

УДК 621.992.7

Определения динамического предела текучести

Студенты гр. 104424 Янкович А.Г., Ольшевский С.А., Дмитриев М.В.
Научный руководитель – Шарий В.Н.
Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Целью настоящей работы является исследование и изучение динамических показателей прочности при одноосном растяжении металлов инерционной нагрузкой.

Современное развитие промышленного производства требует применения высокопроизводительных, энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих получение изделий с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. В этой связи большими потенциальными возможностями обладают технологические процессы, основанные на использовании высоких скоростей деформирования. К их числу относятся скоростное горячее выдавливание (СГВ), магнито-импульсная штамповка, высокоскоростная ковка на молотах, штамповка взрывом и др., позволяющие за один удар получать высокоточные, не требующие дальнейшей механической обработки стержневые изделия широкого промышленного назначения (пуансоны, выталкиватели, прошивники, фрезы, электроды-инструменты и т.д.), отвечающие требованиям эксплуатации в экстремальных условиях.

Использование материалов в условиях ударных нагрузок, а также разработка новых технологических процессов, основанных на применении импульсного нагружения, требуют знания динамических характеристик материала. Использование предела текучести, полученного при статических испытаниях ($\sigma_{ст.}$) приводит к существенным ошибкам в расчетах, так как в ряде случаев динамический предел текучести ($\sigma_{т.д.}$) в 2-3 раза превышает статический. К тому же, известно, что предел текучести не может быть использован в расчетах как некоторая константа, так как его значение зависит от скорости нагружения. Для целого ряда материалов величина $\sigma_{т.д.}$ вообще не определена, что весьма осложняет расчеты технологических процессов.

Полученные ранее другими исследователями теоретические и экспериментальные данные носят противоречивый характер. Известные методики дают некорректные результаты на поставленные вопросы. Предлагаемые способы осуществляются на дорогом, громоздком оборудовании, требующем квалифицированного персонала. Как правило, эти способы носят эмпирический характер, что применимо лишь при конкретных условиях, в которых проводился эксперимент. Поэтому перед нами стоит задача определения динамического предела текучести простым универсальным способом, приближенным к условиям реализации процесса.

В связи с этим на кафедре ОМД был разработан новый способ испытаний материалов, связанный с определением $\sigma_{т.д.}$ под действием инерционных нагрузок и предложено теоретическое обоснование способа по методу верхней оценки путем решения задачи динамического растяжения под действием сил инерционных нагрузок.

Реализуется такой способ по схеме прямого истечения материала в очко матрицы. Характер действия сил – экспоненциальный (с затуханием). Вследствие убывания энергии стержневая часть оказывается под действием сил инерции.

Анализ полученной картины испытаний материалов позволил разработать способ динамических испытаний. Таким образом, была предложена методика расчета напряжений под действием инерционных нагрузок. Для проведения расчета используем кинематически возможное разрывное поле скоростей (рис. 1а), состоящее из жестких однородных блоков 0,1,2,3. Вид разрушения при динамических испытаниях крупных образцов на разрыв при выдавливании их через очко матрицы, как показали наши исследования, с высокой степенью точности характеризует принятое для расчетов разрывное поле скоростей. Разрушение происходило с образованием характерного конуса, отвечающего тому, который образован линиями (рис. 1а).

Процесс растяжения можно представить как мгновенную задержку верхней части профиля силами сопротивления деформации, возникающими при выдавливании заготовки через очко матрицы. Тогда зона «1» после отрыва продолжает движение со скоростью v_{01} .

Поле скоростей и его годограф (рис.1а,б) позволяют с помощью варьируемого параметра φ однозначно установить связь между кинематическими параметрами блоков пластической области зоны «1». Для этого определена мощность внутренних сил при растяжении образца. Она равна мощности, затраченной на осуществление сдвига на поверхностях разрыва, и мощности динамических воздействий на этих же поверхностях. Мощность внешних сил определяется как произведение усилия растяжения на скорость отрывающейся части образца.

Мощность внешних активных сил (силы инерции)

$$W_a = q_{дин} \cdot 2ab \cdot v_{04} \quad (1)$$

расходуется на преодоление внутренних реактивных сил, создающих сопротивление пластической деформации при динамическом растяжении. Здесь $q_{дин}$ - динамическое удельное усилие растяжения.

