

СПОСІБ ВРАХУВАННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ ТЕПЛОНАПРУЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ

Стефановський О.Б., канд. техн. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (619) 42-04-42

Анотація – у статті проаналізовано особливості впливу температури на міцність сталей та запропоновано спосіб врахування цього при конструюванні теплонапружених деталей двигунів.

Ключові слова: міцність, температура, сталь, деталь.

Постановка проблеми й аналіз останніх досліджень. У теплових двигунах, що застосовуються в сільському господарстві, є теплонапружені деталі (наприклад, це головки та гільзи циліндрів). Збільшення форсування цих двигунів, що відбувається останні десятиліття, веде до підвищення теплових навантажень і робочих температур таких деталей. У свою чергу, це утруднює підтримку належного ресурсу двигунів.

Крім теплових двигунів, у сільському господарстві і харчовій промисловості також можливе застосування технологічних теплових процесів з підвищеними робочими параметрами.

Звичайні методи розрахунку міцності циліндричних деталей не беруть до уваги залежність міцнісних параметрів їх матеріалів (наприклад, сталі) від робочої температури [1].

Мета статті — встановити математичний опис залежності міцнісних параметрів сталей від температури і запропонувати метод врахування цього при конструюванні теплонапружених деталей двигунів.

Основна частина. У навчальній та довідковій літературі є дані про показники міцності сталей та їх теплофізичні властивості при різних температурах [1-3 та ін.]. Ці дані можна представити у вигляді графіків (рис. 1), де буква “сигма” σ позначає межу повзучості (при відносній деформації 10^{-7} 1/год), а комплексний показник $\frac{\lambda}{\alpha_{ext}E}$ впливає на температурну напругу $\sigma_{\Delta T}$ в стінці деталі:

