

ПРОДЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОКОВКОЙ

В.А. Дегтярев

Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины

The strengthening efficiency for butt-welded joints of steel St.3sp by high-frequency mechanical forging is shown. Moreover, the mechanisms of their residual lifetime variation as well as the fatigue crack growth rate in a wide range of high-frequency mechanical forging modes are studied after undergoing the process of specimen strengthening both in the initial state and after preliminary accumulated fatigue damages.

Среди большого количества технологических и конструктивных способов продления ресурса сварных металлоконструкций разного назначения повышенное внимание уделяется высокочастотной механической проковке (ВМП). Имеющиеся литературные данные свидетельствуют не только о значительном повышении долговечности сварных соединений, но и высокой эффективности применения технологии ВМП для торможения уже накопленных усталостных повреждений. Однако до настоящего времени остается не исследованным влияние разных режимов обработки на остаточную долговечность и циклическую трещиностойкость сварных соединений, в том числе содержащих значительный уровень накопленных усталостных повреждений.

Цель настоящей работы состоит в оценке эффективности упрочнения, а также влияния разных режимов высокочастотной механической проковки на остаточную долговечность сварных соединений металлоконструкций, в том числе имеющих значительный уровень накопленных усталостных повреждений в зоне концентратора.

В качестве материала для исследований использовалось стыковое сварное соединение стали Ст.3сп. Сваренная пластина разрезалась на образцы размером 40x400x14 мм, которые разбивались на две партии. Первая упрочнялась ВМП по линии сплавления шва с основным металлом посредством аппарата USP-300 при амплитуде колебаний рабочего инструмента, равной 26 мкм, и разной приведенной скоростью его перемещения V (скорость обработки), равной 0,232, 0,116 и 0,06 м/мин соответственно. После ВМП образовывалась канавка шириной 2,6-3,4 мм и глубиной h , равной 0,06, 0,105 и 0,18 мм. Во второй партии образцов предварительно выращивались исходные трещины усталости, затем они упрочнялись с теми же параметрами. В дальнейшем сравнивались результаты исследований сварных соединений, упрочненных в исходном состоянии и с имеющимися усталостными повреждениями.

Методика исследований влияния режимов ВМП сварных соединений на их остаточную долговечность (живучесть), основана на использовании кинетических диаграмм зависимости роста трещины усталости (РТУ) от числа циклов нагружений. Живучесть $N_{жс}$ сварных соединений, обработанных с разной V , определялась разницей числа циклов, соответствующих начальной макротрещине и предельной ее длине l_{mp} .

Установлено, что с уменьшением скорости ВМП число циклов нагружений до момента возникновения трещины и достижения ею заданных размеров увеличивается. Анализ зависимостей между $N_{жс}$ и V при l_{mp} , равной 2, 5 и 10 мм показал, что с уменьшением скорости проковки остаточная долговечность увеличивается, оставаясь большей в образцах первой партии. Видимо различие получаемых результатов в том, на каком этапе исследований создаются остаточные напряжения (ОН) сжатия, что приводит к разному характеру их перераспределения. Живучесть образцов обеих партий заметно увеличивается при снижении скорости ВМП, начиная с 0,11 м/мин. Причем, в образцах первой партии разница между $N_{жс}$ при изменении l_{mp} от 2 до 10 мм, независимо от скорости ВМП, больше чем во второй. Полученные данные позволили установить влияние скорости ВМП сварных соединений на коэффициент их упрочнения при разной текущей длине трещины, который определяется как

$$K_y = \frac{N_{жс}^y}{N_{жс}^u}, \quad (1)$$

где $N_{жс}^y$ и $N_{жс}^u$ - в упрочненном и исходном состояниях соответственно.

Анализ полученных результатов показал, что с уменьшением V коэффициент упрочнения увеличиваясь, остается всегда большим в образцах первой партии. Его понижение с увеличением l_{mp} , независимо от скорости ВМП, связано не только с более интенсивной релаксацией ОН, но и с тем, насколько глубина трещины превышает зону пластической деформации после обработки. Снижение скорости ВМП также приводит к снижению отношения K_y в первой и второй партиях образцов, которое зависит от длины трещины. Например, при $l_{mp}=2$ мм оно изменяется от 4 до 1,5 раза, а при $l_{mp}=10$ мм от 3,0 до 1,2 раза. Это означает, что при малых скоростях ВМП, но большой длине трещины разница в эффективности упрочнения уже незначительна.

Таким образом, полученные экспериментальные данные наглядно демонстрируют не только эффективность применения разной скорости ВМП в целях продления ресурса сварных металлоконструкций, содержащих разную величину усталостных повреждений, но и то, что упрочнение более предпочтительно на стадии изготовления изделия, чем в процессе ремонтно-восстановительных работ.

Обобщенные зависимости между V , h и $N_{жс}$, а также средней скоростью РТУ a для первой и второй партий сварных соединений позволили установить не только закономерность изменения $N_{жс}$ и a в широком диапазоне изменения скорости ВМП, но и показать зависимость исследуемых характеристик от глубины канавки. Кроме этого, показана взаимосвязь между V и h при любой предельной длине трещины. Сравнивая результаты испытаний первой и второй партий образцов установили, что разница между их $N_{жс}$ не постоянна и при уменьшении V , а следовательно увеличении h , она незначительно уменьшается. Тот факт, что ранее проведенные исследования позволили установить оптимальную глубину канавки ($h_{onm}=0,14$ мм), при которой долговечность образцов будет максимальной, обобщенные зависимости использовались также для определения оптимальной скорости ВМП V_{onm} , которая, как оказалось, не зависит от предельной длины трещины и в образцах первой и второй партий составила, в среднем, 0,085 м/мин. В связи с этим, пользуясь результатами исследований определения $N_{жс}$ или a , ее расчетное значение можно определить в виде

$$V_{onm} = K \cdot e^{\frac{d}{b} \cdot \ln\left(\frac{h-m}{c}\right)} + f, \quad (2)$$

где m, b, c, k, d, f – экспериментально определяемые коэффициенты.

Тот факт, что V_{onm} не изменяется, позволил установить зависимости между предельной длиной трещины, остаточной долговечностью, а также средней скоростью РТУ в первой и второй партиях сварных соединений. Анализ данных свидетельствует, что с увеличением длины трещины с 2 до 10 мм в образцах первой партии K_y уменьшается на 35%, а $N_{жс}$ и a увеличиваются на 69 и 35% соответственно. В образцах второй партии указанные характеристики изменяются в такой же последовательности на 22, 70 и 37% соответственно. Причем, относительное значение K_y снижается на 17%, а повышение $N_{жс}$ и снижение a изменяются в пределах 3%. Полученные данные также интересны с точки зрения практического приложения. Ограничиваясь разной величиной l_{mp} при оптимальных режимах обработки, зная скорость РТУ, можно определить остаточную долговечность сварного соединения, а при известном периоде до зарождения трещины - нормативный срок эксплуатации металлоконструкции.

Таким образом, проведенные исследования сварных соединений позволили установить эффективность упрочнения, а также закономерности изменения их остаточной долговечности и скорости роста в них трещин не только при оптимальных режимах ВМП, но и в широком диапазоне изменения ее скорости после упрочнения образцов в исходном состоянии, и с накопленными усталостными повреждениями.