

## Раздел 1. «Металлургия»

УДК 620.17  
МРНТИ 55.09.81

А.Е. Ибраева, Н.Ю. Кузьминова

*Карагандинский индустриальный университет, г.Темиртау, Казахстан  
(E-mail.ru: [a.ibrayeva@tttu.edu.kz](mailto:a.ibrayeva@tttu.edu.kz))*

### Моделирование испытания на кручение

В данной статье рассмотрен способ моделирования испытания металлов на кручение с применением компьютерных технологий. Использование цилиндрического образца в соответствии с ГОСТом, имеет увеличенные сечения определенной формы, которая соответствует форме захватов используемого испытательного оборудования. Качество результатов математического моделирования процессов обработки металлов давлением (ОМД) существенно зависит от точности исходных данных, к числу которых относятся пластические свойства материала заготовки. Система построит график изменения момента кручения от времени. Использование современных методов экспериментальной техники позволило измерить деформацию образца в месте контакта с нагружающими инструментами испытательной машины и использовать формулы для учета сдвига при кручении. Результаты механических испытаний с применением моделирования показали, что погрешность расчета и моделирования, не превышает допустимого.

*Ключевые слова:* испытание кручением, пластические свойства, математическое моделирование, напряжение, стандартные образцы, DEFORM, сдвиг, модель.

#### *Введение*

Кручение является одним из основных видов механических испытаний материалов для определения их прочностных и пластических свойств. Кручением называют деформацию, возникающую при действии на стержень пары сил, расположенной в плоскости, перпендикулярной к его оси. При этом в поперечных сечениях тела возникает только один внутренний силовой фактор – крутящий момент [1].

В инженерной практике на кручение работают валы машин, витые пружины и др. Вращающийся стержень, работающий на кручение, называют валом. Стержень, используемый как упругий элемент, который работает на скручивание, называется торсионом [2].

Действие крутящего момента вызывает в поперечном сечении образца касательные напряжения  $\tau$ . В силу закона парности касательных напряжений в продольных сечениях, проходящих через ось вала, возникают такие же по величине касательные напряжения.

#### *Основная часть*

В элементе материала, мысленно выделенном из наружных слоев бруса сечениями, параллельными и перпендикулярными к образующим, по граням будут действовать только касательные напряжения, т.е. элемент будет находиться в условиях деформации чистого сдвига. В любом наклонном сечении выделенного элемента будут действовать нормальные касательные напряжения. Наибольшие нормальные напряжения действуют на главных площадках, которые, как известно, наклонены под углом  $45^\circ$  к образующей. Из теории чистого сдвига известно, что главные напряжения по абсолютной величине равны между собой и равны касательным напряжениям, т.е. элемент будет находиться в условиях деформации чистого сдвига [3].

Для испытания используются стандартные образцы определенной формы и размеров, регламентированные различными ГОСТами. Обычно в рамках учебного курса применяются

## Раздел 1. «Металлургия»

цилиндрические образцы. В данной работе будет использоваться цилиндрический образец с диаметром рабочей части 10 мм и длиной 120 мм в соответствии с ГОСТ 3565-80 (рисунок 1) [4].



Рисунок 1. Стандартный образец для испытания на кручение

С обеих сторон рабочей части образец имеет увеличенные сечения определенной формы, которая соответствует форме захватов используемого испытательного оборудования.

Работа производится в проекционном модуле вьювер (DEFORM Viewer v13.0) (рисунок 2).

