



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2003104668/02, 17.02.2003

(24) Дата начала действия патента: 17.02.2003

(43) Дата публикации заявки: 27.08.2004

(45) Опубликовано: 10.02.2006 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: JP 52-32854 A, 1977. RU 2108178 C1, 10.04.1998. RU 2022742 C1, 15.11.1994. SU 1758964 C, 30.08.1994. RU 2186667 C2 10.08.2002. RU 2120364 C1, 20.10.1998. JP 2224885 A, 06.09.1990.

Адрес для переписки:

246019, Республика Беларусь, г.Гомель, ул.
Советская, 104, УО "Гомельский
государственный университет им. Ф. Скорины",
патентная служба

(72) Автор(ы):

Мышковец Виктор Николаевич (BY),
Максименко Александр Васильевич (BY),
Шалупаев Сергей Викентьевич (BY),
Тучин Андрей Николаевич (BY),
Юркевич Сергей Николаевич (BY)

(73) Патентообладатель(ли):

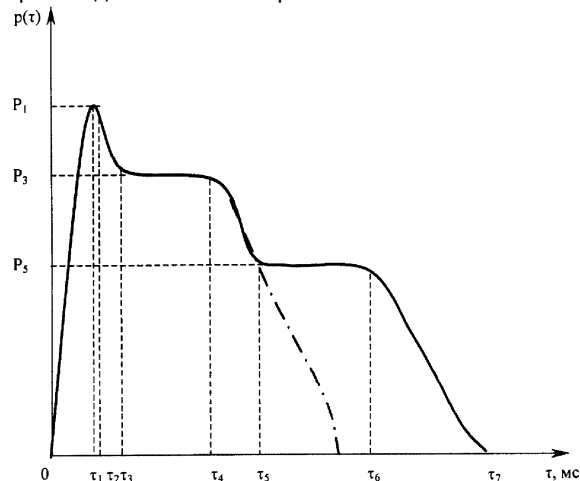
Учреждение образования "Гомельский
государственный университет им. Франциска
Скорины" (BY),
Республиканское унитарное производственное
предприятие "558 Авиационный ремонтный
завод" (BY)

(54) СПОСОБ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам импульсной лазерной сварки металлов и может быть использовано для точечной и шовной сварки черных и цветных металлов, обладающих высокой окислительной активностью без добавления присадочного материала. Сварку осуществляют лазерным импульсом сложной формы. При воздействии переднего крутого фронта импульса происходит нагрев тугоплавкой окисной пленки до температур ее испарения. Лазерный импульс достигает своего пика (P_1) по величине плотности мощности за время τ_1 . Полное испарение окисной пленки с поверхности свариваемого металла происходит за время $\tau_1 + \tau_2$. Задний фронт импульса имеет несколько плавно ниспадающих и платообразных участков. На участке $\tau_2 + \tau_3$ происходит разогрев металла до температуры плавления. Часть энергии тратится на отражение, наблюдается плавление металла и проплавление его по толщине при плотности мощности P_3 за время $\tau_3 + \tau_4$. Дальнейшее снижение плотности мощности ведет к охлаждению, снижению температуры ниже температуры плавления, кристаллизации сваренного металла.

Плавное снижение плотности мощности за время $\tau_4 + \tau_5$ и ее поддержание с плотностью P_5 за время $\tau_5 + \tau_6$ обеспечивает процесс термообработки, обеспечивающий снижение числа дефектов до допустимого уровня или их ликвидацию. Технический результат изобретения заключается в повышении качества и увеличении производительности сварки. 5 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2003104668/02, 17.02.2003

(24) Effective date for property rights: 17.02.2003

(43) Application published: 27.08.2004

(45) Date of publication: 10.02.2006 Bull. 4

Mail address:

246019, Respublika Belarus', g.Gomel', ul.
Sovetskaja, 104, UO "Gomel'skij
gosudarstvennyj universitet im. F. Skoriny",
patentnaja sluzhba

(72) Inventor(s):

Myshkovets Viktor Nikolaevich (BY),
Maksimenko Aleksandr Vasil'evich (BY),
Shalupaev Sergej Vikent'evich (BY),
Tuchin Andrej Nikolaevich (BY),
Jurkevich Sergej Nikolaevich (BY)

(73) Proprietor(s):

Uchrezhdenie obrazovaniya "Gomel'skij
gosudarstvennyj universitet im. Frantsiska
Skoriny" (BY),
Respublikanskoe unitarnoe proizvodstvennoe
predpriyatje "558 Aviatsionnyj remontnyj
zavod" (BY)

(54) METHOD OF LASER WELDING OF METALS

(57) Abstract:

FIELD: mechanical engineering; impulse laser welding.

