Общероссийский математический портал

Е. А. Просвиркина, М. Н. Саушкин, Исследование влияние циклической компоненты нагружения на процесс релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое цилиндрического образца в условиях ползучести, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2006, выпуск 42, 191–193

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu434>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.224.135.184

26 апреля 2023 г., 16:31:46

Механика деформируемого твердого тела

УДК 539.376

Е. А. Просвиркина, М. Н. Саушкин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЦЕСС РЕЛАКСАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННОМ СЛОЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

Решена модельная задача о влиянии циклической составляющей нагружения на процесс реологического деформирования цилиндрического образца и процесс релаксации остаточных напряжений в его поверхностно упрочнённом слое. Отмечено существенное влияние циклической составляющей на реологическое деформирование образца и релаксацию остаточных напряжений.

Известно, что основная роль в повышении усталостной долговечности деталей из высокопрочных материалов принадлежит остаточным сжимающим напряжениям, возникающим в поверхностных слоях деталей при упрочнении. Однако эти напряжения под воздействием эксплуатационных нагрузок релаксируют и тем интенсивнее, чем выше уровень внешнего нагружения. Это приводит к снижению, а при очень больших нагрузках и к полному исчезновению, эффекта упрочнения деталей.

В настоящей работе предложен метод расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое цилиндрического образца из сплава ЭИ698 при совместном действии осевых статических и циклических компонент напряжений. Данный метод базируется на основных идеях, изложенных в работах [1, 2], суть которых заключается в следующем. Предполагается, что поверхностный слой достаточно тонкий и не влияет на жёсткость всей конструкции; таким образом, упрочнённый слой играет роль тонкой «пленки», наклеенной на поверхность элемента конструкции и деформирующейся вместе с ним под действием внешних нагрузок. В силу этой гипотезы основная задача разбивается на три самостоятельные: 1) восстановление начального напряжённо деформированного состояния в поверхностно упрочнённом слое по одной из экспериментально замеренной компоненте тензора остаточных напряжений по толщине слоя; 2) расчёт напряжённо деформированного состояния всей конструкции при ползучести без учёта упрочнённого слоя; 3) расчёт кинетики остаточных напряжений в поверхностном слое в режиме «жёсткого» нагружения (при заданных значениях компонент тензора деформаций на поверхности элемента конструкции, которые определяются из решения второй краевой задачи).

Первая задача решалась на основании уравнений равновесия, совместности деформаций и гипотезы пластической несжимаемости. Методика восстановления остаточного напряжённо-деформированного состояния для цилиндрического образца по окружной компоненте $\sigma_{\theta}^{\text{res}}$ тензора остаточных напряжений подробно описана в работах [1, 2].

Для решения второй задачи использовались соотношения неполной обратимости деформации ползучести [1], при этом поверхностный слой считался отсутствующим. Материал образца — ЭИ 698 при $T = 700^\circ\text{C}$. Напряжения, прикладываемые к торцам образца, изменялись по следующему закону:

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_A \sin \omega t,$$

где σ_0 — постоянная составляющая; $\sigma_A \sin \omega t$ — циклическая составляющая нагрузки; σ_A — амплитуда синусоидального цикла; время t измеряется в часах. Расчёт проводился в пределах первых двух стадий для следующего уровня нагрузок: $\sigma_0 = 350$ МПа, $\sigma_A = \{25, 35, 50\}$ МПа, и с учётом третьей стадии — при нагрузках $\sigma_0 = 450$ МПа, $\sigma_A = \{30, 45, 60\}$ МПа; пластические деформации в расчёте не учитывались. Величина ω полагалась следующей: $\omega = 2$. На рис. 1, 2 представлены кривые ползучести для активной компоненты деформации $\varepsilon_z(t)$, рассчитанные при первом и втором режимах нагружения соответственно. Поперечные деформации цилиндрического образца $\varepsilon_r(t)$, $\varepsilon_{\theta}(t)$ являются пассивными и находятся за счёт Пуассоновского сужения материала. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что нагрузка с циклической компонентой существенно влияет на деформирование и разрушение цилиндрического образца: увеличивается скорость, с которой протекает установившаяся пол-

зучесть, и эта скорость тем выше, чем выше значение σ_A ; циклическая компонента интенсифицирует начало третьей стадии ползучести и приводит к более быстрому разрушению образца.

По приведенным деформациям цилиндрического образца (рис. 2) в режиме «жесткого» нагружения был просчитан процесс кинетики остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое образца. В качестве примера, на рис. 3 приведены результаты расчёта кинетики осевой σ_z^{res} компоненты тензора остаточных напряжений на поверхности образца (упрочнённого слоя).