$$\sigma_{\Delta T} = qx / \frac{\lambda}{\alpha_{ext}E}, \quad (1)$$

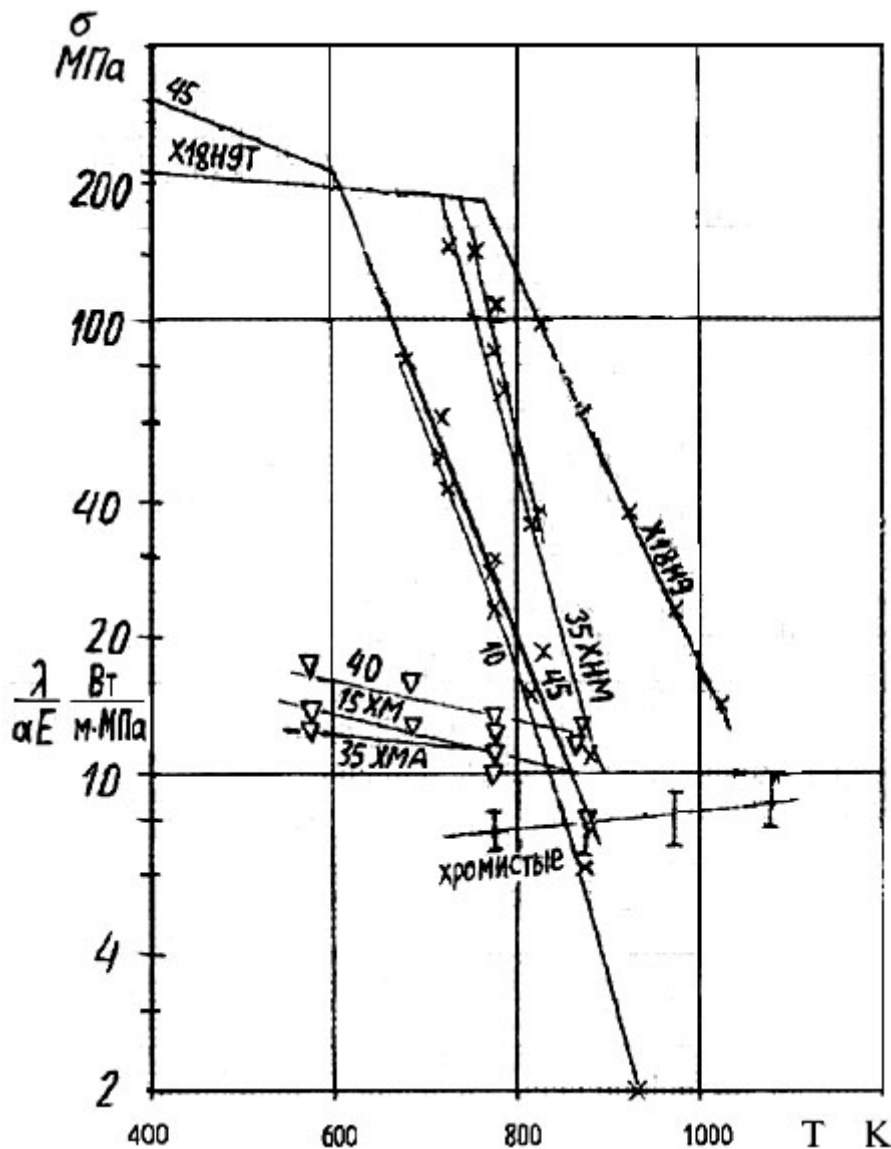


Рис. 1. Залежність показників міцності сталей від температури [4]

де α_{ext} – температурний коефіцієнт лінійного розширення, $1/K$;

E – модуль пружності, МПа;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, $кВт/(K \cdot м)$;

q – густина теплового потоку в напрямку відстані x (м), $кВт/м^2$.

З рис.1 видно, що від температури T суттєво залежить межа повзучості сталей: для звичайних вуглецевих сталей вона різко знижується при $T > 600$ К, а для сталей, легованих хромом - при $T > 700...750$ К. Завдяки цієї особливості, останні мають велику перевагу перед першими за величиною межі повзучості при $T > 600$ К. При меншій температурі, навпаки, вуглецева сталь є міцнішою.

Щодо змін комплексного показника $\frac{\lambda}{\alpha_{ext}E}$, то вони є помірними,

причём із зростанням температури цей показник дещо знижується у вуглецевих і низьколегованих сталей та дещо зростає у хромистих

легованих сталей. При цьому останні суттєво програють першим за величиною показника $\frac{\lambda}{\alpha_{ext}E}$, тому хромисті леговані сталі більш схильні до температурних напружень.

Зіставимо, наприклад, вказані параметри для сталей 45 і 12Х18Н9Т. При температурах, відповідно, вищих за 600 і 760 К межа повзучості цих сталей задовільно може бути апроксимована полулогарифмічною залежністю

$$\lg \sigma = \mathbf{a} - \mathbf{b}T, \quad (2)$$

де значення коефіцієнтів дорівнюють:

- для сталі 45 $\mathbf{a} = 5,3$; $\mathbf{b} = 0,0050$;
- для сталі 12Х18Н9Т $\mathbf{a} = 5,5$; $\mathbf{b} = 0,0043$.

Комплексний показник $\frac{\lambda}{\alpha_{ext}E}$ для сталі 45 змінюється у межах 15...20, а для сталі 12Х18Н9Т - у межах 7...8 Вт/(м*МПа).

При більш низьких температурах суцільні лінії на рис. 1 відповідають межі текучості сталей. Так, видно, що впливом T на межу текучості сталі 12Х18Н9Т можна знехтувати. В загальному випадку, для даної марки сталі існує температура $T_{T=creep}$, коли межа текучості дорівнює межі повзучості (при заданій відносній деформації), що показано на рис.2. Тут штрихові лінії відповідають змінам межі текучості при більш високій температурі.

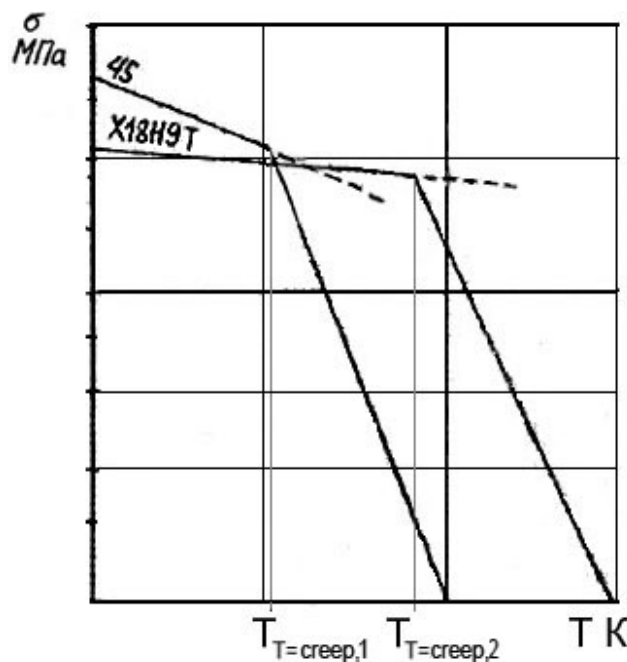


Рис. 2. До визначення температури, коли межі текучості та повзучості сталі є однаковими

Через неприйнятність пластичної деформації матеріалу, припустима робоча напруга σ_{tol} повинна бути суттєво меншою за межу текучості σ_T , для чого застосовується відповідний коефіцієнт запасу (n_σ). Тому замість лівих ділянок ламаних ліній на рис. 2 треба використовувати ділянки, які проходять паралельно ним, але нижче на величину, пропорційну логарифму n_σ (рис. 3).

