

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 7479

(13) С1

(46) 2005.12.30

(51)<sup>7</sup> В 21С 1/00, 9/00,  
В 21В 1/18

(54)

## СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

(21) Номер заявки: а 20030414

(22) 2003.05.08

(43) 2004.12.30

(71) Заявитель: Республиканское унитарное предприятие "Белорусский металлургический завод"; Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Андрианов Николай Викторович; Тимошпольский Владимир Исаакович; Столярский Виктор Иванович; Маточкин Виктор Аркадьевич; Эндерс Владимир Влади-

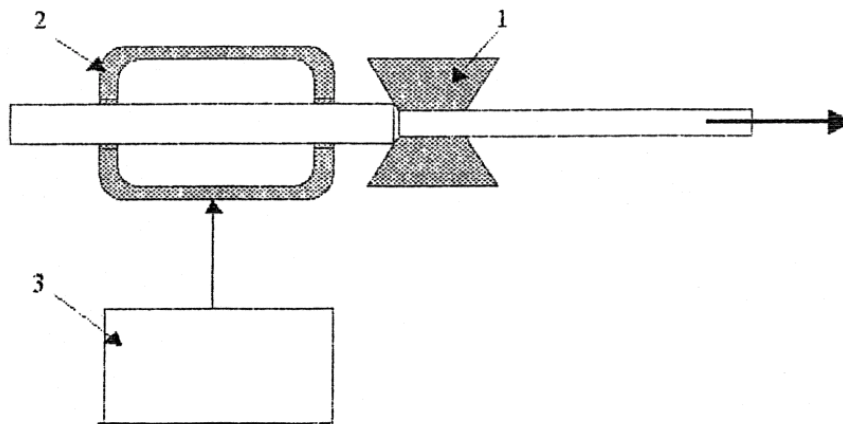
мирович; Савенок Анатолий Николаевич; Стеблов Анвер Борисович; Исаков Сергей Александрович; Мандель Николай Львович; Хлебцевич Всеволод Алексеевич; Батраков Константин Германович; Белоус Николай Анатольевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Республиканское унитарное предприятие "Белорусский металлургический завод"; Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) RU 2098206 C1, 1997.  
RU 2074905 C1, 1997.

(57)

Способ изготовления проволоки, включающий протягивание металлической заготовки через деформирующий инструмент и воздействие на нее высококонцентрированным энергетическим источником нагрева до и после очага деформации, **отличающийся** тем, что нагрев производят микроволновым излучением с длиной волны, при которой толщина скин-слоя многократно меньше диаметра заготовки.



Фиг. 1

# ВУ 7479 С1 2005.12.30

Изобретение относится к металлургии, к технологии производства катанки прокаткой и волочения проволоки и может быть использовано в технологических схемах мелкосортных станов на непрерывных мелкосортных, мелкосортно-проволочных и проволочных станах.

В последнее время все более широкое распространение получают технологические процессы обработки поверхности проката и метизов с использованием для нагрева технического лазера и применения низкотемпературной плазмы. Плазменные технологии успешно используются для очистки поверхности материалов, создания тонкопленочных структур и покрытий, а также целенаправленной модификации поверхностных и объемных физико-химических и механических свойств твердых тел [1-3].

Известен способ изготовления сортового проката-метиза, включающий деформацию металлической заготовки, воздействие на заготовку технологическим лазером [4].

Известные способы [1-4] с использованием технологического лазера не обеспечивают равномерного азимутального нагрева цилиндрической поверхности заготовки. Для создания такого нагрева необходимо создание сложной оптической системы, которая подвержена воздействию среды, создаваемой в зоне обработки (газы, брызги технологических жидкостей и т.п.), кроме того низкий к.п.д. преобразования энергии в лазере (порядка 3 %) и связанные с этим повышенные затраты энергии на реализацию процесса.

В связи с изложенным известным способом не всегда можно достичь требуемого качества волочения или прокатки изделия с требуемой степенью очистки поверхности заготовки от технологических микро - и макро дефектов с одновременным увеличением обжата за проход.

К одним из новых, способов изготовления в мелкосортном и метизном производстве следует отнести технологии с применением низкотемпературной плазмы как высококонцентрированного энергетического источника нагрева заготовки для воздействия на поверхность движущейся проволоки или катанки.

Ближайшим техническим решением, принятым в качестве прототипа, является способ изготовления проволоки, включающий протягивание заготовки через деформирующий инструмент и воздействие на металлическую заготовку высококонцентрированным энергетическим источником нагрева, преимущественно, низкотемпературной плазмой, до и/или после очага деформации [5].

