

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 4366

(13) С1

(51)⁷ В 22F 9/08,
В 22D 11/04

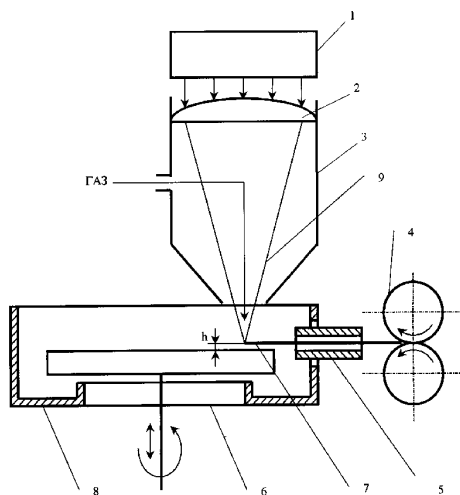
(54) **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН**

(21) Номер заявки: а 19990249
(22) 1999.03.17
(46) 2002.03.30

(71) Заявитель: Гомельский государственный
технический университет им. П.О. Сухого (ВУ)
(72) Авторы: Верещагин М.Н.; Целуев М.Ю.;
Кирилук С.И. (ВУ)
(73) Патентообладатель: Гомельский госу-
дарственный технический университет им.
П.О.Сухого (ВУ)

(56)
JP 61264108, 1986, JP 6116216, 1982.

(57)
Изобретение "Способ получения металлических волокон" относится к порошковой металлургии, а более конкретно, к способам получения волокон высокоскоростной закалкой расплава.
Задачей данного изобретения является расширение сортамента получаемых изделий за счет получения изделий в виде волокон, а также увеличение выхода высокодисперсной фракции за счет интенсификации процесса распыления.



В импульсном режиме генерируют сфокусированное лазерное излучение и подают металлическую заготовку в зону его действия. При достижении необходимого уровня плотности мощности на поверхности заготовки в импульсе излучения происходит плавление и кипение металла с интенсивным образованием и ростом зародышей пара в объеме расплава. В результате возникающих градиентов давления происходит распыление жидкой фазы. Распыленные капли попадают на перемещающуюся поверхность холодильника и затвердевают в форме волокон. В последствии волокна сбрасываются в приемник. При этом в случае получения волокон из нержавеющей стали используют лазерное излучение с плотностью мощности в импульсе на поверхности заготовки не менее 3×10^5 Вт/см².

Применение заявляемого способа позволяет расширить сортамент получаемой продукции за счет получения изделий в виде волокон, а также увеличить выход фракции " - 50" мкм приблизительно в 4 раза.

2 зав. п. ф-лы, 1 ил., 4 табл.

BY 4366 C1

Изобретение относится к порошковой металлургии, а более конкретно к способам получения волокон высокоскоростной закалкой расплава.

Известен способ получения металлических волокон высокоскоростной закалкой расплава [1].

Известный способ заключается в том, что подают металлический жгут в зону действия электрической дуги непрерывного действия, вызывают его распыление с последующим охлаждением распыленных частиц на перемещающейся поверхности холодильника, выполненного в виде диска из теплопроводного металла. Причем распыление предварительно расплавленного электрической дугой металла осуществляют струей газа, подаваемой из форсунки, установленной в непосредственной близости от расплавленной части проволоки.

Основным недостатком указанного способа является низкий выход высокодисперсных изделий в виде волокон, так как в процессе газового распыления расплава средний размер частиц составляет $50\div 100$ мкм.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является способ получения металлического порошка [2], заключающийся в том, что генерируют сфокусированное лазерное излучение, подают металл в зону его действия, вызывают распыление металла и последующее охлаждение распыленных частиц. Причем распыление предварительно расплавленного лазерным излучением непрерывного действия металла осуществляют струей газа подаваемой из форсунки. Способ позволяет получать порошок, имеющий различную микроструктуру.

Достоинством данного способа является возможность повышения эффективности нагрева металлической проволоки, которая реализуется путем создания постоянной зоны сконцентрированной энергии лазерного излучения на поверхности материала с последующим его плавлением и гомогенизацией расплава.

Основными недостатками указанного способа являются низкий выход высокодисперсных изделий в процессе газового распыления расплава, невозможность получения изделий в виде волокон в процессе охлаждения частиц расплава в среде окружающего газа.

