

показателю. При увеличении Δ_c до 50 мкм возможна обработка только по IT9 с допуском 115 мкм.

Коррекция величины смещения Y на величину 17 мкм позволяет вести обработку с допуском 72 мкм (IT8) на длине перемещения 180-250 мм.

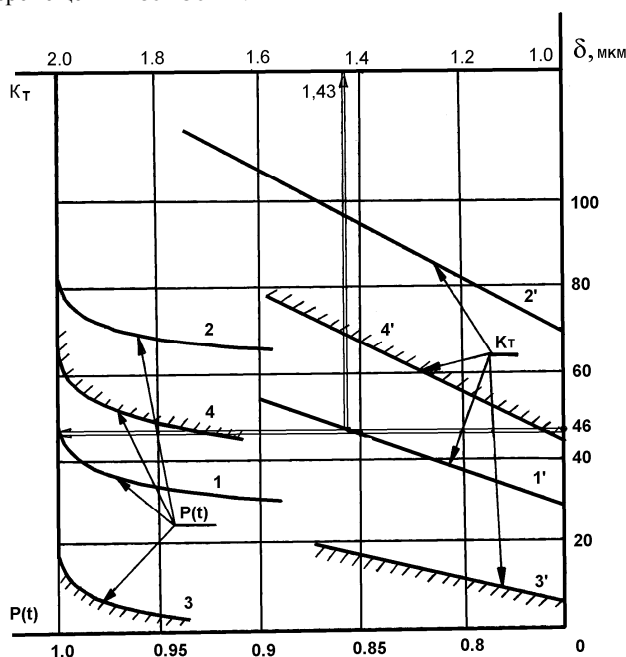


Рисунок 4. Область существования показателей технологической надежности $P(t)$, K_T многоцелевого станка с ЧПУ мод. MC12-250

На рисунке 4 показаны области существования значений K_T и $P(t)$ для рассматриваемого станка. Кривая 1 и прямая 1' характеризуют начальное состояние станка и изменение пока-

зателей $P(t)$ и K_T в зависимости от назначаемого допуска на рассматриваемый размер.

Характер изменения $P(t)$ и K_T в конце межладочного периода представлен кривой 2 прямой 2'.

Линии 3 и 3' дают нижнюю границу изменения показателей $P(t)$ и K_T при условии полной компенсации случайных составляющих погрешностей, т.е. $K_2=0$ при $0 \leq K_3 \leq 1$. Наконец, линии 4 и 4' дают нижнюю границу изменения показателей $P(t)$ и K_T в зависимости от назначаемого допуска при компенсации систематических составляющих погрешностей до уровня $l_0 = l_1$, то есть когда $K_2 = K_3$.

Таким образом, используя данные графики, а также исходя из известных и прогнозируемых погрешностей, формирующих выходной параметр, можно судить о технологических возможностях МС и назначать точность обработки. Возможно также решение обратной задачи. В соответствии с требуемым уровнем технологической надежности выбирать экономически целесообразные значения выходных параметров точности МС с ЧПУ, а также методы рациональной их эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проников А.С. Программный метод испытания металло-режущих станков. - М.: Машиностроение, 1985.-288с.
2. Точность и надежность станков с числовым программным управлением / Под. ред. А.С. Проникова- М.: Машиностроение, 1982.-256с.
3. Григорьев В.Ф., Горбунов В.П. Измерение точности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ. Методические указания к лабораторной работе. - Брест, БПИ, 2000.-18с.
4. Горбунов В.П., Григорьев В.Ф. Исследование влияния теплового режима на точность многоцелевого станка с ЧПУ. - Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике/ Труды X научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Ч1. - Брест, БПИ, 1998.- с.12-17.

УДК 699.539.43

Трусь А. М., Александров Ю. А.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Считается что более 80% отказов машин, механизмов и технических устройств связано с усталостью материалов [1].

Первоначально, после открытия явления усталости, его связывали со структурными изменениями материала в результате циклических нагрузок [2].

В настоящее время первоначальная точка зрения отвергнута. Считается, что усталость является результатом накопления местных повреждений на дефектах структуры. Сначала они носят характер местных микросдвигов постепенно интегрирующихся в объёмное напряжённое состояние хрупкого разрушения, независимо от пластичности материала [3].

