

## ЛИТЕРАТУРА

1. Механизация защиты почв от водной эрозии в нечернозёмной полосе. Под редакцией д.т.н., профессора А.Т. Вагина. – Л.: «Колос». – 1977. – С.278.
2. Зеленин А.Н. и др. Машины для земляных работ. // А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керров. – М.: «Машстрой». – 1975. – С.422.
3. В.П. Горячкин. Собрание сочинений. Под редакцией д.с.-х.н., профессора Н.Д. Лучинского. – Т. 2, изд. 2. – М.: «Колос». – 1968. – С.456.
4. Мороз Л.С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. // Л.С. Мороз. – Л.: «Машстрой». – 1984. – С.224.

**УДК 629.12.011.-192**

**Хмелев А.А., Реут Л.Е., Сидоров В.А.**

### **ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЛОКАЛЬНО ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЗОН КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Разработан неразрушающий метод оценки трещиностойкости пластически деформированных зон конструкций путем измерения их максимальной твердости и сопоставления результатов измерения с твердостью стали в состоянии поставки и на поверхности разрушения.*

Возникновение локальных пластически деформированных зон в инженерных конструкциях связано с целым рядом причин и может быть вызвано как технологическими методами предварительной обработки металлов, такими, как холодная гибка и сварка, так и условиями работы конструкции в процессе ее функционирования. Зарождение очагов таких областей возможно еще на стадии изготовления и сборки конструкции, а дальнейшая ее эксплуатация может привести к увеличению их размеров, разрастанию зон пластического повреждения и, как следствие, к опасности разрушения. Исследования показывают, что уровень пластической деформации металла  $\epsilon_{np}$  в локально деформированных зонах часто достигает предельных для материала значений и приводит к образованию внутренних, не выходящих на поверхность, трещин, которые ослабляют элемент изнутри и являются потенциально опасными при дальнейшей эксплуатации конструкции. Каковы бы ни были причины возникновения этих зон, они обладают повышенной опасностью трещинообразования, а значит, требуют к себе особого внимания и необходимости постоянного контроля за текущим состоянием объекта.

Результаты исследования локально деформированных зон в конструкциях грузоподъемных сооружений, подкрановых балок, трубопроводов и сосудов высокого давления показывают, что в областях, подверженных локальному пластическому повреждению, твердость материала значительно выше твердости исходного металла и трещины в указанных зонах возникают и распространяются именно по точкам, имеющим максимальную твердость. Обнаружение таких точек позволяет установить потенциальные области образования трещин и это открывает возможность нового способа диагностирования, основанного на измерении твердости исследуемых зон и позволяющего осуществлять контроль качества и состояния объекта. При этом, техническая реализация способа крайне проста и доступна. Учитывая, что в локально деформированных зонах изменение твердости имеет пиковый характер с шириной пика порядка 1–2 мм, для указанных исследований – и текущих, и аварийных – удобным является применение портативных приборов ТПЦ–4, которые способны производить замеры твердости между точками именно на таких малых расстояниях.

Обоснованность диагностики состояния объекта и оценка уровня пластического повреждения отдельных локальных зон путем измерения их твердости подтверждается известными исследованиями стали на растяжение, которые показывают, что твердость стали при ее деформировании растет, начиная от исходного значения  $HB_0$  в состоянии поставки и достигая максимальной величины  $HB_{\max}$  на поверхности разрушения, изменяясь согласно формуле [1]:

$$HB_{\max} = HB_0 e^{\psi} \quad (1)$$

где  $\psi$  – относительное сужение.

Простота предложенного способа диагностирования через измерение твердости заключается также в том, что для объективной оценки состояния локально деформированной зоны в качестве исходных данных достаточно знать значения сертификатных механических характеристик стали в состоянии поставки, а именно

$\sigma_B$  – предел прочности материала (временное сопротивление),  $\varepsilon$  – относительное остаточное удлинение и относительное сужение  $\psi$ .

