**ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СВАРНОЙ КРУПНОГАБАРИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ**

***Бондаренко Денис Васильевич***

*Инженерная школа ДВФУ,*

*г.Владивосток*

*Научный руководитель: Леонтьев Л.Б.*

**Аннотация**: Произведен анализ критериев разрушения применительно к крупногабаритным конструкциям из сталей повышенной прочности. Описаны методы повышения усталостной прочности сварных крупногабаритных конструкций.

*Ключевые слова*: усталостная прочность, критерии разрушения, крупногабаритные сварные конструкции, методы повышения усталостной прочности, выносливость, метод поверхностно-пластической деформации.

**Введение**

Современные технологические процессы сварки позволяют получать сварные соединения, отвечающие самым высоким требованиям.

Сварной шов является концентратором напряжений и снижает усталостную прочность конструкции.

Исследованию процессов усталости сварных конструкций и разработки рациональных средств повышения выносливости сварных соединений посвящено весьма большое количество работ. В этом направлении в России и за рубежом за последние годы достигнуты значительные успехи. Однако число аварийных разрушений из-за усталостных трещин в процессе эксплуатации сварных крупногабаритных конструкций продолжает оставаться значительным и растет вместе с ростом применения объемов сварки. Это требует дальнейших изысканий как в теоретическом, так и в экспериментальном аспекте. Вместе с тем является актуальным и обобщение уже выполненных в этой области исследований и широкая пропаганда их с целью рациональных выборов конструктивных, металлургических и технологических средств, обеспечивающих достаточную усталостную прочность и долговечность крупногабаритных сварных конструкций. Высокое качество и требуемая долговечность сварного соединения зависят в значительной степени от технологии производства. Однако и безукоризненно выполненный сварочный процесс может не обеспечить должных эксплуатационных качеств соединения, если не выбраны должным образом конструктивные формы соединения и свариваемый основной металл.

Основным методом повышения усталостной прочности сварных соединений является поверхностное пластическое деформирование ППД. Положительное влияние ППД на несущую способность определяется возникновением остаточных сжимающих напряжений, повышением количества дислокаций, деформации кристаллической решетки и т.п. Наиболее эффективное влияние на увеличение усталостной прочности происходит у деталей, имеющих концентраторы напряжений.

Сравнительный анализ технологических возможностей различных способов ППД позволил установить наибольшую эффективность ППД ударным способом (чеканкой), особенно для крупногабаритных деталей. Этот способ позволяет получить на упрочняемой поверхности значительную глубину наклепанного слоя (свыше 10 мм) без больших статических условий с использованием относительного простых чеканочных приспособлений. Минимально необходимая глубина наклепанного слоя для большинства деталей, работающих в условиях циклического нагружения, должна находиться в пределах 2 – 4 мм

Вышеизложенное показывает актуальность данной работы, её практическую направленность и востребованность для решения задач повышения усталостной прочности сварной крупногабаритной конструкции из стали повышенной прочности.

Целью настоящей работы является разработка технических решений по повышению усталостной прочности сварной крупногабаритной конструкции из стали повышенной прочности.

**Оценка влияния различных факторов на усталостную прочность**

На усталостную прочность сварной крупногабаритной конструкции влияют различные факторы: конструктивные особенности и связанные с нею неоднородность напряженного состояния и концентраторы напряжений:

а) абсолютные размеры, т.е. масштабный фактор;

б) наличие в конструкции технологических или эксплуатационных остаточных напряжений или иное их распределение по сравнению с образцом;

в) различие в жесткостях, что приводит к различным уровням запаса упругой энергии детали и образца;

г) разные состояния их поверхностей; изменение свойств материала из-за локального нагрева при сварке, а также в процессе эксплуатации и т.п.

Большое влияние оказывают условия окружающей среды, в которых приходится работать материалам строительных конструкций. Механические свойства материала будут изменяться и зависеть от условий эксплуатации крупногабаритной конструкций.

* **Влияние остаточных напряжений**

Одним из существенных факторов, влияющих на сопротивление усталости сварных соединений, является остаточное напряженное поле в зоне шва. Вследствие резкого температурного перепада, структурных изменений и упругопластического деформирования в зонах сварных соединений возникают значительные остаточные напряжения, величина которых может достигать и даже превышать предел текучести исходного материала.

* **Влияние концентраторов напряжений**

На усталостную прочность сварной крупногабаритной конструкции оказывают влияние и концентраторы напряжений. Реальным конструкциям сооружений свойственны формы вызывающие более или менее значительную концентрацию напряжений. Концентрация напряжений, вызываемая различного рода выточками, надрезами, отверстиями, уступами и прочими резкими изменениями формы, в большой степени влияет на сопротивление усталости металлических материалов или конструктивных элементов.

