

Окреслено напрямки підвищення надійності конвеєрних систем з метою збільшення ефективності гірничотранспортної системи кар'єрів.

На основі проведених досліджень та обробки статистичного матеріалу планується розробити методику нормування показників надійності конвеєрних систем із можливістю побудування моделі раціональної системи технічного обслуговування і ремонту складових елементів транспортної системи залізородних кар'єрів.

Список літератури

1. Стахеев, Н.Л. Структуры управления на горно-обогатительных комбинатах [Текст] / Н.Л. Стахеев, В.Л. Казакова. – М.: Недра, 1990. – 124 с.
2. Четверик М.С. Формирование комплексов при технологии предобогачения руды в карьерах [Текст] / М.С. Четверик, Е.В. Бабий, А.А. Икол // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2007. - № 3. – С. 91-93.
3. Бабец, Е.К. Современное состояние горного производства на глубоких карьерах, основные проблемы и пути их решения [Текст] / Е.К. Бабец // *Збірник наукових праць державного підприємства «Науково-дослідний гірничорудний інститут»* - 2010. - №52. - С.10-16.
4. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. - 487 с., ил.
5. Хачатрян, С. А. Обоснование методов повышения надежности эксплуатации конвейерных систем угольных шахт [Текст]: Дисс. ... доктор техн. наук / С.А. Хачатрян. – С.-Пб., 2004. – 280 с.
6. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров [Текст] / под ред. А.Ю. Дриженко. – М.: Недра, 1994. – 288 с.
7. Литвиненко К.В. Надежность конвейерного транспорта при открытой разработке полезных ископаемых [Текст] / К.В. Литвиненко // *Репозиторий НТБ НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – ГЕА №87.*
8. Дриженко, А.Ю. Закономерности формирования рабочей зоны глубоких карьеров [Текст] / А.Ю. Дриженко, К.В. Литвиненко // *Сб. научн. трудов НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2008. - №31. – С.61-69.*
9. Герцбах, И.Б. Модели отказов [Текст] / И.Б. Герцбах, Х.Б. Кордонский / под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Советское радио, 1966. – 166 с.
10. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, Гл.ред. физ.-мат. лит., 1991. – 384 с.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.14

УДК 624.042.65

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,

О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доц.

Криворізький національний університет

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПОВЕДІНКИ СТАЛЕЙ ПРИ СКЛАДНОМУ ДЕФОРМУВАННІ І НАВАНТАЖЕННІ

Наведено результати та аналіз експериментальних досліджень по пружно-пластичному деформуванню сталі при складних навантаженнях. Інтенсивності навантажень на конструкції збільшуються, і як наслідок, поява пружно-пластичних деформацій. Їх врахування у роботі та визначення граничного стану конструкцій є важливим етапом безпечного їх функціонування та довговічності при правильному виборі коефіцієнтів запасу. Більшість реальних елементів конструкцій в процесі експлуатації зазнають дії комплексу термомеханічного навантаження, яке істотно впливає на їх несучу здатність. Тривалі дослідження конструкційних матеріалів, які працюють в умовах складного напружено-деформованого стану, показують, що анізотропія пластичного стану елемента матеріалу залежить як від напружено-деформованого стану та історії деформування, так і від напрямку дії напруження. Дослідження закономірностей пружно-пластичного деформування матеріалів при складному напруженому стані, виявлення впливу та оцінка цих закономірностей в залежності від параметрів складного навантаження при ізотермічних процесах деформування є актуальною задачею механіки деформованого твердого тіла. Наведено результати та аналіз експериментальних досліджень по пружно-пластичному деформуванню сталі при складних навантаженнях. Зроблено висновки по наведеним відомостям.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У сучасному будівництві характерним є збільшення інтенсивності навантажень на конструкції, і як наслідок, - поява пружно-пластичних деформацій.

Їх врахування у роботі та визначення граничного стану конструкцій є важливим етапом безпечного їх функціонування та довговічності при правильному виборі коефіцієнтів запасу.