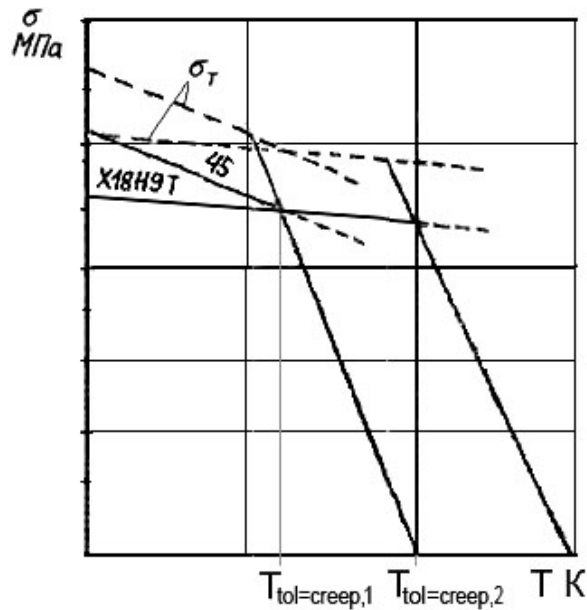


Рис. 3. До визначення температури, коли припустима напруга і межа повзучості сталі є однаковими (при коефіцієнту запасу $n_\sigma = 1,5$)

Видно, що це приводить до помітного підвищення температури $T_{tol=creep}$, коли припустима напруга дорівнює межі повзучості матеріалу. При $T > T_{tol=creep}$ в розрахунках міцності теплонапружених деталей треба використовувати межу повзучості, що відповідає заданій відносній деформації деталі.

Збільшення коефіцієнту запасу n_σ веде до подальшого підвищення температури $T_{tol=creep}$, і вона, в принципі, може досягти будь-якого значення робочої температури деталі. Як приклад, у таблиці 1 подані приблизні значення $T_{tol=creep}$ обох розглянутих марок сталі для різних величин n_σ , розраховані з допомогою формули (2).

Таблиця 1

Залежність температури $T_{tol=creep}$ від коефіцієнту запасу міцності

Сталь	Температура $T_{tol=creep}$ (К) для коефіцієнта n_σ							
	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	10	15	20
45	600	640	660	710	760	810	865	890
12X18H9T	760	800	840	880	930	1000	1050	1120*

Примітка: * екстраполяція.

Як видно, для легованої сталі 12Х18Н9Т ця температура є на 160...190 К більшою в усьому дослідженому діапазоні коефіцієнта запасу міцності n_σ . Графіки залежності температури $T_{\text{tol=creep}}$ від коефіцієнта n_σ (рис. 4) мають вигляд майже прямих ліній у полулогарифмічних координатах.

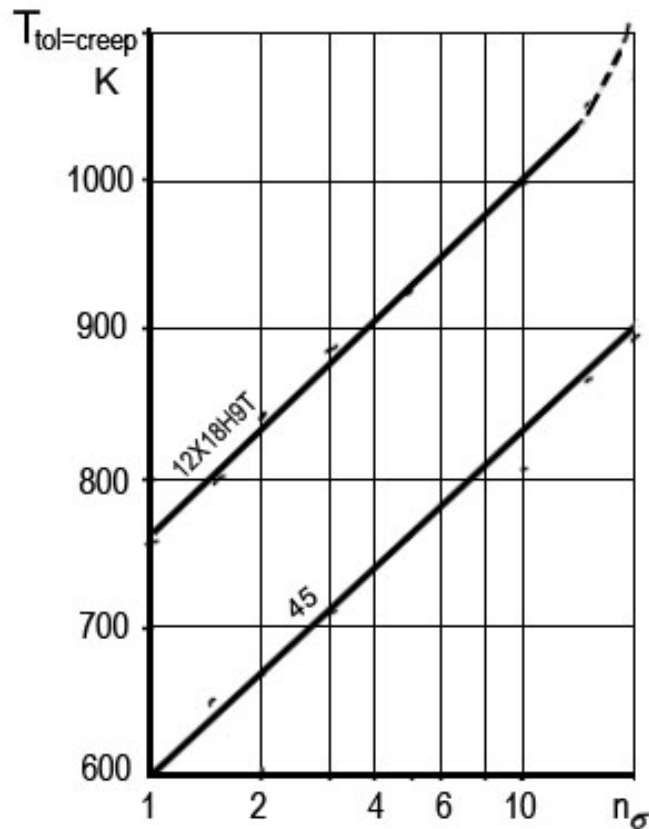


Рис. 4. Залежність температури $T_{\text{tol=creep}}$ від коефіцієнта запасу міцності для двох марок сталі

