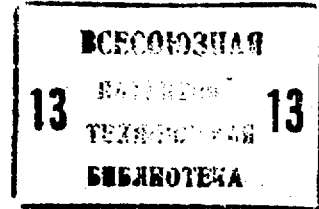




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3688469/25-12  
(22) 13.01.84  
(46) 30.06.85. Бюл. № 24  
(72) М.Д.Тявловский, С.П.Кундас,  
Г.В.Сятковский, В.В.Боженков  
и В.А.Колтович  
(71) Минский радиотехнический инсти-  
тут  
(53) 621.778.28 (088.8)  
(56) 1. Патент Великобритании  
№ 1539857, кл. В 21 F 21/00, 1979.  
2. Авторское свидетельство СССР  
№ 580043, кл. В 21 F 21/00, 1977.  
3. Копьев А.В. и др. Стан для плю-  
щения тончайшей пружинной ленты из  
вольфрама с использованием ультразву-  
ка и электропластического эффекта.  
Сб. Пластическая деформация легких  
и специальных сплавов. Вып. 1, М.,  
"Металлургия", 1978, с. 292-294.  
4. Авторское свидетельство СССР  
№ 547274, кл. В 21 F 21/00, 1977.

(54)(57) 1. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРО-  
ФИЛИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ ИЗ ПРОВОЛОКИ, :  
включающий операции плющения проволо-  
ки бойками, синфазно колеблющимися с  
ультразвуковой частотой, и нагрева  
проволоки путем пропускания импуль-  
сов электрического тока, от ли -  
ч а ю щ и я тем, что, с целью  
повышения качества профилированной  
ленты, выбирают частоту следования  
импульсов тока равной частоте коле-  
баний бойков, осуществляют сдвиг фаз  
с запаздыванием частоты колебаний  
бойка относительно частоты импуль-  
сов тока и пропускают ток через де-

формируемый объем металла и учас-  
ток проволоки, расположенный непосред-  
ственно перед очагом деформации.

2. Способ по п. 1, от ли ч а ю -  
щ и я тем, что запаздывание по  
фазе осуществляют относительно нача-  
ла касания бойками проволоки на по-  
ловину разности времени касания бой-  
ками проволоки и длительности импуль-  
сов тока.

3. Способ по п. 1, от ли ч а ю -  
щ и я тем, что длительность  $\tau$   
импульсов тока выбирают меньшей вре-  
мени контакта бойков с проволокой по  
формуле

$$\tau = T - t_2,$$

где  $T$  - период колебаний бойков,  
 $t_2$  - момент времени начала фазы  
осаживания проволоки бойками,  
определяемый из уравнения

$$V(t_2 - t_1) \operatorname{tg} \alpha + A(\cos 2\pi f t_1 - \cos 2\pi f t_2) = 0,$$

где  $V$  - скорость протяжки ленты;  
 $A$  - амплитуда колебаний бойков;  
 $f$  - частота колебаний бойков;  
 $\alpha$  - угол захода бойков;

$$t_1 = \frac{1}{2\pi f} \arcsin \frac{V \operatorname{tg} \alpha}{2\pi f A}$$

- момент времени конца фазы  
осадки металла бойками.

4. Способ по п. 1, от ли ч а ю -  
щ и я тем, что сдвиг фазы  $\varphi$  им-  
пульсов электрического тока относи-  
тельно начала касания бойками прово-  
локи определяется из выражения

$$\varphi = t_2 + \frac{t_1}{2}.$$

Изобретение относится к обработке металлов давлением, а именно к способам изготовления лент преимущественно профилированных из тугоплавких и других труднообрабатываемых металлов и сплавов, широко применяемых в электровакуумной технике и приборостроении.

Известен способ изготовления ленты, по которому проволока деформируется в вакууме двумя бойками, колеблющимися с ультразвуковой частотой. При этом проволока предварительно нагревается в вакууме с помощью косвенных источников нагрева (лампы инфракрасного излучения, электропечи и т.д.) до температуры начала рекристаллизации металла [1].

