

Цель работы. Используя уравнения и формулы теории, показать объективную связь между физическими структурно-энергетическими параметрами и обычными механическими свойствами прочности и деформационными характеристиками материала при одноосном растяжении. Применяя физические уравнения, параметры материала γ_0, U_0 , теоретически оценить стандартные механические параметры прочности σ_B, σ_{02} , остаточные пластические деформации ε_r , время до хрупкого разрушения стали, моделируя условия одноосного растяжения по стандарту ISO 6892-84.

Энергия активации разрушения U_0 и структурный параметр γ материала представляют объективные физические характеристики обратимых и необратимых микроскопических структурно-энергетических процессов, происходящих в деформированном твердом теле. Они отображают физические статистические свойства флуктуаций разрушающих элементарное равновесное состояние корпускулярно-волнового движения микроскопической энергии взаимодействия структурных единиц (атомов и др.) прочного твердого тела. В частности, параметр γ представляет количественную физическую меру поврежденности материала. Используя функцию структурного параметра $\gamma(t)$, где t время процесса, зависимости физической теории, можно определить величину относительных необратимых деформаций и ряд других важных объективных физико-механических параметров деформированного твердого тела (ДТТ). Физические параметры и зависимости открывают возможности новыми методами, построенными на общих физических принципах, решать различные задачи прочности, долговечности, усталости, кинетики и механики разрушения материала конструкции, в условиях переменных напряжений и температуры [2,3,4,5].

Располагая начальными физическими параметрами материала γ_0, U_0 , температурой тела T , назначая реологическую функцию нагрузки в истинных напряжениях $S(t)$, методами физической структурно-энергетической теории прочности можно определить действующие значения пластических деформаций, степень поврежденности и др. привычные или дополнительные важные физические параметры процесса деформирования и разрушения материала. Для случая одноосного растяжения, применяя теоретический анализ силовой и деформационной реологических диаграмм, можно определить предел пропорциональности σ_{02} (пластические деформации $\varepsilon_r = 0.02\%$), предел прочности σ_B , время до разрушения t_* , остаточные деформации ε_{r*} , скорость пластических деформаций и др. физико-механические характеристики этого процесса. Рассмотрим возможности данного подхода на простом примере механики ДТТ. Выполним виртуальный эксперимент по одноосному растяжению материала до его разрушения, используем для этого аналитическую модель силовой **реологической** диаграммы - функции истинных напряжений растяжения от времени $S(t)$. Для этого используем начальную скорость относительных деформаций исследуемого материала $\dot{\varepsilon}$, по методике испытаний ГОСТ 1497-84 (ISO6892-84) [6]. Физическая теория позволяет приближенно построить такую диаграмму $S(t)$ аналитически, рассматривая физическую модель «образец материала - испытательная машина» как систему с заданными начальными физическими параметрами материала и силовыми граничными условиями и т.п. Мы рассмотрим физические принципы метода в первом приближении, используем аналитическое построение упрощенной реологической модели диаграммы $S(t)$ стандартных испытаний на растяжение. Он раскрывает основу физического подхода, на примере стандартных испытаний растяжением. Используя

заданную произвольную силовую функцию переменных напряжений $S(t)$ (разный синусоидальный цикл), позволяет выполнить по разработанной методике и программе ПК, приближенные расчеты предела выносливости стали, показать характер влияния на него параметров нагрузки, частота, амплитуда, температура и др. [7].

Начальные значения физических параметров γ_o, U_o стали Н1 (тип обозначен условно) были получены методом обработки экспериментальной реологической диаграммы растяжения с малой скоростью деформаций [1]. Для теоретической оценки стандартных механических параметров прочности этой стали, построим реологическую диаграмму $S(t)$ истинных напряжений при растяжении образца по требованию стандарта. Рассмотрим физический метод перехода от обычной диаграммы $\sigma(\epsilon)$ к модели реологической диаграмме испытаний материала $S(t)$. Для этого обоснуем метод виртуального процесса компьютерного моделирования стандартных испытаний на растяжение. В основу метода положено физическое условие моделирования средней скорости изменения относительных деформаций $\dot{\epsilon}, s^{-1}$, по стандарту ISO6892-84 испытаний на разрушение растяжением.

Модель реологической диаграммы растяжения стали.

Рассмотрим в общем виде обычную диаграмму растяжения до разрушения материала при определении его предела прочности, текучести (пропорциональности), в осях напряжения-деформации $\sigma(\epsilon)$, Рис. 1а. [1]. В требованиях ГОСТ 1497-84 (ISO6892-84) [6] обобщен опыт практических и теоретических исследований механических свойств многих материалов. Стандарт, при выполнении его условий, позволяет обеспечить точность, подобие, стабильность и др. по результатам испытаний механических свойств на стандартных образцах материала.

