі виконано експериментальні випробування на стиск зразків, виготовлених зі сталі 18ХГТ, побудовано тарувальний графік інтенсивність напружень – твердість – ступінь деформації та проведена оцінка напружень в заготовках, отриманих при поперечно-клиновій прокатці, по розподіленню твердості та методом скінченних елементів.*

В даний час напружено-деформований стан при поперечно-клиновій прокатці (ПКП) розраховується наближеними методами, наприклад, методом ліній ковзання, методом верхньограничної оцінки та іншими [1]. Основним недоліком яких полягає в низькій точності визначення характеристик НДС. Тому актуальним є проблема удосконалення існуючих та розробки існуючих методів розрахунків НДС.

Суть метода твердості полягає в тому, що випробовували зразки, вирізані із матеріалу заготовки на стиск, потім вимірювали твердість zdeформованих зразків при різних ступенях деформації. По отриманих результатах будували тарувальний графік інтенсивність напружень – твердість – ступінь деформації  $(\sigma_u - H - e_u)$  для відповідного матеріалу заготовки [2].

Потім визначали розподіл твердості по меридіональному перерізу zdeформованої заготовки і за допомогою тарувального графіка визначали розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_u$  та ступеня деформації  $e_u$ .

Основним недоліком даного методу є те, що тарувальний графік будується по результатах статичних випробувань на стиск та розтяг. Проте розбіжність статичної та динамічної залежностей твердості від напруження буде великої лише при малих деформаціях. Враховуючи те, що процес поперечно-клинової прокатки є близьким до статичного процесу, тому похибка в розрахунках буде незначною.

Нами було проведено експериментальні випробування на стиск циліндричних зразків розмірами  $h_0 = 15$  мм,  $d_0 = 10$  мм, виготовлених зі сталі 18ХГТ.

Підготовлені зразки осаджували до різних ступенів деформації  $e_u = 0,005; 0,01; 0,05; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$  до появи видимих неозброєним оком тріщин, що виникають, як правило, на екваторі бічної поверхні. Ступінь деформації, при яких має місце незначне бочкоутворення, розраховували по формулі:

$$(e_u) = 2 \ln \frac{d}{d_0}$$

При  $e_u = 1,02$  на бічній поверхні зразків з'явилися тріщини (рис. 1) і подальше осадження було припинено.



Рис. 1. Тріщина на бічній поверхні осадженого зразка

Інтенсивність напружень визначали по формулі [2]:

$$(\sigma_u) = \frac{P}{A_0 \exp(e_u)},$$

де  $A_0$  – початкова площа перерізу зразка.

По отриманих результатах було побудовано тарувальний графік  $\sigma_u - HRC - e_u$  для сталі 18ХГТ, де в якості вихідної величини твердості брали середнє арифметичне значення з зазначенням довірчого інтервалу.

Враховуючи те, що процес поперечно-клинової прокатки, у нашому випадку, проходить при високих температурах (900–1000 °С), а вимірювати твердість при таких температурах практично неможливо, тому використовуємо рекомендації Г.Д. Деля [2] та результати досліджень, які виконав І.С. Праведников [4]. На рис. 2 приведена залежність  $HV(\sigma_u)$  (крива 2) побудована по методиці [2, 4, 5], яка співпадає з залежністю  $HV(\sigma_u)$  (крива 1), але зміщена по осі  $\sigma_u$  вліво до значення  $\sigma_T$  при температурі 950°С. Це пояснюється тим, що твердість металу виміряна після охолодження вище твердості нагрітого металу. Значення  $\sigma_{0,2}$  при  $t = 950$  °С беремо з довідника. Крива  $e(HV)$  також зміщується вліво при підвищенні температури.