Недостаток данного способа - невысокая скорость плющения (производительность), обусловленная необходимостью применения для высокотемпературного нагрева движущейся с большой скоростью проволоки нагревателей большой мощности с большой протяженностью зон нагрева. Кроме того, при входе тонкой проволоки в очаг деформации происходит ее быстрое охлаждение сравнительно массивными и холодными деформирующими бойками, что создает значительный градиент температур, вследствие которого в получаемой ленте могут возникать остаточные напряжения и дефекты в виде микротрещин.

Известен способ изготовления ленты из вольфрама, согласно которому перед ультразвуковым плющением проволоку подвергают электролитическому травлению и нагреву непрерывным прямым пропусканием постоянного тока до 1200-1300°С, а деформацию проволоки ведут со степенью обжатия не более 40% за проход [2].

Недостатком этого способа является то, что источник тока постоянно подключен к проволоке и бойкам как в фазе осаждения металла проволоки, так и во время отрыва активного бойка от металла. Это вызывает неизбежное искрение и электрическую эрозию поверхности ленты и деформирующих поверхностей бойков, что приводит к появлению на поверхности ленты и бойков раковин, местных оплавлений металла, переносу и налипанию деформируемого металла на бойки, т.е. приводит к ухудшению качества поверх-

ности ленты и износу рабочего инструмента.

Кроме того, для получения большой плотности тока, разогревающего деформируемый металл в непрерывном режиме, необходимы мощные источники постоянного тока, что приводит к большой энергоемкости способа.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является способ, согласно которому деформирование проволоки осуществляется комбинированно - вначале бойком, колеблющимся с ультразвуковой частотой, и пассивным бойком (отражателем), а затем двумя валками. При этом через валки и отражатель пропускается импульсный электрический ток амплитудной плотностью  $10^5$  А/мм<sup>2</sup> с частотой повторения импульсов 5-10 кГц. Частота колебаний активного бойка при этом составляет 19 кГц [3] и [4].

Недостаток известного способа - отличие частоты колебаний деформирующего бойка от частоты следования импульсов тока. Поэтому импульсы тока большой величины подаются на проволоку через пассивный боек как в фазе осаждения металла проволоки активным бойком, так и при разрыве контакта между бойками. Это приводит к сильному искрению и значительной электрической эрозии поверхности ленты и деформирующих поверхностей бойков, т.е. вызывает появление на поверхности ленты и бойков раковин, местных оплавлений металла, перенос и налипание деформируемого металла на бойки, т.е. резко снижается качество поверхности бойков и получаемой ленты.

Кроме того, существенный недостаток этого способа состоит в том, что в первый очаг деформации, образованный ультразвуковыми бойками, обрабатываемый металл поступает в холодном состоянии, поскольку импульсный электрический ток пропускают только между валками и пассивным ультразвуковым инструментом-отражателем. В результате металл имеет высокое сопротивление деформации и склонность к трещинообразованию.

Указанные недостатки будут в еще большей степени проявляться при плющении профилированных лент, так как в этом случае большему электроэрозионному разрушению будут подвергаться выступающие поверхности профиля,

где плотность разрядного тока будет наибольшей. Кроме того, при сложном профиле бойка большую сложность представляет его перешлифовка, устранение следов износа и налипания металла. Изготовление же нового бойка отличается значительной трудоемкостью.

Цель изобретения - повышение качества профилированной ленты и повышение износостойкости бойков.

Поставленная цель достигается тем, что согласно способу изготовления профилированной ленты из проволоки, включающему операции плющения проволоки бойками, синфазно колеблющимися с ультразвуковой частотой, и нагрева проволоки путем пропускания импульсов электрического тока, выбирают частоту следования импульсов тока, равную частоте колебаний бойков, осуществляют сдвиг фаз с запаздыванием импульсов тока относительно частоты колебаний бойка и пропускают ток через деформируемый объем металла и участок проволоки, расположенный непосредственно перед очагом деформации. Запаздывание по фазе осуществляют относительно начала касания бойками проволоки на половину разности времени касания бойками проволоки и длительности импульсов тока.

