

М.Г. Чаусов, проф., д.-р. техн. наук, А.П.Пилипенко, асист.

Національний аграрний університет України,

В.Е. Вільдеман, проф., д.-р. ф.-м. наук

Пермський державний технічний університет, Росія

Аналіз даних про динамічне перевантаження матеріалів на різних стадіях деформування

Проаналізовані дані про динамічне перевантаження матеріалів на різних стадіях деформування. Досліди проводили на зразках з корпусної і низьковуглецевої сталей. Встановлено, що динамічні перевантаження, що здійснюються на будь-якій ділянці деформування, помітно змінюють процеси деформування сталей. Істотну роль у зниженні опору сталей пластичному деформуванню в процесі динамічного перевантаження вносять теплова енергія і ріст пошкодженості матеріалу.

динамічне перевантаження, пошкодженість, теплова енергія

Раніше авторами отримані нові дані про зниження опору матеріалів пластичному деформуванню в наслідок динамічного перевантаження [1...3].

Слід відмітити, що в ряді випадків динамічного навантаження, наприклад, при випробуваннях на динамічну твердість і в експериментах з розповсюдження хвилі довантаження в матеріалі, навантаженого ударною хвилею, також відмічалось зниження опору метала пластичному деформуванню з зростанням швидкості деформування [4,5].

Це все свідчить про те, що відомі феноменологічні рівняння враховують не всі процеси, що розвиваються в металах при високих швидкостях деформації і, що особливо важливо, вони не враховують впливу історії попереднього навантаження [6...8].

Дослідження механічних властивостей конструкційних матеріалів з врахуванням динамічних перевантажень дозволяють, з одної сторони, визначити умови складного навантаження (статичне навантаження – динамічне перевантаження – статичне навантаження), при яких вплив динамічних перевантажень на подальше статичне деформування виявляється дуже істотним, а з іншої, вивчити і описати виявлені ефекти і розробити на їх основі нові методи розрахунку реальних конструкційних елементів з врахуванням динамічних перевантажень.

При аналізі даних необхідно підкреслити, що всі експериментальні дані отримані при випробуванні зразків на конкретній випробувальній машині ZD-100Pu, з конкретною масою рухомих частин (1350 кг) [1...3].

Випробуваний зразок та пристрій, що підвищує жорсткість навантажувальної системи для побудови повної діаграми деформування, можуть бути представлені системою паралельно з'єднаних елементів (рис.1).

Спільна робота цих елементів проілюстрована на рис. 2. Тут, пряма 1 – характеристика всіх паралельно з'єднаних елементів, крива 2 – повна діаграма досліджуваного зразка, крива 3 – сумарна характеристика механічної системи. Руйнування одного з елементів призводить до раптового зменшення жорсткості навантажувальної системи (характеристика системи паралельних елементів після руйнування одного з них – крива 1'). Передбачається, що зусилля, яке прикладається до системи в цілому, при руйнуванні послабленого елемента залишається незмінним

(якщо ця умова не виконується, то необхідно включити до розгляду також пружний елемент K' і вважати контрольованою величину u_0).