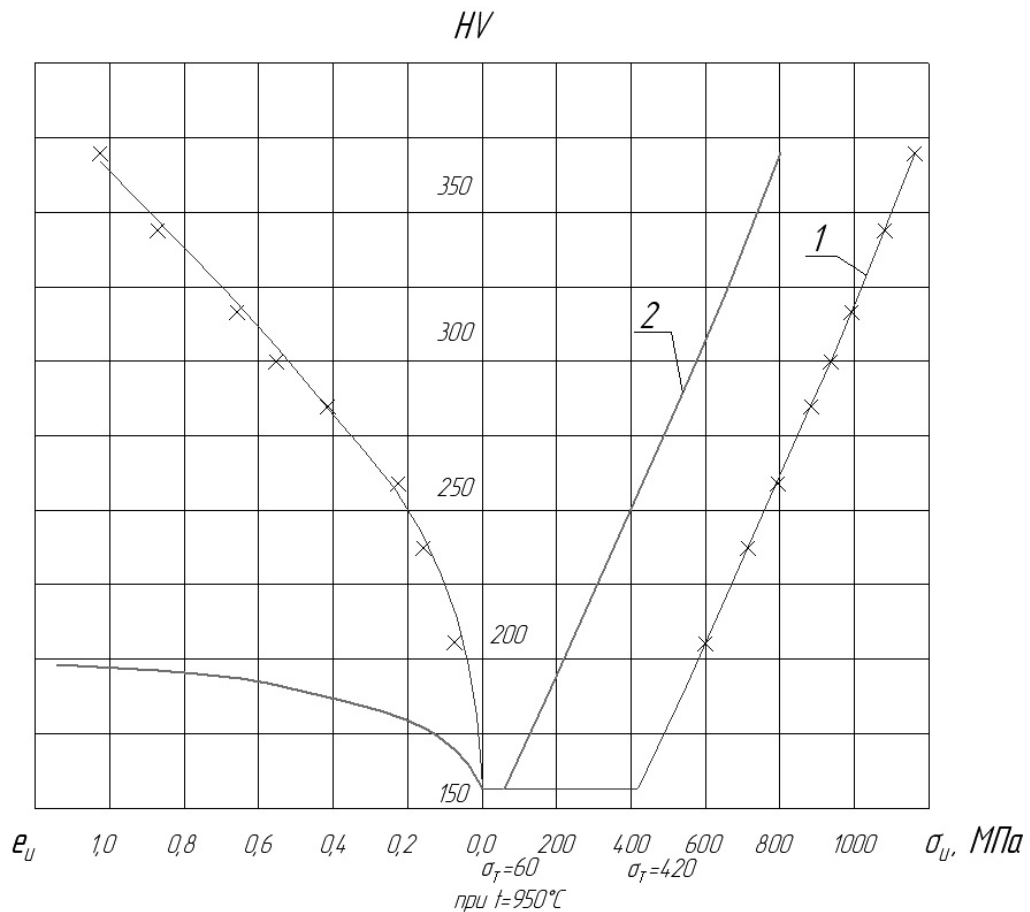


Рис. 2. Тарувальний графік  $\sigma_u - HRC - e_u$  для сталі 18ХГТ;

1 – експериментальна крива при  $t = 20$  °С;

2 – крива, отримана в результаті інтерполяції при  $t = 950$  °С.

Для визначення твердості заготовки після ПКП розрізаємо її на дві частини по меридіональному перерізу. Отриманий зріз шліфуємо, для того щоб мінімізувати вплив наклепу на результати вимірювань.

Після вимірювання твердості в різних точках поверхні, наносимо отримані результати на ескіз заготовки. Будуємо ізокляри, що відповідають одній твердості (рис. 3). Використовуючи тарувальний графік визначаємо величину інтенсивності деформацій (рис. 4) та інтенсивності напружень (рис. 5).