Спроби спрощення теорії процесів пружнопластичного деформування конструкційних матеріалів призводять до великої розбіжності розрахунків з експериментальними даними.

Тому необхідність повного обліку параметрів складного навантаження для отримання достовірних розрахункових результатів вельми необхідна і важлива для сучасної теорії пластичності та експериментальних досліджень, її подальшого прогресивного розвитку та оцінки використовуваних на практиці наближених теорій і моделей пластичного деформування металів, що не містять параметрів складного деформування в своїх співвідношеннях і рівняннях.

Більшість реальних елементів конструкцій в процесі експлуатації зазнають дії комплексу термомеханічного навантаження, яке істотно впливає на їх несучу здатність. Тривалі дослідження конструкційних матеріалів, які працюють в умовах складного напружено-деформованого стану, показують [4-20], що анізотропія пластичного стану елемента матеріалу залежить як від напружено-деформованого стану та історії деформування, так і від напрямку дії напруження. Дослідження закономірностей пружнопластичного деформування матеріалів при складному напруженому стані, виявлення впливу та оцінка цих закономірностей в залежності від параметрів складного навантаження при ізотермічних процесах деформування є актуальною задачею механіки деформованого твердого тіла [1-3].

Аналіз досліджень і публікацій. Початок досліджень пластичності матеріалів відноситься до 1864, коли Тріска опублікував свої дослідження по незворотному деформуванню ряду твердих матеріалів і дійшов висновку, що «існує характеристика матеріалу, що виражає максимальне дотичне напруження, при якому незалежно від типу досвіду тверде тіло тече». Цю умову плинності Сен-Венан поклав в основу своєї теорії течії в 1870 р. Подальший інтенсивний розвиток теорія пластичності отримала в першій половині ХХ ст. в працях Хаара і Кармана, Мізеса, Генки, Прандтля, Рейсса, Хілла, Надаї, Одквіста, Прагера, А.А. Ільюшина, В.В. Соколовського, А.Ю. Ішлінського, Л.М. Качанова, Л.С. Лейбензона та ін. Ці роботи супроводжувалися розробками ефективних експериментальних методів дослідження пластичності матеріалів при складному напруженому стані і в основному простому навантаженні (Рош і Ейхінгер, Надаї-Лоді, Прагер-Хоенемзер, Тейлор-Квини, Шмідт, Девіс, А.М. Жуков та ін.). В феноменологічній теорії пластичності намітилося два основні напрями: теорії течії і теорії пластичного деформування матеріалів що зміцнюються. На рубежі 50-х років ХХ ст. Прагером була розроблена концепція існування граничної поверхні навантажування матеріалів що зміцнюються і встановлений, в загальному вигляді, зв'язок приростів пластичних деформацій з цією поверхнею, створена загальна теорія течії Мелана-Прагера. Цей напрямок надалі розвивався А.Ю. Ішлінським, В.В. Новожиловим, Ю.І. Кадашевичем та іншими дослідниками. У цей же час А.А. Ільюшиним були введені поняття напрямних тензорів простого і складного навантажень, теоретично доведена тотожність усіх, що існували в той час, основних теорій пластичності в разі простого навантаження однієї загальної теорії малих пружно-пластичних деформацій. Пошуки шляхів створення загальної теорії пластичності при складному навантаженні привели А.А. Ільюшина до введення в теорію пластичності лінійних координатних евклідових n -мірних просторів E_n і векторів напружень $\bar{\sigma}$, деформацій $\bar{\varepsilon}$, поняття образу процесу і постулату ізотропії для початково ізотропних у фізичному просторі матеріалів. Систематичні дослідження з перевірки постулату ізотропії були проведені В.С. Ленським. Великий вклад в розвиток нового напрямку в теорії пластичності, названого теорією процесів, внесли В.С. Ленський, В.Г. Зубчанинов, А.С. Кравчук, Р.А. Васін, В.І. Малий, В.П. Дегтярьов, Дао-Зуй-Бік, А.В. Муравльов, П.В. Трусов, Ю.Н. Шевченко, В.В. Москвітін, Н.Л. Охлопков, В.В. Гараніков і ін. Істотний внесок у розвиток теорії ідеальної пластичності та граничних станів внесли Д.Д. Івлєв, С.Л. Христианович, А.Ю. Ішлінський, В.В. Соколовський, Є.І. Шемякін, В.Д. Ключников та ін.