Последняя точка зрения неубедительна, т. к. при накоплении повреждений должна снижаться статическая прочность материала, а она фактически сохраняется неизменной, как до усталостного испытания, так и после него. Усталостные повреждения статическими испытаниями на прочность не обнаруживаются, что порочит существующую теорию [4].

Широко известные работы Гриффитса и Ирвина по энерге-

тическому исследованию несоответствия теоретической и фактической прочности хрупких материалов привели к выводу о их поражении дефектами структуры [4]. Предположение, что усталость является результатом расширения этих дефектов, за счёт концентрации напряжений, не отвечает на вопрос за счёт какой энергии совершается работа хрупкого разрушения пластичного материала [5]?

Целью настоящей работы является выяснение этого вопроса

Воспользуемся графиком статической и циклической прочности 12-ти стальных образцов, которые испытывались попарно при растяжении и сжатии циклически, а после усталости одного, второй подвергался статическому разрушению, как показано схематически на рисунке 1 кривыми 1 и 2.

Соотношение между циклическим и статическим пределом прочности n выразим:

$$\frac{\sigma - 1}{\sigma u} = n \quad (1)$$

Трусь Александр Михайлович. К.т.н., профессор каф. СМиТМ Брестского государственного технического университета.
Александров Юрий Александрович. Аспирант каф. СМиТМ, старший преподаватель каф. МиМ Брестского государственного технического университета.

БГТУ, Беларусь, г. Брест, ул. Московская 267.

Этот коэффициент снижения циклической прочности относительно статической для стальных образцов при растяжении и сжатии изменяется в пределах [3]: $0.28 \leq n \leq 1$ (2).

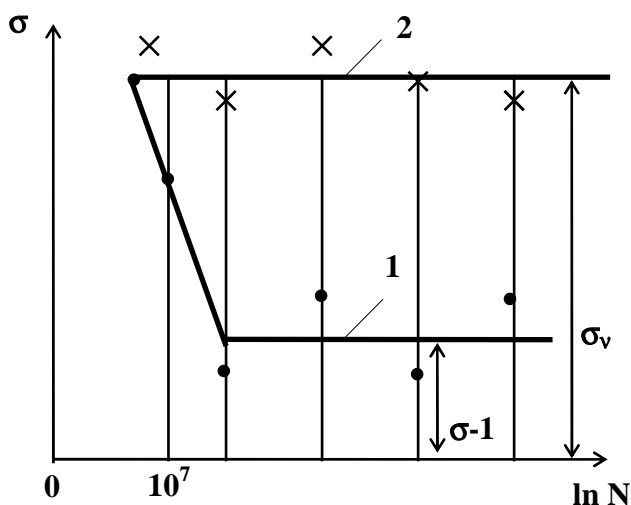


Рисунок 1. Кривые прочности:
1 - циклической;
2 - статической.

Аномальное снижение циклической прочности (предела выносливости) при симметричном цикле подтвердилось нашими опытами, но оно трудно объяснимо, особенно если учесть, что статический предел прочности материала остается неизменным, а усталостное разрушение аномально и носит хрупкий характер.

Рассмотрим усталостное разрушение с позиции потенциальной энергии сопротивления материала внешним циклическим возмущениям. Удельная потенциальная энергия образца при простом растяжении и сжатии определяется

$$U = \frac{\sigma^2}{2E} \quad (3)$$

Выразим соотношение потенциальной энергии сопротивления циклическим нагрузкам U_c и статическим нагрузкам U_s через m :

$$m = \frac{U_c}{U_s} = \frac{\left(\frac{0.28\sigma_u}{2E}\right)^2}{\left(\frac{\sigma_u}{2E}\right)^2} = 0.0784 \quad (4)$$

Для кривой 2 (рисунок1) коэффициент m определяется в области: $0.0784 \leq m \leq 1$ (5)

При симметричном цикле нагружения снижение потенциальной энергии сопротивления циклическим возмущениям составляет более 92%, по сравнению со статической потенциальной энергией сопротивления.

Под внутренней потенциальной энергией сопротивления подразумевается энергия межчастичных связей в материале, обеспечивающих статическую и циклическую прочность.

