Законы остаточных деформаций.

Инж.-мех. Г. В. Трапезников.

1. Сжатие.
(К тексту 4 стр. чертежей).

Производя работу с ударной пробой на сжатие, и обрабатывая результаты опытов, я, при выводе аналитической зависимости между отдельными элементами входящими в состав явления удара, был принужден остановиться на одной из const., появившейся в окончательной формуле связи. Самый характер этой постоянной указывал на то, что она является характеристикой металла. Это побудило меня произвести небольшую серию опытов на пластическое сжатие, тех же металлов, при статической нагрузке, дабы выяснить значение указанной постоянной. Результаты получились настолько удовлетворительные, что оказалось возможным найти не только значение этой const., но, кроме того, дать аналитическую связь между усилиями с одной стороны и деформациями, вызванными ими – с другой. Последнее вызвало необходимость расширения работы, чтобы на возможно большем числе отдельных металлов проверить полученные зависимости. Эта работа, произведенная мною в механической лаборатории Томского Технологического Института, летом 1922 г., и составляет предмет настоящей статьи, которая является только, весьма кратким, отчетом о работе.

Полученные результаты опытов на пластическое сжатие заставили меня обратиться к литературе по этому вопросу, в надежде получить подтверждения в опытах, которые могли быть произведены другими экспериментаторами. К сожалению, ни в отдельных трудах, ни в журнальной литературе не было найдено ничего, что бы могло осветить данный вопрос. В работах по сопротивлению материалов и в солидных курсах говорится, мимоходом, о зависимости между усилиями и деформациями, за пределом упругости. Большинство авторов говорят, что аналитическая зависимость при растяжении и сжатии, за пределом упругости, имеет, вероятно, очень сложный характер, но кривую пластических деформаций можно, довольно точно, выразить в виде:

$$\lambda = A + BP + CP^2 + DP^3 + \dots$$

где λ – абсолютная деформация, и P – усилие, ей соответствующее. Иначе говоря, многостепенной параболой, причем коэффициенты: A, B, C, D , etc, должны быть подобраны для каждого образца отдельно.

Некоторые авторы, для вычисления работы остаточных деформаций при растяжении какого-либо образца, предлагают замену кривой остаточных деформаций участком простой квадратичной параболы. Эта замена встречается у Tetmajer'a, Jonson'a, Morley'a, Madamet, Тимошенко и др.

Согласно чертежа 1, мы видим, что предполагается равновеликость площадей: диаграммы полученной на испытательной машине, с одной стороны и, с другой: суммы площадей – параболического сегмента, с высотой $CH - NH'$ и основанием – $AN' = ON +$ прямоугольника $OAN'H$. Таким образом, работа затрачиваемая на остаточную деформацию образца, при пренебрежении работой упругой деформации, будет пропорциональна площади:

$$S = ON \cdot OA + \frac{2}{3} ON (CH - NH').$$

Называя усилие при пределе упругости – P_0 , усилие разрывающее образец – P_1 , наибольшее абсолютное удлинение λ_1 будем иметь выражение для работы остаточных деформаций:

$$E = P_0 \lambda_1 + \frac{2}{3} \lambda_0 (P_1 - P_0) = \frac{\lambda_1}{3} (2P_1 - P_0)$$

Что же касается работы остаточных деформаций при сжатии, то, даже подобной замены, я нигде не встретил. Правда у Unwin'a и Morley'я (Strength of Materials) имеется диаграмма пластического сжатия для некоторых металлов. Последняя приведена на чертеже 2 и представляет из себя точную выкопировку из труда Unwin'a. Здесь имеется указание на тенденцию кривых пластического сжатия приблизиться к некоторым гиперболам. Но как видно из довольно точной копии такой диаграммы эта тенденция весьма и весьма проблематична. В указанном труде не дается никаких сведений или намеков на константы таких гипербол.