Постановка завдання. Метою дослідження був аналіз існуючих експериментальних відомостей [4-20] для дослідження залежностей пружнопластичного деформування сталі при складних навантаженнях.

Викладення матеріалу та результати. Для проведення експерименту використовувалися тонкостінні трубчасті зразки зі сталі 12ХН3А [6]. Заготовки зразків піддавалися термічній обробці при температурі 897 К з витримкою на протязі 2 год. і наступним остиганням разом з пічкою.

Дослідження закономірностей пружнопластичного деформування при складному навантаженні проводилося за програмами, які містили однакові перші ділянки пропорційного навантаження.

Навантаження по траєкторіях у вигляді дволанкових ламаних розділено на дві групи. До першої віднесено дослідження на складне навантаження зразків, яке супроводжувалося зростанням інтенсивності напружень. До другої групи входять дослідження, в яких складне навантаження при-

водило до зменшення інтенсивності напружень при подальшому зростанні інтенсивності деформації. При цьому кути зламу траєкторії напружень в девіаторній площині Ільюшина (S_1, S_2) перевищували 90° [12].

На рис. 1 у вигляді залежностей «напруження - деформація» представлено результати випробування дослідного зразка (№ К-025), навантаженого по траєкторії у вигляді дволанкової ламаної [6].

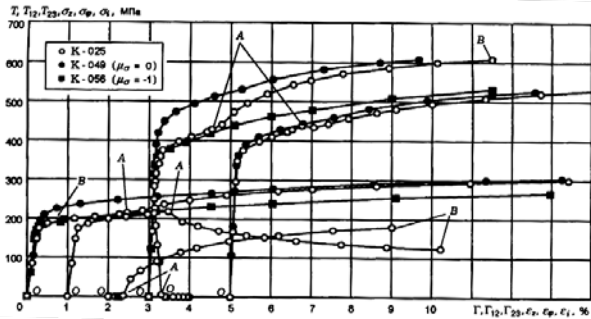


Рис. 1. Результати випробувань зразків № К-025

У пластичний стан А (стан повної пластичності) зразок введений осьовим розтяганням $\sigma_z > 0, \sigma_\phi = 0, \mu_\sigma = -1$. На ділянці складного навантаження АВ параметр виду довантаження $\mu_{\Delta\sigma} = 3$ зберігається сталим. Приріст дотичних напружень в цьому випадку $\Delta T = -\Delta T_{12} = 2\Delta T_{23} > 0$. У точці А зламу траєкторії навантаження в девіаторній площині Ільюшина кут зламу становить

90° , приріст інтенсивності напружень $\Delta\sigma_1 = 0$. Наступні довантаження супроводжуються зростанням σ_1 . Точці зламу траєкторії навантаження на кривих відповідає точка А. Точці В відповідає момент, що передує руйнуванню зразка.

Дані дослідження свідчать про наступне [6]. На майданчиках Π_{12}^\pm здійснюється часткове розвантаження при подальшому активному навантаженні по майданчикам Π_{13}^\pm головного зсуву. У другому головному напрямку пружне деформування не відновилося.

Як видно з ділянки АВ складного навантаження σ_ϕ (ϵ_ϕ), додатному приросту окружного напруження відповідає від'ємний приріст окружної деформації.