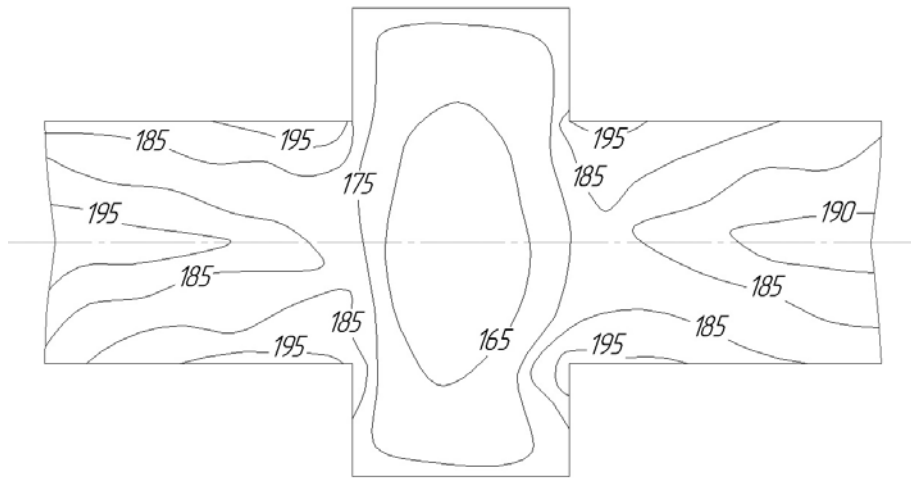


Рис. 3. Розподіл твердості (HV) по меридіональному перерізу заготовки

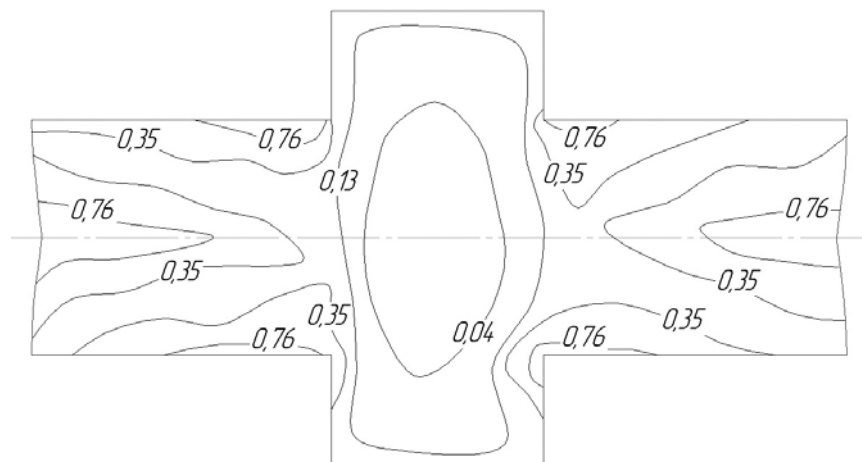


Рис. 4. Розподіл інтенсивності деформацій по меридіональному перерізу заготовки

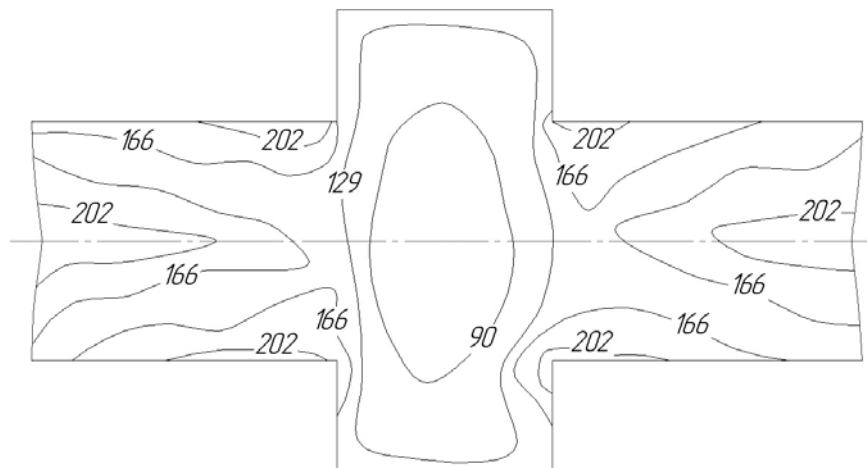


Рис. 5. Розподіл інтенсивності напружень по меридіональному перерізу заготовки

Альтернативою експериментальному нами виконано імітаційне моделювання процесів об'ємної штамповки з використанням метода скінченних елементів (МСЕ) [6]. Результати розрахунків розподілу  $e_u$  по меридіональному перерізу заготовки приведені на рис. 6.

