**ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖНИИ**

**Арцыбашева Наталья Николаевна**

*Кандидат технических наук, доцент,*

*Одесского национального политехнического университета,*

*Украина, г. Одесса*

**Григорова Татьяна Михайловна**

*Доктор технических наук, доцент*

*Военной академии (г. Одесса),*

*Украина, г. Одесса*

**Чуренова Дарья Игоревна**

*Магистр*

*Одесского национального политехнического университета,*

*Украина, г. Одесса*

**STUDY OF THE BEHAVIOR OF SURFACE LAYERS IN STRUCTURAL STEEL AFTER PULSE THERMOMECHANICAL LOADING**

**Artsybasheva Natalia**

*Сandidate of Technical Sciences, assistant professor*

*Odessa National Polytechnic University*

*Odessa, Ukraine*

**Grigorova Tatyana**

*Doctor of Technical Sciences, assistant professor,*

*Military Academy (Odessa )*

*Odessa, Ukraine*

**Churenova Daria**

*Master*

*Odessa National Polytechnic University*

*Odessa, Ukraine*

**Аннотация**

В механизмах и кинетике разрушения деталей при импульсах трения, исходное напряженное состояние материала, а также его трансформация в процессе эксплуатации играют определяющую роль. При этом эффекты перераспределения напряжений и деформаций в результате трения, связанные с быстропротекающими процессами нагрева и охлаждения и соответствующими структурными превращениями становятся значимыми. Исследования структур стали после воздействия импульсов трения показали, что при жестких режимах изнашивания в поверхностных слоях развиваются высокие температуры, более высокие, чем температуры критических точек диаграммы «железо – цементит». При нагреве будут происходить структурные превращения стали, которые сопровождаются процессами перераспределения напряжений и деформаций. В настоящей работе была изучена взаимосвязь структурных превращений и напряженного состояния в поверхностных рабочих слоях конструкционных сталей при импульсном термомеханическом нагружении при трении.

**Abstract**

The mechanisms and kinetics of the destruction of parts when the friction momentum, initial stress state of the material, as well as its transformation in service play a decisive role. At the same stress redistribution effects and deformations due to friction associated with fast heating and cooling processes and relevant structural changes are significant. Research institutions began after exposure to friction pulses have shown that high temperatures are developed under severe wear conditions in the surface layers, higher than the critical point temperature chart "Iron - Cement". When heating will occur structural transformations of steel, which are accompanied by processes of redistribution of stresses and strains . In this work it was studied the relationship of structural transformations and the state of stress in the surface layers of the working of structural steels at pulsing thermomechanical loading in friction .

**Ключевые слова:** трение, износ, термомеханическое нагружение, структурные превращения, поверхностный слой.

**Keywords:** friction, wear, thermomechanical loading, structural transformations, the surface layer.

В механизмах и кинетике разрушения деталей при скоростных термомеханических воздействиях, в частности импульсах трения, исходное напряженное состояние материала, а также его трансформация в процессе эксплуатации играют определяющую роль. При этом становятся значимыми эффекты перераспределения напряжений и деформаций в результате трения, связанные с быстропротекающими процессами нагрева и охлаждения и соответствующими структурными превращениями [1].

Для анализа напряженного состояния при импульсном термомеханическом нагружении типа импульса трения без учета прямого воздействия внешней среды на сталь была введена модель поверхностного слоя [3], подверженного сжимающим напряжениям и теплового потока.

|  |  |
| --- | --- |
| =a при t ≥ 0, 0≤ x< ∞ | (1) |
| T = при t = 0, 0≤ x < ∞ | (2) |
| λ = - при 0≤ t ≤ } |  |
| T = при ≤ t ≤ } x = 0 | (3) |
| = 0 при t > } |  |
| T = при t ≥ 0, x = ∞ | (4) |

Для определения температурного поля поверхностного слоя стали при нагружении в настоящей работе приняты допущения о малых тепловых эффектов при фазовых превращениях и температурных градиентов вдоль нагружаемой поверхности, а также о независимости теплофизических свойств стали от температуры.

В этом случае соответствующую систему уравнений можно представить в виде:

где: T – текущая температура;

и – начальное и максимальное значение температуры на поверхности стали в ходе нагружения;

*t* и *x* – время и координата по нормали к поверхности;

- продолжительность воздействия теплового импульса;

*λ* и *a* – коэффициенты тепло- и температуропроводности стали.