Отмеченные недостатки способа получения металлического порошка в значительной мере обусловлены технологическими приемами и режимами проведения операций. При распылении газом с дозвуковыми скоростями средний размер частиц составляет $50\div 100$ мкм. В процессе охлаждения частиц расплава в среде окружающего газа является невозможным получение изделий в виде волокон, что сужает сортамент получаемых изделий.

Задачей данного изобретения является расширение сортамента получаемых изделий за счет получения изделий в виде волокон, а также увеличение выхода высокодисперсной фракции за счет интенсификации процесса распыления.

Поставленная задача в заявляемом способе получения металлических волокон, заключающемся в том, что генерируют сфокусированное лазерное излучение, подают металлическую заготовку в зону его действия, распыляют металл с последующим охлаждением частиц металла, решается, согласно изобретению, тем, что лазерное излучение генерируют в импульсном режиме, а охлаждение распыленных частиц металла осуществляют на движущейся поверхности холодильника. Заготовку в зону действия лазерного излучения подают в виде ленты шириной B или проволоки диаметром D меньшими диаметра d_n пятна лазерного излучения на поверхности заготовки, причем скорость V подачи заготовки выбирают меньшей произведения $d_n \times v$, где v - частота следования импульсов излучения. При этом в случае получения волокон из нержавеющей стали используют лазерное излучение с плотностью мощности в импульсе на поверхности заготовки не менее 3×10^5 Вт/см².

При воздействии лазерного излучения на поверхность металла, часть потока поглощается в тонком поверхностном слое, вызывая его нагрев, последующее плавление и кипение в зависимости от условий обработки.

Характерный уровень плотности мощности, после превышения которого начинается кипение, для большинства металлов приблизительно составляет $10^5\div 10^7$ Вт/см² и зависит от теплофизических свойств материала и условий нагрева.

Непрерывное лазерное излучение при воздействии на металлы с плотностями мощности в указанном диапазоне и более приводит к удалению металла с поверхности расплава испарением. Импульсное лазерное излучение при прочих аналогичных условиях воздействия способно привести к удалению металла в виде жидкой фазы взрывным кипением.

Взрывное кипение требует интенсификации роста зародышей пара в объеме расплава. Образование зародышей пара в объеме расплава требует перегрева расплава выше температуры кипения. Значительный перегрев слоя расплава интенсифицирует рост пузырька и, в результате возникающих градиентов давления, приводит к выбросу жидкой фазы из зоны воздействия лазерного излучения (взрывному кипению). Следует отметить, что в реальных условиях вскипанию жидкой металлической фазы способствует наличие в ней газовых и усадочных раковин и пор, скопления примесей, неметаллических включений, растворенных газов. Указанные и возможные другие макродефекты металла являются искусственными или готовыми центрами парообразования и понижают величину требуемого перегрева расплава металла для достижения процесса взрывного кипения.

ВУ 4366 С1

Значительные скорости нагрева металла, в результате воздействия высокой плотности мощности, подводимой к поверхности металла, обуславливают протекание неравновесных процессов, например таких, как повышение температуры фазовых переходов в материале (плавление, кипение). Это происходит в результате инерционности механизмов диффузии. В результате может образоваться значительный перегрев расплава над температурой кипения. В дальнейшем, перегрев интенсифицирует рост пузырьков газа, в результате чего происходит выброс жидкой фазы.

Важное значение в процессе нагрева металла играет взаимодействие лазерного излучения с веществом, выброшенным с поверхности в виде пара и жидкой фазы (продуктами разрушения), а также с плазменным образованием, возникающим в результате оптического пробоя газов, находящихся у поверхности мишени. Плотность мощности, необходимая для пробоя при взаимодействии с парами разрушаемого металла, приблизительно составляет $10^6 \div 10^7$ Вт/см².

В непрерывном режиме излучения лазера основной эффект взаимодействия выражается в ослаблении интенсивности излучения достигаемого поверхности металла, вследствие поглощения и рассеяния в плазме и продуктах испарения. Плазменное облако растет со скоростью около 2÷5 м/с. Эффективный радиус зоны воздействия существенно возрастает по сравнению с радиусом пятна луча, плотность потока источника теплоты падает. Увеличивается количество энергии, отводимое за счет теплопроводности, излучения и конвекции. Плазма непрерывно поддерживается энергией, подводимой излучением. Устанавливается стационарный режим поглощения энергии в плазме. Нагрев в таких условиях не обеспечивает требуемого перегрева для интенсификации роста пузырьков пара. Процесс взрывного кипения отсутствует. Наблюдается плавление и/или кипение металла.