При изучении остаточных деформаций сжатия экспериментатор должен обратить свое внимание на три основных вопроса:

- 1) влияние изменения температуры;
 - 2) влияние трения на торцевых плоскостях образцов;
 - 3) влияние времени опыта (промежутка).
1. Влияние изменения температуры, при тех. малых колебаниях ее, которые имели место в летние месяцы в механической лаборатории ($14^{\circ} - 16^{\circ}$), непосредственно не освещаемой солнцем в полуденное время, конечно ничтожно. Известно, что для всех, химически чистых металлов, Модуль Юнга, предел упругости и временное сопротивление падают с повышением температуры и растут с понижением ее. (Meuser. Phil. Mag. 1896. v. 41, v. 32 и Dewar. Proc. of the R. J. of. 9.13 v 14). Но эти изменения, при указанных пределах колебания температуры во время опытов, конечно, лежат внутри пределов ошибок наблюдений. Что же касается нагревания образца от всестороннего сжатия, которое имеет место при долеом сжатии и от трения отдельных частиц металла друг о друга при расплющивании образца, то нужно заметить, что хотя здесь изменение температуры самого образца и будет заметным, но принимать его в расчет так же нельзя; небольшие сравнительно образцы, которые берутся для опытов на пластическое сжатие весьма быстро, почти мгновенно, выравнивают свою температуру, с одной стороны – ввиду большого отношения поверхности к объему, а с другой – ввиду чрезвычайно тесному соприкосновению с опорными, очень массивными, плитками и солидным столом испытательной машины.
 2. Влияние опорных, поверхностей является самым значительным из указанных выше факторов, влияющих на ход пластических деформаций. Силы трения, возникающие на торцах образца, прижимающихся к стальным, хотя и весьма тщательно шлифованным плиткам, в значительной мере искажают ход пластических деформаций сжатия. При наличии поверхностных сил трения на торцах, деформация сжатия уменьшается тем более, чем менее будет отношение высоты образца к его диаметру. Для учета этого обстоятельства необходимо было поставить опыты с образцами, имевшими различные отношения высот к диаметрам. Таким образом, если сила трения и не может быть определена, то возможно найти то отношение, высоты образца к диаметру: при котором этой силой возможно пренебречь или выявить, путем экстраполяции, ход деформации в его идеальном случае, т. е. при отсутствии сил трения на торцах образца.
 3. Влияние времени на возрастание остаточных деформаций, является весьма серьезным вопросом, который нельзя обойти без рассмотрения при экспериментировании за пределом упругости. Функциональный состав зависимости роста остаточных деформаций от времени чрезвычайно сложен и, кроме того, нельзя сказать, что здесь установлена надежная аналитическая связь. Профессор Н. Bouasse, много лет поработавший над изучением пластических деформаций и желавший связать, в общей функции от времени, напряжение и деформацию, пришел к неутешительным результатам. Он говорит: "Когда начинают изучать некоторую группу явлений, велик соблазн найти общую теорию, общее объяснение. Лишь мало помалу заметаешь тщетность таких усилий и решаешься, на более или менее долгое время, разбить явление на подгруппы и давать им частичное объяснение". Поэтому он делит все металлы на две категории, которые, однако, являются лишь типами, допускающими промежуточных представителей, а именно: металлы с твердым трением (*métaux à frottement solide*) и металлы вязкие (*métaux visqueux*). Безднадежность, которая звучит в словах Буасса, понятна: явление остаточной деформации слишком сложно для изучения во всей полноте одновременно. Необходимо поставить сначала опыты таким образом, чтобы влияние времени, в смысле сравнения остаточных деформаций для различных металлов, было, по возможности, ничтожно. Как известно, деформация отстает во времени от усилия, которое ее вызывает и закон такого отставания или запаздывания чрезвычайно трудно проследить, так как это запаздывание, равно как и сама деформация – функции скорости нарастания усилия во времени. Некоторой аналогией изменения во времени остаточной деформации и ее, так сказать, "сдвига" во времени по отношению к силе, может служить кривая возрастания и падения силы тока в зависимости от возрастания и падения потенциала. Указанная аналогия взята, равно как и кривая, из статьи профессора Б. П. Вейнберга: "Успехи физики твердого тела". На чертеже 3 кривая "v" изображает изменение потенциала во времени кривая "i" – изменение силы тока.