

2. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи.– М.: Энергия, 1977.– 344 с.

3. *Пантейков С.П.* Математическая модель тепловой работы кольцевой фурмы в днище конвертера комбинированного дутья // Теория и практика кислородно-конвертерных процессов: Труды IX Международной научно-технической конференции.– Днепропетровск, 1998.– С. 59.

4. *Пантейков С.П.* Численные исследования температурных полей в кольцевой донной конвертерной фурме // Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах: Материалы VI международной научно-технической конференции.– Мариуполь, 2000.– С.126.

УДК 621.771:621.785:539.3

О.Н. Перков¹, И.А. Вакуленко², В.М. Кузьмичев¹

¹Институт черной металлургии НАНУ, г. Днепропетровск;

²Днепропетровский национальный университет ж/д транспорта, г. Днепропетровск

О ПОВЫШЕНИИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРОКАТА

На основе исследования структурных изменений и деформационного упрочнения углеродистых сталей при реверсивном нагружении разработаны предложения по повышению сопротивления росту трещин в прокате.

При термическом упрочнении за счет протекания процессов фазовых превращений (изменение удельного объема) совместно с неоднородностью распределения скорости охлаждения по элементам изделия происходит коробление металла, которое устраняется операцией правки, представляющей собой знакопеременный изгиб. При этом характеристики деформационного упрочнения стали повышаются [1].

Целью работы явилась оценка влияния знакопеременного деформирования изгибом на процессы зарождения и роста трещины в термоупрочненном низкоуглеродистом прокате.

Материалом для исследования служил угловой прокат размером 100x100x10 мм из стали марки СтЗпс производства Западно-Сибирского металлургического комбината. Термическое упрочнение осуществлялось в линии стана 450 путем ускоренного охлаждения от температуры окончания прокатки до среднемассовой (по сечению изделия) 650°С. Свойства металла определяли из анализа диаграмм растяже-

ния при температуре испытания +20°C и скорости деформирования 10^{-3} с^{-1} . Энергии зарождения и роста трещины определялись анализом диаграмм разрушения образцов при испытаниях на ударный изгиб. Температура испытания составляла от +20 до -100°C.

Условие распространения трещины в хрупком материале при преодолении межзеренной границы в общем виде может быть записано [2]:

$$\sigma_{\dot{\sigma}} \cdot k_y \cdot d^{\frac{1}{2}} \geq 2 \cdot \mu \cdot \beta \cdot \gamma, \quad (1)$$

где $\sigma_{\dot{\sigma}}$ - предел текучести; k_y - угловой коэффициент соотношения Холла-Петча; d - размер зерна; μ - модуль сдвига; β - коэффициент (для многих металлов и углеродистых сталей составляет $\frac{1}{3}$ [2]); γ - эффективная поверхностная энергия. Однако с учетом того, что в устье трещины металл подвергается определенной пластической деформации, величина критического раскрытия трещины ($\delta_{\dot{\sigma}}$) является той характеристикой, которая позволит объяснить поведение металла в зависимости от условий нагружения и его структурного состояния. В результате замены величины смещения при описании процесса скольжения [2] на раскрытие трещины получено соотношение, позволяющее оценить $\delta_{\dot{\sigma}}$:

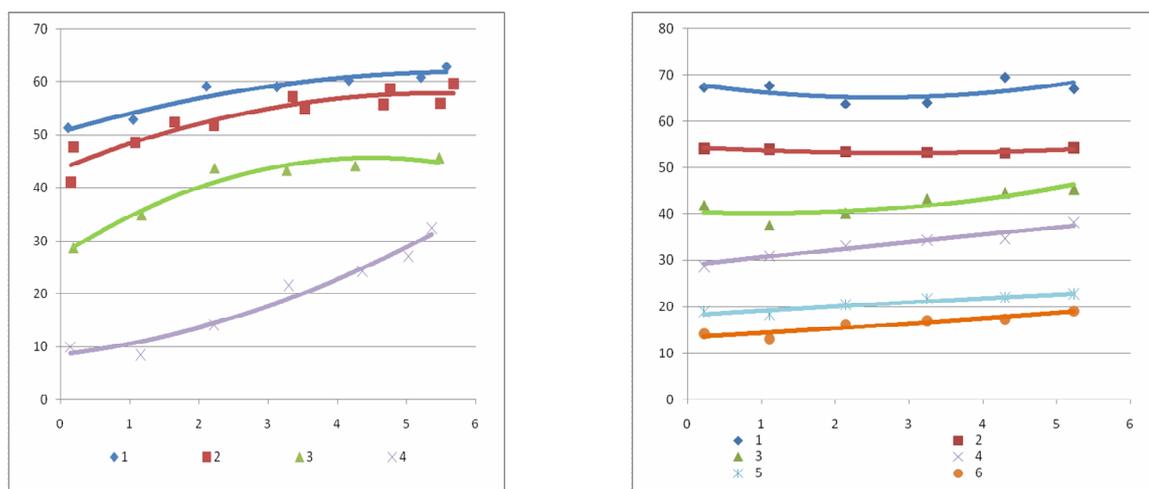
$$\delta_{\dot{\sigma}} = \frac{\pi \cdot \dot{a} \cdot \sigma_{\dot{a}}^2}{A \cdot \sigma_{\dot{\sigma}}} \quad (2)$$