Исходное значение твердости  $HB_0$  можно определить либо путем ее измерения, либо на основании указанных сертификатных данных по следующей формуле:

$$HB_0 = \frac{\sigma_B}{C} \quad (2)$$

где  $C$  – соотношение между твердостью по Бринеллю и пределом прочности стали, установленное по ГОСТ 22761–77.

В случае, если значение относительного сужения  $\psi$  в сертификатных данных отсутствует, его значение можно определить через глубину  $h_0$  и диаметр  $d_0$  отпечатка и соответствующее значение твердости стали в состоянии поставки по формулам:

$$h_0 = \frac{F}{\pi D H B_0} \quad (3)$$

$$d_0 = 2\sqrt{h_0(D - h_0)} \quad (4)$$

где  $F=30kH$ – нагрузка на пресс Бринелля при измерении твердости шариком диаметром  $D=10$ мм.

Далее определяют минимальный диаметр отпечатка  $d_{\min}$ , соответствующий твердости на поверхности разрушения образца и значение этой твердости  $HB_{\max}$ :

$$d_{\min} = \frac{d_0}{e^{\psi}} \quad (5)$$

$$HB_{\max} = \frac{2F}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d_{\min}^2} \right)} \quad (6)$$

Тогда значение относительного сужения  $\psi$  на основании формулы (1) и значений, полученных по формулам (2) и (6), определяется как

$$\psi = \ln \frac{HB_{\max}}{HB_0} \quad (7)$$

В результате расчета получаем шкалу изменения твердости стали от состояния поставки до состояния разрушения и соответствующие ей значения пластичности  $\varepsilon$  и  $\psi$ .

Дальнейшая оценка состояния объекта и трещиностойкости исследуемой зоны производится следующим образом.

Первоначально по приведенным ниже формулам определяют уровень накопленного пластического повреждения  $\varepsilon_{np}$  и  $\psi_{np}$  и оставшийся запас пластичности  $\varepsilon_{ост}$  и  $\psi_{ост}$ :

$$\varepsilon_{np} = \ln \frac{d_0}{d_K} \quad (8)$$

$$\psi_{np} = \ln \frac{HB_K}{HB_0} \quad (9)$$

$$\varepsilon_{ост} = \ln \frac{d_K}{d_{\text{бит}}} \quad (10)$$

$$\psi_{ост} = \ln \frac{HB_{\max}}{HB_K} \quad (11)$$

где  $d_K$  и  $HB_K$  – диаметр отпечатка и значение максимальной твердости по Бринеллю контролируемой зоны соответственно.

По результатам расчетов, выполненных по формулам (8)–(11), оценивают состояние и трещиностойкость локально деформированной зоны путем сравнения полученного значения  $\varepsilon_{np}$  с величиной равномерного относительного удлинения  $\varepsilon_{\text{равн}}$  для исследуемой стали, так как именно  $\varepsilon_{\text{равн}}$  соответствует моменту образования шейки на растягиваемом образце и за этой точкой диаграммы растяжения следует ниспадающий ее участок и точка разрушения. Достижение уровня пластической деформации значения  $\varepsilon_{\text{равн}}$  и тем более превышение этой величины является «сигнальной лампочкой» опасности возможного трещинообразования в исследуемой области объекта. Так, для малоуглеродистых и низкоуглеродистых сталей  $\varepsilon_{\text{равн}}$  равно 19–20%. Следовательно, если  $\varepsilon_{np} < (19-20)\%$ , контролируемая зона имеет запас пластичности, но если  $\varepsilon_{np} > \varepsilon_{\text{равн}}$ , то велика вероятность, что в контролируемой зоне уже имеются внутренние трещины, размер которых определяется положением точки максимальной твердости зоны на ниспадающем участке диаграммы растяжения (рис. 1.).

Достоверность полученных формул подтверждается результатами многочисленных исследований случаев образования трещин в локально деформированных зонах концевых балок мостовых кранов и подкрановых балок. Внутренние трещины и трещиноподобные дефекты растут под действием рабочей нагрузки, особенно интенсивно при усталостном нагружении, вплоть до образования сквозных трещин.

