

2. Высокий комплекс механических свойств ( $a_n$ , HV) штамповой стали 45X3B3MФС можно достичь в цикле термической обработки за счет стабилизации карбидной фазы, протекающей во время промежуточной выдержки при температуре нижней части перлитной области. При переходе с этой температуры до температуры несколько ниже точки  $A_{c1}$  эффект стабилизации карбидных частиц падает, что понижает качество подготовки структуры под закалку.

### Summary

The intermediate soaking effect at 500 and 750 °C during quenching heating of a bimetallic material under cladding layer austenizing conditions has been investigated. The intermediate soaking at 500 °C has been found to ensure a high complex of mechanical properties of the cladding steel 45X3B3MФС. The effect is attributed to a stabilizing influence of the intermediate soaking on a carbide phase. The intermediate soaking at 750 °C also improves the quality of preparing the structure for quenching but to a smaller extent as compared with that at 500 °C because of accompanying stabilization of the coagulation process of carbide particles.

### Литература

1. Самоходский А. И. Технология термической обработки металлов.— М.: Машгиз, 1962.—427 с.
2. Довнар С. А., Фигурин Б. Л.— Весті Академії наук БССР. Сер. фіз.-тэх. навук, 1982, № 3, с. 3—8.
3. Фрактография и атлас фрактограмм / Справочник.— М.: Металлургия, 1982, с. 76.
4. Гудремон Э. Специальные стали.— М.: Металлургиздат, 1959, т. 1.—952 с.
5. Гуляев А. П. Термическая обработка стали.— М.: Машгиз, 1960.—496 с.

Физико-технический институт  
АН БССР

Поступила в редакцию  
15.12.83

УДК 539.374.678

Н. Н. КУРИЛОВИЧ, Б. И. ИГНАТОВ

## ВЛИЯНИЕ НАКОПЛЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛЗУЧЕСТИ НА ПРЕДЕЛ МГНОВЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Повышение требований к надежности машин и стремление снизить их материалоемкость сделало актуальной проблему исследования длительной прочности материалов, работающих в условиях нестационарных режимов нагружения. Последние иногда способствуют появлению деформаций ползучести и, как следствие, накоплению повреждений в материале, которые приводят к изменению механических характеристик материалов. Существенно, с одной стороны, изменение предела прочности в результате предварительно накопленной поврежденности и, с другой, изменение предельной пластической деформации, вызванное той же причиной.

Для описания процесса накопления повреждений в условиях ползучести используется кинетическое уравнение повреждений силового типа, предложенное в работе [1], на основе которого теоретически исследовалось изменение предела прочности материала в зависимости от накопленной поврежденности:

$$\frac{d\Pi}{d\tau} = f(\sigma), \quad (1)$$

где  $\Pi$  — скалярная мера повреждений материала, которая до начала нагружения  $\Pi=0$ , а в момент разрушения  $\Pi=1$ ;  $\tau$  — текущее время выдержки элемента материала под напряжением  $\sigma$ .

Функция  $f(\sigma)$  в работе [1] предложена в виде

$$f(\sigma) = \frac{1}{C_0} \exp \frac{\sigma}{A_0}. \quad (2)$$

Постоянные параметры  $A_0$  и  $C_0$  определяются по кривым длительной прочности материалов.

Поврежденность материала в процессе деформирования с постоянной скоростью нагружения  $v_\sigma$  к моменту времени  $t$  из уравнения (1) будет равна:

$$\Pi = \int_0^t f(v_\sigma \tau) d\tau. \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3)

$$\Pi = \frac{1}{C_0} \int_0^t \exp \frac{v_\sigma \tau}{A_0} d\tau. \quad (4)$$

После интегрирования (4) и учитывая, что в момент разрушения  $\Pi=1$ , получаем

$$1 = \frac{A_0}{v_\sigma C_0} \left( \exp \frac{\sigma_p}{A_0} - 1 \right), \quad (5)$$

где  $\sigma_p$  — напряжение в момент разрушения материала.

Из равенства (5) находим формулу разрушающего напряжения  $\sigma_p$  при отсутствии предварительной деформации ползучести в виде

$$\sigma_p = A_0 \ln \left( 1 + \frac{v_\sigma C_0}{A_0} \right). \quad (6)$$

Подобная зависимость для разрушающего напряжения  $\sigma_p$  для случая быстрого нагружения была получена в работе [2].

