



ОЦЕНКА ДЕФОРМИРУЕМОСТИ СВАРНЫХ СОСТАВНЫХ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКОЙ*

Ч. Х. ЧЕНГ, Л. Ч. ЧАН, Т. Ч. ЛИ (Политехнический ун-т, Гонконг, Китай),
Ч. Л. ЧОУ (Университет штата Мичиган, г. Диарборн, США)

Изучена деформируемость составных сварных заготовок (ССЗ) из стали, полученных с использованием лазерной сварки, в зависимости от сочетания толщин соединяемых элементов и расположения (ориентации) швов. Деформируемость заготовок оценивалась по Свифту. Показано, что более тонкостенная часть составных заготовок определяет их деформируемость.

Ключевые слова: лазерная сварка, составные сварные заготовки, нержавеющая сталь, направление сварки, сочетание толщин, деформируемость, предел деформируемости

Составные сварные заготовки (ССЗ) — это специальные заготовки, выполненные из нескольких тонких металлических листов различной толщины, формы, иногда прочности для последующего деформирования с целью получения сложной конфигурации. Их все чаще применяют в автомобилестроении, а также в таких отраслях промышленности, как электротехника, производство тары и упаковки, строительстве [1]. Поскольку заготовки обычно изготавливают специально для производства определенных деталей, их конструирование представляет собой новую задачу для отрасли, внедряющей эти заготовки в производство. Для анализа деформируемости стальных заготовок нашли применение различные виды испытаний. В работе [2] рассмотрены два типа разрушения ССЗ и показано, что прессуемость их связана с изменением режима деформации и зависит от прочности ССЗ. В работе [3] установлено, что при глубокой вытяжке в случае распределения деформации по большей толщине смещение линии шва увеличивается. В работе [4] показано, что деформируемость ССЗ снижается с повышением отношения толщины составляющих заготовок.

В настоящей работе рассмотрен высокопроизводительный процесс лазерной сварки стальных заготовок, полученных из элементов различной толщины, а также исследовано влияние направления сварки и комбинации толщин соединяемых элементов на деформируемость заготовок.

ССЗ из нержавеющей стали AISI 304 сваривали встык лазером Nd-YAG мощностью 2 кВт. Для

получения приблизительно 180 образцов использовали три стальных листа толщиной 1,0; 1,2 и 1,5 мм с различными направлениями сварки (0,45 и 90°) и с разными комбинациями толщин (1/1; 1/1,2; 1/1,5; 1,2/1,2; 1,2/1,5 и 1,5/1,5 мм). Для получения чистых кромок без заусенцев, загрязнений или масла кромки свариваемых образцов перед сваркой подвергали механической обработке и обезжириванию. С целью регулировки положения луча лазера и обеспечения точности сборки под сварку каждую пару образцов собирали на специальном приспособлении для сборки-сварки (рис. 1). В результате экспериментов установлены оптимальные параметры сварки ССЗ для каждой комбинации толщин (таблица). Из таблицы видно, что оптимальные результаты можно получить путем варьирования скоростью сварки и общей толщины основных свариваемых элементов ССЗ и использованием двусторонней сварки, при этом на более толстом материале необходимо применять более низкую скорость. Мощность лазера может быть практически постоянной, изменяющейся в узком диапазоне (1000...1100 Вт). Для всех сочетаний толщин свариваемых элементов луч лазера фокусировали на верхней поверхности образца по линии соединения или на более толстом из свариваемых материалов. Расход защитного газа, в качестве которого использовали аргон, составлял 20 л/мин. Целостность шва на поверхности

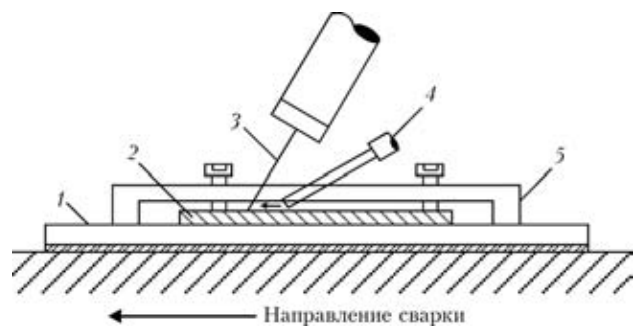


Рис. 1. Схема процесса лазерной сварки: 1 — оснастка для сборки сварки; 2 — свариваемый образец; 3 — лазерный луч; 4 — сопло для защитного газа; 5 — зажимное приспособление

* По материалам Второй международной конференции «Laser Technologies in Welding and Materials Processing», 23–27 мая 2005 г., пос. Кацивели, Крым, Украина.