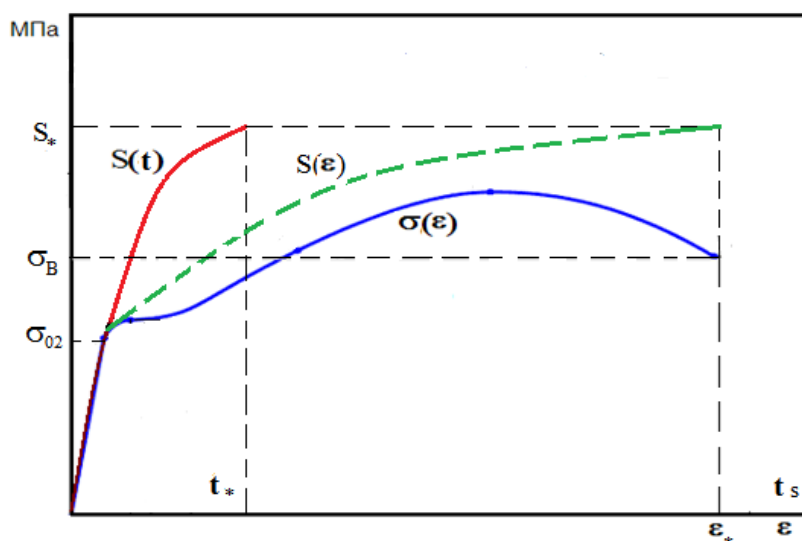


Рис. 1. Диаграммы растяжения образца углеродистой стали [10, 11 Пис Пол].

$\sigma(\epsilon)$ - обычная диаграмма, $S(\epsilon)$ - диаграмма истинных напряжений, $\epsilon = \epsilon_r + \epsilon_e$, ϵ_e - упругие деформации, $S(t)$ - реологическая диаграмма истинных напряжений.

Для этого, в частности, стандарт устанавливает пределы начальной скорости относительных условных упругих деформаций материала при одноосном растяжении образца материала: $0,25 \cdot 10^{-3} \leq \dot{\epsilon} \leq 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/s}$. Отсюда легко определим значение средней рекомендуемой стандартом скорости деформирования: $\dot{\epsilon} = 1,375 \cdot 10^{-3} \text{ 1/s}$

В диапазоне указанных скоростей отклонение параметров прочности считается допустимым, влиянием этих отклонений на значение предела текучести, пропорциональности, прочности пренебрегается. В то же время, такие относительно небольшие отклонения носят объективный устойчивый характер, они однозначно связаны как с величиной скорости деформирования, так и модулем упругости материала и др. физико-механическими параметрами. Воспользуемся некоторыми характерными физическими свойствами испытаний, рассматривая их реологические – временные качества. Проанализируем требования стандарта к скорости относительных деформаций формоизменения, физические молярные структурно-энергетические параметры материала, на примере полученной экспериментальной диаграммы $\sigma(\varepsilon)$, для стали Н1. Наша цель, построение реологической модели силовой диаграммы $S(t)$, которую затем используем при решении уравнения состояния ДТТ, полученного в [5,8].

Систематические исследования влияния скорости относительных деформаций и переход к диаграмме в истинных напряжениях при растяжении, например данные [3,9], позволяют видеть характер и некоторые особенности поведения диаграммы. На Рис.2а,б в осях напряжения деформации показаны характерные диаграммы сталей $\sigma(\varepsilon)$ -1 и специальные диаграммы для истинных напряжений $S(\varepsilon)$ -2. Рассмотрены два разных типа сталей, с площадкой текучести (углеродистые) и без нее (конструкционные и др.). Хорошо видно, диаграмма 2, имеет вид параболы. Для пластичных материалов Рис.2в. площадка текучести несущественна. На Рис.2с [3], показан характер сглаживания формы, рост угла наклона α линейной части диаграммы $\sigma(\varepsilon)$, с увеличением скорости $\dot{\varepsilon}_i$ деформирования. Показано влияние увеличения скорости, на 1-2 порядка, относительно стандартного процесса $\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_1$,

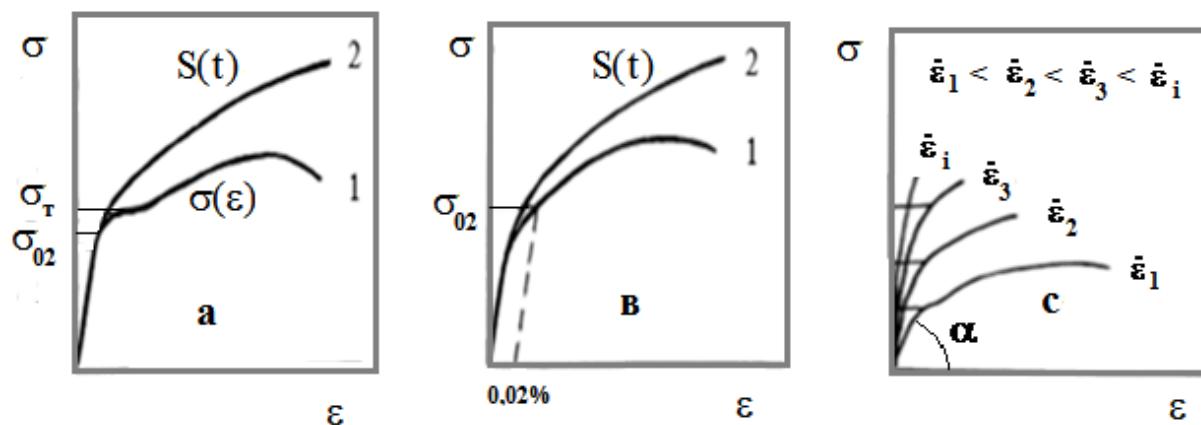


Рис.2. Характер изменения формы диаграммы растяжения стали: а) $\sigma(\varepsilon)$ -1 условные напряжения; б) $S(\varepsilon)$ -2 истинные напряжения; в) влияние скорости $\dot{\varepsilon}$.