SUBSTANCE: invention can be used for spot and seam welding of ferrous and nonferrous metals of high oxidative activity without filler material. Welding is done by complex shape laser pulse. Under action of sharp leading edge of pulse, high-melting oxide film is heated to its evaporation point. Laser reaches its peak $\{P_1\}$ in power density

value during time τ_1 . Complete evaporation of

oxide film from surface of metal to be welded takes place within $\tau_1 + \tau_2$. Trailing edge of pulse

has several smoothly falling down and flat sections. Metal is heated to melting point on section $\tau_2 + \tau_3$. Part of energy is taken for

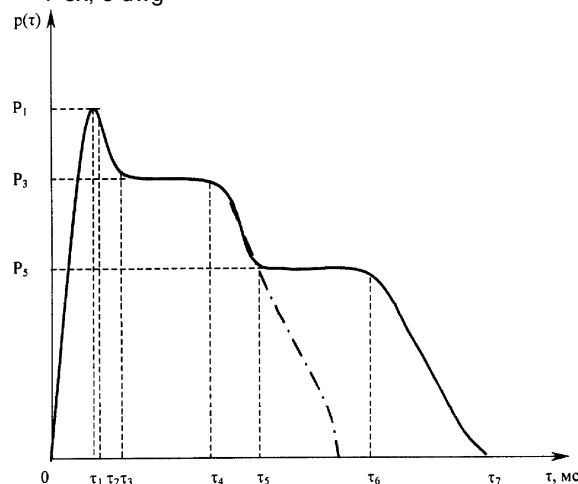
reflection. Metal is melted and melted through in thickness at power density P_3 during $\tau_3 + \tau_4$.

Further reduction of power density leads to cooling, reduction of temperature below melting point and crystallization of welded metal. Stepless reduction of power density

during $\tau_4 + \tau_5$ and its maintaining at density P_5 during $\tau_5 + \tau_6$ provides thermal treatment process ensuring reduction of defects to tolerable level or complete elimination of defects.

EFFECT: improved quality and increased capacity of welding.

7 ex, 5 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к лазерной сварке материалов, а конкретно к способам импульсной лазерной сварки металлов, и может быть использовано для точечной и шовной сварки черных и цветных металлов, обладающих высокой окислительной активностью (алюминия, титана, магния и др.) без добавления присадочного материала.

5 Известен способ лазерной сварки алюминия, включающий удаление окисной пленки с поверхности металла, защиту поверхности в атмосфере инертного газа, плавление металла в зоне сварки в месте соединения частей изделия сфокусированным лучом лазера [1]. В известном способе используется излучение непрерывного CO₂-лазера, что обуславливает высокие энергетические затраты на сварку. Необходимость
10 предварительного травления, зачистки поверхностей свариваемых частей изделия с использованием гелиевой атмосферы обуславливает высокую стоимость и низкую производительность сварки.

Известен способ лазерной сварки металлов, заключающийся в локальном плавлении металла в зоне сварки по меньшей мере одним импульсом сфокусированного лазерного
15 излучения [2]. В известном способе используют импульс трапецеидальной или треугольной формы с относительно крутым передним и пологим задним фронтом, плотность энергии которого обеспечивает плавление металла свариваемых частей, глубина проплавления увеличивается с увеличением длительности импульса. Однако применение известного способа для сварки металлов с высокой окислительной активностью, имеющих прочные
20 тугоплавкие пленки окислов, не обеспечивает высокого качества сварки без предварительного удаления окисной пленки и использования защитной атмосферы. Необходимость предварительного удаления окисной пленки снижает производительность сварки.