Оптимальные параметры сварки ССЗ для различной комбинации толщин заготовок

Комбинации толщин, мм	Мощность лазера, Вт	Скорость сварки, мм/с	Положение фокуса	Защитный газ, расход, л/мин
1/1	1100	27	Поверхность	Аргон, 20
1,2/1,2	1000	23		
1,5/1,5	1100	15		
1/1,2	1000	25	Поверхность более толстого основного металла	
1/1,5	1100	20		
1,2/1,5	1100	15		

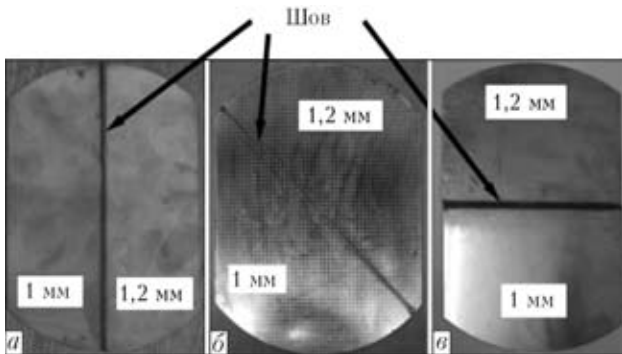


Рис. 2. ССЗ (диаметр заготовки 165,1 мм), полученные с различными углами сопряжения элементов: а — 0; б — 45; в — 90°



Рис. 3. Внешний вид лицевой поверхности шва на ССЗ, сваренной на оптимальных режимах

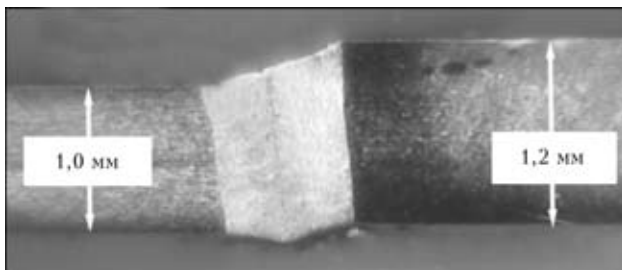


Рис. 4. Макрошлиф поперечного сечения ССЗ, сваренной на оптимальных режимах

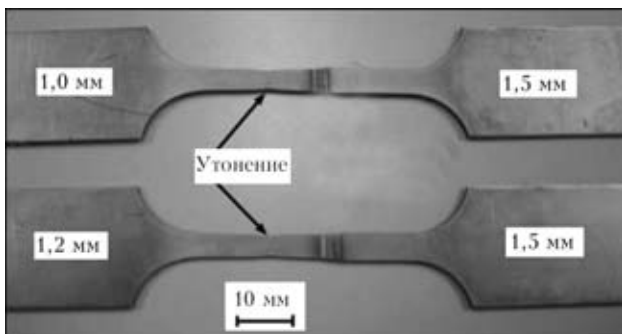


Рис. 5. Внешний вид образцов из ССЗ после испытаний на растяжение

и по сечению исследовали в соответствии с требованиями Британских стандартов EN ISO 13919-1 и 15614-11, общие механические свойства ТВБ определяли путем испытаний на растяжение.

Деформируемость полученных ССЗ исследовали с помощью испытаний по Свифту. Для максимальных и минимальных деформаций, измеренных на образцах ССЗ различной ширины, строили диаграммы предела формовки (ДФФ). Исследовали деформируемость и типы разрушений ССЗ, а также анализировали влияние направления сварки и отношения толщины свариваемых элементов. Несмотря на различные направления сварки почти все швы находились в центре ССЗ (рис. 2). Исследования проводили с использованием установки с полусферическим пуансоном диаметром 50 мм. Пластическое течение материала контролировали при приложении усилия 100 кН. Для компенсации различий в толщине при испытаниях в каждой заготовке ССЗ использовали специально спроектированные прокладки.