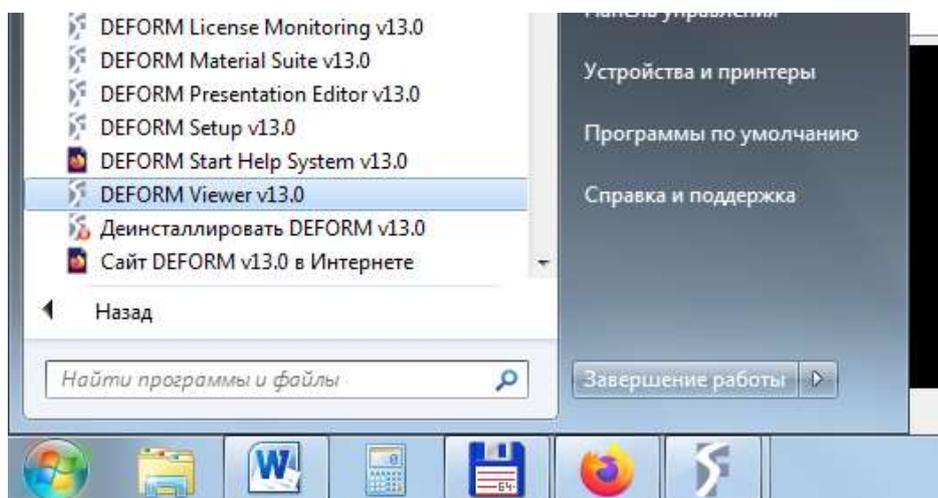


Рисунок 2. Запуск вьювера из меню Пуск

В главном окне при желании можно изменить язык отображения (по умолчанию установлен английский язык). Для этого нужно зайти в Настройки – Конфигурация (рисунок 3). Обязательно убедиться, что в этом окне в графе Единицы установлен параметр «Международные СИ». После изменений программу необходимо перезапустить для активации изменений.

Распаковать скачанный архив и выбрать файл Deform\_2plastic.db (рисунок 3). Дважды щелкнув по нему, произойдет загрузка работы.

## Раздел 1. «Металлургия»

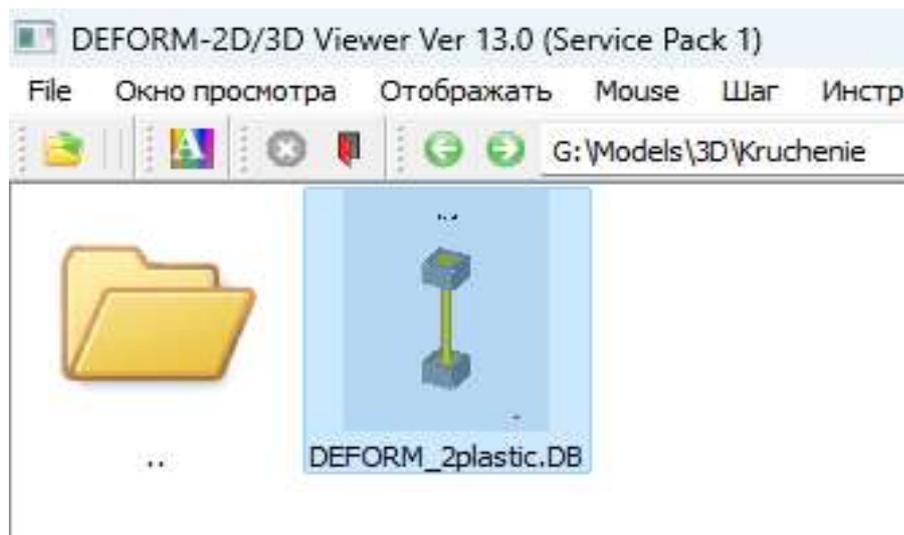


Рисунок 3. Загрузка работы

В открывшемся окне сначала необходимо включить отображение всех шагов модели. Для этого в нижней части экрана (Рисунок 4) вместо команды «Автоматически» нужно выбрать «Все».