диаграмма становится еще более гладкой и крутой. Это влияние скорости деформаций на форму диаграммы усиливается, при переходе к реологической диаграмме в истинных напряжениях от времени $S(t)$. Экспериментально установлено, что многие металлы и некоторые типы стали не имеют площадки текучести, при растяжении [3.9].

Диаграмма истинных напряжений от деформаций $S(\varepsilon)$ и реологическая диаграмма $S(t)$, имеют характерный вид гладкой параболы Рис. 2,3 [10]. Для теоретического построения силовой реологической диаграммы истинных напряжений $\bar{S}(t)$, процесс испытаний по

стандарту ISO6892-84 покажем во времени. Для этого рассмотрим модель такой диаграммы растяжения, используя значение средней установленной стандартной скорости упругих относительных деформаций $\dot{\epsilon}$.

Анализ свойств диаграмм одноосного деформирования показал, что форма реологической силовой диаграммы стандартных испытаний конструкционных сталей может быть приближенно отображена аналитически универсальной функцией $\bar{S}(t)$. Рост истинных напряжений в упругой области связаны с модулем упругости E и скоростью относительных деформаций: $\bar{S}(t) = \dot{\epsilon} \cdot E \cdot t$, Pa. Используя среднюю скорость относительных деформаций $\dot{\epsilon}$ испытаний по стандарту ISO, получим обобщенную форму реологической функции истинных напряжений в сечении образца материала для упругой области.

$$\bar{S}(t) = \dot{\epsilon} \cdot E \cdot t = k_{\sigma} \cdot t, \text{ Pa}, \quad k_{\sigma} = \dot{\epsilon} \cdot E \text{ Pa/s}. \quad (1)$$

Где, $\bar{S}(t)$ - функция истинных напряжений при средней скорости по ISO, k_{σ} - скорость роста напряжений при стандартных испытаниях. Наклон силовой реологической диаграммы растяжения, при заданной средней стандартной скорости деформаций $\dot{\epsilon}$, большое влияние оказывает модуль упругости. На рис.3 показан характер роста скорости напряжений для разных значений модуля упругости стали и сплава Д16Т. Показан характер скорости роста напряжений $\dot{\sigma}$ для верхнего и нижнего значений скоростей деформации $\dot{\epsilon}$ при разном значении модуля E . На Рис.4. схематически показаны этапы построения уловной модельной диаграммы графика напряжений от времени для растяжения по ISO стали Н1. Угол наклона α зависит от параметра k_{σ} , значит от модуля упругости и скорости $\dot{\epsilon}$. Окончательно получили, теоретическую модель функции $\bar{S}(t)$ - истинных напряжений, для испытания растяжением

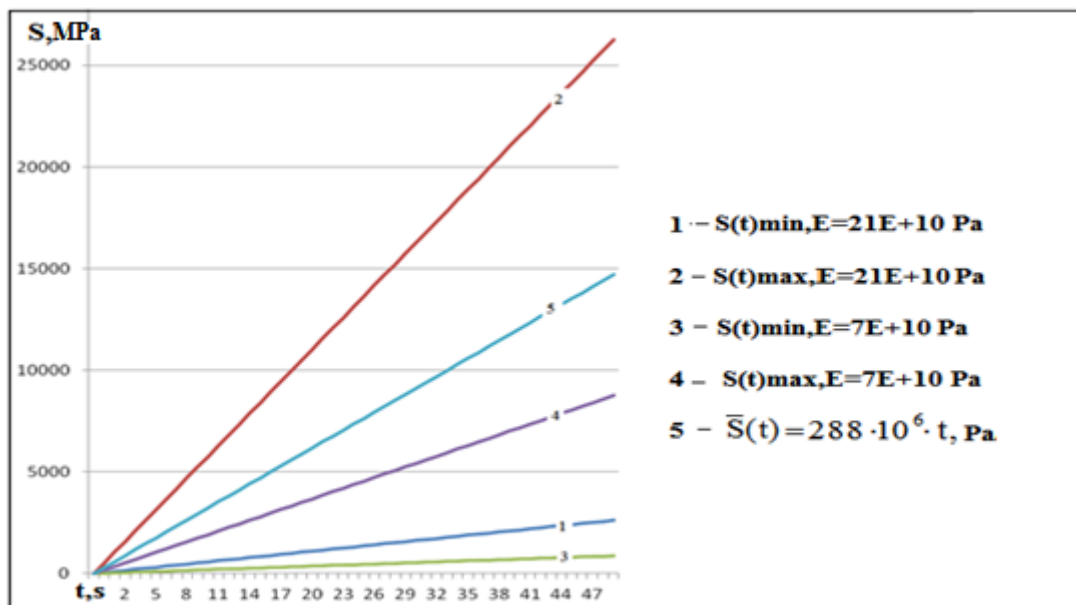


Рис. 3. Рост напряжений для минимальной, максимальной, средней скорости деформаций по ISO6892-84.

Ст45 $E = 21 \cdot 10^{10}$ Pa, сплав Д16Т $E = 7 \cdot 10^{10}$ Pa. $\bar{S}(t)$ - Ст45, для $\dot{\epsilon} = 1,375 \cdot 10^{-3} \text{ 1/s}$.