Поверхность и профиль шва в поперечном сечении на заготовке ССЗ (отношение толщин 1,2/1,5 мм), сваренной на оптимальных параметрах, приведены соответственно на рис. 3 и 4. Видно, что поверхность шва хорошо сформирована по всей длине ССЗ, трещины и поры отсутствуют. Профиль шва удовлетворительный, несплавления, подрезы и провисания не наблюдаются. Свойства при растяжении ССЗ из элементов различной толщины, содержащих поперечные швы, оценивали на образцах малого размера, вырезанных из ССЗ. Испытания на растяжение проводили при постоянной скорости траверсы 1 м/мин, до образования местного сужения в сечении образца. Как видно из рис. 5, разрушение в основном происходит не в шве или металле ЗТВ, а в основном металле, что подтверждает тот факт, что данные параметры сварки обеспечивают получение приемлемых швов и, следовательно, качественных ССЗ. На рис. 6 приведены кривые напряжение–деформация, построенные для ССЗ. Кривые 1–3

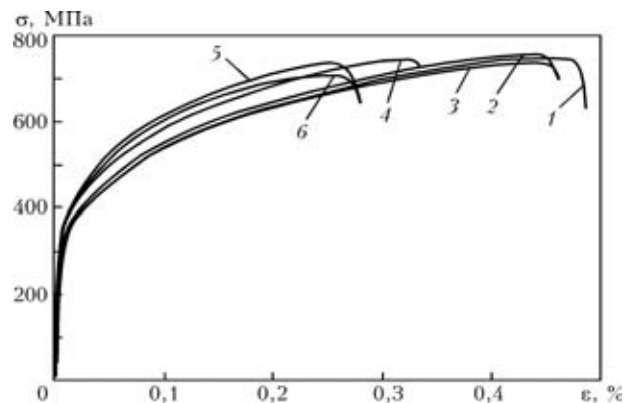


Рис. 6. Характерные диаграммы растяжения, построенные для образцов из ССЗ, содержащих элементы различной толщины: 1 — 1,5/1,5; 2 — 1,2/1,2; 3 — 1,0/1,0; 4 — 1,0/1,2; 5 — 1,0/1,5; 6 — 1,2/1,5 мм

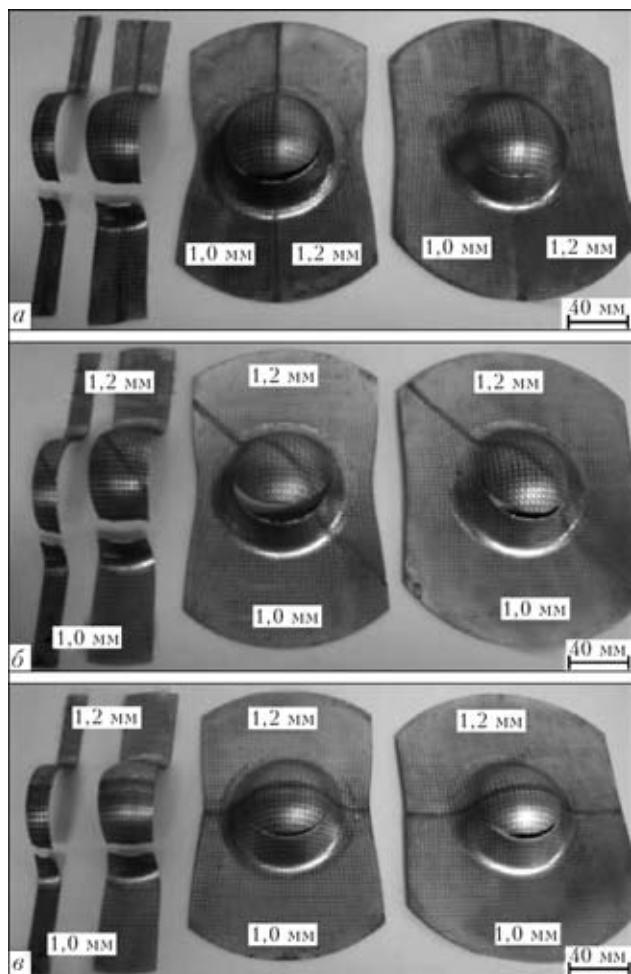


Рис. 7. Деформированные элементы из ССЗ (1,0 + 1,2 мм), полученные сваркой в различных направлениях с углами сопряжения: а — 0; б — 45; в — 90°

