

УДК 624.072.002.2

Влияние остаточных напряжений на устойчивость пластин, предварительно напряженных локальным термическим воздействием

Антошина Т.В., аспирант

Донбасский государственный технический университет, Украина

Анотація. Наведені методика і результати експериментального визначення впливу залишкових напружень на стійкість пластин. Встановлений кількісний вплив залишкових напружень після регулювання на стійкість і прогин.

Аннотация. Приведены методика и результаты экспериментального определения влияния остаточных напряжений на устойчивость пластин. Установлено количественное влияние остаточных напряжений после регулирования на устойчивость и прогиб.

Abstract. A method and results of experimental determination of influence of residual stresses is resulted on stability of plates. Quantitative influence of residual stresses is set after adjusting on stability and bending.

Ключевые слова: пластина, температурные воздействия, остаточные напряжения, устойчивость, прогиб.

Введение. Постановка проблемы. При нагреве строительные стали претерпевают различные изменения. В наиболее общем случае (при сварке) наблюдаются три зоны соединения [1 – 4].

В зоне расплавления металл разогревается выше температуры плавления $T=1535$ °С. Металл изделия и электрода перемешивается и после прекращения нагрева начинается его первичная кристаллизация. Во время кристаллизации возникают растягивающие напряжения. Они могут вызвать появление "горячих" трещин, которые приводят к разрушению соединения, особенно при динамических нагрузках. Для зоны расплавления характерна столбчатая структура литого металла. В процессе охлаждения металл претерпевает структурные и фазовые изменения и приобретает вторичную структуру. Качество металла этой зоны улучшается легированием и правильным выбором скорости охлаждения. Легирование осуществляют марганцем, кремнием и др., вводя их в расплавленный металл через электродную проволоку, флюсы и обмазки.

Зоной термического влияния называется прилегающий к шву участок основного металла. Ширина этой зоны составляет примерно 30...60 мм при ручной и 20...40 мм при автоматической сварке. На участках, разогретых до температуры 1000...1100 °С, расположен перегретый металл с

сильно выросшим зерном. Металл этой зоны имеет пониженные механические характеристики по сравнению с основным металлом. На участках, разогреваемых до температур 900...1000 °С, металл претерпевает полную перекристаллизацию, имеет мелкое зерно и повышенные, по сравнению с основным металлом, механические характеристики. На участках, разогреваемых до температур 720...900 °С, металл испытывает частичную кристаллизацию и его качество не отличается от качества основного металла.

В зоне термического влияния при ее усиленном охлаждении возможно образование закалочных структур, например мартенсита. Растягивающие напряжения, возникающие при охлаждении, могут вызвать появление "холодных" трещин.

Весь остальной металл изделия сохраняет свои первоначальные свойства, так как температура нагрева не достигла критической точки $A_{C3}=723$ °С [4].

Изучению влияния остаточного напряженного состояния (ОНС) на работу сжатых элементов посвящены многие исследования [1 – 6].

В работах Г.А. Николаева, С.А. Куркина, В.А. Винокурова [1] показано, что под действием усадочных сил возникают напряжения сжатия, вызывающие потерю устойчивости листов. Рассмотрены два типа задач: первая – определение возможности потери устойчивости, и вторая – определение перемещений после потери устойчивости.

Исследованиям влияния напряжений, вызываемых сваркой, на местную устойчивость стенки в зависимости от типа сварного шва, посвящены работы Н.О. Окерблома [2, 3]. Приведена методика оценки устойчивости листов под воздействием остаточных напряжений (ОН), а также методика определения ОН. Рассмотрено влияние ОН на устойчивость пластин при изготовлении элементов конструкций и определены ограничения, обеспечивающие устойчивость пластин с разными условиями закрепления.

В работе А.И. Голоднова [4] показано, что устойчивость пластин может быть существенно повышена при применении регулирования ОНС путем прогрева участков пластин. Возникающее при этом ОНС, когда в центральной части пластины возникают остаточные растягивающие напряжения (ОРН), а в приконтурной зоне – остаточные сжимающие напряжения (ОСН), способствует повышению устойчивости. В то же время ОНС, возникающее после наплавки сварных швов по контуру, наоборот, способствует снижению устойчивости пластин вследствие появления ОНС, при котором в центральной части пластины возникают ОСН, а в приконтурной – ОРН.

