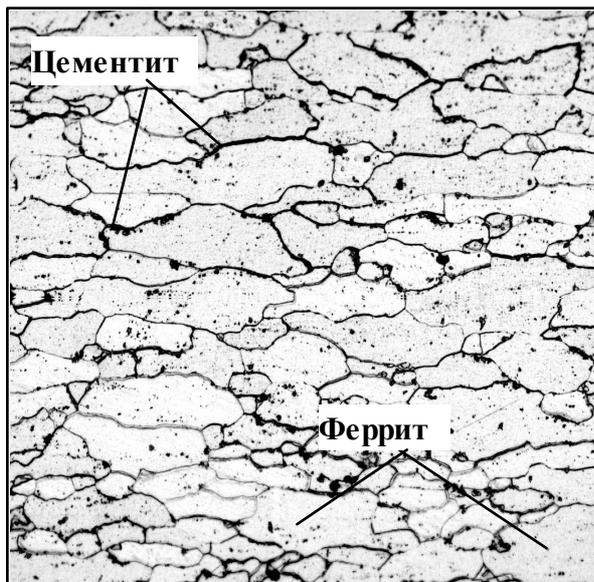


© 2006 Т.В. Хайруллин, В.И. Столбов

Тольяттинский государственный университет

В статье анализируется проблема применения в автомобильной промышленности стали 08Ю при изготовлении кузовных деталей.

В автомобильной промышленности при изготовлении кузовных деталей используется сталь 08Ю. Данная сталь является низкоуглеродистой качественной для холодной листовой штамповки и поставляется в виде тонколистового проката по ГОСТ 9045-93. В состоянии поставки микроструктура стали представляет собой вытянутые зерна феррита (твердость HV~100), окруженные сеткой цементита (твердость HV~1000) (рис.1).



×100

Рис. 1. Микроструктура стали 08 в состоянии поставки

Химический состав и механические свойства стали 08Ю приведены в таблицах 1 и 2.

Для получения указанного сочетания характеристик прочности и пластичности на металлургических комбинатах прокат из этой стали подвергают отжигу в печах непрерывного действия, либо в колпаках в среде азота: нагрев до температуры 800 – 850°С, изотермическую выдержку и замед-

Таблица 1. Химический состав стали

Массовая доля элементов, %					
C	Mn	S	P	Si	Al
не более					
0,07	0,35	0,025	0,020	0,03	

Таблица 2. Механические свойства стали

$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup> , не более	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_{80}$ , %, не менее			HV <sub>0,2</sub> , не более
		при толщине проката, мм			
		>0,7	0,7 - 1,5	1,5 - 2,0	
185	250-350	38	40	42	100

ленное охлаждение со скоростью  $\leq 30^\circ\text{C}/\text{час}$  [1]. В результате отжига сталь приобретает высокую пластичность, необходимую при вытяжке. При этом механические свойства отожженного листа изменяются относительно свойств нагартованного проката: в три раза увеличивается величина относительного удлинения, в полтора раза уменьшается предел прочности.

В настоящее время сталь 08Ю также используется при изготовлении сварных составных заготовок (ССЗ), получаемых с помощью сварки из двух, трех и более точно раскроенных листов металла разной толщины от 0,65 мм до 2,0 мм. В качестве основного способа сварки применяется лазерная сварка в среде инертного газа или в смеси газов. Такие заготовки применяются при обычной холодной листовой штамповке кузовных деталей [2].

Металловедческие исследования показали, что особенностью сварных швов ССЗ из сталей иностранного производства, аналогичных 08Ю является повышенная твердость металла шва по сравнению с основным металлом и низкие пластические свой-

ства сварных швов. Также известно, что способность к требуемой пластической деформации сварных составных заготовок (ССЗ) в местах, где линии действующих напряжений попадают на сварные соединения при холодной листовой штамповке ССЗ полностью определяют пластические свойства этих сварных соединений [3].

Для определения причин возникновения повышенной твердости сварных швов проводили исследования образцов с использованием лазерной сварки и дуговой сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом в защитной среде аргона. Дуговая сварка выполнялась на медных водоохлаждаемых пластинах, лазерная сварка проводилась без принудительного охлаждения. Режимы сварки образцов и исследуемые сочетания толщин приведены в таблице 3.