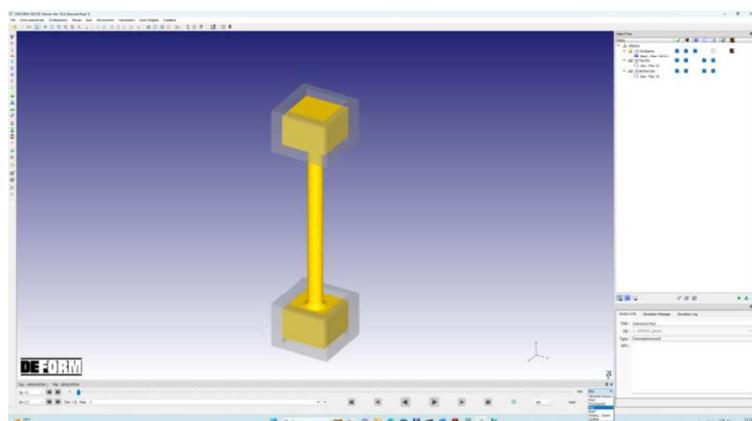


Рисунок 4. Настройка отображения шагов модели

С помощью функциональных кнопок просмотреть процесс испытания на кручение. Внимательно рассмотреть заготовку на последнем шаге после разрушения, шаг 661 (Рисунок 5).

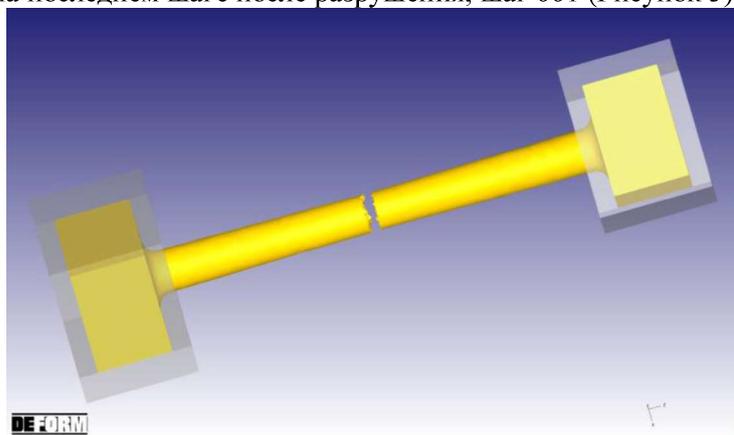


Рисунок 5 – Заготовка после разрушения (661 шаг)

## Раздел 1. «Металлургия»

Запустить инструмент создания графиков (иконка с тремя цветными диаграммами). В окошке справа выделить один из бойков (Top Die, Bottom Die), чтобы он был выделен синим цветом. В настройках оси Y выбрать Момент, для оси X – время, единицу измерения – Н\*мм и нажать кнопку PLOT. Система построит график изменения момента кручения от времени (Рисунок 6).