Наиболее близким к заявляемому является способ лазерной сварки металлов,
25 заключающийся в том, что локально плавят металл в зоне сварки по меньшей мере одним импульсом сложной формы сфокусированного лазерного излучения [3]. В известном способе сварки используется импульс сложной формы с двумя пиками, при этом первоначальный пик с более низкой плотностью мощности обеспечивает нагрев металла до температуры плавления и повышение коэффициента поглощения металла, благодаря
30 чему увеличение плотности мощности на переднем фронте второго пика обеспечивает более высокую глубину проплавления. Однако известный способ не позволяет получить высокое качество сварки изделий из металлов, обладающих высокой окислительной активностью и имеющих тугоплавкие окисные пленки, так как энергии лазерного импульса оказывается недостаточно для удаления окисной пленки. Сварка с использованием
35 импульса указанной формы возможна лишь в защитной инертной атмосфере и при условии удаления окисной пленки со свариваемых участков поверхности деталей. Необходимость предварительного удаления пленки уменьшает производительность процесса.

Предлагаемое изобретение решает задачу лазерной сварки металлов. Технический результат изобретения заключается в повышении качества и увеличении
40 производительности сварки.

Достижение указанного технического результата обеспечивается тем, что в способе лазерной сварки металлов, заключающемся в том, что локально плавят металл в зоне сварки по меньшей мере одним импульсом сложной формы сфокусированного лазерного излучения, дополнительно перед плавлением испаряют тугоплавкие и окисные пленки с
45 поверхности металла, а после плавления металл подвергают термообработке при температурах ниже температуры плавления, причем испарение, плавление и термообработку осуществляют импульсом сложной формы, имеющим крутой передний фронт, достигающий максимального значения, соответствующего плотности мощности, необходимой для испарения пленок, и плавно ниспадающий задний фронт, содержащий
50 два платообразных участка, верхний из которых имеет плотности мощности, обеспечивающие плавление материала, а нижний соответствует плотностям, необходимым для поддержания температуры термообработки.

Сущность изобретения поясняется чертежами. На фиг.1 изображена характерная для

металлов временная форма сварочного лазерного импульса (зависимость плотности мощности лазерного излучения от времени). На фиг.2 изображены формы сварочных импульсов (зависимости плотности мощности лазерного излучения от времени), используемых для сварки алюминия (кривая 1) и алюминиевого сплава АК-8 (кривая 2), на фиг.3 - временные формы лазерных импульсов (зависимости плотности мощности лазерного излучения от времени) для сварки титана (кривая 1) и титанового сплава ВТ-1 (кривая 2), на фиг.4 - временная форма импульса (зависимость плотности мощности лазерного излучения от времени) - для сварки стали марки СТ3. На фиг.5 изображена форма сварочного импульса (зависимость плотности мощности лазерного излучения от времени), используемого для сварки алюминиевого сплава АК-8 согласно прототипу.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что впервые экспериментально обнаружена энергетическая форма лазерного импульса, характерная для черных и цветных металлов, использование которой позволяет обеспечить качественную сварку металлов, имеющих на своей поверхности тугоплавкие пленки (окисные, нитридные и т.п.) и высокую производительность сварки.

Согласно предлагаемому изобретению точечная сварка металла, содержащего тугоплавкие и окисные пленки, обеспечивается одним лазерным импульсом, характерная форма которого изображена на фиг.1. При воздействии переднего крутого фронта импульса происходит нагрев тугоплавкой окисной пленки до температур ее испарения, при этом лазерный импульс достигает своего пика (P_1) по величине плотности мощности за время τ_1 , причем значения максимальных плотностей мощности таковы, что обеспечивают полное испарение окисной пленки с поверхности свариваемого металла за время $\tau_1 \div \tau_2$. Задний фронт импульса имеет несколько плавно ниспадающих и платообразных участков по плотности мощности. На участке $\tau_2 \div \tau_3$ происходит преимущественный разогрев металла до температуры плавления, причем часть энергии тратится на отражение, наблюдается плавление металла и проплавление его по толщине при плотности мощности P_3 за время $\tau_3 \div \tau_4$ (верхний платообразный участок). Дальнейшее снижение плотности мощности ведет к охлаждению, снижению температуры ниже температуры плавления, кристаллизации сваренного металла. В случае резкого снижения плотности мощности (пунктирный участок кривой) температура в зоне сварки резко уменьшается, что приводит к образованию многочисленных пор и трещин. Плавное снижение плотности мощности за время $\tau_4 \div \tau_5$ и ее поддержание (нижний платообразный участок с плотностью P_5 и время $\tau_5 \div \tau_6$) обеспечивают процесс термообработки (отжиг, нормализация и.п.), обеспечивающий снижение числа дефектов до допустимого уровня или их ликвидацию. В силу этого обеспечивается высокое качество точечной сварки. Число импульсов сварки определяется числом необходимых точек соединения.