У точці А перелому траєкторії навантаження кривої σ_z (ϵ_z) довантаження викликало різку зміну дотичного модуля. На криві σ_z (ϵ_z), T (Γ) нанесені точки кривої чистого зсуву $\mu_\sigma = 0$, та осьового розтягання, $\mu_\sigma = -1$. На ділянці АВ складного навантаження точки кривих σ_z (ϵ_z), T (Γ) розташовуються між точками кривих чистого зсуву та осьового розтягання до тих пір, доки $\mu_\sigma \leq 0$, а $T \geq_{12} T_{23}$. Зі зростанням ϵ_z і Γ точки вказаних кривих монотонно наближуються знизу до точок кривих чистого зсуву. Подальше навантаження призводить до спів падання точок кривої $T(\Gamma)$ з точками кривих чистого зсуву. Приросту напружень $\Delta\sigma_\phi > 0$ відповідає додатний приріст окружної деформації.

Деформований стан на ділянці АВ складного навантаження є станом повної пластичності.

Так, при довантаженні і зміні параметру Лоде в інтервалі $-1 \leq \mu_\sigma \leq 0$ пластичні зсуви відбуваються за площадками головного зсуву Π_{13}^\pm , а по другій парі площадок ковзання Π_{12}^\pm відбувається розвантаження. У напрямку розвантаження продовжуються відносні зміщення міцних елементів внаслідок активних довантажень на інших площадках ковзання. При $\mu_\sigma = 0$ і $T = 2T_{12} = 2T_{23}$ відбувається перемикання площадок ковзання: площадки Π_{23} стають другими.

Пластичні зсуви відбуваються як і раніше на площадках головного зсуву Π_{13} , довантаження призводять до розвитку пластичних зсувів на площадках ковзання Π_{23}^\pm .

На рис. 2 наведено результати випробування другої групи [6]. Зразок № К-075 на ділянці пропорційного навантаження ОА осьовим розтяганням виведено в пластичний стан.

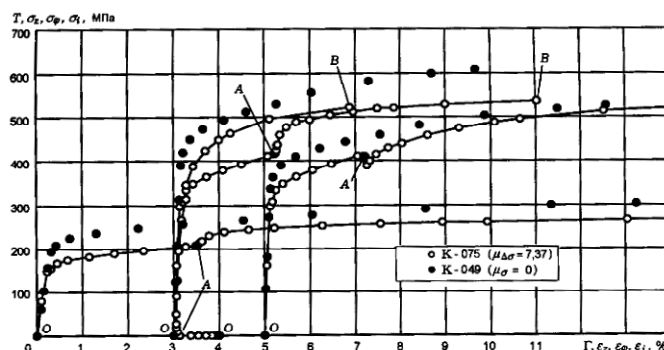


Рис. 2. Результати випробувань зразків № К-075

У точці А виконано різкий злам траєкторії навантаження. Кут зламу перевищує 90° в девіаторній площині Ільюшина. На ділянці складного навантаження $\mu_{\Delta\sigma} = 7,37$.

Як видно з розташування точок кривих на ділянці АВ, після точки А

зламу траєкторії навантаження також спостерігається помітне пластичне деформування в осьовому та радіальному головних напрямках, а в окружному головному напрямку відновлюється пружне деформування. На площадках попереднього пластичного деформування P_{12}^{\pm} відбувається часткове розвантаження зі зміцненням, а на площадках P_{23}^{\pm} триває активне довантаження. Деформований стан - стан неповної пластичності.

Часткове зміцнення на площадках ковзання P_{12}^{\pm} при довантаженні з точки А викликає різке збільшення дотичного модуля кривої $\sigma_z(\epsilon_z)$: в точці А нахил цієї кривої співпадає з пружним. При наступних довантаженнях точки кривої $\sigma_z(\epsilon_z)$ наближаються до кривої чистого зсуву (темні кружки). Аналогічно розташовуються точки на ділянці складного навантаження кривої Т(Г).

