

Доцент ЛЮКЕВИЧ Д. А.

## Исследование газовой сварки тонколистной стали ЭЯТ, толщиной 0,3 мм

### Характеристика исходного материала

Сталь марки ЭЯТ относится к классу аустенитовых-нержавеющих сталей. Примесь титана повышает коррозионную устойчивость и обеспечивает вполне удовлетворительную работу этой стали при высоких температурах.

Целью данной работы являлось установление оптимального режима газовой сварки листовой стали, толщиной 0,3 мм., а также выяснение влияния состава сварочного пламени на прочность сварной конструкции.

Сварная конструкция из указанной выше стали должна работать в довольно сложных условиях (среда СО и СО<sub>2</sub> при температуре 600—650°). Качественный и количественный анализ исходного материала приведен в таблице 1.

Таблица 1

С	Cr	Ni	Ti	Mn	Si	S	Ph
0,08—0,12%	18—19,2%	8—9,7%	0,4—0,6%	0,5—0,6%	0,4—0,6%	0,010%	0,0020%

Результаты механических испытаний на растяжение исходного материала приведены в таблице 2.

Таблица 2

Разрушающая нагрузка в кг	Времен. сопротивлен. в кг/мм <sup>2</sup>	Относит. удлинение в %
310	57	40
320	57,5	40
315	57	33
320	57,5	40
305	56	36

Исходный материал был подвергнут металлографическому исследованию.

На фиг. 1 приведена фотография шлифа исходного материала при линейном увеличении  $\times 600$ .

Травление шлифа было произведено раствором следующего состава: 1) 5 см<sup>3</sup> 10%—хромовой кислоты 2) 25 см<sup>3</sup> —соляной кислоты.



Указанный травитель быстродействующий. Время травления шлифа 2—4 секунды.

Из микрофотографии фиг.1 видно, что исходный материал представляет собой нормальную аустенитовую-полиэдрическую структуру, характерную для сплавов с большим % % -ным содержанием „Cr“ и „Ni“.

Осмотр нетравленного шлифа выявил значительное количество шлаковых включений.

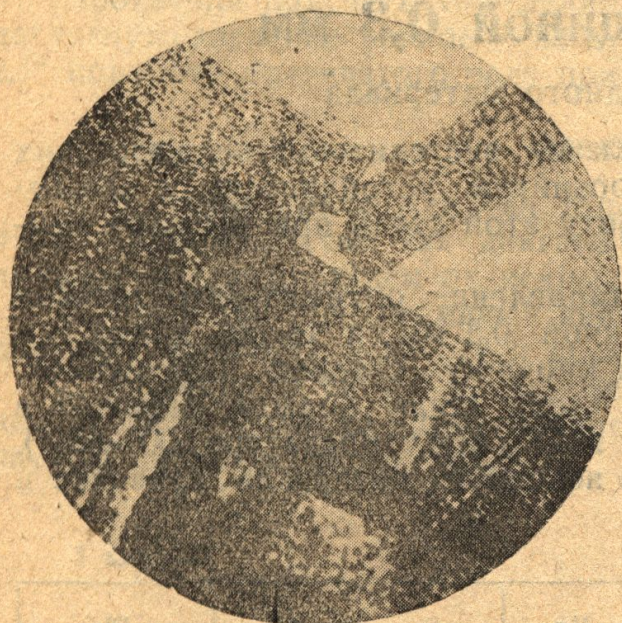
### Особенности сварки нержавеющей аустенитовых сталей

Хромоникелиевая сталь, относящаяся к разряду четвертных сплавов, характерна своей повышенной чувствительностью к межкристаллической коррозии. Причиной, вызывающей склонность обычной нержавеющей стали к межкристаллическому разрушению, является распад аустенитовых зерен,

сопровождающийся образованием карбидов хрома, которые распределяются по границам зерен. При этом, по периферии, зерна обедняются в отношении хрома.

Это явление происходит в пределах температур 425—830°. Вследствие наличия неоднородности структуры—создаются гальванические пары, под действием которых происходит разрушение металла. Таким образом, выпадение карбидов хрома у нержавеющей сталей является весьма отрицательным фактом.