Применение указанной закономерности изменения лазерного импульса для шовной сварки, как показали испытания, также обеспечивает повторение вышеописанных явлений (испарение, локальное плавление, термообработка) и высокое качество сварного шва. Легко видеть (а это подтверждено экспериментально), что при сварке согласно изобретению не требуется удаления тугоплавкой, окисной пленки, что позволяет исключить подготовительные операции по подготовке поверхности и удалению пленки, уменьшить в ряде случаев требования к защитной атмосфере (или вовсе исключить ее), что позволяет повысить производительность сварочных работ.

Следует иметь в виду (см. фиг.1÷4), что форма импульса согласно изобретению сохраняет свое подобие при сварке любых металлов, при этом конкретные значения плотностей мощности импульса и длительностей участков импульса выбираются для каждого металла индивидуально.

При импульсной шовной сварке указанные закономерности воздействий и преимущества предлагаемого способа сохраняются.

Способ осуществляют следующим образом. Свариваемые участки деталей соединяют встык или внахлестку, затем воздействуют на заданную область сварки импульсом сфокусированного лазерного излучения. При сварке встык происходят последовательное

испарение окисной пленки с поверхностей участков свариваемых деталей, расплавление участков металла, а затем поддержание температуры и плавное его охлаждение на втором пологом ниспадающем участке лазерного импульса. При сварке внахлестку лазерное излучение предварительно ориентируют под острым углом на торец свариваемых деталей, что обеспечивает удаление окисных пленок в зоне сварки на обоих соединяемых участках деталей. Далее процесс воздействия лазерного импульса аналогичен вышеизложенному. При шовной сварке импульсы последовательно накладывают друг на друга вдоль линии сварки с коэффициентом перекрытия $0,2 \div 0,3$. Для сварки металлов, активно образующих тугоплавкие окисные пленки (алюминий, титан, магний и т.п.), в зону сварки подают инертный газ. При сварке черных металлов защитная атмосфера может не применяться.

Для сварки используют технологические сварочные установки, содержащие твердотельный лазер, работающий в импульсном режиме, фокусирующую систему, систему наблюдения, координатную систему для крепления и ориентации деталей, устройство для подачи инертного газа в зону сварки. Для получения импульса сложной формы согласно изобретению используют источник питания с программируемой формой и длительностью импульса тока. Форма импульса генерации лазера соответствует форме импульса тока разряда ламп накачки, в свою очередь соответствующих форме импульса тока источника питания.

Примеры осуществления способа

Экспериментальные исследования процесса сварки металлов проводились на лазерной технологической установке со следующими характеристиками:

- длина волны излучения, мкм - 1,06
- энергия импульса, Дж - $2 \div 12$
- длительность импульса по уровню отсчета 0,1 мс - $0,3 \div 8$
- диаметр сфокусированного пятна, мм - $0,2 \div 1,2$
- частота следования импульса, Гц - $1 \div 20$
- фокусное расстояние объектива, мм - 100
- расходимость, мрад - 17.

Пример 1. Точечная сварка алюминия

Для сварки использовали детали толщиной 2 мм. Сварку осуществляли встык, в качестве источника излучения использовали лазер с управляемой формой и длительностью импульса с плотностями мощности: для испарения $P_1 = 1,5 \cdot 10^8$ Вт/см², для плавления $P_3 = 1,3 \cdot 10^6$ Вт/см², а для термообработки $P_5 = 1,2 \cdot 10^3$ Вт/см². Излучение лазера фокусировалось в пятно размером 0,5 мм. Форма импульса генерации лазера соответствует представленной на фиг.2 (кривая 1), сварку осуществляли в среде аргона, расход аргона 5 л/мин.