где a - длина трещины; $\sigma_{\dot{\sigma}}$ - напряжение разрушения; E - модуль Юнга. Для низкоуглеродистых сталей $\dot{a} \cong d$ [2]. Как следует из анализа зависимости (2), величина критического раскрытия трещины связана не только с размером зерна феррита, а и с соотношением между $\sigma_{\dot{\sigma}}$ и $\sigma_{\dot{a}}$. Так, если рассматривать коэффициент деформационного упрочнения (n), входящий в уравнение кривой растяжения ($\sigma = k \cdot \varepsilon^n$, где σ - и ε - соответственно истинные напряжение и деформация) в качестве характеристики, оценивающей способность металла к деформационному упрочнению [1], существование взаимосвязи $n - \frac{\sigma_{\dot{\sigma}}}{\sigma}$ позволило бы учесть развитие процессов деформационного упрочнения при зарождении и росте трещины. В результате формального нанесения парных значений n против $\frac{\sigma_{\dot{\sigma}}}{\sigma}$ для углеродистых

сталей с различными морфологией и дисперсностью второй фазы обнаружена обратно пропорциональная зависимость.

Учитывая, что процесс правки проката представляет собой знакопеременный изгиб изделия, повторение цикла сопровождается не только изменением знака деформации, но и неизбежным смещением нейтральной линии. При этом смена полей внутренних напряжений независимо от структурного состояния стали, количества и морфологии карбидной фазы приводит к уменьшению общей плотности дефектов, кристаллического строения, что способствует приросту параметров деформационного упрочнения при последующем нагружении [3]. Учитывая, что общая энергия, затраченная на распространение трещины может быть разделена на энергию зарождения (KU_3) и роста (KU_p), становится возможным оценить раздельное влияние последовательно протекающих процессов формирования трещины на охрупчивание термоупрочненного проката. При неизменном давлении на правящие ролики увеличение количества проходов (m) термически упрочненного проката через роликотправильный агрегат независимо от температуры испытания сопровождается приростом энергии зарождения трещины, при практически неизменной энергии ее распространения (рисунок).

По мере снижения температуры испытания величина прироста KU_3 с ростом количества проходов при правке повышается и достигает при температуре -100°C по сравнению с комнатной превышения примерно в два раза.



Влияние количества проходов металла (m) через агрегат правки и температуры испытания ($+20$ - (1); -20 - (2); -40 - (3); -60 - (4); -80 - (5); -100°C - (6)) на KU_3 , (а) и KU_p , (б)

Из приведенной зависимости следует, что основное влияние на температуру перехода в хрупкое состояние с изменением m вносится процессами зарождения трещины и в меньшей мере - ее роста.

Дополнительное подтверждение приведенным положениям следует из полученных экспериментальных данных при изменении энергосилового режима правки. Повышение давления на правящие ролики на 50% не привело к качественным изменениям в зависимости $KU_3 - m$.

Таким образом, независимо от режима правки увеличение количества проходов металла через правильный агрегат приводит к повышению общей затраченной энергии на его разрушение. Раздельный анализ процессов зарождения и роста трещины показал, что основной вклад в повышение хладностойкости металла обеспечивается за счет прироста энергии зарождения трещины, которая связана со способностью металла к деформационному упрочнению.

Список литературы

1. Черненко В.Т., Вакуленко И.А., Друзин В.И. Влияние правки на свойства термоупрочненной в потоке стана угловой стали СтЗпс // *Металлургическая и горно-рудная промышленность*. 1985, № 1, с. 36-37.

2. Cottrell A.H. Theory of brittle fracture in steel and similar metals // *Trans. Met. Soc. AIME*. 1958. v. 212, p. 192-209.

3. Пирогов В.А., Вакуленко И.А., Бабич В.К. Влияние содержания углерода и температуры деформирования на свойства стали при реверсивном нагружении // *МіТОМ*. 1987. № 7, с.17-19.

УДК 669.331/.334

С.М. Підгорний, Ю.О. Бубликов, Г.В. Трегубенко

Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕРОБКИ МІДНИХ ЦИНКВМІЩУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Головне вживання міді обумовлене її високою електропровідністю. Тому більша частина міді, що виробляється, використовується у вигляді чистого металу в електротехніці та електроніці для виготовлення різних струмопровідних елементів.

За рахунок вторинної сировини покривається більша половини потреб України в міді та її сплавах. Для виробництва вторинної міді використовують найбільш низь-