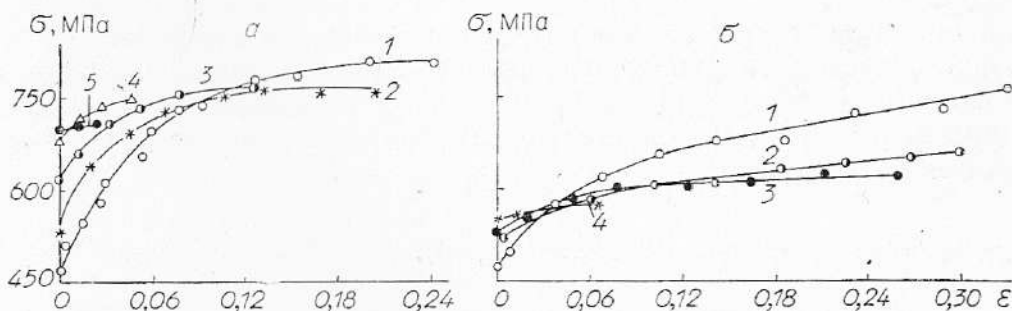
Если материал имел предварительную поврежденность  $\Pi_*$ , то условие разрушения запишется в виде

$$1 - \Pi_* = \frac{A_0}{v_\sigma C_0} \left( \exp \frac{\sigma_p}{A_0} - 1 \right). \quad (7)$$

Из выражения (7) находим формулу разрушающего напряжения материала в случае, когда к моменту быстрого нагружения он имеет некоторую поврежденность  $\Pi_*$ :

$$\sigma_p = A_0 \ln \left[ 1 + \frac{v_\sigma C_0 (1 - \Pi_*)}{A_0} \right]. \quad (8)$$

Экспериментальные исследования влияния накопленной деформации ползучести на механические и пластические свойства материалов проводились на трубчатых образцах конструкционных сплавов ЭИ-765 и



Кривые деформирования сплавов ЭИ-765 (а) и ЭП-182 (б) после предварительно накопленной деформации ползучести  $\epsilon_*$ : а — 1 —  $\epsilon_*=0$ , 2 — 0,48, 3 — 0,55, 4 — 0,7, 5 —  $\epsilon_*=0,82$  ( $t=800^\circ\text{C}$ ); б — 1 —  $\epsilon_*=0$ , 2 — 0,16, 3 — 0,35, 4 —  $\epsilon_*=0,58$  ( $t=525^\circ\text{C}$ )

Значения постоянных  $A_0$  (МПа) и  $C_0$  (с) в кинетическом уравнении повреждений (4)

Величина	Сплав ЭП-182 для любых уровней напряжений	Сплав ЭИ-765	
		при напряжениях $\sigma_i \geq 400$ МПа	при напряжениях $\sigma_i \leq 400$ МПа
$A_0$	46,79	48,00	33,62
$C_0$	$9,67 \cdot 10^8$	$1,76 \cdot 10^8$	$5,97 \cdot 10^9$

Таблица 2

Значения разрушающих напряжений после предварительной поврежденности

Материал	Предварит. деформация ползучести $\epsilon$	Поврежденность $\Pi_*$	Напряжение при испытании на ползучесть $\sigma$ , МПа	Разрушающие напряжения $\sigma_p$ , МПа	
				расчетные по (8)	экспериментальные
ЭИ-765	0,048	0,44	400	750	790
	0,055	0,58		742	765
	0,070	0,69		722	755
	0,090	0,86		683	720
ЭП-182	0,016	0,17	405	830	690
	0,035	0,43		813	650
	0,058	0,74		766	570

ЭП-182 при 800 и 525 °С соответственно. Наружный диаметр рабочей части образца составлял 20 мм, толщина стенки 1 мм. Длина рабочей части образца была равна 60 мм.

Испытания проводились на машине УМЭ-10 ТМ. Температура по длине рабочей части образца контролировалась с помощью пяти термодпар. Ее отклонение от заданного уровня не превышало  $\pm 3^\circ\text{C}$ . Образцы обоих сплавов доводились до разрушения в результате быстрого нагружения на различных стадиях предшествующей ползучести, при этом диаграммы деформирования сравнивались с диаграммами, которые были получены при соответствующей температуре до начала процесса ползучести.