Качество сварных швов оценивалось по результатам исследования структуры микрошлифов. Для контроля качества сварного соединения изготавливался микрошлиф с последующим фотографированием, производилась визуальная оценка качества. Дефекты типа пор и трещин отсутствовали.

Пример 2. Шовная сварка алюминия

Пример осуществляли аналогично примеру 1, при этом форма импульса сварки соответствовала фиг.2 (кривая 1), коэффициент перекрытия при этом составлял $0,2 \div 0,3$.

Качество сварного шва оценивалось так же, как и в примере 1, трещины и поры отсутствовали.

Пример 3. Шовная сварка алюминиевого сплава АК-8

Пример аналогичен примеру 2. Отличие состояло в том, что форма и параметры лазерного импульса соответствовали фиг.2 (кривая 2). Коэффициент перекрытия сварных пятен составлял $0,2 \div 0,5$. Плотности мощности лазерного импульса излучения составляли: для испарения окисной пленки $P_1 = 2,0 \cdot 10^8$ Вт/см², для плавления $P_3 = 2,5 \cdot 10^6$ Вт/см², а для термообработки $P_5 = 1,5 \cdot 10^3$ Вт/см².

Основными характеристиками лазерного импульса для сварки алюминиевых сплавов

АК-8 также являлись (см. фиг.2):

- длительность импульса по уровню 0,1 от $p_{\max}$ - 6 мс;
- длительность переднего фронта нарастания импульса, разрушающего оксидную пленку, - 0,8 мс;

- 5 - длительность импульса, обеспечивающего плавление, - 2 мс;
- длительность импульса, характеризующая термообработку материала, имеет более пологую форму - 3,2 мс.

Для определения качества сварного шва изготавливался микрошлиф и производилась количественная оценка на наличие пор и трещин в зоне обработки. Трещины и поры не выявлены. Капиллярный метод неразрушающего контроля сварного шва изделия из

алюминиевого сплава АК-8 также подтвердил отсутствие трещин.

Пример 4. Шовная сварка титана

Пример осуществляли аналогично примеру 1. Отличия состояли в том, что для сварки использовали титан, при этом форма импульса сварки соответствовала фиг.3 (кривая 1),

и осуществляли шовную сварку с коэффициентом перекрытия 0,2-0,3. Плотности мощности лазерного импульса составляли: для испарения окисной пленки $P_1=3,0 \cdot 10^8$ Вт/см², для

плавления $P_3=1,0 \cdot 10^7$ Вт/см², а для термообработки $P_5=0,5 \cdot 10^4$ Вт/см².

Контроль качества аналогичен примеру 3. Трещины и поры не выявлены.

Пример 5. Шовная сварка титанового сплава BT-1

Сварка проводилась аналогично примеру 4. Коэффициент перекрытия при этом составлял 0,3. Для сварки использовали лазерные импульсы, форма и параметры которых приведены на фиг.3 (кривая 2). Плотности мощности лазерного импульса составляли: для

испарения окисной пленки $P_1=5 \cdot 10^8$ Вт/см², для плавления $P_3=1,5 \cdot 10^7$ Вт/см², для

термообработки материала $P_5=1 \cdot 10^4$ Вт/см².

Основными характеристиками лазерного импульса для сварки титановых сплавов BT-1

также являлись (см. фиг.3):

- длительность импульса по уровню 0,1 от $p_{\max}$ - 4,5 мс;
- длительность переднего фронта нарастания импульса, разрушающего тугоплавкие

пленки, - 0,7 мс;

- длительность импульса, обеспечивающего плавление, - 2 мс;

- длительность импульса, характеризующая остывание материала, имеет более пологую

форму - 1,8 мс.

Для контроля качества сварного соединения изготавливался микрошлиф с последующим фотографированием, производилась визуальная оценка качества. Трещины

и поры в сварном шве не обнаружены.

Данные рентгеноконтроля и результаты испытаний при давлении 340 кг/см² подтвердили отсутствие трещин и пор в сварном шве.

Пример 6. Точечная сварка низкоуглеродистой стали.