Наличие ОНС требует серьезного подхода и к обеспечению устойчивости пластин – для предотвращения деформаций выпучивания обычно увеличивают толщину стенки или устанавливают дополнительные ребра жесткости, что приводит в большинстве случаев к неоправданному перерасходу материала. Избежать выпучивания стенки можно путем ее предварительного растяжения перед сваркой поясных швов [6].

Несмотря на наличие большого экспериментально-теоретического материала, в нормативных документах отсутствуют предложения по учету влияния ОНС на устойчивость.

Цель работы. Экспериментальное подтверждение результатов теоретических исследований возможности повышения устойчивости сжатых пластин путем локальных термических воздействий (ЛТВ).

Основная часть. В качестве экспериментальных образцов использованы пластины размерами 500x500 мм и толщиной 5 мм. Материал пластин – сталь марки Вст3Гсп согласно ГОСТ 380-94. Регулирование ОНС было выполнено путем ЛТВ (разогревом пластин в центре с одной стороны газовым резаком). Температура разогрева для разных пластин была различна и составляла примерно 800 °С, 900 °С, 1000 °С. Разогрев после достижения заданной температуры осуществлялся в течение одной минуты. Контроль температуры производился термопарой, установленной с обратной стороны пластины. Диаметр пятна при разогреве составлял 25...30 мм. Остывание большинства пластин производилось естественным путем на воздухе (естественное), а для некоторых – путем обрызгивания водой (принудительное). Для сравнения были испытаны пластины в состоянии поставки, т.е. без регулирования ОНС.

Пластины испытывались на сжатие в специальной установке, смонтированной на машине ГРМ-100, до появления характерных линий сдвиговых деформаций (линий Чернова–Людерса). Общий вид установки с пластиной под прессом показан на рис. 1.

В процессе испытаний производились измерения прогиба в центре пластины (выгиба из плоскости). Графики зависимости «нагрузка–прогиб» для некоторых пластин с естественным остыванием представлены на рис. 2.

Как видно из представленных графиков, прогибы в центре пластин после регулирования ОНС путем предварительного напряжения ЛТВ при одних и тех же нагрузках меньше, чем у пластины в состоянии поставки. Величина критической силы для пластин с регулируемым ОНС больше примерно на 20 % соответствующей величины для пластины в состоянии поставки.



Рис. 1. Общий вид установки с пластиной под прессом

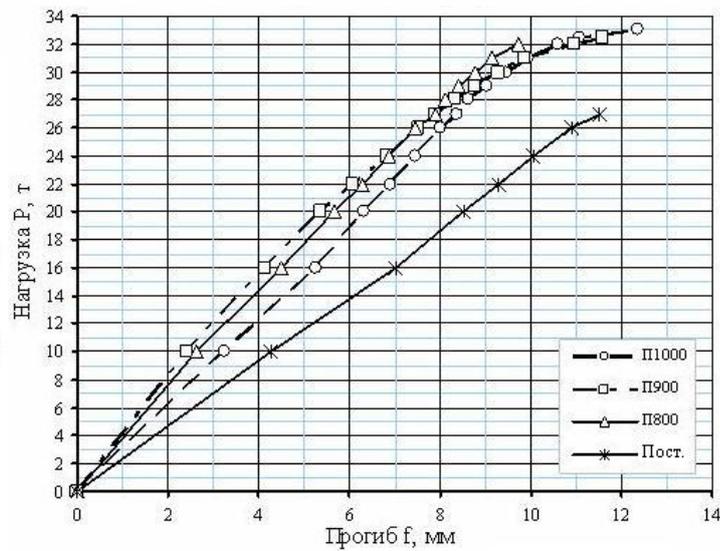


Рис. 2. Зависимости «нагрузка–прогиб» для различных пластин:
П1000 – пластина, разогретая до температуры 1000 °С;
П900 – пластина, разогретая до температуры 900 °С;
П800 – пластина, разогретая до температуры 800 °С;
Пост. – пластина в состоянии поставки

Поскольку пластины нагревались в свободном состоянии, то после остывания имели деформированную форму поверхности. Максимальная величина остаточного выгиба для разных пластин была в пределах 3 мм. Для исключения влияния остаточного выгиба была выполнена правка пластины П900. Правка выполнялась под прессом путем выгиба в обратном остаточному прогибу направлении.