При этом длительность  $\tau$  импульсов тока выбирают меньшей времени контакта бойков с проволокой по формуле

$$\tau = T - t_2, \quad (1)$$

где  $T$  - период колебаний бойков;

$t_2$  - момент времени начала фазы осаживания проволоки бойками определяемый из уравнения

$$V(t_2 - t_1) \operatorname{tg} \alpha + A(\cos 2\pi f t_1 - \cos 2\pi f t_2) = 0, \quad (2)$$

где  $V$  - скорость протяжки ленты;

$A$  - амплитуда колебаний бойков;

$f$  - частота колебаний бойков;

$\alpha$  - угол захода бойков;

$$t_1 = \frac{1}{2\pi f} \arcsin \frac{V \operatorname{tg} \alpha}{2\pi f A}$$

- момент времени конца фазы осадки металла бойками.

Кроме того, сдвиг фазы импульсов электрического тока относительно начала касания бойками проволоки определяется из выражения

$$\varphi = t_2 + \frac{t_1}{2}. \quad (3)$$

Применение в предлагаемом способе импульсного тока, частота повторения импульсов которого равна частоте ультразвуковых колебаний, и пропускаемого через очаг деформации проволоки и участок проволоки, расположенный непосредственно перед очагом деформации, а также выбор длительности импульсов тока и сдвига фазы между ними и ультразвуковыми колебаниями, определяемыми из выражений (1) и (3) соответственно, позволяет обеспечить полную синхронизацию моментов осаживания металла ультразвуковыми бойками и моментов пропускания тока через деформируемый металл. Это позволяет полностью исключить нежелательные искрения и электроэрозию поверхностей лент и бойков и осуществлять предварительный надежный нагрев металла проволоки перед его деформацией, вести пластическую деформацию металла в горячем состоянии и, как следствие, снизить сопротивление деформации металла и склонность его к расслоению. При этом сохраняется положительное влияние ультразвуковой энергии и электрического тока на деформируемость металла.

На чертеже приведена временная диаграмма смещения бойков, на которой отмечено время контакта бойков с деформируемой проволокой, рассчитанное по уравнениям (1) - (3), а также временная диаграмма импульсов тока.

Плющение проволоки с помощью бойков, колеблющихся с ультразвуковой частотой технологического диапазона (18-44 кГц), при скоростях протяжки ленты до ~10 м/с всегда осуществляется в режиме ультразвуковой ковки (осаживания) металла бойками с разрывом контакта между обрабатываемым металлом и бойками, так как колебательная скорость бойков намного превышает скорость движения ленты.

Рассмотрим приведенную диаграмму. Допустим, что в начальный момент времени бойки начинают удаляться от деформируемого металла и он разгружается от действующего со стороны бойков деформирующего усилия. Отрыв бойков от металла произойдет при условии превышения их колебательной скорости (ее составляющей, направленной по направлению движения ленты) над скоростью движения ленты, т.е. мо-

мент времени можно определить из равенства

$$\frac{2\pi f A}{\operatorname{tg} \alpha} \sin \omega t_1 = V. \quad (4)$$

Имеем

$$t_1 = \frac{1}{2\pi f} \arcsin \frac{V \operatorname{tg} \alpha}{2\pi f A}. \quad (5)$$

Момент повторной встречи металла с бойками  $t_2$  и начало фазы осадки металла можно определить, если сравнить расстояние, на которое поднимается относительно бойка передний край деформируемой поверхности движущейся ленты, с расстоянием, на которое перемещается боек вдоль оси в течение промежутка времени  $\Delta t = t_2 - t_1$

$$V(t_2 - t_1) \operatorname{tg} \alpha = \int_{t_1}^{t_2} 2\pi f A \sin 2\pi f t dt = A(\cos \omega t_1 - \cos \omega t_2).$$