Растворить карбиды можно вторичным нагревом до температур выше критической точки. Такой температурой для класса нержавеющей сталей является температура 1000—1100° С. Поэтому свар-



Фиг. 1

ные конструкции из обычной нержавеющей стали (18—8) после сварки должны быть подвергнуты термической обработке. Нагрев в печи до температуры 1000—1100° С с выдержкой при этой температуре, в зависимости от толщины и с последующим остыванием на воздухе.

*Пример.* Из обычной нержавеющей листовой стали, толщиной 0,3 мм была сварена конструкция, которая работала в весьма неблагоприятных условиях (среда CO и CO<sub>2</sub> при температуре 600—650° С). После нескольких часов работы на конструкции было обнаружено большое количество трещин. Жесткость материала конструкции увеличилась.

Было предположение, что сталь приняла под действием среды и высокой температуры новую структурную составляющую.

Испытание материала на магнитные свойства показало, что магнитные свойства отсутствуют и следовательно мы имеем дело с твердым раствором „γ“, т. е. с аустенитом.

Для металлографического исследования были изготовлены шлифы из материала конструкции, бывшей в работе. Микрофотография этого шлифа приведена на фиг. 2 (увеличение 600).

Изучение микрошлифов указывает на наличие зерен карбидов.

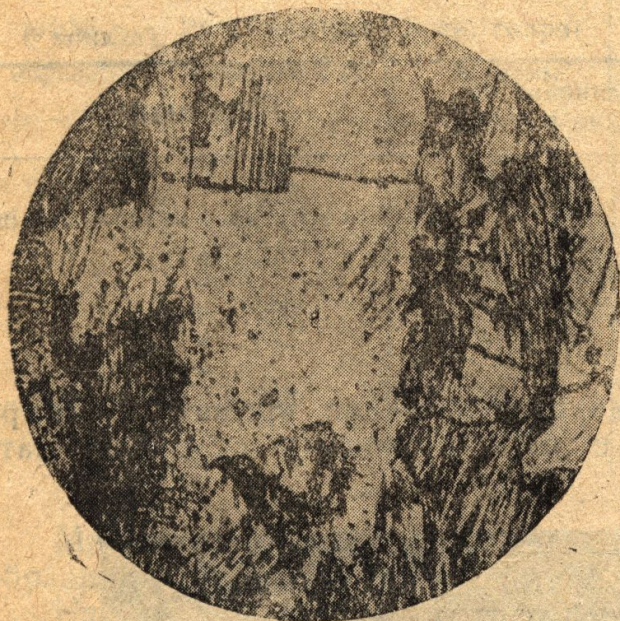
На фиг. 3 приведена микрофотография (увеличение 600) того же материала после термической обработки.



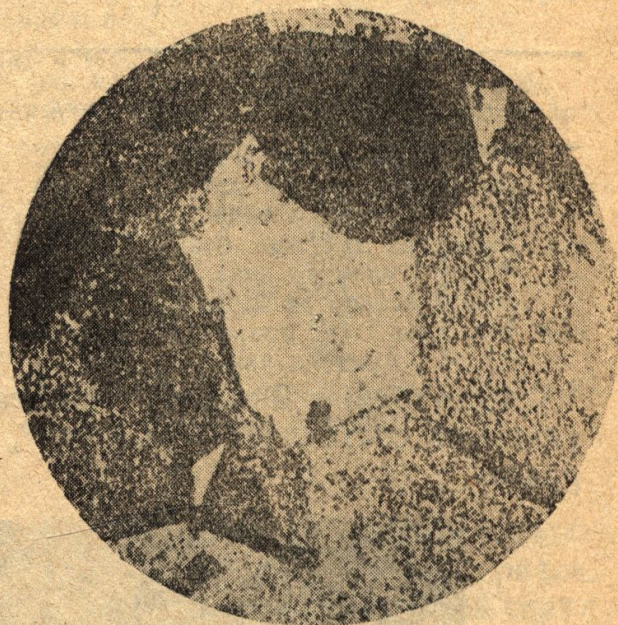
Режим термообработки:

- 1) нагрев в электропечи—до  $1100^{\circ}\text{C}$
- 2) выдержка при этой температуре—30 минут
- 3) остывание—на воздухе.

На микрофотографии ясно выражены полиэдры аустенита, отсутствуют карбиды, которые при температуре  $1100^{\circ}\text{C}$  перешли в раствор.