Проволока и катанка являются перспективными объектами использования низкотемпературной плазмы, которая может быть применена не только для нагрева, но и для ряда других операций в сложном технологическом процессе производства сортамента.

Недостаток известной технологии проявляется в применении электродугового источника разрядной плазмы с непосредственным электрическим контактом с заготовкой. При этом неравномерность воздействия на заготовку путем ее нагрева будет определяться процессами привязки катодного пятна дуги на поверхности проволоки. Положение пятна определяется локальными свойствами поверхности проволоки в месте привязки. В этом случае неоднородные электрические свойства поверхности заготовки в виде катанки или проволоки, например, наличие окалины, локальных концентраторов поля в виде острых заусенцев, загрязненных закатов, задиров, остатков смазки и окалины на поверхности заготовки являются причиной случайных движений пятна по поверхности проволоки, соответствующих энергетически выгодным (для дугового разряда) режимам горения, что приводит к неравномерному нагреву как по азимуту так и по длине заготовки. Кроме того, воздействие катодной плазмы на поверхность проволочной заготовки не исключает перегрева центрального сечения проволоки, приводящего в процессе волочения к уменьшению прочности и обрывности заготовки.

Известный способ имеет низкий к.п.д. преобразования энергии и связанные с этим повышенные затраты энергии на реализацию процесса.

Известным способом не всегда можно достичь требуемого качества поверхности проволоки при волочении.

# ВУ 7479 С1 2005.12.30

В основу изобретения положена задача повышения качества поверхности изделия волочения за счет исключения катодной эрозии, повышения к.п.д. преобразования энергии, путем создания на поверхности заготовки тонкого слоя с повышенной пластичностью за счет температурного градиента по поперечному сечению заготовки, снижение обрывности волочения и повышение суммарной вытяжки заготовки за счет улучшения шероховатости заготовки с последующим дополнительным захватом смазки при очистке катанки и предельной заготовки от окалины и остатков смазки после волочения проволоочной заготовки.

Поставленная цель достигается тем, что способе изготовления проволоки, включающем протягивание заготовки через деформирующий инструмент и воздействие на металлическую заготовку высококонцентрированным энергетическим источником нагрева до и/или после очага деформации, согласно изобретению, нагрев металлической заготовки производят микроволновым излучением с длиной волны, при которой толщина скин-слоя многократно меньше диаметра заготовки.

Изобретение поясняется чертежом, где фиг. 1 - технологическая схема для изготовления проволоки.

Способ изготовления проволоки по фиг. 1 включает протягивание металлической заготовки через деформирующий волочильный инструмент 1, воздействие на заготовку высококонцентрированным энергетическим источником нагрева, выполненным, например, в виде микроволнового резонатора 2, электрически связанного с генератором 3 для подачи микроволновой резонатор энергии. Микроволновой резонатор 2 может быть снабжен запердельными волноводами 4, размещенными на входе и выходе микроволнового резонатора 2 для исключения потерь энергии, вводимой в заготовку.

Для пропуска заготовки 5 микроволновой резонатор 2 снабжен рабочим каналом 6.

Предварительно законцовку проволоочной заготовки 1 пропускают через запердельные волноводы 4, рабочий канал 6 микроволнового резонатора 2 и рабочий конус волочильного инструмента 1. Перед волочением от генератора 3 запитывают микроволновой резонатор 2 и к переднему концу проволоочной заготовки 5 прикладывают усилие волочения.

Введение высококонцентрированного нагрева в поверхность металлической заготовки 5 основано на явлении поглощения высокочастотного поля в поверхностном слое металла может быть использовано при обработке проволоки. Известно, что глубина проникновения электромагнитного поля в металл зависит от свойств металла и длины волны. Глубина проникновения падает с уменьшением длины волны (скин-эффект).

Глубину проникновения электромагнитного поля в проволоочную заготовку оценивают по формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{c\lambda}{4\pi^2\sigma}}$$

где  $\lambda$  - длина волны излучения,

$\sigma$  - коэффициент электрической проводимости металла,

$c$  - постоянная скорости света

(все параметры в данной формуле выражены в системе СГС).

Для частоты электромагнитного поля 10 ГГц (что соответствует длине волны 3 см) глубина скин слоя при комнатной температуре составляет 0,6  $\mu\text{м}$ . Такой же порядок величины имеет глубина проникновения для золота и серебра. У металлов, обладающих меньшей электропроводностью, глубина проникновения поля больше (медь, золото и серебро - одни из наиболее электропроводных материалов). Например, для ниобия скин слой (при той же частоте поля 10 ГГц) составляет  $\sim 1,5 \mu\text{м}$ .