При условии, когда  $\varepsilon_{np} \leq \varepsilon_{\text{равн}}$ , опасность развития трещин можно предупредить локальной термообработкой исследуемой зоны.

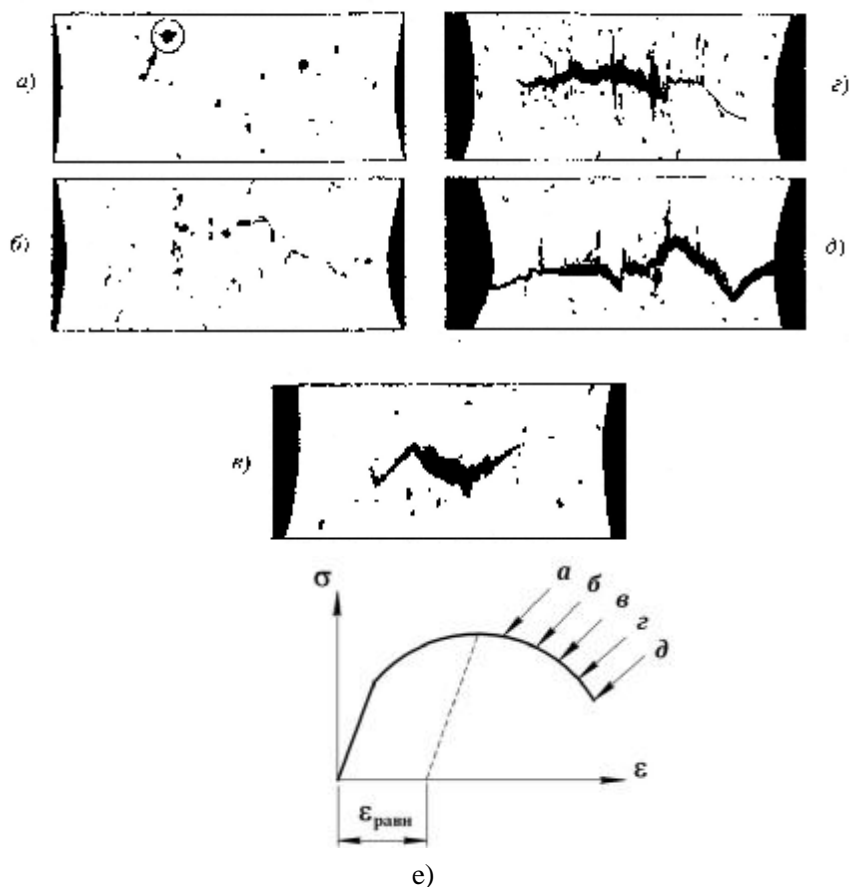


Рис. 1. – Накопление повреждений и стадии роста трещин (а, б, в, г, д) на ниспадающем участке диаграммы растяжения  $\sigma$ - $\epsilon$ (е).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев А.А., Реут Л.Е. Универсальная оценка качества сталей по диаграммам хрупковязкого состояния // Весці НАН Беларусі, сер. фіз.-тэхн. навук. – № 2, 2011. – с. 57-61.

УДК 631.17

Якубовский Ч.А., Якубовский А.Ч.

#### УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ СТЕРЖНЕЙ

Белорусский национальный технический университет,

Минск, Беларусь.

Морская академия, г.Щетин, Польша

*Рассмотрены вопросы изгиба стержней в упругой и пластической стадии нагружения для материалов без упрочнения, а также обладающих способностью к упрочнению. Приведены сравнительные результаты расчета стержня на разных стадиях нагружения, показывающие возможность наиболее полного использования прочностных свойств материала при конструировании различных машин и механизмов.*

Большинство пластичных материалов при нагружении за пределом упругости оказывает дальнейшее сопротивление нагрузке. Это связано с тем, что при развитии пластических