Низкоуглеродистую сталь СТ3 сваривали на воздухе без защитной среды. Форма импульса и его параметры соответствовали фиг.4. Плотности мощности лазерного импульса составляли: для испарения окисной пленки $P_1=2,5 \cdot 10^5$ Вт/см², для

плавления $P_3=8,2 \cdot 10^4$ Вт/см², для термообработки материала $P_5=0,5 \cdot 10^4$ Вт/см².

Контроль качества аналогичен примеру 1. Сварное соединение не имело трещин и пор.

Пример 7. Точечная сварка алюминиевого сплава по прототипу

Осуществляли точечную сварку алюминиевого сплава АК-8. Для сварки использовали детали толщины 2 мм. Сварку осуществляли встык, в качестве источника излучения использовали лазер с управляемой формой и длительностью импульса. Форма сварного

лазерного импульса и его параметры приведены на фиг.5. При этом плотность мощности

лазерного импульса в первом пике (см. фиг.5) была $0,5 \cdot 10^5$ Вт/см², во втором пике -

$1,5 \cdot 10^6$ Вт/см². Излучение лазера фокусировалось в пятно размером 0,5 мм. Сварку

осуществляли в среде аргона, расход аргона 5 л/мин. Сварку осуществляли двумя

способами:

а) без предварительной обработки поверхности и удаления окисной пленки;
б) с удалением окисной пленки в защитной атмосфере. Контроль качества осуществляли визуально с использованием микрошлифов.

Результаты испытаний показали, что:

5 в случае сварки по способу а) сварного соединения не возникло и проплавления металла не произошло;

в случае сварки по способу б) образовалось сварное соединение. В сварном соединении выявлены в среднем 6 микротрещин и 3 микропоры, что свидетельствует о недостаточно качественном сварном соединении.

10 Исследования микроструктуры и свойств сварного шва в примерах 1-7 проводились с помощью светового микроскопа "Unimet" при увеличении $50\times$, $100\times$.

Источники информации

1. А.Г.Григорьянц, И.Н.Шиганов. Лазерная сварка металлов. - М.: "Высшая школа", 1988, с.173-177.

15 2. Лазеры в технологии./Под ред. М.Ф.Стельмаха. - М.: "Энергия", 1975, с.90.

3. Патент, Япония №52-32854, н. кл. 12 В 4, МПК В 23 К 26/00, 1977 (прототип).

Формула изобретения

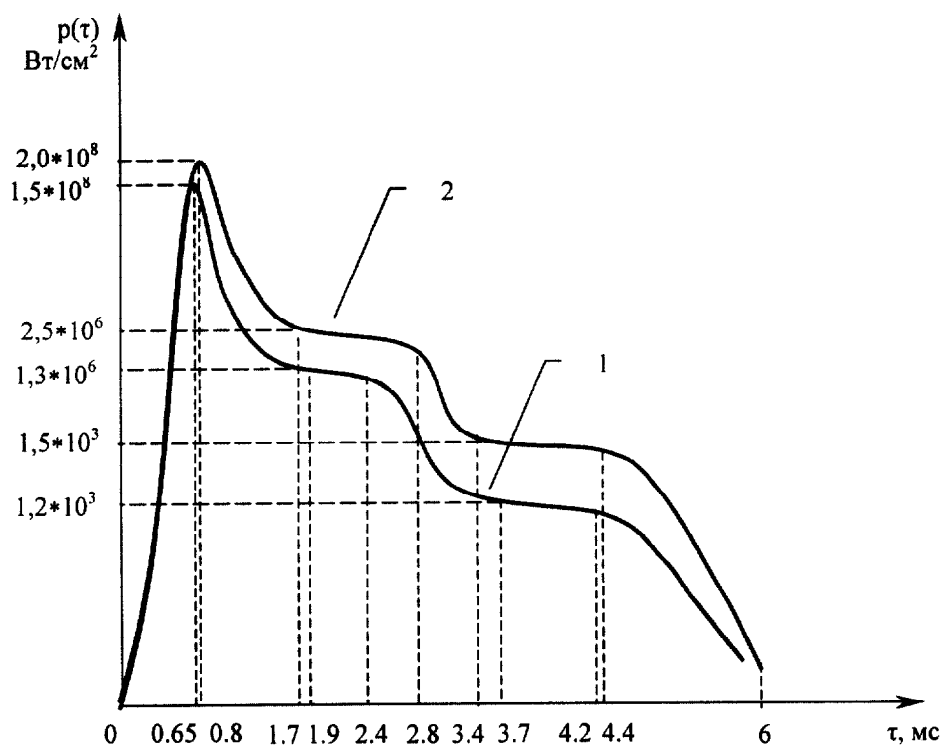
Способ лазерной сварки металлов, заключающийся в том, что локально плавят металл в
20 зоне сварки по меньшей мере одним импульсом сложной формы сфокусированного лазерного излучения, отличающийся тем, что дополнительно перед плавлением испаряют тугоплавкие и окисные пленки с поверхности металла, а после плавления металл подвергают термообработке при температурах ниже температуры плавления, причем
25 испарение, плавление и термообработку осуществляют импульсом сложной формы, имеющим крутой передний фронт, достигающий максимального значения, соответствующего плотности мощности, необходимой для испарения пленок, и плавно ниспадающий задний фронт, содержащий два платообразных участка, верхний из которых имеет плотность мощности, обеспечивающую плавление материала, а нижний соответствует плотности мощности, необходимой для поддержания заданной температуры
30 термообработки.