Фиг. 2



Фиг. 3

Таким образом, выбор нержавеющей стали типа „18—8“ в качестве строительного материала для данной сварной конструкции был ошибочен, потому что работа этой конструкции при температуре  $600—650^{\circ}\text{C}$  создавала условия для распада твердого раствора, распад которого, как известно, сопровождается выпадением карбидов.

### Сварка нержавеющей стали с примесью титана

*Подготовка образцов.* Образцы были вырезаны из сварной пластины соответствующего размера. Начало и конец сварки были отброшены. Пластины сваривались внахлестку, величина нахлестки была принята равной 5 мм.

Пластины сваривались с одной стороны. Перед сваркой пластины были тщательно очищены от следов масла и грязи при помощи бензина.

На фиг. 4 показана схема вырезки образцов.

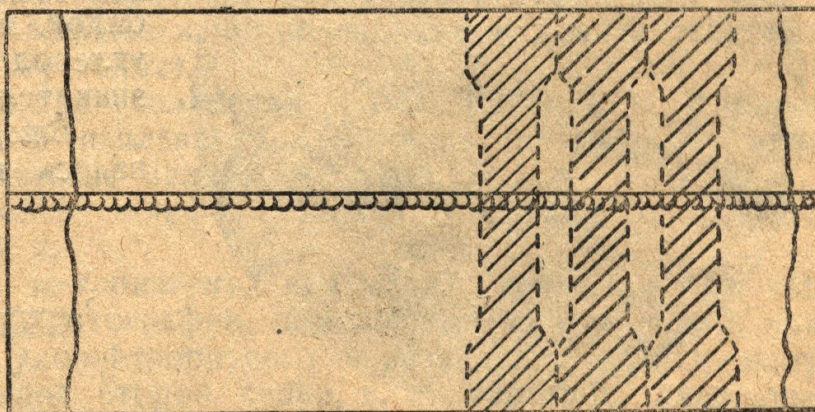
*Первая серия образцов* сваривалась при следующих условиях: мощность сварочной горелки 75 литр/час. (наконечник № 0).

Присадочный материал—„лапша“ ЭЯТ.

Состав пламени: избыток ацетилена.

После сварки образцы были подвергнуты тщательному наружному осмотру на предмет определения трещин и пористости.

Сварочный шов, сваренный пламенем с избытком ацетилена, т. е.



Фиг. 4



науглераживающим, представляет собой неравномерный, расплывчатый валик. Основной материал вблизи сварочного шва имел налет копоти. Встречаются свищи.

Образцы были подвергнуты испытанию на растяжение. Результаты механических испытаний приведены в таблице 3, а на фиг. 5 помещена фотография образца после испытания с характерным разрывом для этой серии образцов.

Таблица 3

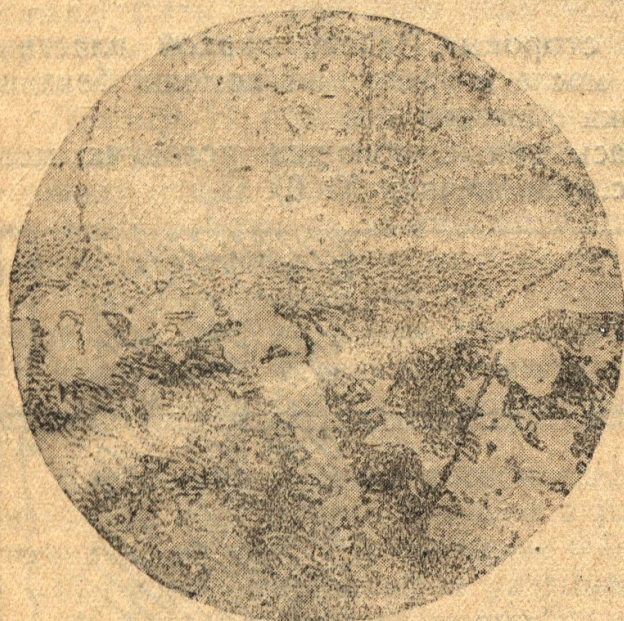
№№ образцов	Разрушающ. нагрузка в кг	Времен. со- прот. в кг/мм <sup>2</sup>	Удлинение на длине в %	Примечание
1	215	40	0	Разрыв основного материала у шва
2	240	44	0	
3	230	43	0	
4	235	43,5	0	
5	210	39,5	0	
6	238	43,6	0	

Из таблицы 3 видно, что наименьшее значение временного сопротивления составляет 39,5 кг/мм<sup>2</sup>, т. е. 67% прочности основного материала.