Взаимодействие импульсного лазерного излучения с продуктами разрушения металла отличается от непрерывного. Известно, что плазменное образование релаксируется с течением определенного времени после прекращения воздействия энергии. Практически можно подобрать временную структуру следования импульсов таким образом, когда плазма успевает полностью релаксировать к началу следующего импульса или становится прозрачной для лазерного излучения вследствие потери энергии, а продукты разрушения покинут участок воздействия.

Таким образом, взаимодействие лазерного излучения с поверхностью металла в импульсном режиме позволяет снизить или исключить экранирующее влияние на излучение плазмы и продуктов разрушения (эрозии).

Плотность мощности в импульсе излучения, при которой осуществим процесс распыления (взрывного кипения) зависит от теплофизических и оптических свойств материала, структуры импульса излучения, длины волны излучения и т.д., и находится в некотором диапазоне. Пороговое значение плотности мощности импульса излучения, при превышении которого наблюдается распыление, является нижней границей диапазона. Для многих металлов оно определено экспериментально в процессе лазерного сверления отверстий (по механизму нагрева и разрушения аналогичным заявляемому способу). Верхняя граница диапазона определяется из условия отсутствия заметной экранировки излучения в плазме при пробое воздуха. Плотность мощности импульса излучения, необходимая для пробоя воздуха при атмосферном давлении, приблизительно находится в диапазоне $10^8 \div 10^{10}$ Вт/см².

В момент воздействия импульса лазерного излучения, вследствие повышения плотности энергии, имеет место локальный разогрев металла, примыкающего к контакту с холодной частью проволоки (эффект сопротивления стягивания). Благодаря нагреву при облучении лазерным излучением и эффекту сопротивления стягивания температура контактной поверхности будет выше по сравнению с температурой тела контактов и сопротивление стягиванию возрастает в n раз:

$$n = (1 + \beta \Delta T),$$

где: β - температурный коэффициент сопротивления материала контакта;

ΔT - превышение температуры контактной поверхности над температурой всего тела контакта.

Подобно электросварке стержней встык, на величину контактного сопротивления влияют усилия сжатия, форма и размер первоначальной площади касания.

Зона контакта при определенных условиях служит источником дислокационных петель, уносящих из этой зоны вещество. При облучении лазерным излучением процесс эмиссии и движения дислокационных петель существенно интенсифицируется в связи с тем, что температурный градиент, возникающий в зоне контакта, обуславливает значительный градиент напряжений. Направленный поток электронов, рассеивающихся на дислокациях, вызывает их перемещение. Вещество из приконтактной области уносится дислокационными петлями, а радиус формирующегося контакта при массопереносе равен:

$$r_k = \left[\frac{\varphi r_n G (1 + \mu)}{\pi l \sigma_{кр} \ln N} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{\alpha \rho}{\lambda},$$

где φ - безразмерный коэффициент, учитывающий число действующих плоскостей легкого скольжения;

ВУ 4366 С1

- r_n - радиус проволоки;
- G - модуль упругого сдвига;
- μ - коэффициент Пуассона;
- l_σ - расстояние от центра контакта до участков максимальных сдвиговых напряжений;
- $\sigma_{кр}$ - критическое сдвиговое напряжение, приводящее к пластическому течению;
- N - количество дислокаций;
- α - коэффициент теплового расширения;
- P - мощность источника тепла;
- λ - коэффициент теплопроводности.

Под влиянием нагрева лазерным источником энергии металл контакта приводится в движение, с одной стороны, механизмами граничной диффузии и электронного увеличения дислокаций, а с другой - за счет вязкого и пластического течения, объемной и поверхностной диффузии, а также переноса вещества через газовую фазу. Имеет место возникновение отталкивающих сил между контактирующими объемами, где преобладающую роль играет тепловое расширение нагреваемого металла в объеме.