Таблица 3. Режимы сварки образцов и исследуемые сочетания толщин

Сочетания толщин листов, мм	Лазерная сварка		Дуговая сварка	
	Мощность луча $P_{л}$ , кВт	Скорость сварки $V_{св}$ , м/час	Мощность дуги $P_{д}$ , кВт	Скорость сварки $V_{св}$ , м/час
0,8+0,8	1,0	100	1,8	60
0,8+1,0	1,0	90	2,0	60
1,2+1,5	1,0	70	2,6	60
1,5+1,5	1,0	60	2,7	48

Свойства образцов сварных соединений, изготовленных из опытных образцов ССЗ, определяли при испытаниях на статическое растяжение по ГОСТ 6996-66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств». Образцы изготавливались двух типов: 1 типа для определения прочности наиболее слабого участка стыкового соединения (рис. 2, а); 2 типа с ослаблением образца в месте шва для определения прочности металла шва в стыковом соединении (рис. 2, б).

Испытания проводились на разрывной машине «UTS-100». При испытаниях образ-

цов 1 и 2 типов не выявлено разрушений по сварному шву и зоне термического влияния, что говорит о хорошем качестве сварных соединений (рис. 3). Результаты испытаний образцов 2 типа приведены в таблице 4.

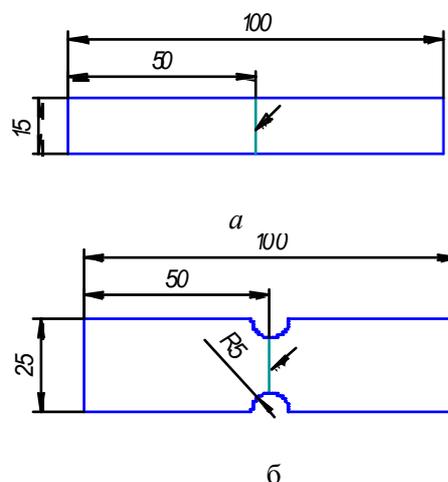


Рис. 2. Образцы для определения механических свойств сварных соединений при статическом растяжении: а – тип 1; б – тип 2

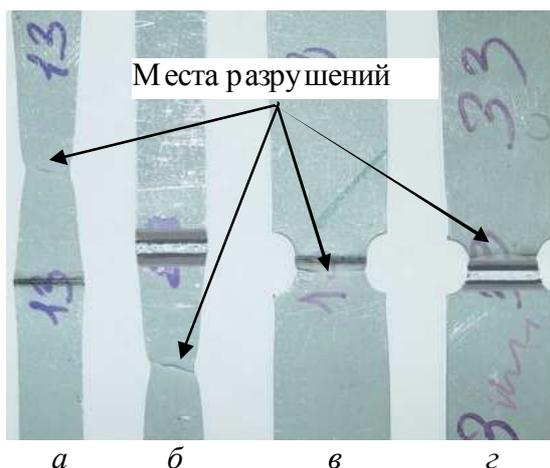


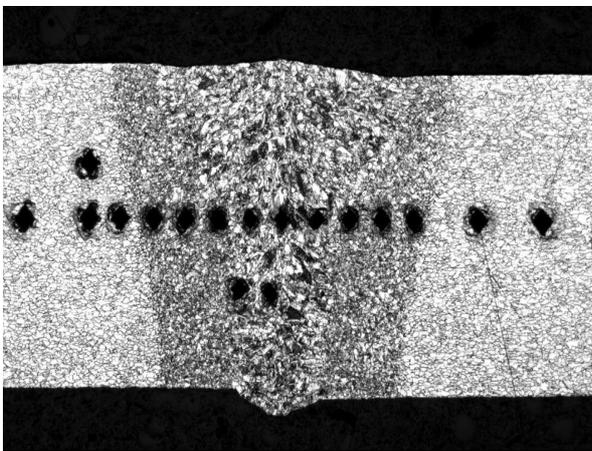
Рис.3. Разрушения на образцах: а, в – лазерная сварка; б, г – дуговая сварка

В ходе металлографических исследований была проанализирована микроструктура сварных швов (рис.4, 5, 6).