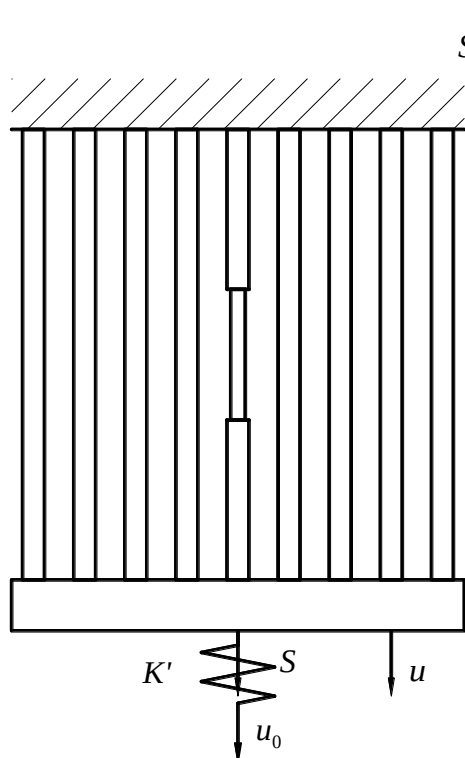


Рисунок 1 – Схема випробувань зразка матеріалу

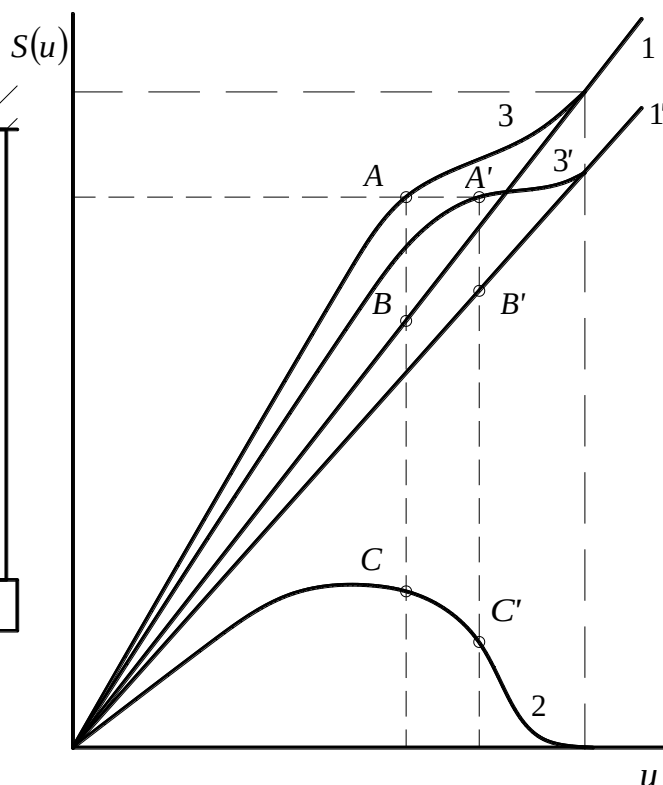


Рисунок 2 – Механіка одночасного деформування зразка і пружних елементів

Очевидно, що в наслідок динамічних перевантажень металу передається велика кількість енергії за короткий час. Велика частина цієї енергії дисипує в матеріалі, перетворюючись на тепло і викликаючи структурні зміни.

Для оцінки теплової енергії складемо баланс енергії

$$A = A_e + A_f + \Delta W + \Delta W_f + \Delta W_T.$$

До рівняння балансу входять:

- робота зовнішніх сил $A = S\Delta u$,

Δu - видовження стержнів при руйнуванні послабленого елемента;

- приріст пружної енергії паралельних елементів $\Delta W = \frac{EV}{2l}(u_2^2 - u_1^2)$,

E, V, l - модуль пружності, загальний об'єм матеріалу, довжина елементів, u_2, u_1 - видовження елементів після і до руйнування послабленої тяги;

- робота деформації зразка (приріст пружної енергії і робота пластичного деформування досліджуваного зразка) $A_e = V_d \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \sigma d\varepsilon$,

$$A_e = V_d \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \sigma d\varepsilon,$$

V_d - об'єм досліджуваного зразка;

- приріст (вивільнення) пружної енергії частин руйнуємого елемента $\Delta W_f = \frac{1}{2}Ku_1^2$,

K - жорсткість руйнуємого елемента;

- робота руйнування елемента $A_f = 2\gamma F$,

F - площа послабленого поперечного перерізу руйнуємої крихкої проби, 2γ - питома робота руйнування;

- теплова енергія (розігрів зразка після затухання хвиль напружень) ΔW_T .

Рівняння балансу можна використати для оцінки ΔW_T . Знання величини ΔW_T допоможе пояснити особливості «динамічної кривої розміцнення» в процесі динамічних перевантажень, так як при розігріві матеріалів може відбуватися подрібнення зерен, що призводить до релаксації напружень, фазові перетворення, зміни кристалічної ґратки (наприклад перехід ОЦК металів до ГЦК), зерно-граничне проковзування.

Подібні ефекти зустрічаються у надпластичності. Так, зокрема в роботі [8] спостерігався ефект деформаційного розміцнення матеріалів (титанових сплавів) як наслідок фазових перетворень.