На рисунке показаны диаграммы кратковременного деформирования до разрушения, полученные при отсутствии предварительной ползучести и после достижения определенной деформации ползучести. Из диаграмм следует, что в результате ползучести предельная пластическая деформация уменьшается, а предел пропорциональности несколько увеличивается при некотором снижении предела прочности. Таким образом, охрупчивание материала в условиях ползучести выражается весьма отчетливо.

Из кривых длительной прочности определены величины  $A_0$  и  $C_0$ , значения которых для температур испытаний представлены в табл. 1.

Теоретические расчеты, проведенные по формуле (8) для обоих сплавов, приведены в табл. 2. Там же даны экспериментальные значения разрушающих напряжений.

Для сплава ЭИ-765 совпадение экспериментальных и расчетных данных оказалось хорошим (данные отличаются не более 6%). Для сплава ЭП-182 расчетные данные по формуле (8) дают 16—20% завышенные значения разрушающих напряжений.

### Summary

An influence of preliminary damage of materials on an instant break limit under rapid loading conditions has been investigated and a formula for its calculation has been suggested. The experimental test of the samples made of the constructional alloys ЭИ765 and ЭП182 has revealed satisfactory agreement of the calculated and experimental data.

## Литература

1. Павлов П. А., Курилович Н. Н.—Пробл. прочности, 1982, № 2, с. 44—47.
2. Павлов П. А., Кондакова О. Н. Механические свойства материалов и условия прочности элементов конструкций. Ч. 1. Л.: Изд-во Ленингр. политехн. ин-та, 1973.—87 с.
3. Гецов Л. Б.—Пробл. прочности, 1978, № 7, с. 31—37.
4. Писаренко Г. С., Можаровский Н. С., Антипов Е. А. Сопротивление жаропрочных материалов нестационарным силовым и температурным воздействиям.— Киев: Наукова думка, 1974.—199 с.

Могилевский технологический  
институт

Поступила в редакцию  
13.01.84

УДК 621.9.011:517.962.1

С. С. ДОВНАР

### ЧИСЛЕННО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Обработка металлов резанием сопряжена с образованием трещин, которые проникают под обработанную поверхность [1, 2]. Это приводит к понижению несущей способности деталей. Распространение трещин в поверхностном слое деталей следует блокировать, однако для этого необходимо располагать данными о напряжениях, возникающих в обрабатываемом металле в процессе резания.

На основе математической теории пластичности не удается получить аналитическое решение задачи о распределении напряжений в зоне резания металла. Модели напряженно-деформированного состояния применительно к процессам резания строят или с помощью полуаналитического метода линий скольжения [3], или принятием для расчетов какой-либо простой схемы деформирования металла [4]. Использование таких подходов позволило установить, что вблизи режущей кромки инструмента действуют растягивающие напряжения, опасные с точки зрения трещинообразования. Однако недостаточное соответствие моделей реальным условиям резания не позволяет достоверно выяснить характер распределения и интенсивность этих напряжений.

Экспериментальные методы для исследования напряженного состояния также имеют ограниченные возможности. Это обусловлено относительно малыми размерами зоны резания и развитостью в ней пластического течения.

Представляется, что большей точности в исследовании напряжений в обрабатываемом металле можно достичь с помощью численных математических методов и прежде всего метода конечных элементов. С его помощью уже построено несколько моделей для процесса резания металла [5—7]. Однако все они недостаточно полно отражают состояние области, прилегающей к режущей кромке инструмента, хотя именно здесь предполагаются наибольшая концентрация напряжений и деформаций и связанное с этим трещинообразование. Такой недостаток моделей был обусловлен разбивкой привершинной области на большие по размерам и малочисленные треугольные элементы и, главное, отсутствием учета неизбежного в технологическом отношении закругления режущей кромки.

В предполагаемой конечноэлементной модели прежде всего изучалось напряженное состояние в привершинной области зоны резания. Рассматривается период врезания инструмента в обрабатываемую деталь при ортогональной схеме резания и плоскодеформированном состоянии металла. Скорость резания принимается малой с точки зрения