После правки пластина была испытана по приведенной выше схеме. Графики зависимости «нагрузка–прогиб» для пластин с регулируемым ОНС путем предварительного напряжения ЛТВ (без правки и аналогичной пластины после правки) представлены на рис. 3.

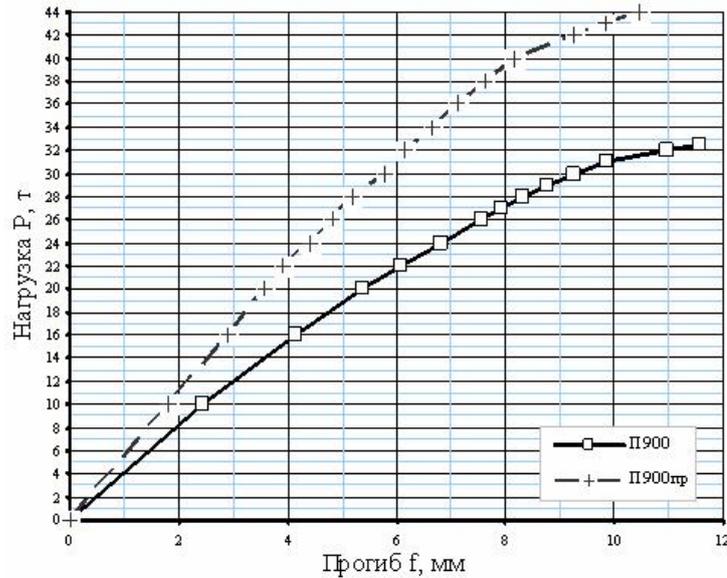


Рис. 3. Зависимости «нагрузка–прогиб» для пластин с правкой и без правки

Как видно из рис. 3, выгиб в центре пластины после правки (П900пр) меньше, чем выгиб пластины без правки (П900). Величина же критической нагрузки для пластины П900пр примерно на 35 % выше, чем пластины П900 и примерно на 62 % выше, чем для пластины в состоянии поставки (Пост.).

Выводы

1. Подтверждены теоретические предположения о возможности регулирования ОНС путем предварительного напряжения ЛТВ для повышения устойчивости прямоугольных пластин, сжатых в одной плоскости. Предварительное напряжение ЛТВ возможно путем разогрева точечным

источником тепла большой мощности в той зоне конструкции, которая при эксплуатационной нагрузке будет сжата.

2. Предварительное напряжение ЛТВ способствовало повышению величин критических сил (устойчивости) и снижению выгибов сжатых по двум кромкам пластин. Повышение критических сил объясняется созданием зон ОРН в той зоне пластины, где при эксплуатационной нагрузке будут действовать сжимающие напряжения. Уравновешивающие ОСН сосредотачиваются вблизи контура пластины и их отрицательное влияние на устойчивость существенно уменьшается.

3. После регулирования ОНС путем предварительного напряжения ЛТВ в пластинах при свободном закреплении возникал остаточный выгиб, снижающий устойчивость пластин. Ликвидация остаточного выгиба способствовала повышению устойчивости примерно на 35 %.

4. С целью уменьшения неравномерных деформаций элементов конструкций, в частности пластин, регулирование ОНС путем предварительного напряжения ЛТВ необходимо производить симметричным разогревом с двух сторон или путем точечной сварки с ограничением краевых перемещений.

Литература

- [1] Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1982. – 272 с.
- [2] Окерблом Н.О. Влияние остаточных напряжений, создаваемых сваркой, на местную и общую устойчивость элементов сварных конструкций // XIII Конгресс Междунар. ин-та сварки (13–19 июня 1960 года в г. Льеже). – М.: Гос. изд-во машиностр. лит., 1962. – С. 233 – 239.
- [3] Окерблом Н.О. Конструктивно-технологическое проектирование сварных конструкций. – М.; Л.: Машиностроение, 1964. – 420 с.
- [4] Голоднов А.И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках. – К.: Сталь, 2008. – 150 с.
- [5] Недосека А.Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. – К.: ИНДПРОМ, 2001. – 815 с.
- [6] Терещенко В.И. Продольные деформации в двутаврах с предварительным натяжением стенки // Автомат. сварка. – 1963. – № 7. – С. 50 – 59.

Надійшла до редколегії 27.05.2009 р.