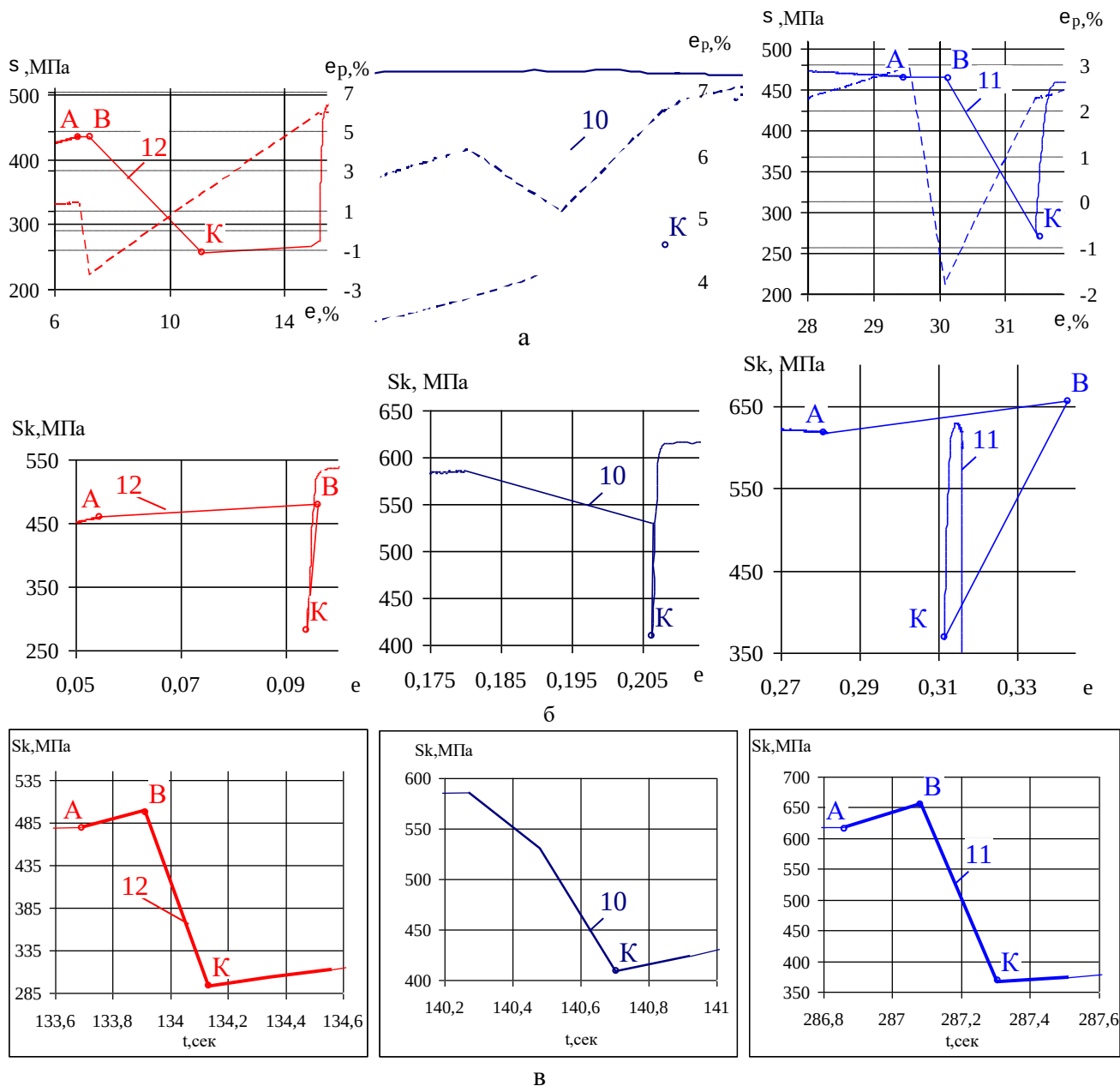


Рисунок 3 – Фрагменти графіків, що характеризують поведінку корпусної сталі в момент динамічного перевантаження на різних стадіях деформування

На рис. 3, 4 представлені фрагменти діаграм деформацій корпусної сталі 12Х2МФА і низьковуглецевої сталі Ст.20 в момент динамічних перевантажень на різних стадіях

деформування. Тут же на криві $\sigma(\varepsilon)$ накладені криві, що характеризують стрибкоподібний ріст деформації розпушення $\varepsilon_p(\varepsilon)$ [9] в момент динамічних перевантажень.