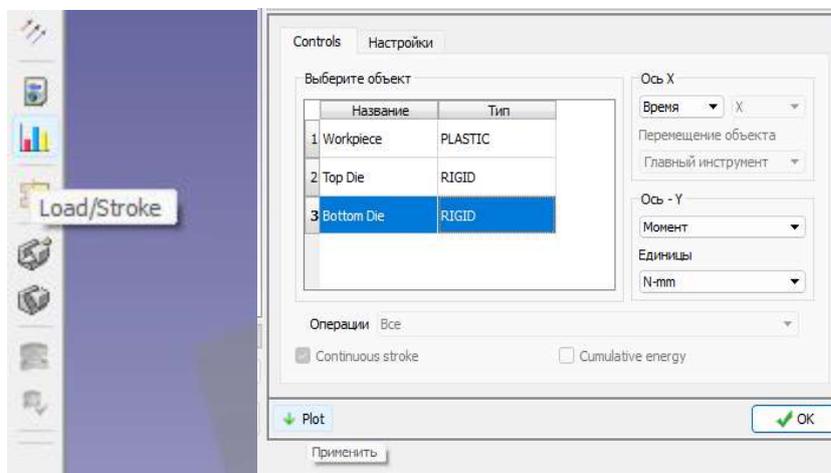


Рисунок 6. Построение для графика изменения момента кручения от времени

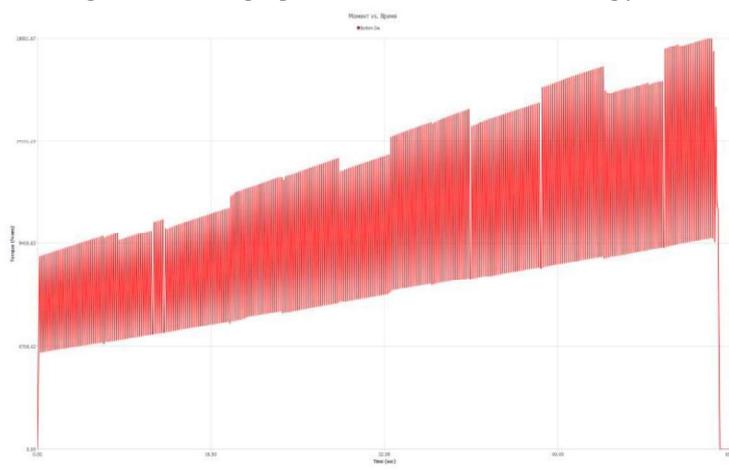


Рисунок 6. Построенный график изменения момента кручения от времени

### Результаты и обсуждение

Определяем по графику максимальную величину момента кручения. После чего находим величину условного предела прочности при кручении:

$$\tau = \frac{T}{W}, \quad (1)$$

где T – момент кручения, Н\*мм;

$$W = \frac{\pi d^3}{16} - \text{полярный момент сопротивления образца круглого сечения, мм}^3.$$

Сравнить полученное значение со стандартным значением (Рисунок 7) и определить величину погрешности: Погрешность = (расчетное значение\*100/справочное значение).

## Раздел 1. «Металлургия»

Механические свойства и доступные размеры алюминиевого сплава					
Сплав	Степень твердости	Толщина (мм)	Прочность на растяжение (МПа)		Деформация (%)
			Китайский стандарт	Значение	
1100	O	> 0.2-0.5	75-105	75-110	≥20
		> 0.5-1.0			≥25
		> 1.0-4.5			≥30
	H22	> 0.2-0.5	95-130	100-125	≥10
		> 0.5-1.0			≥12
		> 1.0-4.5			≥15
	H24	> 0.2-0.5	110-145	120-150	≥6
		> 0.5-1.0			≥8
		> 1.0-4.5			≥10
H26	> 0.2-0.5			≥2	
	> 0.5-1.0			≥3	
	> 1.0-4.5			≥4	
H18	> 0.2-0.5	≥150	≥170	≥1	
	> 0.5-1.0			≥2	
	> 1.0-4.5			≥3	
H112	> 4.5-6.5	≥95	≥95	≥9	
	> 6.5-12.5	≥90	≥90	≥8	
	> 12.5-50	≥85	≥85	≥14	
	> 50-80	≥80	≥80	≥20	

Рисунок 7. Стандартные значения предела прочности

Модуль сдвига определяется по формуле:

$$G = \frac{\Delta T \cdot L}{\Delta \varphi \cdot I}, \quad (2)$$

где  $\Delta T$  – приращение момента кручения, Н·мм;

$\Delta \varphi$  – приращение угла закручивания, рад;

$L=120$  мм – рабочая длина образца;

$I = \frac{\pi d^4}{32}$  – полярный момент инерции образца круглого сечения, мм<sup>4</sup>

Для определения величин приращений момента и угла закручивания необходимо рассмотреть начальный участок графика, где имеется зона пропорциональности. Для этого щелкаем правой кнопкой по графику и выбираем команду Edit Chart Properties. В открывшемся окне переходим во вкладку Диапазон и для оси X выбираем условие Определенный пользователем, установив лимиты Мин – 0, Max – 0,3. В результате на графике будет отображена зона графика для первых 0,3 секунд (Рисунок 8). Наведя курсор на точку излома графика, находим значения приращения момента и соответствующего времени. Умножив величину времени на угловую скорость вращения захватов (0,2 рад/сек), находим величину приращения угла закручивания.