Фиг. 5.

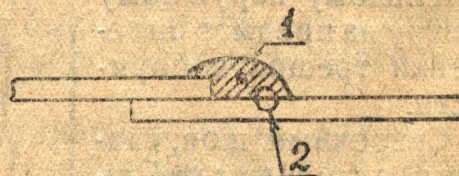
Место сварки было подвергнуто металлографическому исследованию. На фиг. 6 помещена микрофотография, а на фиг. 7 стрелкой указано место, с которого сделан снимок.



Фиг. 6.

На микрошлифе снизу расположен наплавленный металл, а сверху—основной. На микро отчетливо видно зерно аустенита, по границам которого имеются скопления сложных карбидов. Причиной, вызвавшей выпадение карбидов, можно считать избыточный углерод сварочного пламени и незначительную скорость сварки.

Вторая серия образцов сваривалась нормальным пламенем. В



Фиг. 7.



процессе сварки удалось установить, что даже незначительный избыток кислорода в сварочном пламени намного затрудняет процесс ведения сварки.

В остальном условия сварки те же, что и у первой серии образцов.

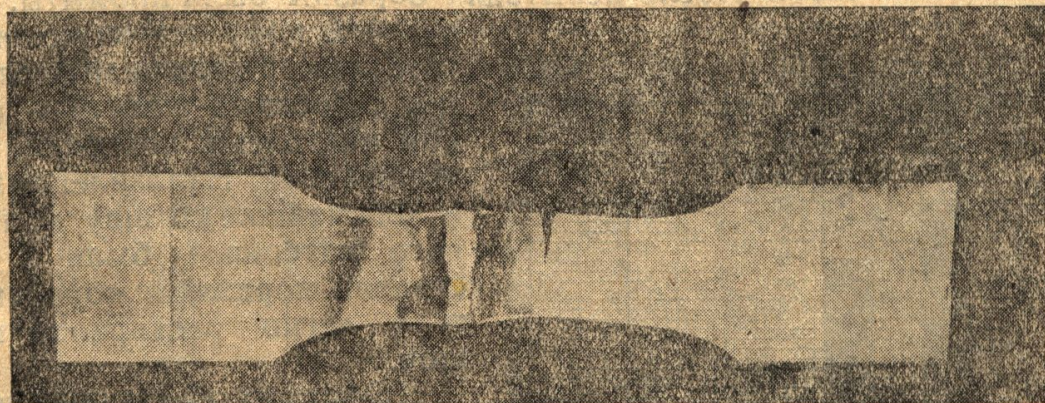
Результаты испытаний второй серии образцов на растяжение приведены в таблице 4.

Таблица 4

№№ образцов	Разрушающая нагрузка в кг	Врем. сопрот. в кг/мм <sup>2</sup>	Удлинен. на длине в %	Примечание
1	284	52,5	2,5	Разрыв материала у шва
2	312	57	4,2	Разр. осн. мат. вне зоны влияния пламени
3	275	53	3	Разр. осн. мат. вне зоны влияния пламени
4	290	53,7	3	Разрыв материала у шва
5	315	57,3	4	Разр. осн. мат. вне зоны влияния пламени
6	308	56	3,2	Разр. осн. мат. вне зоны влияния пламени

Минимальное временное сопротивление для данной серии сварных образцов составляет 53 кг/мм<sup>2</sup>, т. е. 93% прочности основного материала.

На фиг. 8 помещена фотография с характерным разрывом этой серии образцов.



Фиг. 8.