З аналізу експериментальних даних видно, що при раптовому динамічному перевантаженні зразка можна виділити декілька етапів зміни стану матеріалів, яким на «динамічній кривій розміцнення» відповідають характерні ділянки.

Для більш міцної корпусної сталі 12Х2МФА відмічаються характерні початкові ділянки АВ (див. рис. 3), на яких відбувається «накачування» енергії у зразок і лише до моменту досягнення точки В ймовірно досягається певна температура, яка при даному рівні напружень забезпечує досягнення енергії активації трансформаційного процесу.

Очевидно, що точки А і В – порогові. У цих точках «спрацьовують» певні критерії переходу.

Різниця у поведінці матеріалів при дії одного й того ж динамічного імпульсу на різних стадіях деформування може бути пов'язана з не лише з кількістю наявних пор та їх формою, але і з різницею напруженого стану зерен, оскільки критерії активації трансформаційних процесів включають не тільки температуру, але і напруження.

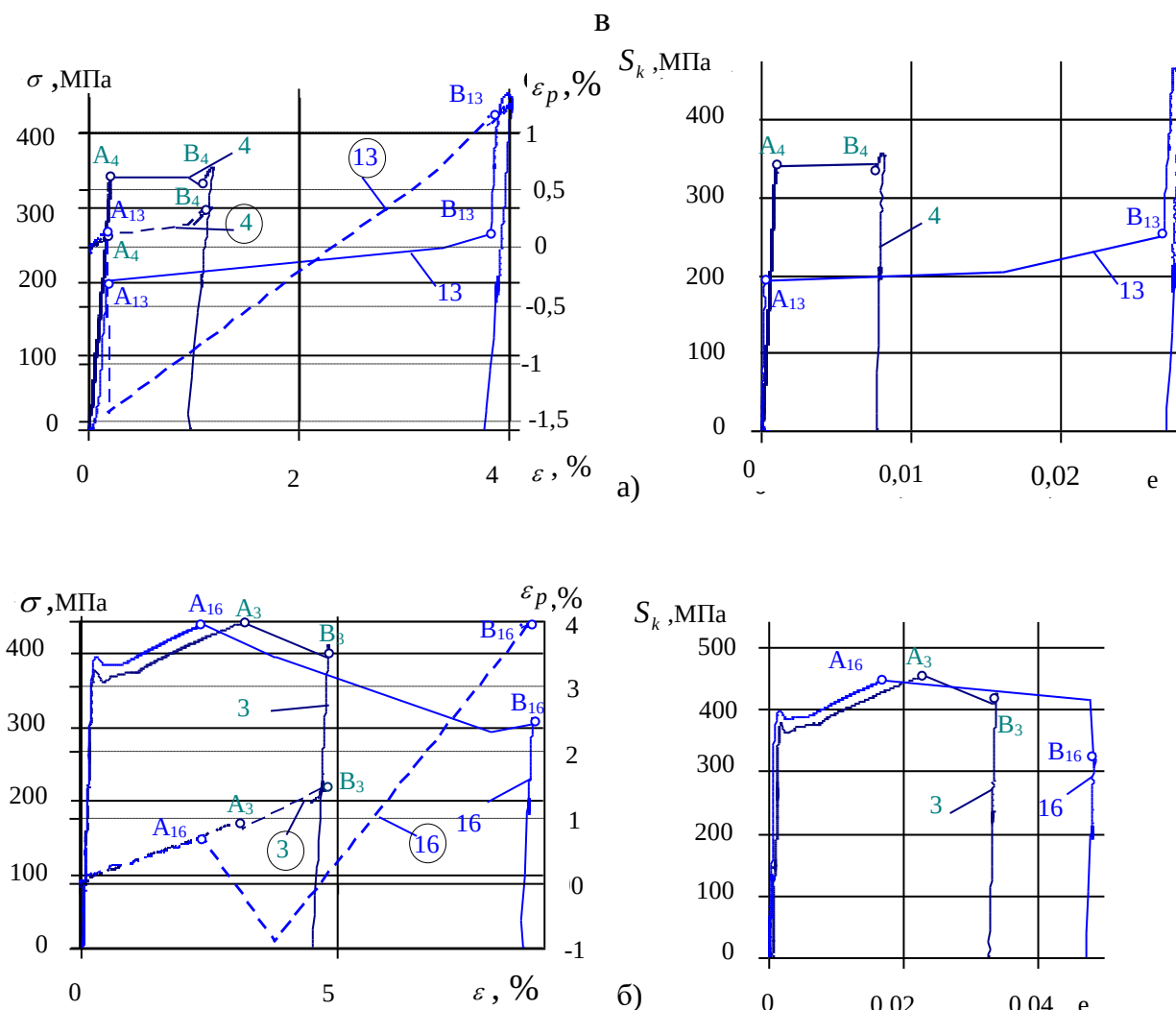


Рисунок 4 – Фрагменти графіків, що характеризують поведінку низьковуглецевої сталі в момент динамічного перевантаження на різних стадіях деформування

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що динамічні перевантаження, що здійснюються на будь-якій ділянці деформування, починаючи з пружної, помітно змінюють процеси деформування сталей. Істотну

роль у зниженні опору сталей пластичному деформуванню в процесі динамічного перевантаження вносять теплова енергія і ріст пошкодженості матеріалу.

2. Показано, що при раптовому динамічному перевантаженні зразка можна виділити декілька етапів зміни стану матеріалів, яким на «динамічній кривій розміцнення» відповідають характерні ділянки.

3. Отримані при виконанні досліджень фактичні експериментальні дані є важливою інформацією, що необхідна для обґрунтування фізичної достовірності нових моделей деформування і руйнування.

Список літератури

1. N.G. Chaurov, A.P. Pilipenko. Influence of Dynamic Overloads on Fracture Kinetics of Metals at Final Stages of Deformation. // *Mechanika*. – 2004. – 3 (48), P. 13-18.
2. Чаусов Н.Г., Недосека С.А., Пилипенко А.П. Комплексная оценка поврежденности пластичных материалов при различных режимах нагружения // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2004, № 3, С. 16 – 21.
