

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ**

**Пётр Евгеньевич Самарин, Валерий Викторович Макаров**

студенты 5 курса, очная форма

*Российская Федерация, г. Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ-12.*

**Научный руководитель: А. И. Мисюров**

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-12

Одной из главных задач современного автомобилестроения является создание ультралёгкого стального кузова. Существует программа создания такого кузова ULSAB – «Ultralight Steel Auto Body», которая предлагает использовать закаливающиеся высокопрочные и сверхпрочные стали с пределом прочности до 800 МПа, что позволяет уменьшить толщину кузовных деталей без снижения прочностных характеристик кузова и получить снижение массы кузова на 30% по сравнению с серийными аналогами кузовов из обычно применяемых низкоуглеродистых сталей с пределом прочности около 300 МПа. Согласно расчетам автомобилестроителей, каждый процент экономии веса автомобиля – приводит к снижению расхода топлива на 0.6-1.0 %. Таким образом, наряду со снижением затрат владельца автомобиля на топливо, снижение веса автомобиля сокращает также выброс "парникового" газа CO<sub>2</sub>. Авторы программы ULSAB рекомендовали лазерную сварку. Это связано с минимальными остаточными сварочными деформациями. Однако использование лазерной сварки приводит к появлению хрупких закалочных структур в сварном соединении, что вызывает хрупкое разрушение при штамповке.

Исключение закалочных структур можно добиться уменьшением скорости охлаждения в интервале температурных превращений. Для достижения этого в данной работе предлагается применить дополнительный источник тепла. Совместное использование источников дает возможность получить следующие преимущества:

1. Регулировать скорость охлаждения в диапазоне температур фазовых и структурных превращений.
2. Повысить производительность процесса лазерной обработки за счет синергетического эффекта.

Реализация преимуществ достигается при изменении взаимного положения тепловых источников, имеющих различную распределенность плотности мощности, что позволяет регулировать тепловую обстановку в свариваемом изделии.

Исследования проводили на образцах из стали 30ХГСА толщиной 0,8 мм. Исходная структура исследуемой стали перед сваркой состоит из сфероидизированного перлита и феррита. Микротвердость основного металла составила 200-240 HV.

Металлографическими исследованиями установлено, что лазерная сварка стали 30ХГСА сопровождается высокой скоростью охлаждения и образованием в металле шва крупноигольчатой структуры, состоящей в основном из мартенсита (М) и бейнита (Б). Полученные значения микротвердости 640 – 480 HV соответствуют этим структурам и в этом случае в структуре шва преобладает мартенсит. Процентное соотношение фаз на поверхности шва - М-Б 94,75% - 5,25% . Такая структура более склонна к трещинообразованию. При лазерной сварке на малой скорости и большой погонной энергии зерно растет заметно. Микроструктура зоны шва в этом случае отличается более крупным зерном по сравнению со структурой в зоне термического влияния (ЗТВ) или околошовной зоне. Далее крупноигольчатая бейнитно-мартенситная структура измельчается, и основной структурной составляющей в стали в участке полной перекристаллизации является бейнит и сравнительно небольшое количество мартенсита. Дисперсность игольчатой структуры заметно возрастает. В участке неполной перекристаллизации структура состоит главным образом из бейнита с небольшими участками троостита.

Данные металлографических исследований структуры ЗТВ стали 30ХГСА свидетельствуют о том, что структура линии сплавления с мелким зерном состоит в основном из мартенсита и бейнита, количество которого увеличивается в этом участке по сравнению с зоной шва. По мере удаления от линии сплавления в основной металл происходит выделение троостита (Т), а количество бейнита и его дисперсность уменьшаются. В участке полной и неполной перекристаллизации наряду с участками троостита в структуре имеются участки перлита и феррита. Участки троостита крупнее по сравнению с участками перлита и феррита в структуре основного металла. Микротвердость ЗТВ составила от 480 до 363 HV. Описанные изменения структур в характерных участках околошовной зоны стали 30ХГСА, находятся в полном соответствии с характером изменения твердости.