35

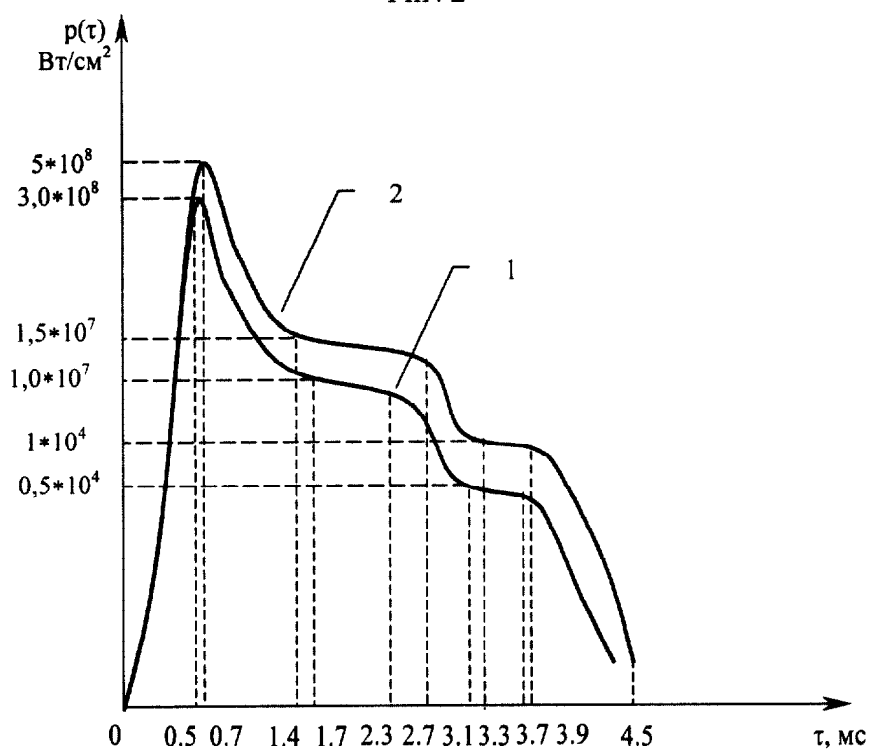
40

45

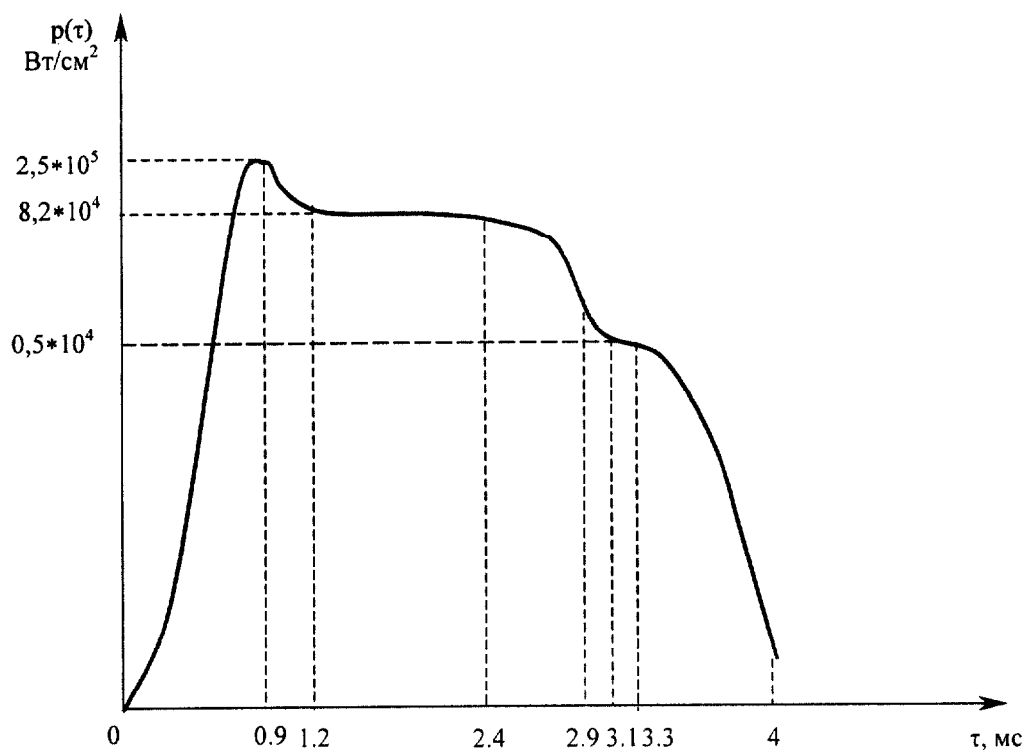
50