в условиях стандарта. С начало применим в расчетах модель диаграммы на линейном участке, затем обоснуем построение нелинейной части, до точки разрушения. Сопоставление опубликованных экспериментальных диаграмм растяжения в истинных напряжениях, для

чистых металлов [10] и результаты численных расчетов автора статьи, показали, что физический подход учитывает индивидуальные характеристики структурного состояния (отжиг, прокатка и т.п.) металла, через физико-механические параметры. Но полученные результаты пока имеют предварительный характер, нуждаются в дополнительных системных исследованиях.

На Рис.4 частично показана функция $SA(t)$ экспериментальных исследований растяжения с малой скоростью стали Н1, подробные данные в [1]. Поскольку материал не аттестовался перед испытаниями, для построения $\bar{S}(t)$ модельной реологической силовой диаграммы стали Н1, был принято справочное значение $E = 21 \cdot 10^{10}$ Па [11]. В результате получим искомую приближенную функцию напряжений для средней по ISO скорости деформаций $\dot{\epsilon}$:

$$\bar{S}(t) = 288 \cdot 10^6 \cdot t = \dot{S} \cdot t, \text{ Па} \quad (1a)$$

Скорость истинных упругих напряжений стали Н1 для испытаний по ISO:

$$\dot{S} = 288 \cdot 10^6 \text{ Па/с} \quad (1b)$$

Из анализа свойств экспериментальных диаграмм в истинных напряжениях S для разных материалов [3,9,11] следует, что обобщенная реологическая диаграмма $\bar{S}(t)$, хорошо моделируется гармоничной функцией. Она оптимально связывает экспериментальные точки предела пропорциональности и прочности на диаграмме, удобна для численных методов расчета параметров усталости при циклических нагрузках:

$$\bar{S}(t) = \sigma_0 (1 - \cos B_s (t - \Delta)), \quad B_s = 2\pi\nu, \quad 1/s. \quad \nu = \frac{1}{T_\sigma}, \quad 1/s, \quad (2)$$

Где, $A_0 = 2 \sigma_0$ размах напряжений, σ_0 амплитуда цикла, Δ сдвиг фазы, T_σ - период.

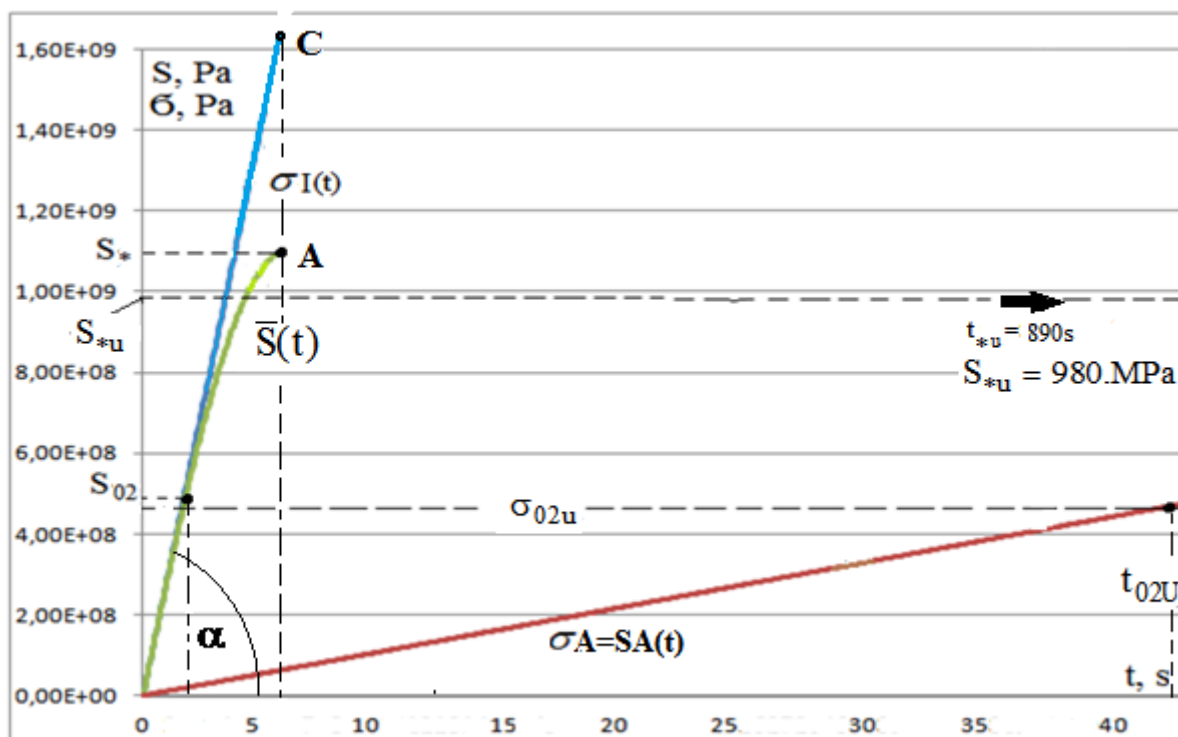


Рис.4. Диаграммы напряжений от времени (реологические), при растяжении до разрушения стали Н1.