## Раздел 1. «Металлургия»

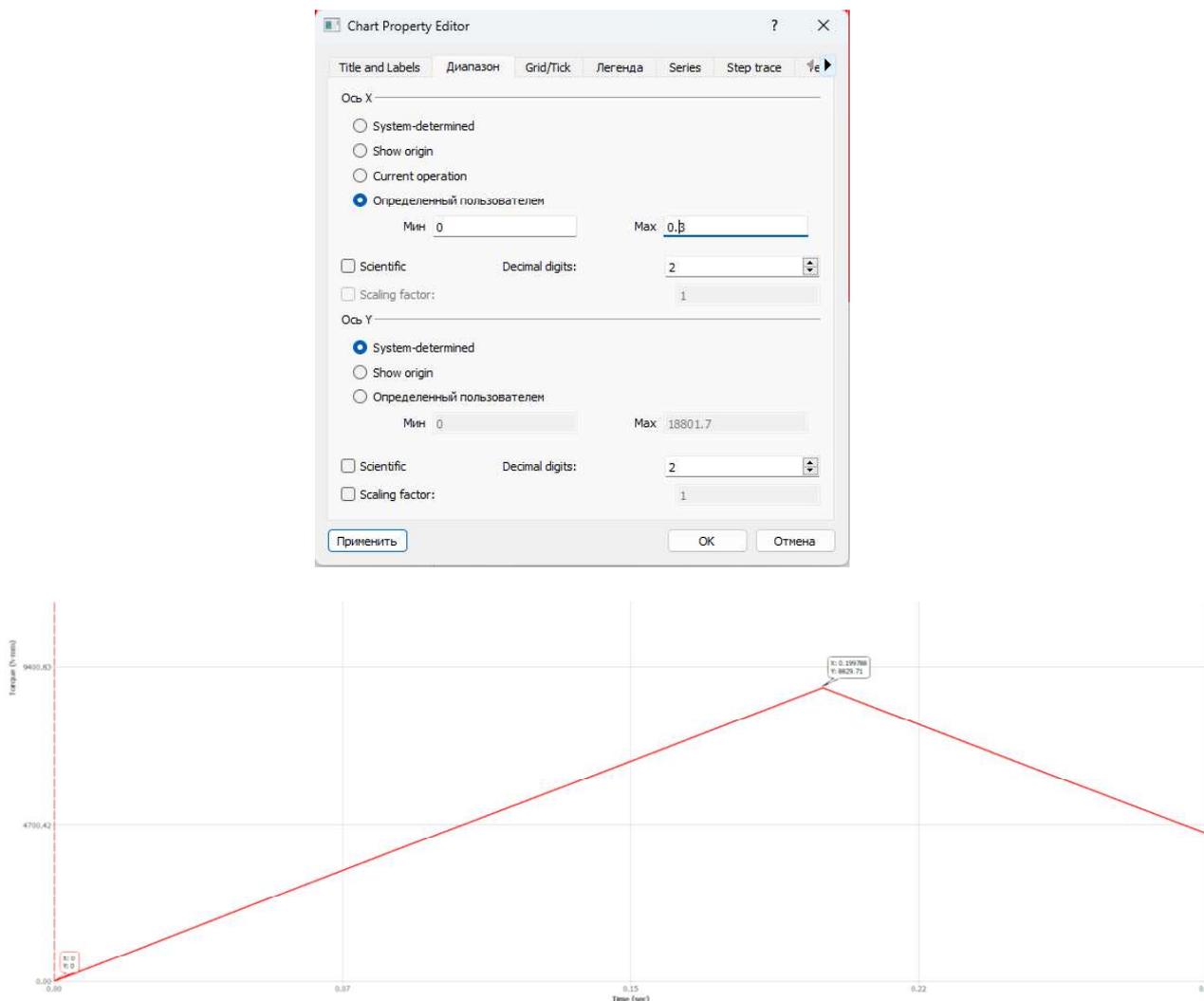


Рисунок 8. Определение предела пропорциональности

Рассчитав значение модуля сдвига по формуле 2, находим теоретическое значение модуля сдвига по формуле:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}, \quad (3)$$

где  $E = 0.689 \times 10^5$  МПа – модуль Юнга для используемого в работе сплава 1100;  
 $\nu = 0.33$  – коэффициент Пуассона для используемого в работе сплава 1100.