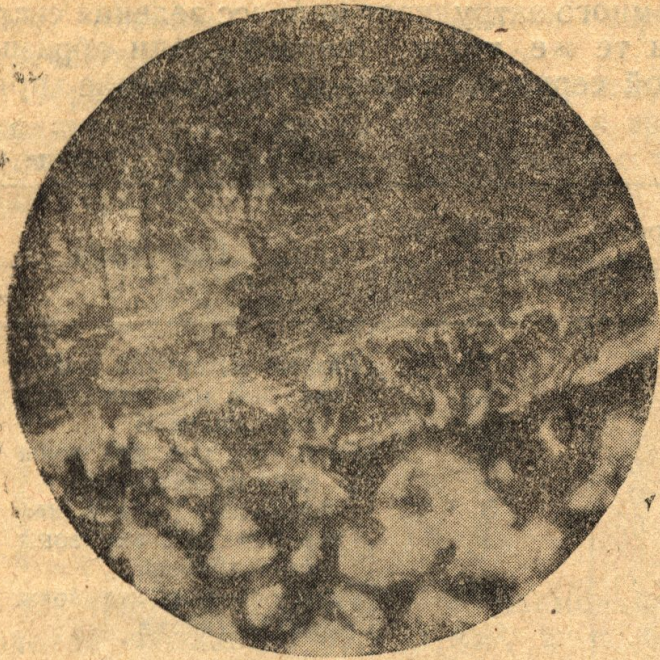
Фиг. 9 показывает микрофотографию места сварки при линейном увеличении 500. Сверху расположен наплавленный металл (металл сварочного шва), ясно видна зона сплавления. Внизу фотографии расположен основной материал с ярко выраженными полиэдрами аустенита, отчетливо видно расплавление зерна аустенита.

Шлиф был просмотрен при увеличении  $\times 1900$ . Карбиды в основном материале отсутствуют, а в наплавленном металле по границам зерен лишь незначительное количество мелких карбидов.

На фиг. 10 показано место шлифа, с которого сделана микрофотография, отмечено стрелкой 2.

Сравнивая результаты механических испытаний, приведенных в таблицах 3 и 4, а также микрофотографии, помещенные на фиг. 6 и 9, приходим к заключению, что удовлетворительные результаты сварки получены при испытании образцов второй серии, т. е. образцов, сваренных нормальным пламенем.



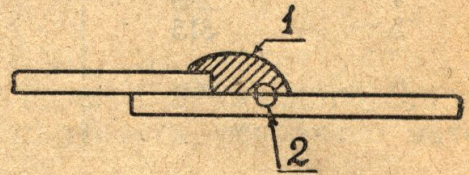


Фиг. 9

Диаграмма фиг. 11 наглядно показывает разницу в прочности первой и второй серий образцов по сравнению с основным материалом.

### Испытание на межкристаллическую коррозию

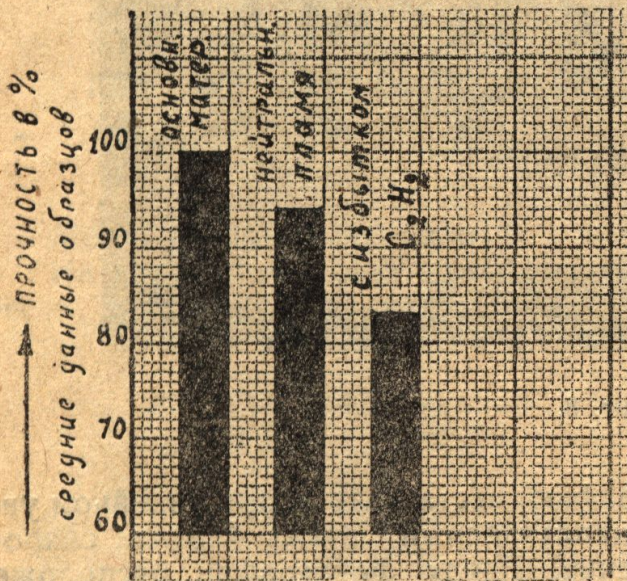
Образцы, сваренные пламенем с избытком ацетилена, и нейтральным пламенем, были подвергнуты испытанию на интеркристаллическую коррозию



Фиг. 10.

в водном растворе медного купороса „ $\text{CuSO}_4$ “ и серной кислоты „ $\text{H}_2\text{SO}_4$ “ при температуре кипения этого раствора.

На фиг. 12 можно видеть общий вид установки. Испытание велось в течение 80-ти часов. После испытания образцы были промыты. Никаких явлений коррозии на основном материале не было обнаружено. Образцы, сваренные пламенем с избытком ацетилена, потеряли металлический звук. Наплавленный металл и ближайшие ко шву зоны основного материала были в сильной степени поражены коррозией. Металл легко растирался в порошок.



Фиг. 11.