$\sigma(t) = SA(t)$ – эксперимент с малой скоростью (показана частично до $t_{02} = 42s$). $\bar{S}(t)$ – аналитическая модель испытаний по ISO. $\dot{\sigma}(t)$ – скорость роста напряжений при постоянной скорости $\dot{\epsilon} = 1,375 \cdot 10^{-3} \text{ 1/s}$.

Для расчетов параметров $\sigma_{02}, t_{02}, \epsilon_{r02}$, рассматриваем первую четверть цикла гармоничной нагрузки. Наклон линейного участка синусоиды $\bar{S}(t)$ графика (2) определен условием (1в). Общий характер влияния скорости деформирования $\dot{\epsilon}$ на сопротивление деформации металлов и сплавов изучался многими авторами, например [3,10]. В меньшей степени изучено количественное влияние $\dot{\epsilon}$ на предел пропорциональности и прочности материалов. Из выводов изложенных в монографии [3], в главе посвященной влиянию скорости деформирования на предел пропорциональности и прочности сталей, можно видеть, что увеличение скорости деформирования на 1-2 порядка для обычных сталей, относительно, принятой величины $\dot{\epsilon}$ по ISO, показывает рост показателей прочности не более 7%. Скорость деформирования стали Н1, в рассмотренном эксперименте НИИ ПП, на участке до текучести, определяется формулой $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_e + \dot{\epsilon}_r \approx \dot{\epsilon}_e = 0,53 \cdot 10^{-4}, \text{ s}^{-1}$, где $\dot{\epsilon}_e$ - скорость упругой компоненты деформаций [1]. Как видим, средняя скорость по стандарту $\dot{\epsilon}$ приблизительно в 26 раз больше скорости $\dot{\epsilon}$ при экспериментальном замедленном растяжении стали Н1. Обозначим полученные в истинных напряжениях параметры прочности как условные: предел прочности, $S_{*u} = 980 \text{ МПа}$, предела пропорциональности $\sigma_{02u} = 440 \text{ МПа}$, $R_a, \epsilon_{*u} = 0,22$, $t_{02U} = 42. \text{ s}$ $t_{02U} = 890. \text{ s}$. Специальное обозначение нижним индексом u экспериментальных параметров стали Н1, используем поскольку фактическая скорость деформирования была значительно меньше установленной стандартом. Прогнозируемый рост максимума диаграммы напряжений A_0 , в моделируемой функции процесса растяжения (2), был определен из анализа графика характерной зависимости предела текучести сталей, от скорости деформаций, приведенной в работе [3]. Учитывая изложенное ожидаемый рост величины σ_{02} и σ_B стали Н1, принят 10% (с запасом 3%). С учетом роста скорости деформирования, ожидаемая амплитуда в обобщенной модельной реологической диаграмме истинных напряжений, формула (2), принята $A_0 = 1300 \text{ МПа}$. Теперь мы получили модель диаграммы испытаний растяжением $\bar{S}(t)$ по условиям ISO, для материалов с модулем упругости как у стали Н1, в виде реологической функции истинных напряжений (2а), начальная скорость $\dot{S}(t) = 288 \cdot 10^6 \text{ Па/s}$.

$$\bar{S}(t) = 1300 \cdot 10^6 \cdot (1 - \cos(2 * 3.14 * 0,04166 * (t - 6))), \text{ Па} \quad (2a),$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{RT}{S(t)\tau_0} \exp \frac{\gamma(t)S(t) - U_0}{RT}. \quad (3)$$

Зависимость (2а) подставим в основное дифференциальное уравнение состояния ДТТ (3) [1]. Начальные граничные условия, γ_0, U_0 , для стали Н1 были определены по реологическим диаграммам в [1], $\sigma(t) = SA(t)$ показана на рис.4. Численные решения (3) позволяет находить текущее значение функции $\gamma(t, \sigma,)$, для заданной функцией нагрузки $\bar{S}(t) |S| > 0$. В теории установлено [5,7,8], что величина $\gamma(t, \sigma,)$ однозначно связана с относительными необратимыми пластическими линейными условными деформациями:

$$\varepsilon_r(t) = \int_0^t \dot{\varepsilon}_r(t) dt \quad (4)$$

$$\dot{\varepsilon}_r(t) = \frac{d\gamma(t)}{\gamma_0 dt} = \dot{\varepsilon}_{or} \exp \frac{\gamma(t)\sigma(t) - U_0}{RT}, \quad \dot{\varepsilon}_{or} = \frac{RT}{\gamma_0 \sigma(t) \tau_0} \quad (4a)$$

Для решения дифференциального уравнения (2) использован численный многошаговый метод решения Рунге-Кутты, переменный 1-го и 5-го порядка. Разработана специальная программа на ПК, которая отображает различные физические свойства деформирования до разрушения. Контролируя эти параметры, находим необходимые параметры и соответствующий им момент времени процесса. На Рис.5 показаны реологические функции упругих, пластических и суммарных относительных деформаций стали до момента начала текучести, полученные экспериментально и расчетом.