Постепенное уменьшение коэффициента m от единицы до столь малого значения, которое стабилизируется только после базового количества циклов $N=10^7$, относительно статической прочности, указывает на фундаментальные изменения физико-механических свойств материала, которые невозможно убедительно объяснить господствующими в науке предпо-

ложениями о накоплении повреждений на дефектах структуры, которых не обнаруживают статические испытания.

В чём же заключается природа такого катастрофического снижения потенциальной энергии сопротивления циклическим нагрузкам, при неизменности статической прочности?

Исследования, проведённые авторами, показали, что при симметричных циклических нагрузках расширяется область упругого гистерезиса, схематически показанного на рисунке 2.

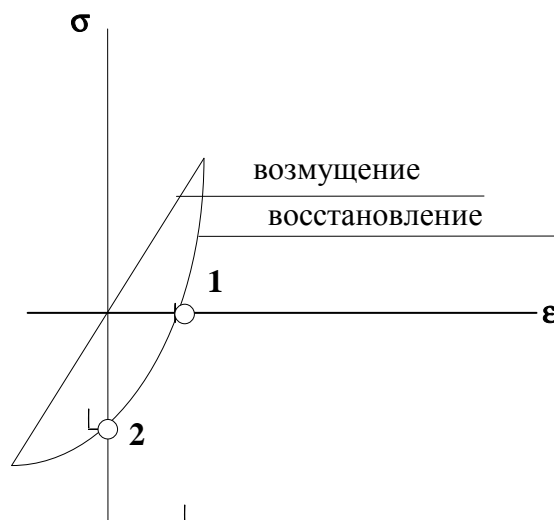


Рисунок 2. График упругого гистерезиса

При возмущении гистерезис не играет существенной роли на физико-механические свойства материала, а при восстановлении в точке (1) $\sigma = 0$, а $\epsilon \neq 0$. Следовательно, в этой точке, согласно закону Гука E будет стремиться к нулю, т. к. $\epsilon \neq 0$

$$E\epsilon = 0 \quad (6)$$

В точке (2), наоборот $\sigma \neq 0$, а $\epsilon = 0$. и модуль Юнга будет уже стремиться в бесконечность. Таким образом, на элементарно малом перемещении в напряжённой точке тела упругость может изменяться от нуля до бесконечности в процессе элементарно малой деформации восстановления, а раз так, то в этой точке большая часть упругой энергии необратимо тратится на совершение работы разрушения в фазе восстановления. Нами получена зависимость для вычисления этой работы циклического разрушения относительно потенциальной энергии статического сопротивления $U[\sigma]$

$$a = U \left(1 - \frac{E_p}{E_c}\right) = U \left(1 - \frac{0}{\infty}\right) = U \quad (7)$$

□□□□□Здесь вся энергия возмущения тратится на работу разрушения, подтверждая (4) и (5).

Статическая прочность материала, при этом, остаётся неизменной, т.к. средний модуль упругости материала остаётся неизменным.

На расширение области упругого гистерезиса при восстановлении существенное влияние оказывают дефекты структуры, концентрация напряжений, сдвиговые деформации, миграция границ зёрен и блоков структуры, термодинамические процессы, старение структуры и т.д. и т.п.

При знакопостоянных циклах возмущения область упругого гистерезиса уменьшается в зависимости от величины среднего напряжения цикла, а, следовательно, предел выносливости увеличивается. Для оценки работы усталостного разрушения, а здесь лучше учитывать различие жёсткости зёрен

и блоков структуры при противоположных знаках деформации возмущения и восстановления. Её величина относительно потенциальной энергии прямой деформации U определится:

$$a = U \left(1 - \frac{K_p}{K_c} \right) \quad (8)$$

Где K_p, K_c — жёсткость элементов структуры при растяжении и сжатии соответственно.

Потенциальная энергия сопротивления циклическим нагрузкам U расходуется на работу усталостного разрушения только в фазе восстановления. Она при больших скоростях восстановления, преобразуется со скоростью распространения упругих волн из потенциальной в кинетическую, вызывая динамические эффекты межчастичного самоудара в структуре тел. Этим и объясняются сдвиговые микро и макроразрушения, а так же их хрупкий характер, практически не оказывающий влияния на статическую прочность.

