

Инженерное обеспечение строительства

УДК 539.3

Анализ деформирования материала методами
термодинамики обратимых процессов

Мойсейчик Е. А.

Белорусский национальный технический университет

При деформировании материалов в упругой, упруго-пластической и пластических стадиях происходит превращение энергии деформации в тепловую и соответственно повышается температура деформируемого объема материала [2].

Целью данной работы является сопоставление методов анализа процессов деформирования материалов приемами термодинамики обратимых процессов.

Процессы деформирования металлов и других материалов с указанных позиций рассматриваются в работах [3–7].

Л.И.Седов в работе [3] получает универсальные термодинамические соотношения, справедливые при деформировании любых материальных сред. Термодинамические функции при построении теорий конкретных тел Л.И.Седов [3] рекомендует определять с помощью статистической физики, из опытных данных, посредством некоторых дополнительных гипотез, либо комбинаций этих трех способов. Конкретные подходы реализованы в ряде работ [4–8].

Г. Циглер [4] вводит представление о макроскопической силе X_k в виде суммы обратимой $X_k^{(r)}$ и необратимой $X_k^{(i)}$ сил. В деформируемых средах в качестве термодинамической силы предложено [4] рассматривать тензор напряжений. Зная функцию диссипации можно получить определяющие уравнения, связывающие скорости деформации в сплошных средах с необратимой частью тензора напряжений [4].

М. А. Зайковым [5] термодинамический анализ процесса пластического деформирования использован для описания в общем виде зависимостей сопротивления деформации металлов от степени (ε), температуры (T) и скорости деформации (u).

При выводе зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$, описывающие кривые упругости металлов, автор [5] воспользовался уравнениями термодинамики обратимых процессов и получил соотношение:

$$\frac{\partial \sigma}{\sigma} = \frac{\left(\frac{\partial \Phi}{\partial \varepsilon} \right)_{u, T} d\varepsilon}{\Phi - F}, \text{ где} \quad (1)$$

F – свободная энергия. Из выражения (1) можно получить зависимости $\sigma = f_1(\varepsilon)$, $\sigma = f_2(T)$ [5]. Зависимость сопротивления металла деформированию от температуры при постоянных степени и скорости деформации устанавливается М. А. Зайковым [5] подобным путем.

Развернутый анализ процессов пластического деформирования с рассмотрением ряда конкретных процессов дан В. Ф. Радзивончиком [6]. Выразив закон сохранения энергии, с одной стороны через характеристики деформируемой среды (плотность, ρ теплопроводность α) и параметры процесса (скорость движения частиц u , составляющие внешних сил σ_{ab} и перемещений u_i , градиент температуры dT/dq_i), а с другой стороны, через закономерности движения самой энергии, и сопоставляя полученные уравнения, В. Ф. Радзивончик получает для монотонного пластического деформирования изотропной среды при отсутствии конвективной теплопередачи потоком внутренней энергии и адиабатическом и стационарном (скорость постоянная) процессе деформирования основные зависимости. Однако для практического использования полученных выражений необходимо еще знать связь внутренней энергии с параметрами процесса. С использованием законов термодинамики, пластического деформирования, экспериментальных данных автор [6] получает зависимость сопротивления деформации материала от ряда параметров.

Н. С. Фастовым [7] в основу термодинамического анализа процесса деформирования твердых тел положена свободная энергия и релаксационные явления. Термодинамическое состояние деформируемого тела характеризуется в состоянии равновесия температурой T и тензором деформации ε_{ik} , являющимися термодинамическими внешними параметрами, а для неравновесного состояния еще и совокупностью внутренних тер-

модинамических параметров. Для исследования конкретных деформируемых тел, кроме предложенных автором зависимостей нужно найти выражение для свободной энергии, а также уравнение для определения тензоров релаксации [7].

В работе [8], исходя из допущений малости линейных и угловых деформаций, постоянства плотности деформируемого объема, излагается подход к построению реологических зависимостей в сплошной деформируемой среде при учете только механических и тепловых процессов и дается постановка такой задачи для деформируемого тела.

Таким образом, изложенные термодинамические подходы используют упрощения, которые могут привести к недопустимым погрешностям при анализе процессов деформирования. Основными из таких погрешностей являются представление деформирования с конечной скоростью как термодинамически обратимого процесса, что действительно только при бесконечно малых скоростях приложения нагрузки; неучет особенностей реального строения материалов, изменений в материалах, происходящих при технологических и эксплуатационных воздействиях и др.

Литература

1. Надаи, А. Пластичность и разрушение твердых тел: Пер. с англ./ А. Надаи; Под ред. Г. С. Шапиро. – М.: ИЛ, 1954. – 648 с.
2. Maugin, G.A. The thermomechanics of plasticity and fracture / G. A. Maugin. – Cambridge^Cambridge University press. – 1992. – 350 p.
3. Седов, Л. И. Механика сплошной среды / Л. И. Седов. – М.: Наука, 1973. – Т. 1. – 536 с.
4. Циглер, Г. Экспериментальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды / Г. Циглер; пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 135 с.
5. Зайков, М. А. Режимы деформации и усилия при горячей прокатке / М. А. Зайков. – Свердловск: Metallurgizdat, 1960. – 302 с.
6. Радзивончик, В. Ф. Скоростное пластическое деформирование металлов / В. Ф. Радзивончик. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1967 – 211 с.

7. Фастов, Н. С. К термодинамике необратимых процессов в упруго-деформированных средах / Н. С. Фастов // Проблемы металлостроения и физики металлов. – М.: Металлургиздат, 1958. – № 5.
8. Хорошун, Л. П. К термодинамике механических и тепловых процессов в сплошных средах / Л. П. Хорошун // Вопросы механики реального твердого тела. – Киев: Наукова думка, 1964. – Вып. 2. – С.107–113.

УДК 528.48

**Модификация геодезических методов выноса
разбивочных осей сооружений культурно-
спортивного комплекса «МИНСК-АРЕНА»**

Нестеренок М. С., Щербин И. И.

Белорусский национальный технический университет

Электронный тахеометр служит современным измерительно-вычислительным средством автоматизации и модернизации геодезических разбивочных работ при возведении сооружений. Во внутренней памяти процессора электронного тахеометра имеются прикладные программы, например «Вынос в натуру» (Setting out), «Связующие расстояния» (Tie Distant) и др.

Первый шаг программы: вычисление координат предварительной точки I' по формулам

$$x' = x_{\text{СТ}} + d \cos \alpha; \quad y' = y_{\text{СТ}} + d \sin \alpha.$$

Второй шаг программы: вычисление величин редуционных перемещений светоотражателя из предварительной точки I' в проектную точку I

$$\Delta x_R = x_{\text{пр}} - x'; \quad \Delta y_R = y_{\text{пр}} - y'; \quad \arctg \alpha_R = \Delta y_R / \Delta x_R;$$

$$R = \sqrt{(\Delta y_R)^2 + (\Delta x_R)^2}; \quad \gamma = \alpha_R - \alpha; \quad dT = R \sin \gamma; \quad dL = R \cos \gamma.$$

На дисплее индицируются величины dU и dL поперечного и продольного смещения отражателя в проектное положение. Отражатель соответственно перемещают и затем измерения повторяют. Если новые значения $dU \leq 3$ мм и $dL \leq 3$ мм, принимается решение о завершении выноса точки I .

Погрешность выноса точки полярным способом