Для заданных краевых условий решения уравнений тепловроводности (1) получили суперпозицией известных решений [4] для граничных условий I и II рода:

* при 0≤ t ≤

|  |  |
| --- | --- |
| T = {exp(- ) + [erf() - 1] } | (5) |
| где: = ; erf() = )dτ  - при < t ≤  T = {exp(- ) – exp(-) + [erf () - erf ()] } + |  |
| \*( t - ) exp ( - ) dτ | (6) |
| где =  (t) = - - ( 1 – )   * при t > |  |
| T = + , τ) dx  где (x, τ ) = (ξ ) {exp[ - ] - exp[ - ]} dξ  (x) = - λ (x, ) ; τ= t -  На рисунке 1 а, б показаны результаты расчетов температур конструкционной стали 38ХН3МФА, физические константы которой определены в работе [5], показывающие формирование поверхностного слоя, претерпевающего аустенитное превращение при импульсном нагреве при трении. | (7) |

**Рисунок 1. Температурное поле в поверхностном слое (а, б) и трансформация структуры стали (в, г) в поверхностном слое**

Для нахождения объемной доли фаз, возникающих в ходе структурных превращений при импульсном нагружении, принимали допущения о том, что степень аустенитного превращения при (П →А) – переходе определяется как для диффузионного процесса кинетическим уравнением аррениусовского типа, а доля мартенситного (А→М) – превращения зависят только от текущей температуры. В этом случае возможно

|  |  |
| --- | --- |
| = exp ( 1 - ) | (8) |

при t ≤ = 0

= (T)

где: , m, E – константы диффузионного структурного перехода П → А;

- время, соответствующее началу аустенитного превращения, т.е. Т = .

Решение уравнения (8) для объемной доли превращенного аустенита можно записать:

(9)

Таким образом, для текущего момента времени в ходе импульса нагружения принимали

= 1 -

= ( 1 - )  
 = ,

где: , , – соответственно относительные доли фаз: мартенсита (М), аустенита (А), перлита (П) в единице объема.

На рисунке 1 в, г показаны расчетные данные по кинетике аустенитного и мартенситного переходов, соответствующих температурным градиентам (рисунок 1 а, б). При этом кинетические характеристики структурных составляющих взяты из работы [6].

Для учета взаимосвязи напряженно-деформированного состояния с текущим тепловым и структурным состоянием допускали зависимость удельного объема и механических свойств стали (К, G,,) в соответствии с формулами:

V = V ( T, η ) = (T) + ( Т) + (10)

К = К ( T, η ) = (T) + ( Т) + (11)

и т.д.

Полученные результаты подтверждают мнение о том, что при импульсном термомеханическом нагружении деформирование поверхностных слоев стали имеет циклический характер, следствием которого является развитие сетки усталостных трещин. Однако структурные превращения значительно усложняют картину деформирования по сравнению с чисто температурным. Пластические свойства меняющейся в ходе нагружения структуры стали во многом определяют работоспособность ее поверхностного слоя.

Таким образом, в работе показано изменение характера деформирования поверхностного слоя при учете структурных превращений стали 38ХН3МФА при термомеханическом нагружении при трении, на основании которого построена математическая модель взаимосвязи структурных превращений в стали и напряжений при импульсе нагружения.

**Литература**

1. Горицкий, В. М. Структура и усталостное разрушение металлов [Текст] / В. М. Горицкий, В. Ф. Терентьев. – М. : Металлургия, 1980. – 208 с.
2. Любарский, И. М. Металлофизика трения [Текст] / И. М. Любарский, Л. С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976. – 176 с.
3. Ильюшин, А. А.Упругопластические деформации полых цилиндров [Текст] / А. А. Ильюшин, П. М. Огибалов. – М. : Изд. МГУ, 1960. – 225 с.
4. Лыков, А. В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. – М. : Машиностроение, 1960. – 600 с.
5. Захаренков, В. Ф. Исследование температурных полей в конструкционных сталях с учетом структурно-фазовых превращений [Текст] / В. Ф. Захаренков. – Инж.-физ.ж., 1980, т. XXXVIII. № 5, – 894 с.
6. Дьяков, В. С. Структурные превращения и напряженное состояние в поверхностном слое конструкционной стали при импульсном термомеханическом нагружении [Текст] / В. С. Дьяков, Н. Н. Банина. – М. : Металлы, № 6, 1983, c. 123–129.