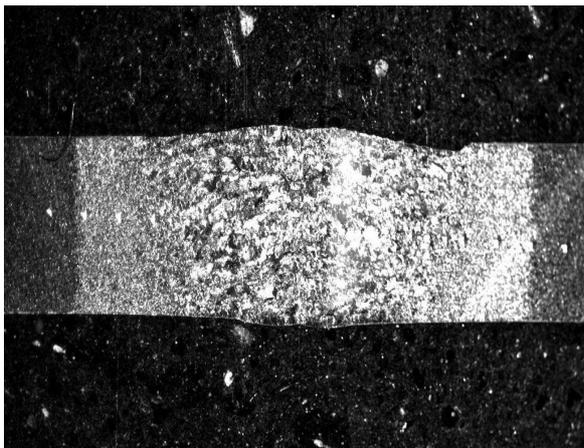
Выявлено, что, несмотря на низкое содержание углерода (не более 0,07%), твердость металла сварных швов увеличилась по сравнению с основным металлом в 2...2,5 раза, а в структуре металла шва содержатся зерна сорбита и бейнита. Известно, что для низкоуглеродистой стали такие структуры образуются при высокой скорости охлаждения порядка 1000...1500 °С/сек. [1].

Таблица 4. Результаты испытаний образцов 2 типа

Сочетания толщин листов, мм	Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>	
	Образцы лазерной сварки	Образцы дуговой сварки
0,8+0,8	381	515
0,8+1,0	383	503
1,2+1,5	414	511
1,5+1,5	394	512



×22  
а

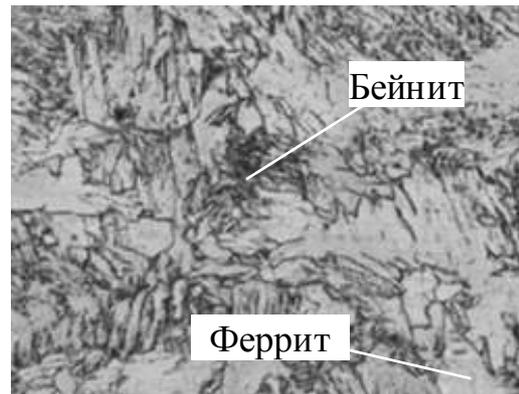


×14  
б

Рис. 4. Микроструктура сварных соединений листов 1,5 мм стали 08Ю: а – лазерная сварка; б – дуговая сварка



×100  
а



×100  
б

Рис. 5. Микроструктура металла сварного шва: а – лазерная сварка; б – дуговая сварка

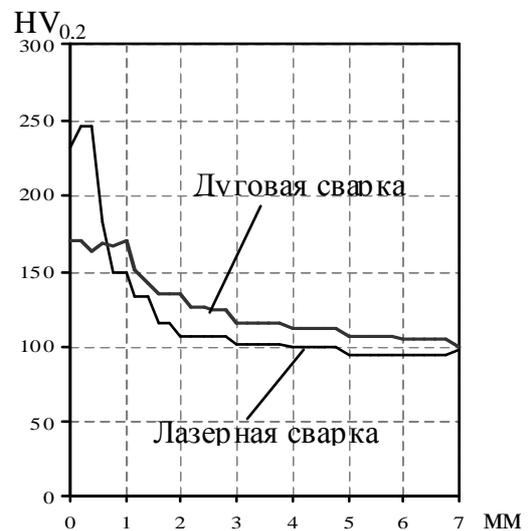


Рис. 6. Распределение микротвердости по поперечному сечению сварного соединения стали 08Ю

Для определения скорости охлаждения металла шва было проведено моделирование термического цикла металла сварного шва. Был выполнен расчет на основе метода источников по известной модели распространения теплоты от мощного линейного быст-

родвижущегося источника в тонкой пластине (1) [4]:

$$T(y, t) = \frac{q}{(v \delta \sqrt{4\pi\lambda_t c\gamma})} e^{\frac{-y^2}{4at}}, \quad (1)$$

где  $t$  – время, отсчитываемое от момента когда источник пересекает плоскость исследуемого сечения;  $q$  – мощность сварочного источника;  $v$  – скорость перемещения источника по длине сварного шва;  $\delta$  – толщина пластины;  $\lambda_t$  – коэффициент теплопроводности;  $c\gamma$  – объемная теплоемкость;  $a$  – коэффициент температуропроводности.