Численное решение уравнения (2) и расчет деформаций (4) выполнено в два этапа. Используя функцию модели диаграммы стандартного растяжения (2а) и начальные физические параметры стали Н1 из [1], получим значения механических параметров стали:

1 этап. Расчета σ_{02}, t_{02} . $\gamma_0 = 1,23 \div 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{mol}$, $U_{01} = 1,38 \cdot 10^5 \text{ j / mol}$.

$$\sigma_{02} = 449 \text{ МПа}, t_{02} = 1,56, \text{ s}, \varepsilon_{r02} = 0,0021 (0.21\%).$$

2 этап. Расчет $\sigma_B, S_*, \varepsilon_{r*}$. $\gamma_0 = 1,23 \div 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{mol}$, параметр $U_{02} = 2,05 \cdot 10^5 \text{ j / mol}$

$$S_* = 10,6 \div 12,0 \cdot 10^8, \text{ Pa} \quad 1060 \div 1200 \text{ МПа}, t_* = 3,7 - 4,4 \text{ c.} \quad \varepsilon_{r*} = 0,16 - 0,22$$

$$\sigma_B = 7,78 \text{E}+08, \text{ Pa} \text{ (пересчет значения } S_* \text{ на } \sigma_B \text{ выполнен по формуле Надаи).}$$

Приведем экспериментальные характеристики углеродистой стали 45, в состоянии поставки, из [12]: $\sigma_B = 748 \cdot 10^8, \text{ Pa}$, $S_* = 1173 \cdot 10^6, \text{ Pa}$ $\sigma_{02} = 412 \cdot 10^6 \text{ Pa}$. Остаточное удлинение 19%. Сопоставление результатов расчета, с указанными данными и справочными характеристиками [11], показали, что определенные теоретически механические характеристики стали Н1 близки углеродистой стали Ст45 в состоянии поставки. В НИИ ПП Г.С.Писаренко НАН Украины подтвердили, что использовали для построения экспериментальных реологических диаграмм сталь 45 и затем результаты предоставили для анализа и исследований как сталь Н1[1]. Автор благодарит за предоставленный экспериментальный материал и содействие в подготовке и обсуждении этой статьи заместителя директора института д.т.н., проф. А.П. Зиньковского и к.т.н. А.И. Новикова.

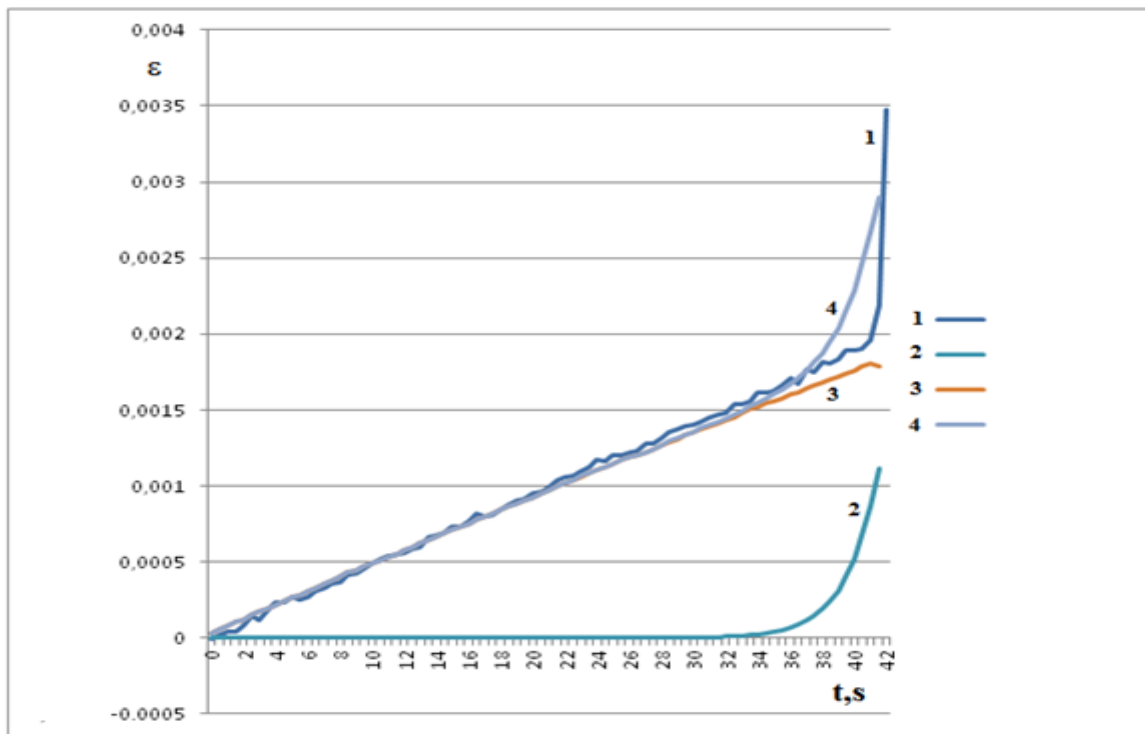
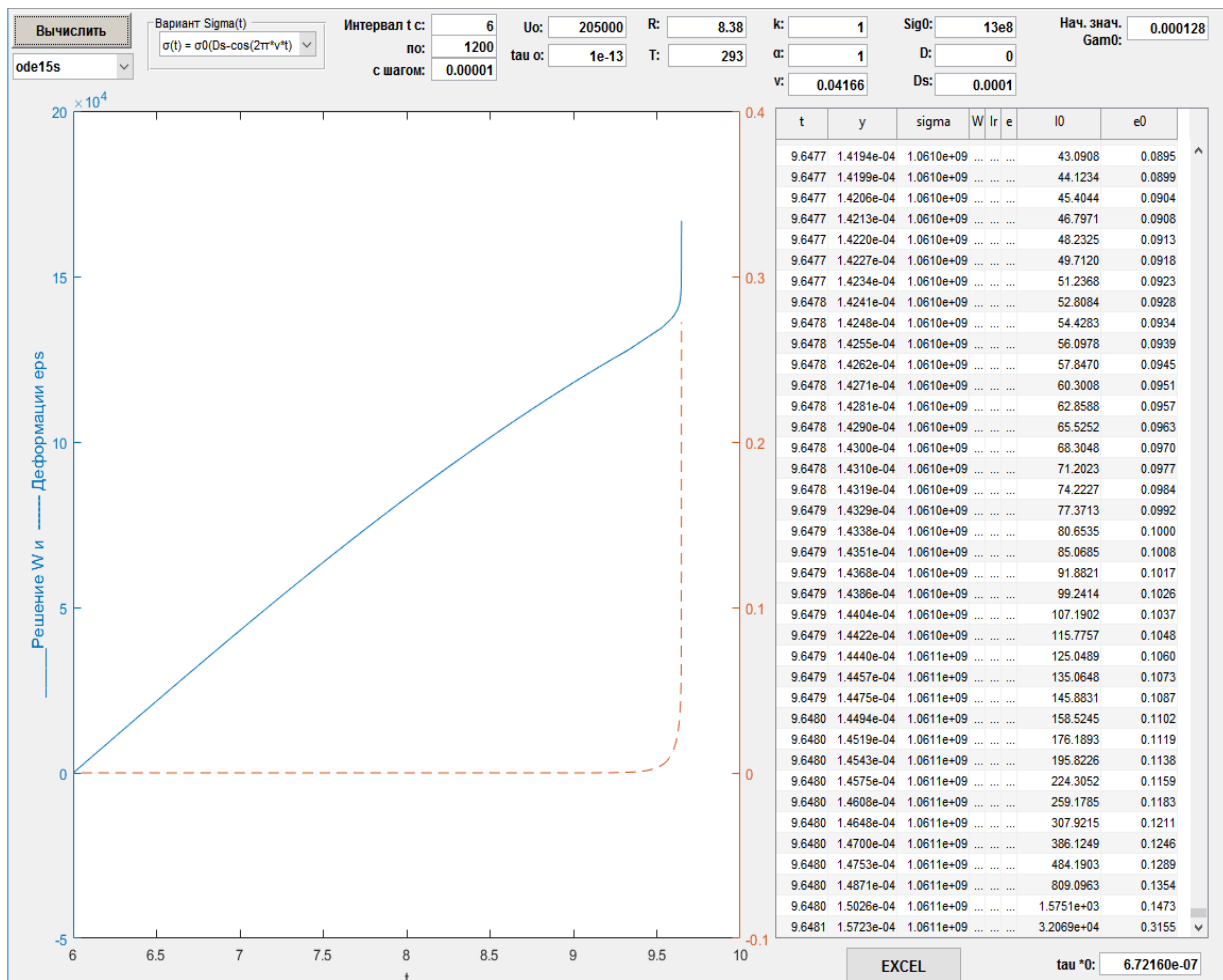