показывают, что в ССЗ, состоящих из элементов одинаковой толщины, значения напряжений и деформаций подобны соответствующим значениям для основного металла. Однако в ССЗ, состоящих из элементов различной толщины, значения деформации тем ниже, чем больше различие по толщине (рис. 6, кривые 4–6). Это обусловлено тем фактом, что деформирование ССЗ происходит преимущественно в более тонком основном металле (см. рис. 5).

Как видно из рис. 7, направление сварки не оказывает влияния на участок разрушения, все разрушения распространяются в направлении, перпендикулярном направлению приложения основной нагрузки. Разрушения в ССЗ с направлениями сварки 45 и 90° (рис. 7, б, в) наблюдаются в более тонком элементе основного металла на определенном расстоянии от шва, в то время как в ССЗ с направлением сварки 0° разрушение зарождалось в шве (рис. 7, а). Таким образом, можно утверждать, что качественные швы, полученные в различных направлениях, оказывают незначительное влияние на деформируемость и тип разрушения в ССЗ, поскольку разрушение в основном происходит в более тонком из свариваемых

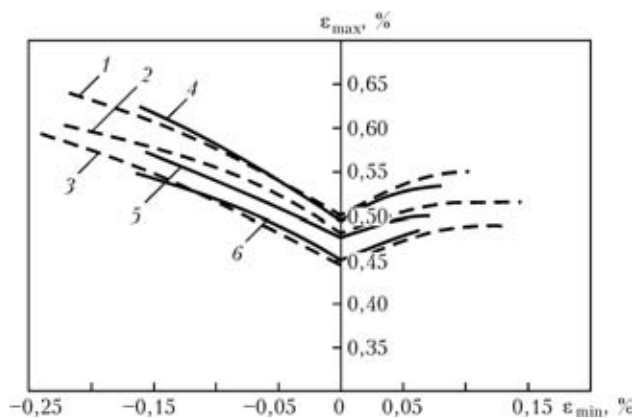


Рис. 8. ДПФ, построенные для ССЗ из нержавеющей стали (направление сварки 90°), состоящих из элементов одинаковой толщины: 1 — 1,5; 2 — 1,2; 3 — 1,0; 4 — 1,5/1,5; 5 — 1,2/1,2; 6 — 1,0/1,0 мм

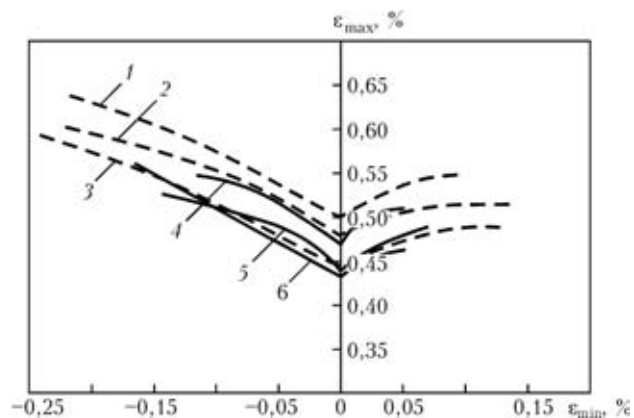


Рис. 9. ДПФ, построенные для ССЗ из нержавеющей стали (направление сварки 90°), состоящих из элементов различной толщины: 1 — 1,5; 2 — 1,2; 3 — 1,0; 4 — 1,2/1,5; 5 — 1,0/1,2; 6 — 1,0/1,5 мм

элементов в направлении, перпендикулярном направлению приложения основной нагрузки.