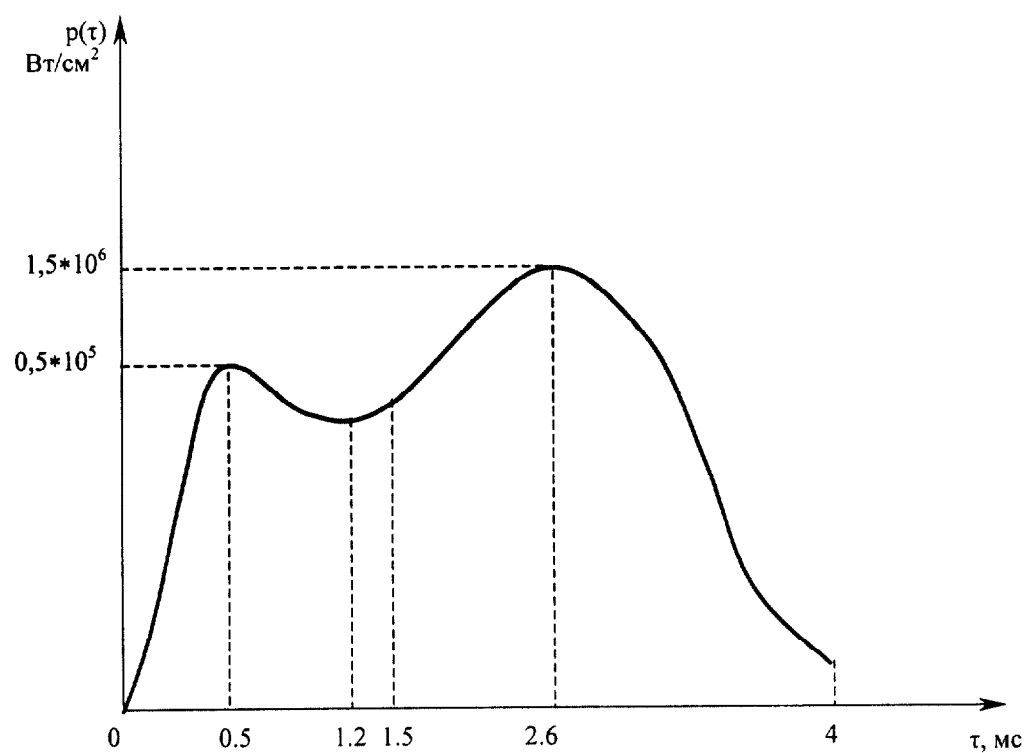
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5