Складне навантаження на ділянці АВ траєкторії навантаження, яке розглядається як послідовність довантажень, при яких на одній з площадок головних дотичних напружень відбувається часткове розвантаження зі зміцненням, призводить до того, що на додаток до активного ковзання на площадках чистого зсуву P_{13}^{\pm} з'являються та отримують розвиток пластичні зсуви на площадках ковзання P_{23}^{\pm} . Елемент матеріалу знов деформується у стан повної пластичності.

На діаграмі $\sigma_i(\epsilon_i)$ після точки А зламу траєкторії навантаження спостерігається ділянка зростання інтенсивності деформацій при спадаючій інтенсивності напружень.

Інтенсивність напружень зменшується тим більше, чим більше значення параметру виду довантаження. При наступних довантаженнях величина σ_i починає зростати, а крива $\sigma_i(\epsilon_i)$ прямує до аналогічної кривої чистого зсуву.

Для порівняння на рис. 2 нанесені точки залежностей, побудованих за результатами випробувань зразка № К-049 при двоосному розтяганні $\sigma_z = 2 \sigma_{\phi}$ ($\mu_{\sigma} = 0$).

Аналіз наведених на рис. 2 експериментальних результатів показує, що непружне деформування матеріалу істотно залежить від виду досягнутого напруженого стану, напрямку довантаження та історії навантаження.

Пластична деформація є результатом послідовного накладання стану повної, неповної та повної пластичності (зі зміною площадок головного зсуву).

Висновки та напрямок подальших досліджень. Наведені відомості дозволяють зробити наступні висновки [6].

Попередньо однорідний ізотропний матеріал стає анізотропним в наслідок пластичної деформації. Анізотропія пластичного стану залежить як від досягнутого напруженого стану, так і від напрямку довантаження.

Довантаження, що супроводжується частковим розвантаженням зі зміцненням і монотонним зростанням інтенсивності напружень, призводить до різкого збільшення дотичного модуля, аж до пружного, залежності першого головного напруження від відповідної деформації та до пружної зміни другої головної компоненти тензора деформацій.

Список літератури

1. Гігіняк Ф.Ф., Лебедєв А.О., Шкодзінський О.К. Міцність конструкційних матеріалів при мало цикловому навантаженні за умов складного напруженого стану. – Київ: Наук. Думка, 2003. – 270 с.
2. Можаровский Н.С., Антипов Е.А., Бобьрь Н.И. Ползучесть и долговечность материалов при программном нагружении. – К.: Вища школа, 1982. – 282 с.
3. Гигиняк Ф.Ф., Сторчак М.В., Башта В.В. и др. Циклическая прочность и ползучесть теплоустойчивых сталей в условиях сложного напряжённого состояния // Всесоюз. науч.-техн. конф. "Прочность материалов и элементов конструкций при сложном напряжённом состоянии": Тез. докл. – К., 1984. Ч. 1. – 82 с.
4. Гультияев В.И. Закономерности пластического деформирования конструкционных материалов при сложном нагружении. Диссертация... докт. техн. наук. – Тверь, 2012. – 45 с.
5. Петров А.Н. Деформационная модель нелинейной ползучести железобетона и её приложение к расчёту плосконапряжённых элементов и систем из них. Дисс... докт. техн. наук. – Москва, 2001. – 326 с.
6. Анин Б.Д., Жигалкин В.М. Поведение материалов в условиях сложного нагружения. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. – 342 с.
7. Доцинский Г.А., Коренева А.М. Исследование прямого и возвратного нагружений с постоянной интенсивностью напряжений в пластической области // Инж. журн. Механика твёрдого тела. 1968. № 4. - С. 163-165.
8. Христианович С.А. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1981.
9. Шемякин Е.И. Анизотропия пластического состояния // Числ. методы механики сплошной среды. 1973. т. 4, № 4. - С. 150-162.