* **Влияние состояния поверхности**

Состояние поверхности после механической и тепловой обработки деталей может сказываться на сопротивлении усталости по двум причинам:

1) следы инструмента на поверхности, остающиеся после механической обработки, действуют как концентраторы напряжений с присущими ими неблагоприятными проявлениями;

2) физико-химические изменения в поверхностных слоях металла после механической, химической или тепловой обработок способно влиять на сопротивление металла усталости как в неблагоприятную, так и в благоприятную сторону.

* **Влияние параметров нагружения конструкции**

Большое влияние на усталостную прочность материала оказывают скорость и время нагружения.

При высокоскоростном нагружении более резко проявляются свойства хрупкости, а при медленном нагружении – свойства пластичности. В зависимости от указанных обстоятельств механические свойства материалов проявляются по-разному. Обобщенный анализ свойств материалов с учетом скорости и времени нагружения оказывается очень сложным. Функциональная зависимость между тремя параметрами σ, ε, и временем *t,* т.е. *f*(*σ, ε t*) = 0 не является адекватной и содержит в сложной форме дифференциальные и интегральные соотношения, входящих в нее величин.

Так как в обобщенной форме, точное аналитическое выражение функции *f* получить невозможно, то влияние фактора времени рассматривается в настоящее время применительно только к частным классам задач. Деление на классы производится как по характеру действия внешних сил, так и по типу материалов, а также в зависимости от скорости нагружения.

Наиболее, изучаемыми в механике материалов, являются процессы, происходящие при действии медленно изменяющихся (статических) нагрузок.

Скорость изменения этих нагрузок во времени настолько мала, что кинетическая энергия деформируемого тела, составляет незначительную долю от работы внешних сил. Поэтому работа внешних сил превращается только в упругую энергию и в необратимую тепловую энергию, связанную с пластическими деформациями тела.

**Методы повышения усталостной прочности сварных крупногабаритных конструкций**

Известные способы повышения сопротивления усталости соединений можно разбить на следующие основные четыре группы.

1. «Конструкционные методы». Суть этих методов заключается в рациональном проектировании сварных конструкций, создании конструктивных форм, обеспечивающих максимальное устранение концентраторов напряжений в соединениях и конструкциях.
2. «Технологические методы», регулирующие остаточные напряжения. В связи с неблагоприятным явлением сварочных растягивающих напряжений на усталостную прочность соединений во многих случаях возникает необходимость в снятии напряжений или хотя бы в уменьшении их неблагоприятного проявления. Для этого используют различные технологические приемы, целью которых является наведение в наиболее опасных местах соединений благоприятных сжимающих остаточных напряжений.
3. «Специальные защитные методы». Эти методы основаны на нанесении защитных антикоррозионных покрытий.
4. «Технологические методы», регулирующие состав и структуру зоны соединения. Технологическими приемами сварки (оптимальное проведение температурного цикла, рациональное последовательность выполнения сварочных операций, правильный подбор сварочных материалов, применение предварительного и сопутствующего подогрева и д.р.) можно существенно воздействовать на остаточную напряженность, состав и структуру зоны соединения, с тем чтобы достичь оптимальных значений прочности.

Концентрация напряжений является главной причиной, вызывающий резкое понижение в прочности соединений по сравнению с основным металлом. Экспериментально показано что при устранении концентрации напряжений можно добиться существенного повышения прочности соединения используя метод основанный на создании в зоне концентрации напряжений сжимающих остаточных напряжений.

Использование методов пластического деформирования является высокоэффективным средством уменьшения шероховатости поверхности, образования в поверхностном слое деталей остаточных напряжений сжатия, повышения поверхностной твердости, усталостной прочности и износостойкости.

Пластическая деформация поверхностного слоя детали, возникающая под действием усилий от обрабатывающего инструмента, изменяет его физико-механические свойства.

Явление деформационного упрочнения может быть объяснено теорией дислокаций, которая основывается на общих предположениях о роли свободных и неподвижных дислокаций в формировании внутренних напряжений и их роли в пластической деформации. Теория дислокаций связывает механизм деформационного упрочнения с образованием барьеров для движущихся дислокаций между собой и другими дефектами кристаллической решетки. В результате пластической деформации поверхностного слоя происходит искажение кристаллической решетки с увеличением числа дефектов.

При деформировании поверхностного слоя количество дислокаций, вакансий и других несовершенств кристаллической решетки резко увеличивается, повышая его напряженное состояние. При этом повышаются все показатели прочности – предел упругости, предел текучести, предел прочности. Установлено, что увеличение прочности происходит особенно интенсивно на начальных стадиях деформации; при дальнейшем повышении степени деформации интенсивность упрочнения снижается.

Истинное напряжение является пределом текучести упрочненного наклепом материала. При упрочнении поверхностей деталей энергетические возможности процесса можно оценивать по обеспечиваемой в результате обработки толщине упрочненного слоя.