3. Чаусов Н.Г., Пилипенко А.П.. Кинетика разрушения металлов при сложных режимах нагружения // *Вестник Уральского государственного технического университета – УПИ*, №22(52), 2004, - С.118-124.
4. Степанов Г.В. Сопротивление материалов деформированию при ударном нагружении // *Пробл. прочности*. – 2002. - № 3. – С. 7-14
5. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортов В.Е. Исследования механических свойств материалов при ударно-волновом нагружении // *Изв. РАН, МТТ*, 1999, №5, С.173-188.
6. В.Т.Троценко, А.Я.Красовский, В.В.Покровский, Л.А.Сосновский, В.А.Стрижало. Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие. Ч 2. – К.: Наук. думка. – 1994. – 702 с.
7. Степанов Г.В. Анализ кривых деформирования металлов при растяжении с учетом влияния скорости нагружения и температуры // *Пробл. прочности*. – 1995. - № 7. – С. 68-75.
8. Васин Р.А., Еникеев Ф.У., Мазурский М.И. О материалах с падающей диаграммой // *Изв. РАН. МТТ.*, №2, 1995, С. 181-182.
9. Лебедев А.А., Чаусов Н.Г. Новые методы оценки деградации механических свойств металла конструкций в процессе наработки. - Киев, 2004.-133с.

Проанализированы данные о динамических перегрузках материалов на разных стадиях деформирования. Опыты проводили на образцах из корпусной и малоуглеродистой сталей. Установлено, что динамические перегрузки, которые осуществляются любом участке деформирования, заметно изменяют процессы деформирования сталей. Важную роль в понижении сопротивления сталей пластическому деформированию в процессе динамической перегрузки вносят тепловая энергия и рост поврежденности материала.

The data on dynamic overloading of materials at different stages of deformation are analysed. the experiences carried out on specimens from case and low-carbonic steels. It is established, that dynamic overloading which are carried out any site of deformation, appreciably change processes of deformation of steels. The important role in downturn of strength of the steels to plastic deformation under the dynamic overloading is brought with thermal energy and damage growth of material

Одержано 6.09.05