10. Дошинский Г.А. Экспериментальное исследование пластической деформации “нейтрального нагружения” // Изв. Томск. Политехн.ин-та, 968. Т. 183. С. 45-48.
11. Гениев Г.А., Курбатов А.С., Самедов Ф.А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов. – М.: “Интербук”, 1993.
12. Ильюшин А.А., Механика сплошной среды. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 310 с.
13. Ohasi Y., Tanaka E. Plastic behavior of mild steel along orthogonal trilinear strain trajectory in three-dimensional vector space of strain deviator. – Transactions of the ASME, 1981, V. 103, # 4, p. 287-292.
14. Яхно Б.О. Пошкоджувальність та руйнування конструкційних матеріалів при складному мало цикловому навантаженні. Дисертація... канд. техн. наук. – Київ, 2005. – 135 с.
15. Булах П.А. Кинетика накопления поврежденных теплоустойчивых сталей при различных режимах нагружения [Текст] / Ф.Ф. Гигиняк, П.А. Булах, Т.Н. Можаровская // Проблемы прочности. – 2010. - № 1. – с. 120-126.
16. Borodii M.V. Obtaining a low-cycle fatigue strain criterion // Strength Mater. – 2001. - 33, No. 3. – p. 28-37.
17. Іваницький Я.Л. Методи оцінки тріщиностійкості конструкційних матеріалів за умов складного навантаження. Дисертація... докт. техн. наук. – Львів, 2005. – 315 с.
18. Іваницький Я.Л. Критерії руйнування конструкційних матеріалів в умовах складного напруженого стану та їх експериментальна перевірка / Я.Л. Іваницький // Тези доп. шостого міжнар. симп. укр. інженерів-механіків у Львові. – Львів, 2003. – С. 21-22.
19. Zyczkowski M. Combined loading in the theory of plasticity. Warszawa: Polish. Sci. Publ., 1981.
20. Tokada M., Ohashi Y., Iida T. On the hypothesis of local determinability and a concise stress-strain relation for curved strain path // Bull. ASME. 1983. V. 26, N 219. P. 1475-1480.

Рукопис подано до редакції 16.04.14

УДК 62-503.5

И.А. КОЗАКЕВИЧ, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ ПУТЕЙ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрены основные способы идентификации статорных потокосцеплений асинхронного двигателя для реализации бездатчикового управления. Выявлены основные причины снижения точности косвенного оценивания при работе привода на низких угловых скоростях. Проанализированы пути улучшения точности за счет использования программируемых фильтров низких частот, адаптивных систем с задающими моделями, а также за счет каскадного соединения нескольких фильтров. Основные выводы подтверждены математическим моделированием в среде Matlab/Simulink.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Рассматривая существующие системы бездатчикового векторного управления, а также системы прямого управления моментом, можно отметить, что одной из важнейших задач, непосредственно влияющих на показатели качества регулирования угловой скорости электропривода, является идентификация величины и положения вектора потокосцепления двигателя.

Анализ исследований и публикаций. Одним из простейших путей реализации поставленной задачи является использование уравнений электрического равновесия статорных цепей, получивших в литературе название «напряженческой» модели [1-3]. Однако, данный подход имеет ряд существенных недостатков, связанных с чувствительностью к дрейфу нуля аналоговой части схемы управления приводом, что вызывает насыщение интегратора, а также с неопределенностью начальных условий [4], что приводит к появлению постоянной составляющей в проекциях вектора потокосцепления. Для устранения указанных недостатков было разработано ряд способов. В [5] представлен модифицированный интегратор с обратными связями. Он отличается от классического тем, что благодаря определению наличия насыщения в интеграторе, выполняется компенсация дрейфа нуля, которая успешно функционирует при работе на высоких частотах. Таким образом, точность такого интегратора непосредственно зависит от уровня насыщения.

Второй предложенный в литературе подход предлагает использование интегратора с ограничением амплитуды, что основывается на допущении о работе двигателя с постоянным магнитным потоком. На основе рассмотренных двух структур предложен адаптивный интегратор, который позволяет с достаточной для таких систем точностью и устойчивостью компенсиро-