Образцы, сваренные пламенем 2, после испытания на коррозию при постукивании, издавали характерный металлический звук. Однако, необходимо отметить, что прочность образцов после испытания уменьшилась. Относительное удлинение на мерной длине упало до 0. Прочность сварных образцов, сваренных пламенем 2 (нейтральным пламенем), после испытания на интеркристаллическую коррозию, составляет 45—50% от прочности образцов, сваренных тем же пламенем, но не подвергавшихся испытанию на коррозию.

Для сравнения была сварена серия образцов при помощи точечной сварки.

### Точечная сварка

Точечная сварка образцов была проведена на аппарате типа АТ-3.

На основании имеющегося опыта был принят следующий режим сварки:



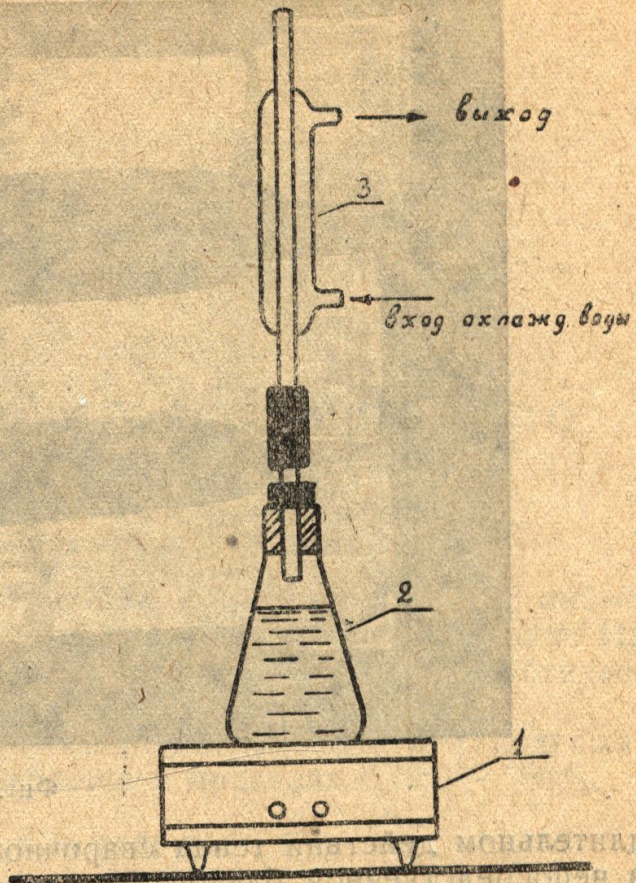
- 1) диаметр электрода . 3 мм
- 2) сила тока . . . . . 4-я ступень
- 3) время сварки . . . . . 0,5 секунды

На каждый образец ставилось три точки с шагом, равным  $2d$  электрода.

Перед сваркой образцы промывались бензином и тщательно протирались. Величина нахлестки 5 мм.

Результаты механических испытаний на растяжение приведены в таблице 5.

На фиг. 13 показана макро-структура сварной точки при линейном увеличении 28. Изменения в структуре материала, вследствие действия сварочного тепла, распространились не на всю толщину свариваемых листов, а только на 50%. В данном случае мы получили так называемую „мгновенную сварку“.



Фиг. 12.

Таблица 5

№№ образцов	Разруш. нагрузка на образец в кг	Колич. точек на образце	Разруш. нагрузка на точку в кг	Примечания
1	290	3	96,6	Разрыв по основному материалу вдали от шва
2	290	3	96,6	"
3	310	3	103,3	"
4	270	3	90	"
5	320	3	106,6	"
6	275	3	91,5	"

Сравнивая данные прочности точечной сварки с прочностью газовой сварки—приходим к выводу, что однорядный шов точечной сварки с шагом, равным  $2d$ —электрода, не уступает по прочности непрерывному шву газовой сварки.



Фиг. 13.