Очень важным преимуществом применения дополнительного источника тепла вместе с лазером является различное распределение плотности мощности источников в пятне нагрева, что позволяет программировать термический цикл. Меняя взаимное расположение источников, получаем, возможность задавать различную форму

термического цикла, необходимую для обработки конкретного материала. В связи с этим имеется возможность использовать данный комбинированный метод для сварки специальных высокопрочных сталей, например закаливающихся. Для них необходимо обеспечить высокую скорость охлаждения в области температур кристаллизации (от температуры плавления до  $T=800^{\circ}\text{C}$ ), а при  $T < 800^{\circ}\text{C}$  – обеспечить низкую скорость охлаждения с целью получения в сварном шве структуры, имеющей малую склонность к образованию холодных трещин.

Известно, что при чисто лазерной сварке скорость охлаждения соответствует величине, при которой в шве и ЗТВ происходит образование мартенсита, имеющего высокую вероятность образования холодных трещин. Действительно, есть литературные данные, свидетельствующие о том, что в данных сталях при скоростях охлаждения более 50 град./сек., увеличивается склонность к образованию холодных трещин. Применяя дополнительный источник, можно снизить скорость охлаждения в заданном интервале температур, тем самым, перейдя в бейнитную область.

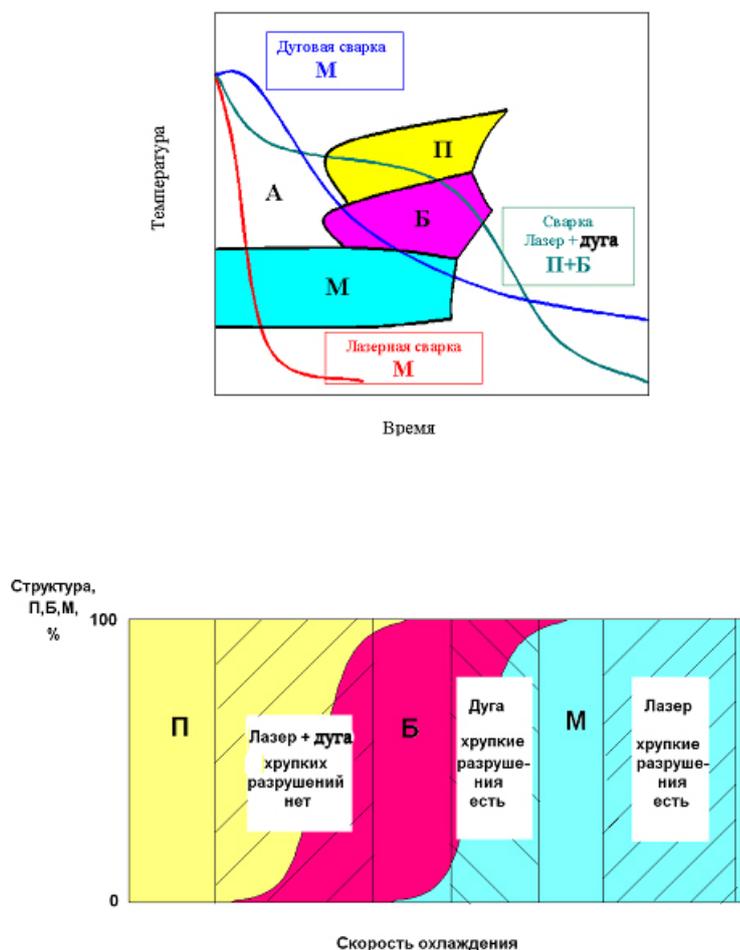


Рис. 1. Получение перлитно – бейнитной структуры за счёт уменьшения скорости охлаждения при расположении дополнительного источника нагрева за лазерным лучом.