Уравнение мощности внутренних реактивных сил имеет вид:

$$W'_{внт.р.} = W'_{разр.} + W'_{дин.р.}, \quad (2)$$

где $W'_{разр.}$ – мощность сил собственного сопротивления скольжения на поверхностях разрыва;

$W'_{дин.р.}$ – мощность динамического воздействия на поверхность разрыва.

Величина удельных усилий, затраченных на динамическое растяжение образца, находится из равенства мощностей внешних и внутренних сил при учете, что v_{01} – скорость движения блока 1.

$$q_{дин} = \frac{k}{\sin \varphi \cos \varphi} + \frac{\rho v_{04}^2}{4 \sin^2 \varphi} \quad q_{стат.} + q_{кин.} \quad (3)$$

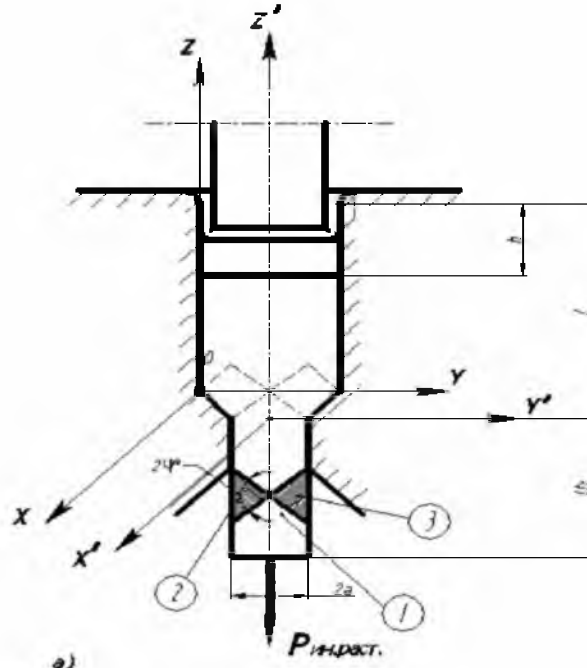
Уравнение (3) содержит статическую определяемую постоянной пластичности k и динамическую или кинематическую составляющую удельного усилия растяжения.

Оптимальное значение параметра, приводящее к минимуму динамическое удельное усилие растяжения, полагает течение псевдостационарным, полученным из условия:

$$\frac{dq_{\text{дин.}}}{d\varphi} = 0 \quad (4)$$

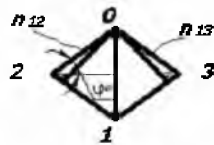
$$\frac{dq_{\text{ст.}}}{d\varphi} = 0 \quad (5)$$

Кинематически возможное поле линий скольжения



а)

Годограф скоростей



б)

Рисунок 1 - Поле линий скольжения (а) и годограф скоростей (б) для скоростного выдавливания осесимметричных изделий

Находим оптимальное значение угла φ , обеспечивающее минимальное значение динамическому удельному усилию растяжения $q_{\text{дин.}}$.

$$\sigma_{\text{дин.}} = \frac{4}{3} \sqrt{3} \cdot K + \frac{1}{3} \rho \cdot V^2, \quad (6)$$

Здесь $q_{\text{дин.}}$ - удельное усилие растяжения при динамическом нестационарном течении.

Если учесть, что динамическое удельное усилие $q_{\text{дин.}}$ представляет собой динамическое напряжение $\sigma_{\text{дин.}}$ при скоростном растяжении, это уравнение (6) запишется

$$q_{\text{дин.}} = \sigma_{\text{дин.}} = \frac{4}{3} \sqrt{3} k + \frac{1}{3} \rho v^2 = \frac{4}{3} \sigma_{\text{ст.}} + \frac{1}{3} \rho v^2, \quad (7)$$

где $\sigma_{\text{ст.}} = \sqrt{3} k$ - статический предел текучести, определяемый по критериальной зависимости Губера – Мизеса.

Выводы

1. Получено уравнение для аналитического определения динамических напряжений при растяжении выдавливаемого стержня силами инерции, установлен теоретический угол скольжения при нестационарном растяжении стержня.

2. Установлено удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных данных при оценке поля линий скольжения, принятого для решения задачи.