Использование методов пластического деформирования является высокоэффективным средством уменьшения шероховатости поверхности, образования в поверхностном слое деталей остаточных напряжений сжатия, повышения поверхностной твердости, усталостной прочности и износостойкости.

Пластическая деформация поверхностного слоя детали, возникающая под действием усилий от обрабатывающего инструмента, изменяет его физико-механические свойства.

Явление деформационного упрочнения может быть объяснено теорией дислокаций, которая основывается на общих предположениях о роли свободных и неподвижных дислокаций в формировании внутренних напряжений и их роли в пластической деформации. Теория дислокаций связывает механизм деформационного упрочнения с образованием барьеров для движущихся дислокаций между собой и другими дефектами кристаллической решетки. В результате пластической деформации поверхностного слоя происходит искажение кристаллической решетки с увеличением числа дефектов.

При деформировании поверхностного слоя количество дислокаций, вакансий и других несовершенств кристаллической решетки резко увеличивается, повышая его напряженное состояние. При этом повышаются все показатели прочности – предел упругости, предел текучести, предел прочности. Установлено, что увеличение прочности происходит особенно интенсивно на начальных стадиях деформации; при дальнейшем повышении степени деформации интенсивность упрочнения снижается.

Истинное напряжение является пределом текучести упрочненного наклепом материала. При упрочнении поверхностей деталей энергетические возможности процесса можно оценивать по обеспечиваемой в результате обработки толщине упрочненного слоя.

Одним из основных и недорогих методов повышения усталостной прочности в сварной крупногабаритной конструкции является поверхностный наклеп, который получил широкое применение в машиностроении.

Поверхностный наклеп. Поверхностное пластическое деформирование (ППД) металла шва и околошовной зоны упрочняет слои метала и наводит в них благоприятные сжимающие остаточные напряжения.

Поверхностное упрочнение пластическим деформированием исследовали на сварных соединениях и элементов конструкции самого разнообразного вида с различными типами швов и из различных материалов в зависимости от степени концентрации напряжений, остаточной напряженности, вида и характеристики переменных напряжений, а также температурных условий.

Известны различные методы пластического деформирование поверхностного слоя метала: дробеструйный наклеп, обкатка роликами, чеканка.

Поверхностное пластическое деформирование является одним из эффективных способов повышения несущей способности крупногабаритной сварной конструкции, работающей в условиях циклических нагрузок. Положительное влияние поверхностного упрочнения на несущую способность определяется возникновением остаточных сжимающих напряжений, повышением количества дислокаций, деформации кристаллической решетки и т.п. Наиболее эффективное влияние на увеличение усталостной прочности происходит у деталей, имеющих концентраторы напряжений.

Сравнительный анализ технологических возможностей различных способов ППД позволил установить наибольшую эффективность ППД ударным способом (чеканкой), особенно для крупногабаритных деталей. Этот способ позволяет получить на упрочняемой поверхности значительную глубину наклепанного слоя (свыше 10 мм) без больших статических условий с использованием относительного простых чеканочных приспособлений. Минимально необходимая глубина наклепанного слоя для большинства деталей, работающих в условиях циклического нагружения, должна находиться в пределах 2 – 4 мм.

**Выводы**

Для различных способов упрочнения существует достаточно обоснованных рекомендаций по выбору режима упрочняющей обработки для сталей различных классов. Исследований по влиянию параметров режима упрочнения чеканкой стали 10ХСНД на физико – механические свойства в литературе недостаточно. Отсутствие моделей формирования физико – механических свойств стали 10ХСНД при ППД методом чеканки затрудняет разработку и эффективное применение упрочняющих технологий ответственных крупногабаритных деталей.

Нахождение оптимальной области режима ППД стали 10ХСНД способом чеканки проводили с использованием методом планирования эксперимента. На основании анализа литературных источников и проведения отсеивающего эксперимента по методу насыщенных планов были выбраны три технологических параметра, которые наиболее существенно влияют на характеристики упрочненного слоя и усталостную прочность стали 10ХСНД.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Кудрявцев И.В.** Современное состояние и практическое применение ППД машиностроения. – 1972. - №1. – С. 35-38.
2. **Кудрявцев И.В.** Усталость сварных конструкций / И.В. Кудрявцев, Н.Е. Наумченков. – М.: Машиностроение, 1976 – 270 с.
3. **Кудрявцев И.В**. Усталость крупных деталей машин /И.В.  
   Кудрявцев, Н.Е. Наумченков. – М.: Машиностроение, 1981. –240 с.
4. **Рыковский Б.П**. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом / Б.П. Рыковский, В.А.Смирнов, Г.М. Щетинин. – М.: Машиностроение, 1985. – 151 с.
5. **Неманов М.С**. Эффективность ППД в повышении коррозионно-усталостной прочности деталей // Вестник машиностроения. -1972. - № 1. – с.66-67.