

Л.И. Тушинский, Г.И. Теребило

Новосибирский Электротехнический институт

### РАЗВИТИЕ ТРЕЩИН В ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ С РАЗВИТОЙ СУБСТРУКТУРОЙ

**Резюме.** Исследовалось влияние высокотемпературной термомеханической обработки с изотермическим распадом деформированного аустенита (ВТМИЗО) и изотермической закалки на сопротивление стали содержащей 8,8% С распространению трещин при усталостной нагрузке. Было установлено, что применение ВТМИЗО увеличивает сопротивление стали распространению трещины в результате роста локальной пластичности в вершине трещины равно как и в итоге выступления в структуре дополнительных препятствий в виде границ бейнитных кристаллов и дислокационных субгранниц.

Применение высокотемпературной термомеханической обработки с изотермическим распадом деформированного аустенита в промежуточной области (ВТМИЗО) позволило существенно повысить уровень прочности в сравнении с обычной изотермической обработкой (ИЗО). Важное значение при оценке эффективности упрочняющей обработки приобретает изучение таких параметров конструктивной прочности, как живучесть материала, т.е. способность воспринимать нагрузки при наличии трещины.

Для усталостных испытаний применялись образцы размером  $3 \times 11 \times 90$  мм с концентратором напряжения, изготовленные из стали У8, обработанной способами ИЗО и ВТМИЗО. Испытания проводились на специально созданной установке при циклическом плоском изгибе с фиксированной величиной амплитуды деформации по схеме знакопостоянного цикла с частотой  $1420 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}}$ . Максимальное напряжение цикла в нетросечении составляло 600 МПа.

Для исследования процесса разрушения было разработано и применено устройство для регистрации и последующей автоматической записи длины усталостной трещины. Способ регистрации основан на измерении электросопротивления и связанного с ним падения напряжения в зоне концентратора при развитии трещины. Примененное устройство позволило фиксировать появление трещины длиной 0,03 мм.

Обработка с помощью тарировочного графика записанных на диаграммной ленте потенциометра кривых усталостного разрушения показала, что в стали, упрочненной способом ВТМИЗО, число циклов до появления трещины длиной 0,05 мм ( $N_T$ ) и до полного разрушения ( $N_K$ ) больше, чем после ИЗО. При одинаковой относительной живучести ( $\frac{N_K - N_T}{N_K}$ ) абсолютная живучесть ( $N_K = N_K - N_T$ ) в случае ВТМИЗО значительно выше. Анализ зависимости длины усталостной трещины

от числа циклов нагружения показал, что при любой длине трещины скорость распространения её в образцах, обработанных ВТМИЗО, меньше.

Повышение сопротивления распространению трещин в стали, упрочнённой ВТМИЗО, обусловлено теми структурными изменениями, которые произошли в нижнем бейните в результате пластической деформации аустенита. Как показано электронно-микроскопическими и рентгеноструктурными исследованиями к этим изменениям относится прежде всего, уменьшение содержания углерода в феррите бейнита, уменьшение ширины бейнитных пластин и дробление их на блоки, особенности в морфологии карбидных частиц.

Для выяснения влияния особенностей структуры нижнего бейнита на характер разрушения стали после ИЗО и ВТМИЗО проводилось электроннофрактографическое исследование поверхностей усталостного разрушения с помощью двухступенчатых реплик, снятых с участков излома, соответствующих разной длине трещины. Первый участок соответствовал начальной стадии роста трещины, второй – стадии её ускоренного роста, третий – стадии с установившейся скоростью роста. К особенностям микростроения изломов после ВТМИЗО относится наличие менее четких, чем при ИЗО и нерегулярно расположенных микрополос в первой зоне, наличие гребней, впадин и мелких вторичных трещин во второй зоне, ("чашечный") излом в третьей зоне.

Результаты структурных и фрактографических исследований совместно с данными по микропластической деформации позволяют предположить, что повышение после ВТМИЗО сопротивления стали распространению трещины связано как с увеличением локальной пластичности в вершине трещины, так и с наличием в структуре дополнительных препятствий в виде границ бейнитных кристаллов и дислокационных субграниц.

## ROZWÓJ PĘKNIĘC W STALI WYSOKOWYTRZYMAŁEJ O ROZWIŃCIEJ SUBSTRUKTURZE

### S t r e s z c z e n i e

Zbadano wpływ wysokotemperaturowej obróbki cieplno-mechanicznej z izotermicznym rozpadem austenitu odkształconego plastycznie oraz hartowania izotermicznego na skłonność stali zawierającej 0,8%С do rozprzestrzeniania się pęknięć w procesie zmęczenia. Stwierdzono, że zastosowanie izotermicznej obróbki cieplno-mechanicznej zwiększa odporność stali na rozprzestrzenianie się pęknięć zmęczeniowych wskutek lokalnego zwiększenia plastyczności w otoczeniu wierzchołka pęknięcia oraz wystąpienia w strukturze stali dodatkowych przeszkód w postaci granic kryształów bainitu i podgranic dyslokacyjnych.

## THE CRACKS GROWTH IN HIGH STRENGTH STEEL WITH DEVELOPED SUBSTRUCTURE

## S u m m a r y

The influence of high temperature thermo-mechanical treatment with isothermic decay of plastic deformed austenite and isothermal quenching on the 0.8% steel susceptibility to crack propagation in the fatigue process has been tested. It has been stated that using isothermal thermo-mechanical treatment, the fatigue crack propagation resistance of steel can be increased by local plasticity augmentation near the crack tip and by additional obstruction formation such as bainite crystal boundary and dislocation sub-boundary.