Это приводит к снижению вероятности образования холодных трещин.

При лазерной сварке с применением дополнительного источника тепла происходит снижение скорости охлаждения, и структура шва состоит из троосто-бейнита. Микротвердость зоны шва составила 337-523 НV. Процентное соотношение фаз на поверхности шва - Б-Т 86% - 14% . Образование в структуре шва троосто-бейнита приводит к снижению вероятности образования холодных трещин.

Данные металлографических исследований структуры ЗТВ стали 30ХГСА свидетельствуют о том, что структура линии сплавления с мелким зерном состоит в основном из бейнита и троостита, количество которого увеличивается в этом участке по сравнению с зоной шва. По мере удаления от линии сплавления в основной металл происходит выделение троостита, а количество бейнита и его дисперсность уменьшаются. В участке полной и неполной перекристаллизации наряду с участками троостита в структуре имеются участки перлита и феррита. Участки троостита крупнее по сравнению с участками перлита и феррита в структуре основного металла. Микротвердость ЗТВ составила от 480 до 230 НV. Описанные изменения структур в характерных участках ЗТВ стали 30ХГСА, находятся в полном соответствии с характером изменения твердости.

Наряду со структурой, была исследована эффективность процесса лазерной сварки стали 30ХГСА с применением дополнительного источника тепла.

Эффективность оценивали по эффективному и термическому КПД. Для исследования эффективного КПД процесса использовался метод калориметрирования. С помощью данного метода были получены зависимости эффективного КПД лазерной сварки и лазерной сварки с применением дополнительного источника тепла от скорости обработки. Эффективный КПД лазерной сварки с применением дополнительного источника тепла оказался выше, чем при лазерной.

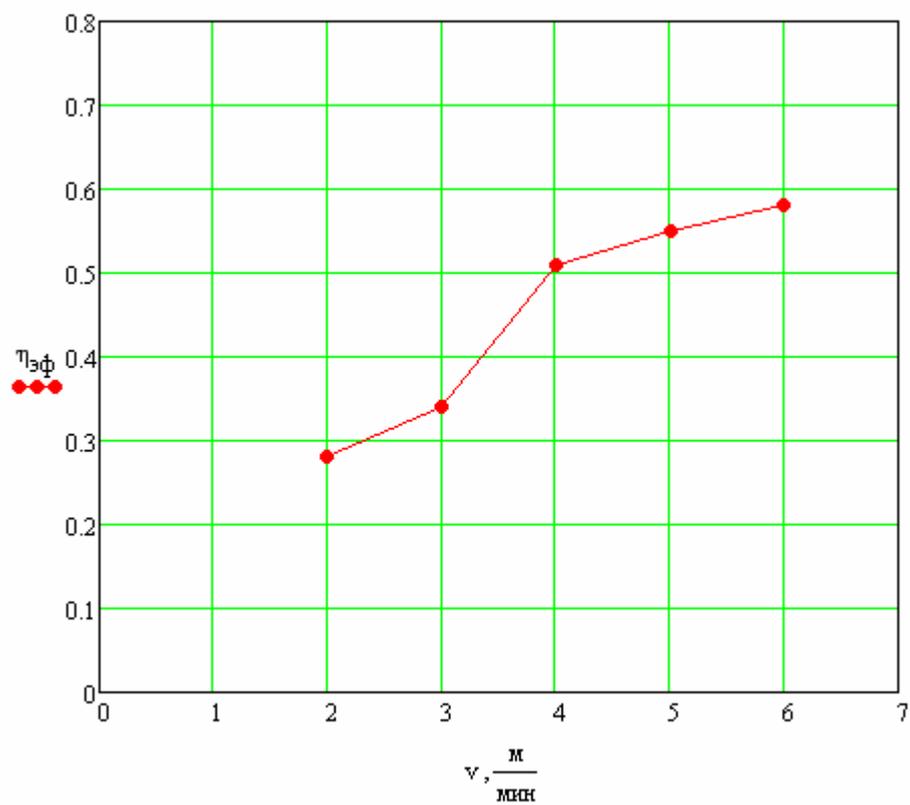


Рис. 2. Зависимость эффективного КПД лазерной сварки от скорости.