Фаза деформирования металла бойками заканчивается в момент времени  $t_3 = T + t_1$ . При этом металл деформируется в режиме осадки до смены фазы колебаний, т.е. в промежутке времени  $t_3 = T$  происходит разгрузка металла от действующего усилия и при  $t = t_3$  происходит разрыв контакта металла с бойками. Поэтому наиболее оптимальные условия с точки зрения устранения искрения и эрозии поверхностей ленты и бойков обеспечиваются при длительности импульса тока, равном времени деформирования металла в режиме осаживания, т.е.

$$\tau = T - t_2 \quad (7)$$

и при сдвиге фазы импульсов тока относительно ультразвуковых колебаний бойков, равном  $t_2 + \frac{t_1}{2}$ , т.е. с

задержкой времени начала подачи импульса тока относительно начала фазы осадки на время  $\frac{t_1}{2}$ , что необходимо для установления полного контакта металла с бойками.

**Пример 1.** Вольфрамовую проволоку марки ВА-1Г  $\varnothing 0,22$  мм плющат в треугольный профиль с размером боковых граней 0,88 мм на установке горячего ультразвукового плющения в вакууме. Амплитуда ультразвуковых колебаний бойков 8 мкм при частоте колебаний 21,7 кГц, степень вакуума в рабочей камере установки 1,33 ×

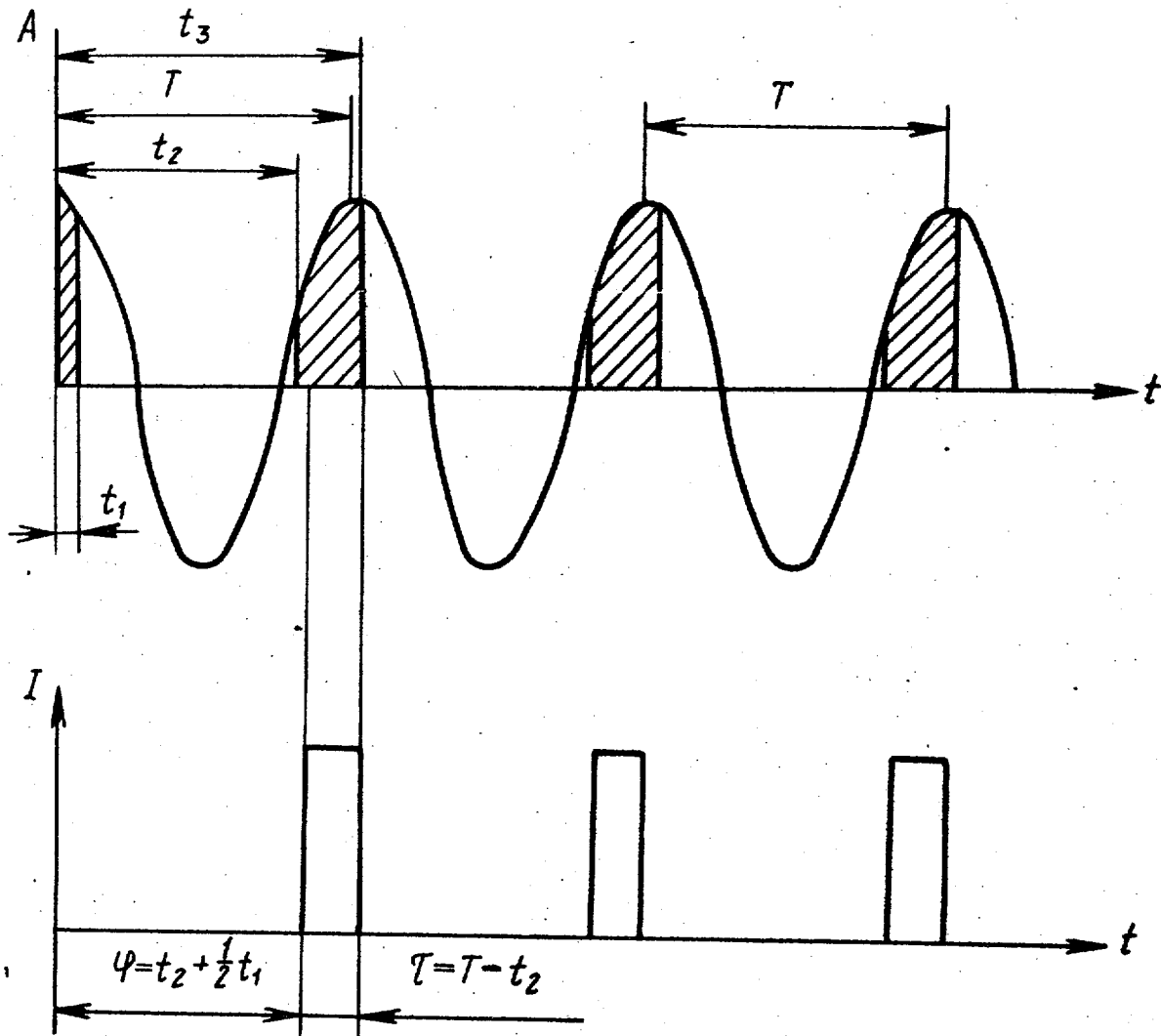
$\times 10^{-4}$  Па. Через проволоку пропускают импульсный ток амплитудой 1,2 А, обеспечивающий нагрев проволоки перед плющением до 1100–1400 °С. Длительность импульсов тока  $11 \cdot 10^{-6}$  с, сдвиг по фазе относительно колебаний бойкой  $38 \cdot 10^{-6}$  с. Плющение проводят при скорости протяжки лент, равной 0,2 м/с.