ВЫВОДЫ

1. Усталостное разрушение, с энергетической точки зрения, является процессом расширения области петли упругого гистерезиса и изменения жёсткости структурных составляющих при противоположных деформациях, в результате дефектов структуры за счёт концентрации напряжений, образования сдвиговых площадок, миграции границ зёрен и дислокаций, старения материала и т.д. Этим подтверждается правомерность первоначальной и современной точек зрения на природу усталости.

УДК 539.3

Хвиевич В.М., Мазырка М.В.

ПРИВЕДЕНИЕ ПЛОСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОУПРУГОСТИ В МНОГОСВЯЗНОЙ ОБЛАСТИ И ИНТЕГРАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА

На практике элементы сооружений, механизмов и машин часто подвергаются воздействию стационарных температурных полей, механических усилий. При этом геометрия области рассматриваемых элементов является весьма сложной - кусочно-гладкой, многосвязной и т.д.

Современный уровень техники выдвигает перед инженерами, исследователями требования по созданию эффективных методов расчета позволяющих снизить материалоемкость элементов при их достаточной прочности и надежности. Основная цель таких методов - исследовать напряженно-деформированное состояние рассматриваемых тел, а также распределение полей температур. Для этого необходимо поставить и решить краевые задачи теплопроводности, механики деформированного твердого тела и в частности теории упругости, термоупругости. Во многих случаях решение получается с достаточной степенью точности если ограничиться рассмотрением плоской области D исследуемого тела.

Согласно [1] постановка плоской краевой задачи статической термоупругости в перемещениях u_i для изотропного однородного тела заключается в решении дифференциальных уравнений равновесия

2. Петля упругого гистерезиса и неравенство противоположных жесткостей при восстановлении, образуют энергетический барьер, на преодоление которого и затрачивается внутренняя потенциальная энергия сопротивления, снижающая тем самым выносливость материала до anomalно низкого уровня, вызывая микро и макроповреждения структуры, на этих барьерах.
3. Петля упругого гистерезиса не влияет на статическую прочность материала.
4. Хрупкий характер усталого разрушения обусловлен большими скоростями восстановления и предельной плотностью энергии на плоскостях скольжения, исключая возникновение макропластических деформаций в пластичных стальных образцах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Искрицкий Д. Е. "Усталость металлов в конструкциях", Москва, 1980г., с. 5-80.
2. Смирнов А. Ф. "Сопротивление материалов", Москва, 1975г., с.444-454.
3. Гастеев В. А. "Краткий курс сопротивления материалов" Москва, 1977г., с.440-446.
4. Горицкий В. М. и др. "Структура и усталостное разрушение металлов", Москва, 1980г., с. 117-130.
5. Финкель Б. М. "Физика разрушения", Москва, 1970г., с. 16-70.
6. Трус А. М. "Теоретические и инженерные основы упругих энергопереходов. Сборник научных статей", Брест, 1994г. с. 103-111.

$$\Delta u_i + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\theta}{x_i} = \frac{2(1+\nu)}{1-2\nu} \alpha \frac{T}{x_i}, \quad (1)$$

при граничных условиях на контуре L области D

$$\left[\frac{1}{2} \left(\frac{u_i}{x_j} + \frac{u_j}{x_i} \right) + \frac{\nu}{1-2\nu} \theta \delta_{ij} \right] n_j = \frac{1+\nu}{E} q_i(x_L) + \frac{1+\nu}{1-2\nu} \alpha T \cdot n_i, \quad (2)$$

где $\theta = \frac{u_k}{x_k}$, ν — коэффициент Пуассона, α — коэффициент

линейного расширения, n_j — вектор внешней нормали к контуру L тела, $q_i(x_L)$ — вектор поверхностных тел.

Аналитическое решение уравнения (1) для любой геометрии области чрезвычайно сложно. Поэтому в настоящее время применяются численные методы решения краевых задач, наиболее распространенными из которых являются метод конечных элементов и метод потенциала (последний обладает некоторыми преимуществами).

Хвиевич Виталий Михайлович. Зав. каф. СМиТМ Брестского государственного технического университета.

Мазырка Михаил Владимирович. Аспирант каф. СМиТМ Брестского государственного технического университета. БГТУ, Беларусь, г. Брест, ул. Московская 267.