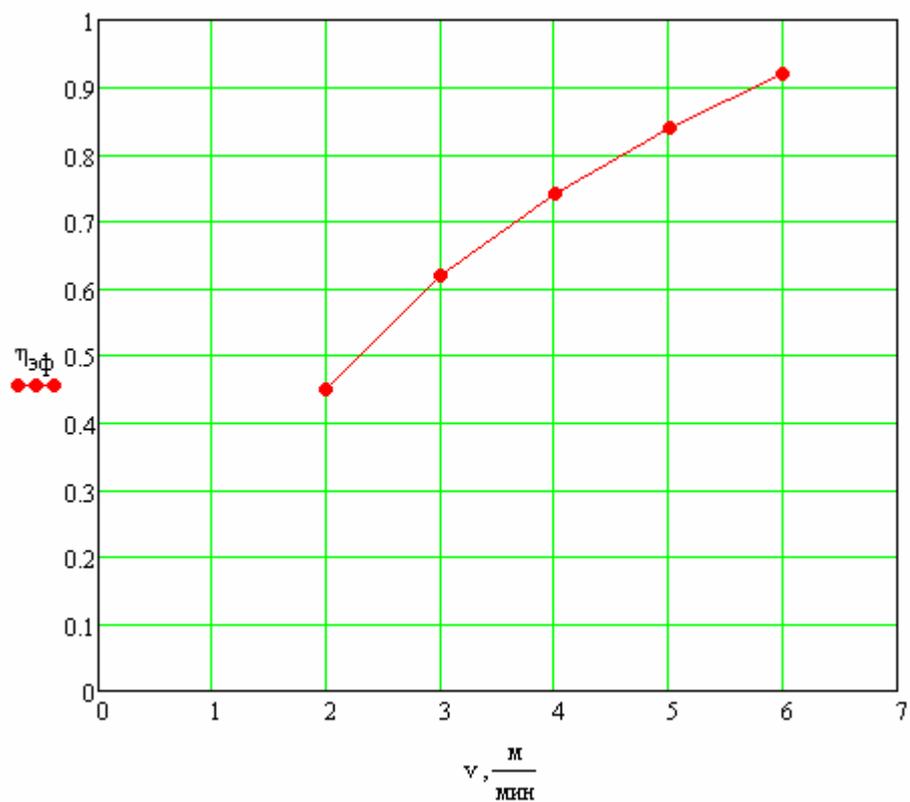


Рис. 3. Зависимость эффективного КПД лазерной сварки с применением дополнительного источника тепла от скорости сварки.

Экспериментальное определение термического КПД проводили по оценке площади поперечного сечения сварного шва.