Таким образом результаты моделирования показывают, что погрешность расчета и моделирования, не превышает 3%.

## Литература

- 1 Вереина Л.И. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред, проф. образования / Л.И.Вереина. — 10-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2015. — 224 с.
- 2 Кукса, Л.В. Сопротивление материалов (Техническая механика): учебно-практическое пособие : в 2 ч. Ч. 1. — Волгоград : ВолГАСУ, 2014. — 74с
- 3 Щербо, А.Г. Сопротивление материалов : учеб.-метод. комплекс: в 2 ч. / А.Г. Щербо, В.К. Родионов. — Новополюк : ПГУ, 2016. — Ч. 1.— 272 с.

**Раздел 1. «Металлургия»**

4 ГОСТ 3565-80 - Металлы. Метод испытания на кручение. Государственный комитет СССР по стандартам.- Москва, 1980. – 17 с.

А.Е. Ибраева, Н.Ю. Кузьмина

**Бұралу сынағын модельдеу**

Бұл мақалада компьютерлік технологияларды қолдана отырып, бұралу үшін металдарды сынауды модельдеу әдісі қарастырылған. МЕМСТ-қа сәйкес цилиндрлік үлгіні пайдалану, қолданылатын сынақ жабдықтарын ұстау формасына сәйкес келетін белгілі бір пішіннің ұлғайтылған қималары бар. Металдарды қысыммен өңдеу (МҚӨ) процестерін математикалық модельдеу нәтижелерінің сапасы дайындама материалының пластикалық қасиеттерін қамтитын бастапқы деректердің дәлдігіне айтарлықтай байланысты. Жүйе бұралу моментінің уақыт бойынша өзгеру графигін жасайды. Эксперименттік техниканың заманауи әдістерін қолдану сынақ машинасының жүктеме құралдарымен жанасу орнында үлгінің деформациясын өлшеуге және бұралу кезінде ығысуды есепке алу үшін формулаларды қолдануға мүмкіндік берді. Модельдеуді қолдана отырып, механикалық сынақтардың нәтижелері есептеу мен модельдеудің қателігі рұқсат етілгеннен аспайтынын көрсетті.

*Түйін сөздер:* бұралу сынағы, пластикалық қасиеттер, математикалық модельдеу, кернеу, стандартты үлгілер, деформация, сдысу, модель.

A.E. Ibraeva, N.Yu. Kuzminova

**Simulation of the torsion test**

This article describes a method for modeling the torsion testing of metals using computer technology. The use of a cylindrical sample in accordance with GOST, has enlarged sections of a certain shape, which corresponds to the shape of the grips of the test equipment used. The quality of the results of mathematical modeling of metalworking processes by pressure (OMD) significantly depends on the accuracy of the initial data, which include the plastic properties of the workpiece material. The system will plot the torsion moment change from time to time. The use of modern experimental techniques made it possible to measure the deformation of the sample at the point of contact with the loading tools of the test machine and use formulas to account for the torsion shear. The results of mechanical tests using simulation showed that the error of calculation and modeling does not exceed the permissible.

*Keywords:* torsion test, plastic properties, mathematical modeling, stress, reference samples, DEFORM, shear, model.

**References**

- 1 Vereina L.I. Tekhnicheskaya mekhanika: uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred, prof. obrazovaniya / L.I.Vereina. — 10-e izd., ster. — M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2015. — 224 s.
- 2 Kuksa, L.V. Soprotivlenie materialov (Tekhnicheskaya mekhanika): uchebno-prakticheskoe posobie : v 2 ch. CH. 1. — Volgograd : VolGGASU, 2014. — 74s
- 3 SHCHerbo, A.G. Soprotivlenie materialov : ucheb.-metod. kompleks: v 2 ch. / A.G. SHCHerbo, V.K. Rodionov. — Novopolock : PGU, 2016. — CH. 1.— 272 s.
- 4 GOST 3565-80 - Metally. Metod ispytaniya na kruchenie. Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam.- Moskva, 1980. — 17 s.