Рис.5 Реологические функции относительных деформаций стали до момента начала текучести, полученные экспериментально и расчетом: 1 - $\epsilon_{Н1}$, данные с датчика экспериментальной установки; 2 - ϵ_{it} пластические деформации, посчитанные теоретически; 3 – упругие деформации, посчитанные по формуле $\epsilon e = S(t)/F(t)$; 4 - суммарные относительные деформации $\epsilon_{rteo\Sigma} = \epsilon_{it} + \epsilon e$

Далее показан пример интерфейса ПК с таблицей сводных начальных параметров состояния и результатов расчетов параметров деформирования по шагам методами теории. Показан этап расчета хрупкого спонтанного напряжения углеродистой стали S_* .



Выводы.

Используя физические уравнения, параметры и зависимости теории, показана связь между физическими структурно-энергетическими параметрами и механическими свойствами прочности и деформационными характеристиками углеродистой стали 45. Используя физические уравнения, параметры материала γ_0 , U_0 , теоретически определены параметры прочности σ_B , σ_{02} , остаточные пластические деформации ϵ_r , время до хрупкого разрушения. Для этого была разработана и использована физическая аналитическая модель одноосного растяжения до разрушения материала по стандарту ISO6892-84.

Предложенный подход может быть использован для решения обратной задачи, теоретической оценки начальных физических структурно-энергетических параметров материала, используя стандартные механические характеристики материала σ_B , σ_{02} , ϵ_{*r} . В свою очередь, используя физические параметры, теория позволяет по уже разработанной программе ПК, выполнить расчеты, прочности, усталости, долговечности при различных одноосных нестационарных нагрузках, пример рассмотрен в [7].

Следует отметить, что располагая достоверными начальными данными о коэффициенте поперечных деформаций μ , модуле упругости E и параметрами начальной геометрии (форма)

образца испытываемого материала, модельная $\bar{S}(t)$ диаграмма не нужна. Физическими уравнениями теории можно производить оценочный расчет пластических деформаций, одновременно строить аналитически, искомую диаграмму $S(t)$. Затем можем вычислять механические параметры $\sigma_{02}, S_*, \sigma_B$. В расчете используем начальные физические параметры γ_o, U_o, T , начальную среднюю скорость процесса формоизменения $\dot{\epsilon}$ по стандарту ISO (или соответствующую скорость движения захвата испытательной машины). Физические параметры материала и уравнения позволяют рассчитать механические и термодинамические параметры процесса *необратимого* формоизменения ДТТ. Мы оценили возможности теории на примере решения простой прикладной задачи одноосного растяжения.