Зони $n_\sigma < 1,5$ цих графіків використовувати недоцільно, через досить невеликий запас міцності. Видно, що в діапазоні температури 800...900 К, використовуючи леговану сталь 12Х18Н9Т, конструктор може брати запас міцності приблизно в 5 разів менший, чим для дешевшої вуглецевої сталі 45. Тому й робоча напруга в деталі може бути відповідно більшою, що сприяє збільшенню робочих параметрів двигуна або зниженню його розмірів та маси.

Так, для трубчастої гільзи розширювального циліндра теплового двигуна, що має внутрішній діаметр 500 мм і піддана робочому тиску 1 МПа при температурі 800 К, застосування сталі 12Х18Н9Т дозволяє або збільшити переданий тепловий потік майже у 22 рази, або зменшити внутрішній діаметр у 33 рази порівняно зі сталлю 45 [5]! Як видно, числа 22 та 33 є близькими до квадрату вищевказаної відносної різниці значень коефіцієнта запасу міцності. Хоча таке велике збільшення теплового потоку утворить занадто велику температурну

напругу за формулою (1), в наведеній оцінці параметрів цієї деталі вона є збалансованою з механічною напругою. Інше питання, чи потрібна така велика температурна напруга, та чи не варто також вводити до неї коефіцієнт запасу або послаблення.

Висновок. Залежність меж текучості та повзучості сталей від температури задовільно апроксимується полулогарифмічними рівняннями, причому відповідні лінії перетинаються в інтервалі $T = 600 \dots 800 \text{ K}$ (рис. 1).

При збільшенні робочих температур теплонапружених деталей треба значно підвищувати величину коефіцієнта запасу міцності (стосовно меж текучості матеріалу), причому залежність між цими параметрами також близька до полулогарифмічної.

При $T = 800 \dots 900 \text{ K}$ використання легованої сталі 12X18H9T дозволяє зменшити цей коефіцієнт приблизно в 5 разів, порівняно з вуглецевою сталлю 45 (рис. 4), що сприяє збільшенню робочих параметрів двигуна або зниженню його розмірів та маси.

Література

1. Справочник машиностроителя в 6 т. - 2-е изд., испр. и доп.- М.: Машгиз, 1956. - Т.3. - 564 с.
2. Справочник машиностроителя в 6 т. - 2-е изд., испр. и доп.- М.: Машгиз, 1956. - Т.2. - 560 с.
3. *Давыдов Г.А.* Температурные напряжения в деталях судовых дизелей / *Г.А. Давыдов, М.К. Овсянников.* - Л.: Судостроение, 1969. - 248 с.
4. *Стефановский А.Б.* Технология двигателей Стирлинга в утилизации отходов / *А.Б. Стефановский* // 3-й Междунар. конгресс по управл. отходами ВэйстТэк-2003, Москва, 3-6 июня 2003: Сб. тез. докл./ СИБИКО Интернэшнл. - М., 2003. - С.239-240; 472-473.
5. *Стефановский А.Б.* Влияние материала теплонапряжённой цилиндрической детали на параметры теплового двигателя / *А.Б. Стефановский* // Проблеми динаміки і міцності в газотурбобудуванні: Тез. допов. 3-ї міжнар. науково-техн. конф. / Під ред. В.Т. Троценка і А.П. Зінковського; Ін-т проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України. - К., 2007. - С. 179-180.

**СПОСОБ УЧЁТА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ
СТАЛИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ТЕПЛОАПРЯЖЁННЫХ
ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Стефановский А.Б.

Аннотация — в статье проанализированы особенности влияния температуры на прочность сталей и предложен способ учёта этого при конструировании теплонапряжённых деталей двигателей.

**A METHOD OF TAKING ACCOUNT OF HIGH TEMPERATURE
PROPERTIES OF STEEL AT DESIGNING ENGINE HEAT-
STRESSED PARTS**

A.B. Stefanovsky

Summary

Peculiarities of temperature effect on the steel strength are analyzed and a method of taking this into account at designing of engine heat-stressed parts is proposed in the paper.