Применение магнитных методов для изучения процесса появления и роста усталостных трещин в изделиях из аустенитных сталей

Ригмант М.Б., Ничипурук А.П.

Нашими исследованиями установлено, что для метастабильных сталей и сплавов на Fe-Mn, Fe-Mn-Cr основе в процессе нагружения в области упругих и малых пластических деформаций наибольший прирост ферромагнитной фазы на стадии равномерной деформации происходит до степени относительного удлинения 15%, а затем интенсивность образования α´-фазы остается постоянной вплоть до момента образования трещины. В разгруженном состоянии содержание ферромагнитной фазы остается таким же, как и при действии максимальной нагрузки. При малоцикловом нагружении наблюдается опережающий рост α´-фазы в местах появления и дальнейшего развития усталостных трещин.

В процессе эксплуатации изделий из аустенитных материалов под влиянием внешних воздействий (температуры и напряжений) в этих сталях могут происходить фазовые превращения, приводящие к возникновению ферромагнитного α′ мартенсита в больших объемах. Появившаяся α′-фаза иногда существенно изменяет свойства стали, снижая ее эксплуатационные характеристики, что ограничивает область применения этих материалов. В отличие от системы Fe-Ni, для метастабильных сталей и сплавов на Fe-Mn, Fe-Mn-Cr основе изменение магнитной фазы в процессе нагружения в области упругих и малых пластических деформаций подробно не изучалось. Нами проведены исследования фазовых превращений в сталях и сплавах на Fe-Mn и Fe-Mn-Cr основе при непрерывном нагружении разрывных образцов как в области упругих и малых пластических деформаций, так и при больших степенях деформации вплоть до разрушения. В качестве объекта исследования были выбраны три состава деформационно метастабильных сталей с двухфазной (γ+ε) θ-аустенитной структурой. Вследствие различного содержание таких элементов как углерод, азот, кремний и хром, оказывающих значительное влияние на температуру точек $M_н$ и $M_д$, фазовый состав и деформационная стабильность сталей существенно различались. На основании проведенных исследований данных сталей установлено (*рис.1*), что образование первых порций α′ мартенсита деформации в количестве (0,5-2,5)% происходит в макроупругой области при напряжениях, близких к условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$. Установлено, что максимальная прочность реализуется в азотосодержащей стали, а более низкая пластичность – в двухфазной (γ+ε) стали. При этом общей особенностью изученных метастабильных сталей является способность к делокализации пластического течения, что проявляется в высокой степени равномерного удлинения образцов.

Переход от равномерной к сосредоточенной деформации для всех изученных сталей вызывает резкую активизацию образования

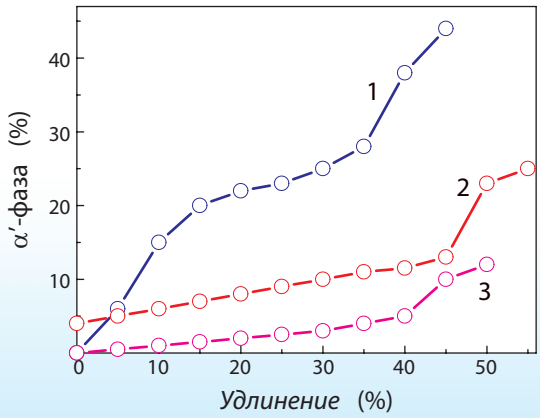

Рис. 1

Зависимость количества α′-фазы от степени пластической деформации:
1-сталь 05Г20С20, 2-сталь 03Г21Х13, 3-сталь 07Г21АХ13

ферромагнитной α′-фазы. Из представленного *рисунка 1* видно, что для всех исследуемых марок стали при некоторых степенях удлинения образцов наблюдается резкое увеличение содержания ферромагнитной фазы. Совместный анализ содержания магнитной фазы и истинной диаграммы растяжения, представленной на *рисунке 2*, показал, что существенный прирост α′-мартенсита наблюдается в области образования шейки, которая характеризуется высоким уровнем трехосных растягивающих напряжений и интенсивным развитием пластической деформации. Количество α′-фазы может служить надежным параметром неразрушающего контроля для оценки уровня действовавших напряжений. Более сложная картина наблюдается в случае циклического роста трещины в условиях малоциклового нагружения исследованных сталей. Совместное использование рентгеновского и магнитного метода определения содержания α′-фазы на поверхности усталостного излома во всем изученном участке роста трещины показало, что количество мартенсита деформации изменяется в пределах от 20 до 58% и зависит от достигнутого в вершине трещины размаха коэффициента интенсивности напряжений (ΔK). Расчеты, проведенные с использованием результатов механических испытаний, показали, что для циклических нагружений максимальная величина пластической деформации в вершине трещины при заданных условиях нагружения не превышала 0,5мм.

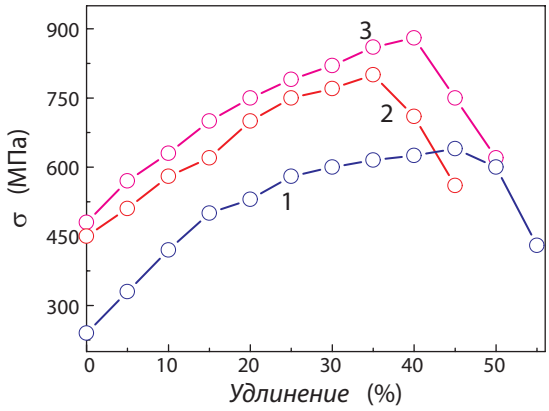

Рис. 2

Диаграмма растяжения:
1-сталь 05Г20С20, 2-сталь 03Г21Х13, 3-сталь 07Г21АХ13

Резкое повышение скорости роста трещины в области ΔK больше 45МПа·м^{0,5} сопровождается существенной активизацией образования ферромагнитной α′-фазы.

Использование магнитного метода позволило зафиксировать образование малого количества мартенсита деформации ((1,5–2)%) на боковой поверхности образца в пределах пластической зоны перед усталостной трещиной на начальной стадии ее роста в области ΔK=(15 - 20)МПа·м^{0,5}.

Проведенные исследования позволили создать методики и приборы для раннего диагностирования состояния предразрушения различных изделий и конструкций из аустенитных метастабильных сталей.

Представленный материал более под-робно отражен в публикациях [1-3].

[1] *Ригмант М.Б., Ничипурук А.П., Гладковский С.В., Миховски М, Алексиев А. Научни известия (Болгария), година XI , Брой 1 (69), 2004, с. 281-288.*
[2] *Ригмант М.Б. В сборн. «Фазовые и структурные превращения в сталях», Магнитогорск, 2006, с.205-211.*
[3] *Ригмант М.Б., Ничипурук А.П., Худяков Б.А. и др. В сборнике трудов XVII Российской НТК, Екатеринбург, 2006, с. 240*