При протекании возбужденных волной в скин слое токов, в нем выделяется джоулево тепло, которое идет на его нагрев. Из-за наличия теплопроводности выделенное тепло будет распространяться вглубь проволоочной заготовки. Поэтому на практике возможен нагрев прилегающего к скин слою металла. Так на глубину 100  $\mu\text{м}$  в меди тепло распространится за время по порядку величины  $\sim 0,0001$  с. Такое время взаимодействия излучения с

## ВУ 7479 С1 2005.12.30

поверхностью проволочной заготовки для сварочной проволоки Св-08ГС ( $d = 3,0; 4,0; 5,0$ ) получается, если проволока протягивается со скоростью 20 м/с в промежутке 2 мм. При этом мощность, требуемая для разогрева поверхности проволоки с таким характерным размером до 1000 °С при такой скорости протяжки составляет ~2 кВт.

Для достижения цели, поставленной в заявленном объекте, требуется обеспечить температуру нагрева проволочной заготовки или катанки на входе-выходе в очаг - из очага деформации фильеры, при которой:

обеспечивается азимутальная однородность распределения температуры;

обеспечивается радиальное распределение температуры в заготовке (путем теплообмена между поверхностью заготовки и поглощением высокочастотного поля, а также энерговыделения на поверхности заготовки, связанного с поверхностной рекомбинацией плазмы. Рекомбинация - процесс образования нейтрального атома при соединении иона с электроном. Каждый акт рекомбинации сопровождается выделением энергии ионизации [6], при котором поверхностный слой порядка 1-500 микрон, в зависимости от деформируемого диаметра, находится в пластичном состоянии, а центральная часть сечения имеет температуру, при которой сохраняются прочностные свойства проволоки, необходимые для обеспечения протяжки.

Использование заявленного объекта в процессе волочения путем очистки от окалины за счет введения электромагнитного поля позволяет дополнительно увеличить шероховатость и увеличить количество дополнительной смазки. В стандартных технологических процессах увеличить смазочный слой на нагартованной проволоке без предварительной термообработки невозможно, так как такой металл склонен к науглероживанию.

Известные технологии нагрева на основе технологического лазера не обеспечивают равномерного азимутального нагрева цилиндрической поверхности заготовки, для создания такого нагрева необходимо создание сложной оптической системы, к тому же подверженной воздействию среды, создаваемой в зоне обработки (газы, брызги технологических жидкостей и т.п.). Кроме того, необходимо иметь ввиду низкий к.п.д. преобразования энергии в лазере (порядка 3 %) и связанные с этим повышенные затраты энергии на реализацию процесса.

Для электродугового источника, на основе катодной плазмы, неравномерность нагрева будет определяться процессами привязки катодного пятна дуги на поверхности с использованием заготовки в качестве катода.

Пример. Устранение поверхностных дефектов, перед меднением с последующим волочением или после волочения на проволочной заготовке сварочной проволоки Св-08ГС ( $d = 0,8; 1,0; 1,2; 1,6;$ ) и Св-08ГС ( $d = 3,0; 4,0; 5,0$ ) или при прокатке катанки  $d = 5,5$  из стали 80К со скоростью 80 м/с возможно обеспечить на финишном участке техпроцесса путем равномерного поверхностного оплавления на глубину, соответствующую типичному поперечному размеру дефекта (5...10 мкм). При этом процесс теплообмена организуют таким образом, чтобы при температуре плавления материала на поверхности проволоки в зоне обработки начиная с глубины оплавления, равной 2...3 поперечным размерам макро- или микродефекта, сохранялась температура заготовки, при которой сохраняются ее прочностные характеристики во избежание ее разрыва и неконтролируемого уменьшения диаметра при прокатке или волочении.

Это привело к необходимости организации нестационарного процесса теплообмена обрабатываемой поверхности с внешним источником, при плотностях теплового потока недостижимых для традиционных источников тепла. Для создания таких плотностей потока на поверхности заготовки в заявленном объекте используют в качестве источника тепла высокочастотное электромагнитное поле.

При взаимодействии высокочастотного поля с поверхностью заготовки энергия ионизации высвобождается в процессах поверхностной рекомбинации, что обеспечивает высокие плотности теплового потока.