В результате обработки по указанным режимам получена лента треугольного сечения. На ее боковых гранях и на ребрах треугольного сечения отсутствуют следы эрозионного разрушения, раковины, трещины и расслоения. Боковые грани имеют шероховатость, соответствующую 10 классу ( $R_a = 0,12$  мкм). Лента имеет следующие механические свойства: предел прочности  $\sigma_b = 2400$  МПа, относительное удлинение  $\varepsilon = 4,5\%$ , среднее давление в очаге деформации проволоки 580 МПа.

**Пример 2.** Вольфрамовую проволоку  $\varnothing 0,35$  мм плющат в Т-образный профиль с размером плоской части профиля 0,4 мм высотой и шириной выступа на середине плоской части 0,2 мм. Режимы плющения следующие: степень вакуума  $6,65 \cdot 10^{-2}$  Па, амплитуда ультразвуковых колебаний бойков 6 мкм, частота колебаний 30,0 кГц, скорость протяжки ленты 0,36 м/с, амплитуда импульсов тока, пропускаемого через проволоку, 2 А, длительность импульсов  $4 \cdot 10^{-6}$  с, частота следования импульсов 30,0 кГц, сдвиг по фазе относительно колебаний бойков  $28 \cdot 10^{-6}$  с.

В результате обработки по указанным режимам получена лента Т-образного профиля, которая имеет высокое качество обработанных поверхностей ( $R_a = 0,14$  мкм), на поверхности отсутствуют раковины, вырывы металла, трещины и расслоения. Лента имеет следующие механические свойства:  $\sigma_b = 2800$  МПа,  $\varepsilon = 3,8\%$ . Среднее давление в очаге деформации проволоки 760 МПа.

Таким образом, использование предложенного способа позволяет полностью исключить электрическую эрозию поверхности ленты, локальные оплавления металла, перенос и налипание деформируемого металла на бойки, уменьшить износ бойков. При этом в лентах отсутствуют трещины, расслоения и поверхностные дефекты.



Редактор И.Ковальчук      Составитель Т.Сятковский  
 Техред М.Пароцай      Корректор В.Гирняк

Заказ 4129/8      Тираж 647      Подписное  
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
 по делам изобретений и открытий  
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4