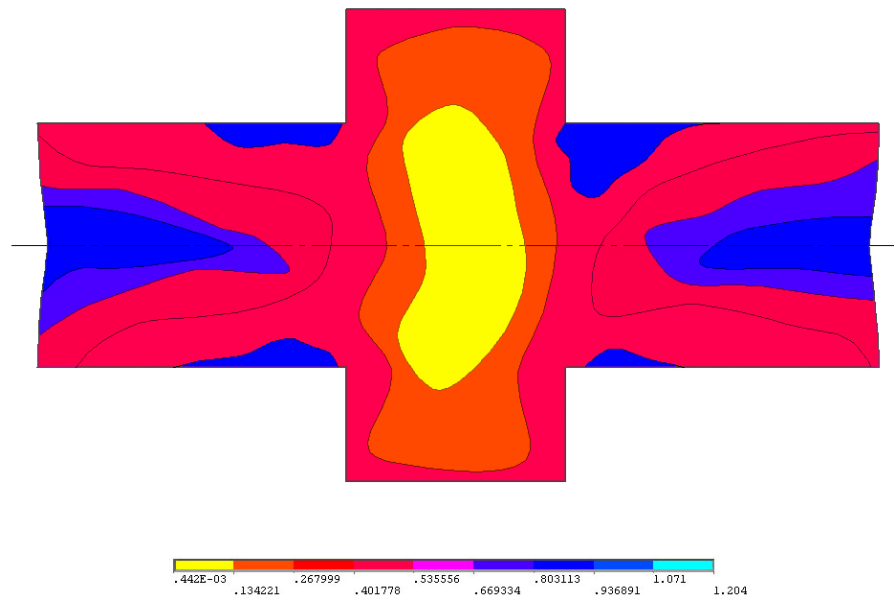


Рис. 6. Розподіл інтенсивності деформацій по меридіональному перерізу заготовки визначений МСЕ

Для кількісної оцінки достовірності розрахунків МСЕ було проведено порівняння розподілення  $\sigma_u$  та  $e_u$  в меридіональному перерізі деформованих зразків. Порівняння отриманих значень з експериментальними показало, що розходження експериментальних і розрахункових результатів знаходиться в межах похибки метода вимірювання твердості.

Таким чином, можна зробити висновок, що при аналізі процесу поперечно-клинової прокатки розрахунок параметрів НДС методом скінчених елементів дає не тільки якісну, але й кількісну оцінку розподілу інтенсивності напружень та деформацій. Тому для аналізу ПКП можна використовувати обидва методи. Однак МСЕ більш інформативний.

## Література

1. Кожевникова Г.В. Поля линий скольжения с неравномерным распределением контактных напряжений // Доклады НАН Б. – 2003. – Том 47, № 4. – С.110-113.
2. Дель Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. – М.: Машиностроение, 1971. – 199с.
3. Нахайчук О.В., Огородников В.А., Музычук В.И. Напряжённо-деформированное состояние процесса закатки поршня-шатунa поршневого насоса // Вибрации в технике и технологиях. – 2005. – №2(40). – С. 63-66.
4. Праведников И.С. Определение напряжений в пластически деформируемых деталях. // Нефтегазовое дело, 2005. – С. 76-84.
5. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление металлов пластическому деформированию. Л.: Машиностроение, 1978, 367 с.
6. Иванов К.М., Шевченко В.С., Юргенсон Э.Е. Метод конечных элементов в технических задачах ОМД: Учебное пособие. С-Пб: Институт Машиностроения, 2000, 217 с.