## ВУ 7479 С1 2005.12.30

Для поверхностной обработки высокочастотным полем проволоки или катанки в процессе их волочения со скоростями  $\sim 10 \dots 20$  м/с, соответственно, прокатки 50-120 м/с в заявленном способе тепловое воздействие производят внутри микроволнового резонатора. В процессе отработки технологии использовали варианты:

воздействие высокочастотным полем с одновременной очисткой заготовки от окалины, поверхностных дефектов и загрязнений перед первым переходом с предварительным меднением или без меднения;

воздействие высокочастотным полем с одновременной очисткой заготовки от окалины, поверхностных дефектов и загрязнений после чистового калибра волочения;

воздействие высокочастотным полем на заготовку между переходами для снятия нагартовки и обеспечения волочения заготовки с повышенной пластичностью поверхностного слоя.

Сравнение энергетической эффективности известной технологии на основе плазменного электродугового - катодного нагрева с использованием проволоочной заготовки или катанки в качестве катода и заявленного устройства основано на анализе энергобаланса дуг для обоих случаев.

При волочении проволоки или катанки диаметром 5,5 мм со скоростью 20 м/с мощность, требуемая для разогрева поверхности заготовки с таким характерным размером до  $1000^\circ\text{C}$  при такой скорости волочения составляет  $\sim 2$  кВт.

При известном катодно-дуговом источнике нагрева обработка катанки диаметром 5,5 мм осуществляется в диапазоне изменения режимных параметров: мощность  $N = 10-20$  кВт; скорость перемотки катанки  $V = 2,1$  м/с.

Таким образом, заявленный способ энергетически более выгоден.

Проводили изготовление сварочной проволоки Св-08ГС ( $d = 0,8; 1,0; 1,2; 1,6;$ ) и Св-08ГС ( $d = 3,0; 4,0; 5,0$ ) перед меднением или после волочения путем ее волочения с  $d = 5,5$  до 0,8 мм в 13-15 переходов. После волочения по ТУ проволока подвергалась меднению в одном из вариантов. В другом варианте меднению проволока подвергалась перед волочением. Степень обжатия в среднем составляла не более 20 % за проход. С использованием заявленной технологии для улучшения качества проволоки она подвергалась меднению: перед волочением; после волочения.

Катанка диаметром 5,5 мм из стали 80К при волочении проволоки воздействию высокочастотного поля подвергалась при скоростях волочения 20 м/с. Обрывность волочения отсутствовала. Наблюдалось повышение суммарной вытяжки заготовки за счет улучшения шероховатости заготовки с последующим дополнительным захватом смазки при очистке катанки и передельной заготовки от окалины. Остатков смазки не наблюдалось после волочения проволоочной заготовки в результате воздействия высокочастотного поля на заготовку на выходе из очага деформации.

Степень очистки катанки от окалины достигает 96,5-99 %. Степень очистки проволоки и катанки от остатков смазки достигает 99-100 %.

Обработка катанки диаметром 6,5 мм по известной технологии осуществлялась при скорости перемотки катанки  $V = 2,1$  м/с. Степень очистки катанки от окалины при данном способе обработки достигает 93-96 %. На поверхности катанки наблюдаются пятна кратерного характера, вследствие наличия электродуговой катодной эрозии.

Сравнительные испытания заявленного и известного объектов позволяют сделать вывод о преимуществах заявленного объекта в отношении повышения качества поверхности катанки или проволоки за счет исключения катодной эрозии, повышения к.п. д. преобразования энергии, путем создания на поверхности заготовки тонкого слоя с повышенной пластичностью за счет температурного градиента по поперечному сечению заготовки, снижение обрывности волочения и повышение суммарной вытяжки заготовки за счет улучшения шероховатости заготовки с последующим дополнительным захватом смазки

# ВУ 7479 С1 2005.12.30

при очистке катанки и передельной заготовки от окалины и остатков смазки после волочения проволочной заготовки.

Промышленное освоение заявленного объекта планируется в условиях работы стана 320/150 Белорусского метзавода.

Источники информации:

1. Лещинский Л.К., Самогугин С.С., Пирч И.И. и др. Плазменное поверхностное упрочнение. - Киев: Техника, 1990. - 109 с.

2. Донской А.В., Клубников В.С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. - М-Л.: Машиностроение, 1979. - С. 143

3. Терехов В.П. Очистка поверхности проволоки дуговым разрядом // Бюл. ин-та Черметинформация. - 1976. - Т. 7 (771). - С. 49-50.

4. Григорьянц А.Г. и др. Методы поверхностной лазерной обработки. - М.: Высшая школа, 1987. - С. 29-31.

5. RU 2098206 С1, 1997, RU 2074905 С1, 1997.