С помощью нанесения круговых сеток на поверхность ССЗ измеряли максимальные и минимальные деформации и строили диаграммы ДПФ. На рис. 8 и 9 показаны диаграммы, построенные для ССЗ (направление сварки 90°), состоящих из элементов одинаковой и различной толщины. Сравнение данных диаграмм с диаграммами, построенными для основного металла (штриховые кривые), показывает, что ССЗ, состоящие из элементов одинаковой толщины, также деформируются как основной металл. Это подтверждает тот факт, что швы, полученные в направлении 90° к направлению приложения основной нагрузки, оказывают незначительное влияние на деформируемость ССЗ, состоящих из элементов одинаковой толщины. Как видно из рис. 7, в, ССЗ, состоящие из элементов различной толщины, разрушались в основном в более тонком из свариваемых элементов, что соответствует ДПФ, построенным для более тонких элементов ССЗ.

В заключение следует отметить, что в работе исследовали заготовки ССЗ из нержавеющей стали AISI 304, состоящие из элементов с различ-

ными сочетаниями толщины, сваренных в различных направлениях с использованием лазера Nd-YAG мощностью 2 кВт. Оптимальные параметры сварки для комбинаций элементов различной толщины определены с обеспечением хорошего формирования швов и учета свойств ССЗ при испытаниях на растяжение. В случае обеспечения качественного шва разрушение обычно наблюдалось в более тонком из свариваемых элементов ССЗ (в соответствии с диаграммами ДПФ, построенными для более тонкого элемента основного металла). Следует отметить, что только на основании ДПФ нельзя получить достоверные данные о предельных деформациях для ССЗ, состоящих из комбинаций элементов различной толщины.

Настоящая работа выполнена благодаря частичному финансированию по грантам, выделен-

ным соответствующим Научно-исследовательским советом, ответственным за распределение грантов в Особом административном регионе Гонконга, Китай (проект PolyU 5178/01E), а также Научным комитетом политехнического университета Гонконга (проект G-T906).

1. *Pallett R. J., Lark R. J.* The use of tailored blanks in the manufacture of construction components // *J. Mater. Proc. Techn.* — 2001. — **117**. — P. 249–254.
2. *Saunders F. I., Wagoner R. H.* Forming of tailor-welded blanks // *Metallurgical and Materials Transactions A.* — 1996. — **27A**. — P. 2605–2615.
3. *Characteristics of weld line movements for the deep drawing with drawbeads of tailor-welded blanks* / Y. Heo, Y. Choi, H. Y. Kim, D. Seo // *J. Mater. Proc. Techn.* — 2001. — **111**. — P. 164–169.
4. *Chan S. M., Chan L. C., Lee T. C.* Tailor-welded blanks of different thickness ratios effects on forming limit diagrams // *Ibid.* — 2003. — **132**. — P. 95–101.

Deformability of tailored welded blanks (TWB) from steel produced by laser welding was studied, depending on a combination of thicknesses of the joined elements and location (orientation) of the welds. Deformability of the blanks was evaluated by Swift method. It is shown that a thinner part of the blanks determines the deformability of the tailored blanks.

Поступила в редакцию 26.01.06

МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана мобильная система регистрации параметров сварочных режимов БРПС-1.

В систему входит:

- измерительный блок для преобразования сигналов с датчиков технологических параметров в цифровой код и передачи данных в ПЭВМ;
- портативный персональный компьютер (ноутбук) с программным обеспечением ПЭВМ для отображения значений параметров сварочных режимов на мониторе, записи их на «жесткий» диск и формирования протокола процесса.

Система позволяет подключаться к имеющемуся оборудованию и записывать параметры режимов в реальном масштабе времени с последующим выводом на печать. Запись режимов может храниться как в печатном, так и электронном виде. Последнее необходимо для паспортизации процесса изготовления деталей с применением сварки и наплавки.

Система предназначена для регистрации значений основных параметров сварочного процесса в реальных единицах измерения.

Контакты:

03680, Украина, Киев-150,
ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины,
отд. № 23
Тел./факс: (38044) 287 61 57
E-mail: zhudra@intom.com.ua