Для проверки адекватности модели было проведено экспериментальное определение распределения тепла в сечении сварного шва при сварке с использованием термопар. Термопары устанавливались с обратной стороны листов на расстоянии 1,5 мм от свариваемого стыка на образцах лазерной сварки и на расстоянии 3 мм для образцов дуговой сварки по 6 штук по обоим сторонам свариваемого стыка на расстоянии 10 мм друг от друга. Термометрирование проводилось в пяти повторных опытах на одних и тех же режимах сварки. В ходе последующей обработки результатов выявлено, что полученная экспериментальная кривая охлаждения достаточно точно соответствует теоретической модели и термическому циклу характерному для образования в стали 08Ю структур типа бейнит и сорбит [1] (рис. 7).

В результате работы выявлено, что увеличения твердости происходит по нескольким причинам.

В первую очередь необходимо отметить, что при сварке металл переплавляется и возвращает свою литую структуру как после плавки. Зерна металла шва находятся в высокой степени неравновесности, неправильности формы.

Следующая причина состоит в появлении закалочных структур бейнитного и сорбитного типа, которые возникают из-за вы-

сокой скорости кристаллизации при остывании сварного шва.

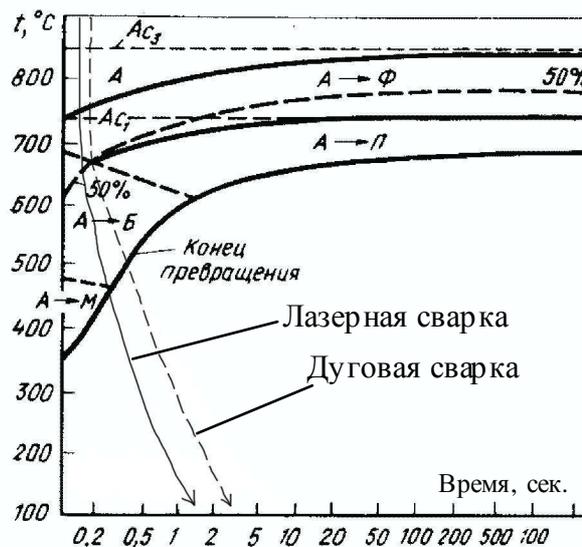


Рис. 7. Диаграмма изотермического превращения аустенита в стали 08Ю с наложенными кривыми охлаждения металла сварных швов

Образование этих структур объясняется тем, что при сварке для тонколистового проката толщиной 0,65...2,0 мм образуется небольшая сварочная ванна. Т.к. поверхность теплоотвода в холодные части листов значительная, то скорость кристаллизации металла соответствует скоростям закалки.

### Список литературы

1. Структура и свойства автолистовой стали./В.Л. Пилюшенко, А.И. Яценко, А.Д. Белянский и др. – М.: Металлургия, 1996. – 164 с.
2. Бернадский В.Н. «Тонколистовые сварные составные заготовки – “Tailored Blanks” в автомобилестроении»// Сварочное производство, 2001- №6,- с.15-30
3. X.Bellut et al. Welded blanks. Characterization and implementation.//Sollac Usinor Group, 1998.
4. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.:Машгиз, 1951, 296 с.

## PROPERTIES OF THE LOW-CARBON STEEL 08AL WELDS

© 2006 T.V. Khairullin, V.I. Stolbov

Togliatti State University

Analyzed problem of hardness increasing in the welds of steel 08Al of the tailored welded blanks (TWB). Given the description of the steel 08Al, TWB sampling by laser and WIG welding, mechanical tests and metallographic analysis, definition of thermal cycle of metal in molten pool. Revealed the hardness increasing result from reversion of the steel structure and bainite phase initiations.