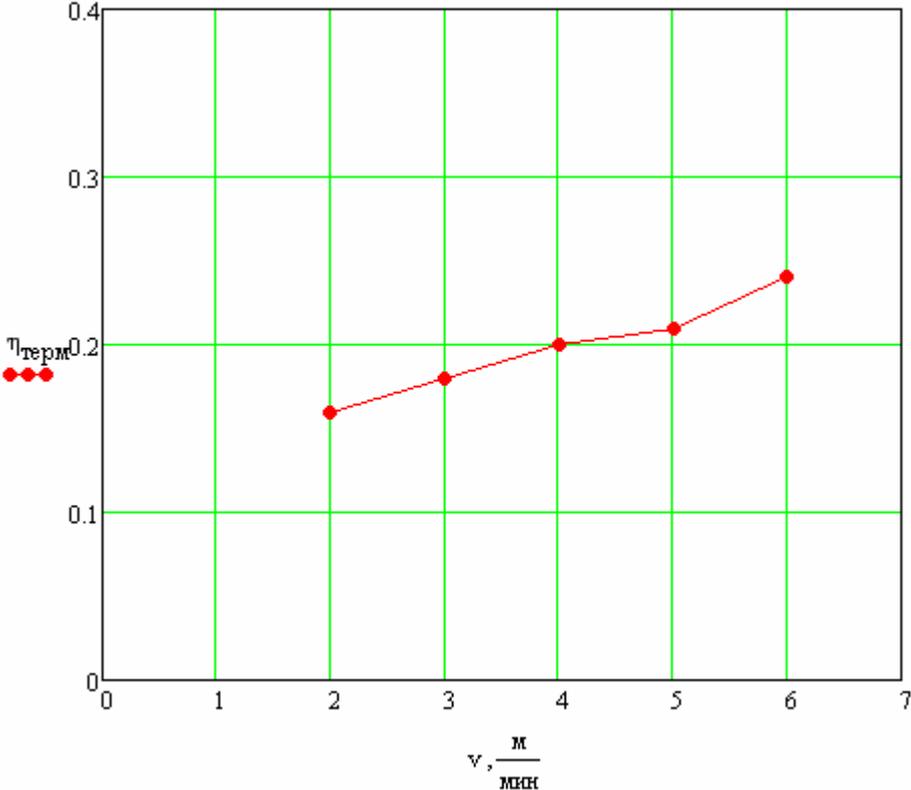


Рис. 4. Зависимость термического КПД лазерной сварки от скорости обработки

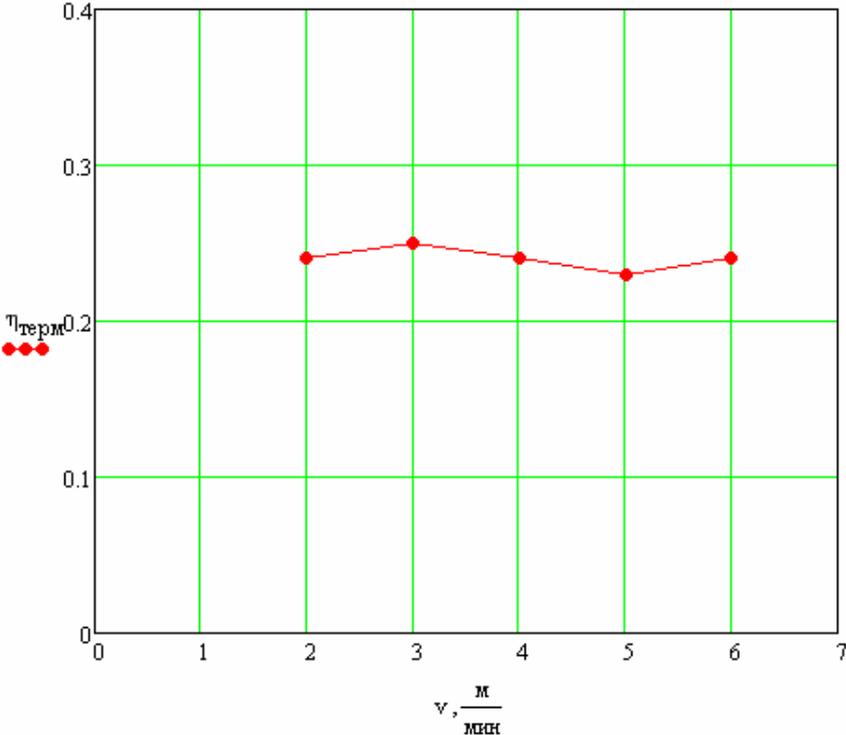


Рис. 5. Зависимость термического КПД лазерной сварки с применением дополнительного источника тепла

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод, что применение дополнительного источника тепла не только позволяет регулировать структуру, но и повышает эффективность процесса лазерной сварки.