Р и с. 1. Кривые ползучести $\varepsilon_z(t)$ в пределах первых двух стадий для цилиндрического образца из материала ЭИ 698 при $T = 700$ °C: 1 — $\sigma_0 = 350$, $\sigma_A = 0$ МПа; 2 — $\sigma_0 = 350$, $\sigma_A = 25$ МПа; 3 — $\sigma_0 = 350$, $\sigma_A = 35$ МПа; 4 — $\sigma_0 = 350$, $\sigma_A = 50$ МПа

Р и с. 2. Кривые ползучести $\varepsilon_z(t)$ с учётом третьей стадии для цилиндрического образца из материала ЭИ 698 при $T = 700$ °C: 1 — $\sigma_0 = 450$, $\sigma_A = 0$ МПа; 2 — $\sigma_0 = 450$, $\sigma_A = 30$ МПа; 3 — $\sigma_0 = 450$, $\sigma_A = 45$ МПа; 4 — $\sigma_0 = 450$, $\sigma_A = 60$ МПа

Р и с. 3. Кривые релаксации осевой компоненты напряжений $\sigma_z^{\text{res}}(t)$ на поверхности упрочнённого слоя цилиндрического образца из материала ЭИ 698 при $T = 700$ °C при растягивающей нагрузке с циклической компонентой: 1 — $\sigma_0 = 450$, $\sigma_A = 0$ МПа; 2 — $\sigma_0 = 450$, $\sigma_A = 30$ МПа; 3 — $\sigma_0 = 450$, $\sigma_A = 45$ МПа; 4 — $\sigma_0 = 450$, $\sigma_A = 60$ МПа

Анализ результатов расчёта позволяет говорить о том, что циклическая компонента существенно влияет на процесс релаксации остаточных напряжений: происходит ускорение этого процесса; из-за циклической составляющей происходит «флуктуация» упругих деформаций и напряжений в цилиндрическом образце, за счёт чего на фоне ползучести образца процесс релаксации становится «локально не монотонным» (см. рис. 3).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радченко В.П., Саушкин М.Н. Ползучесть и релаксация остаточных напряжений в упрочненных конструкциях. М.: Машиностроение-1, 2005. 226 с.
2. Радченко В.П., Саушкин М.Н. Математические модели восстановления и релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочненном слое цилиндрических элементов конструкций при ползучести // Изв. вузов. Машиностроение, 2004. № 11. С. 3–17.

Поступила 21.10.2005г.

УДК 621.74.045

И.Г. Сапченко, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, М.В. Штерн

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВКИ В ПОРИСТОЙ ОБОЛОЧКОВОЙ ФОРМЕ

В работе определяется актуальность обеспечения прочности оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям. Представлены: результаты численного исследования влияния пористости на напряженно-деформированное состояние оболочковой формы в процессе затвердевания металла в форме методом математического эксперимента; картина напряженно-деформируемого состояния оболочковой формы, которую можно использовать в экспериментальных исследованиях, направленных на снятие возникающих опасных напряжений и снижение тем самым процента брака отливок по вине оболочковых форм.

Проблема обеспечения прочности оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям является на сегодняшний день одной из самых основных и наиболее сложных. Трудность заключается в том, что для обеспечения необходимой прочности недостаточно увеличения толщины формы, так как в этом случае возникает значительный перепад температур по толщине оболочки, что в свою очередь приводит к растрескиванию последней. Возможно, решение этой проблемы состоит не только в подборе оптимальной толщины оболочки, но и в выборе ее структуры.

Известно, что пористая структура более устойчива к перепаду температур за счет наличия пустот, компенсирующих температурное расширение материала. В определенной степени, пористость положительно влияет на прочность материала. Таким образом, возникает необходимость исследования влияния пористости на технологические свойства формы. Наиболее полно описать картину данных явлений помогают методы численного моделирования.

Целью данной работы было численное исследование влияния пористости на напряженно-деформированное состояние оболочковой формы в процессе затвердевания металла в форме методом математического эксперимента. Для этого нужно установить наиболее оптимальную пористую структуру оболочковой формы. Определить, где именно должна располагаться пористость в оболочке для обеспечения наибольшей прочности и термостойкости. В данной работе моделировался процесс кристаллизации отливки, начиная с момента заливки формы металлом до момента затвердевания металла. Расчет производился с помощью численного бескоординатного метода расчета напряженно-деформированного состояния твердого тела, разработанного В.И. Одиноквым (Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН). Преимуществом этого метода для решения данной задачи является его невысокая чувствительность к выбору системы координат и возможность рассчитывать напряженное состояние оболочковой формы произвольной конфигурации.