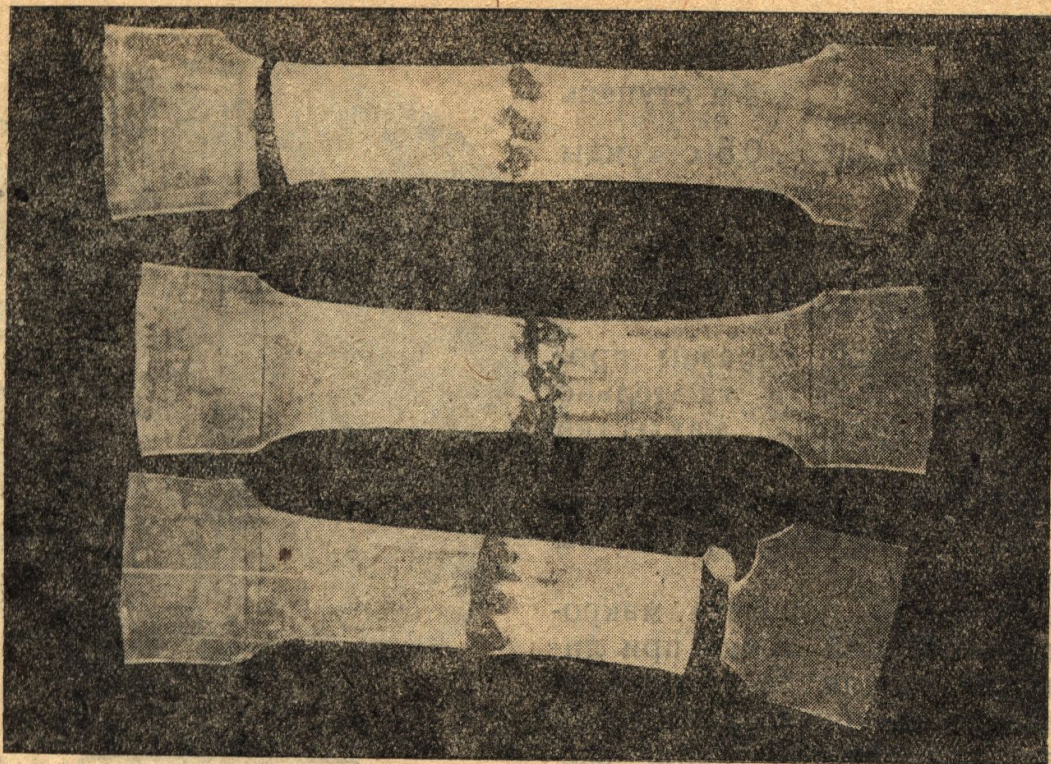
На фиг. 14 приведена фотография образцов, сваренных точечной сваркой после разрыва.

#### Выводы

На основании проведенных исследований и наблюдений за процессом сварки можно установить, что при внимательном отношении к ведению процесса сварки, газовая сварка стали ЭЯГ толщиной 0,3 мм—дает удовлетворительные результаты.

При газовой сварке указанной стали необходимо помнить, что при





Фиг. 14.

длительном действии тепла сварочного пламени в зонах, расположенных в непосредственной близости к сварочному шву, может происходить выпадение карбидов. Поэтому, сварку необходимо вести с максимальной скоростью.

В процессе сварки нужно стремиться к тому, чтобы как можно меньше отводить пламя газовой горелки от шва, в противном случае, под действием кислорода воздуха, будут образовываться весьма тугоплавкие окислы, которые в сильной степени затрудняют процесс сварки.

По этим же соображениям нельзя давать пламени избыток кислорода. Ярко-белый цилиндрический столбик газового пламени, непосредственно примыкающий к мундштуку горелки, не должен касаться ванночки расплавленного металла.

Сварка с избытком ацетилена не должна применяться, т. к. углерод избыточного ацетилена будет создавать благоприятные условия для появления карбидов хрома.

В отношении выбора мощности горелки необходимо указать следующее: для сварки листового материала толщиной 0,3 мм, 0,5 мм рекомендуется применять наконечник „00“.

Не исключена возможность применения наконечника „0“, но при этом скорость ведения сварки должна быть соответственно увеличена.

В качестве присадочного материала рекомендуется применять проволоку 18-8 или „лапшу“, размер „лапши“  $0,5 \times 2,5-3$  мм.

В случае отсутствия проволоки или „лапши“ из стали 18-8 можно применять „лапшу“, химический состав которой соответствует химическому составу основного материала.

Перед сваркой конструкции из листовой стали необходимо осуществлять прихватку с шагом, равным 50—60 мм.

Лучше всего прихватку вести с помощью точечной сварки.

Несмотря на то, что газовая сварка указанной стали дала удовлетворительные результаты мы считаем (на основе имеющегося опыта и данных таблицы 5) более целесообразным применение для сварки стали толщиной 0,3 мм способа сварки методом сопротивления (точечной и роликовой).