В процессе испытания растяжением, значения физических параметров системы будут изменяться, так как γ_o, U_o это только начальные параметры. Исследования физико-механических параметров термомеханической системы ДТТ показали, что все изменения можно в первом приближении, с учетом временного фактора, разделить на несколько отдельных простых физических процессов и параметров. Для этого были проведены теоретические исследования на экспериментальных диаграммах кинетического индентирования сталей. Рассмотрены два типа инденторов шар и пирамида. Изучено влияние нескольких факторов: активированный объем (область развитых пластических деформаций), площадь образующейся свободной поверхности, удельная площадь образующейся свободной поверхности, удельная мощность процесса разрушения и др. Эти исследования полнее раскрывают физическую корпускулярно-волновую природу напряжений и разделяют роль физических параметров плотности, мощности молярной энергии в разрушительных процессах. Для одноосного растяжения необходимо описать свойства формоизменения активированного объема (геометрия пластической зоны шейки) и структурно-энергетический параметр материала $Gr = \gamma \cdot E$, E модуль упругости материала. Где, $Gr(t)$ - функция состояния ДТТ, которая физически отражает поврежденность материала и др. свойства процесса разрушения. Для теоретической оценки изменений физико-механических параметров при стандартном процессе испытаний растяжением, а именно построения реологических функций, обоснования физических уравнений, пока не хватает точных данных о физических свойствах *конструкционных материалов*, в частности, коэффициент поперечных деформаций, модуль упругости.

Физические параметры состояния ДТТ можно рассматривать как координаты характерной точки в физическом пространстве свойств термодинамической системы «материал-образец-испытательная машина», пример Рис.4, кривая $\bar{S}(t)$. В этом случае исследуемый материал характеризуется точкой $A(\epsilon, \dot{\epsilon}, \sigma, t, \gamma, U_o, \dot{\epsilon})$, наделенной совокупностью нескольких индивидуальных координат (физических параметров). Мы показали только две координаты, они отражают характерные индивидуальные свойства данного материала в составе системы. Например, незначительный рост модуля упругости, отразится на увеличении скорости изменения напряжений, предела текучести и т.п. Таким образом, если аналитически анализировать физические свойства материала в модели стандартного процесса испытаний, мы определим собственные координаты, функции параметров взаимодействия нагрузки и материала ДТТ. Можем объективно оценивать, сравнивать разные физико-механические свойства рассматриваемого материала, определять его тип (марку и т.п.) с единых физических

позиций. В данном случае, мы рассмотрели это свойство в упрощенной физической модели разрушения ДТТ. Физические уравнения состояния ДТТ можно дополнить новыми функциями связи, например уравнением теплопроводности и др.

Литература.

1. ШТЫРЁВ Н.А. Определение физических структурно-энергетических параметров прочности материала по реологическим диаграммам механических испытаний. Решение обратной задачи.
2. Петров М.Г. О деформировании и разрушении алюминиевых сплавов с позиций кинетической концепции прочности / М.Г. Петров, А.И. Равикович // ПМТФ. 2004г. Т.45. №1. 151-161 с.
3. Потапова Л.Б., Ярцев В.П. Механика материалов при сложном напряженном состоянии. Москва. «Издательство Машиностроение -1». 2005г. 244с
4. Карташов Э.М. Современные представления кинетической термофлуктуационной теории прочности полимеров. // М.: ВИНТИ. Итоги науки и техники. Серия Химия и технология ВМС. 1991. т.27. С.3-111.
5. Штырёв Н. А. Деформирование и разрушение твердых тел с позиций кинетической структурно-энергетической теории прочности. // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій. Збірник наукових праць 5-ї Міжнародної конференції. 2014, Львів. ФМІ, Україна, с 63-70.
6. ГОСТ 1497-84. Государственный стандарт СССР, МЕТАЛЛЫ. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ.
7. Штырьов М. ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МІЦНОСТІ І УТОМИ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ ПІД ВПЛИВОМ ВІБРАЦІЇ МЕТОДАМИ ФІЗИЧНОЇ ТЕОРІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА. // Збірник наукових праць, XVII Міжнародна науково-технічна конференція “Вібрації в техніці та технологіях” Львів, 2018. НУЛП, Україна, с 13-15.
8. Штырёв Н.А. Определение физических условий разрушения поликристаллических тел при нестационарном циклическом растяжении. Сборник научных трудов. Строительная механика корабля. г. Николаев, НКИ. 1987г., с. 74-84.
9. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. В двух частях. Часть первая. Деформация и разрушение. - М.: Машиностроение, 1974. - 472 с. 60.
10. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. Металлургия. Москва. 1975, 399с.
11. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов. «Наукова думка», Киев, 1975г, 704с.
12. Гладков В.М. Кудрявцева А.А, Сухин В.И. О соотношении между статическими и механическими характеристиками и импульсным напряжением в металлических стержнях. ПМТФ, №5, 1977, с.135-137.