Если не учитывать роль лазерного излучения в увеличении дислокаций, то его влияние сводится лишь к нагреву металла, а возникновение и формирование физического контакта определяется термически активируемыми процессами. В случае лазерного импульсного нагрева в результате неоднородного температурного поля возникает неоднородность распределения вакансий, что вызывает массоперенос. Определенный вклад в массоперенос вносит и термодиффузия. Если интенсивность выделения тепла превышает затраты тепла на отвод в окружающую среду и нагрев приконтактного металла проволоки в твердой фазе часть металла расплавится, образуется и растет шейка, скорость роста которой приблизительно 100 см/с, что соответствует эффективному коэффициенту диффузии 10^{-2} см²/с. Наиболее вероятным механизмом образования шейки является плавление-затвердевание. Структура нагреваемого объема металла в районе контакта с холодной частью проволоки испытывает существенные изменения, связанные со значительными температурными градиентами и электродинамическими усилиями. В случае существенного влияния поверхностного натяжения жидкая перемычка приобретает форму криволинейных тел вращения. На расплав в зоне контакта действует порождаемое электромагнитным лазерным излучением капиллярно - гравитационно - электромагнитное давление, которое приводит к отделению объема расплавленного металла в зоне контакта за счет потери его устойчивости. Наряду с этим, на этапе нарастания мощности излучения идет резкое увеличение внутренней энергии отделенного объема расплавленного металла с большим перегревом и созданием в последнем сжимающих давлений.

В дальнейшем, за счет возникновения и нарастания реактивного давления в объеме расплавленного металла, нарушается равновесие сил сжатия расплава под действием выше названных давлений и сил отталкивания, что приводит к распылению частиц расплава (взрывному кипению). Взрывное кипение характерно для больших скоростей нарастания мощности лазерного излучения (электромагнитные волны) при малом теплоотводе. Главными причинами распыления расплава является реактивное давление и объемный перегрев расплава.

Кроме того, в результате действия электромагнитного излучения лазера, в процессе повышения мощности вводимой энергии в материал происходит образование не только жидкой фазы с большим объемным перегревом, но и плазмы. Продолжительность существования плазменного образования невелика, но достаточна для образования мельчайших жидких капель, взвешенных в низкотемпературной плазме.

На чертеже представлена схема, поясняющая осуществление заявляемого способа.

Основными элементами устройства для получения металлических волокон являются источник импульсного лазерного излучения (оптический квантовый генератор 1, фокусирующая линза 2, установленная в сопле 3), правильно-подающее устройство 4, направляющая 5, холодильник 6, выполненный в виде диска и установленный в горизонтальной плоскости с зазором "h" относительно расходуемого металла 7, привод вращения холодильника (на схеме условно не показан), устройства вертикального перемещения холодильника (на схеме условно не показано) для регулирования зазора "h" и сборник 8.

Способ осуществляют следующим образом.

Расходуемый металл 7 (например, в виде ленты шириной B или проволоки диаметром D меньшими диаметра d_n пятна лазерного излучения на поверхности заготовки) с помощью правильно - подающего устройства 4 через направляющую 5 непрерывно подают со скоростью V , меньшей произведения $d_n \times \nu$ (где ν - частота следования импульсов излучения), в зону действия лазерного излучения 9. При воздействии импульса лазерного излучения необходимой мощности на поверхность расходуемого металла 7, капиллярно - гравитационно - электромагнитное давление, порождаемое электромагнитным лазерным излучением, приводит к отделению объема расплавленного металла в зоне контакта расплав - твердый металл за счет потери его устойчивости. В дальнейшем, на этапе нарастания мощности излучения, идет резкое увеличение внутренней энергии отделенного объема расплавленного металла с большим перегревом и созданием в последнем сжимающих давлений. За счет возникновения и нарастания реактивного давления в расплавленном объеме металла нарушается равновесие сил сжатия расплава под действием выше названных давлений и сил отталкивания, что приводит к взрывному распылению мельчайших частиц расплава. Полученные таким образом частицы расплава попадают на движущуюся поверхность охлаждения холодильника 6. В результате

ВУ 4366 С1

взаимодействия расплавленных частиц с движущейся поверхностью охлаждения происходит их растекание по поверхности охлаждения в виде волокон и последующее затвердевание. Далее волокна, под действием центробежных сил, попадают в сборник 8. Для исключения окисления распыление металла осуществляют в среде инертного газа, подаваемого через сопло 3.

Предлагаемый способ использовали при получении волокон из нержавеющей стали и цветного сплава никель-хром.

Пример 1.

Проводили получение волокон из стали X18H10T. В опытах использовалась лазерная установка импульсного действия "Квант-15" с длиной волны 1,06 мкм. Длительность импульса излучения равнялась 5 мс. Диаметр пятна лазерного луча в фокусе равнялся 0,6 мм. Расходуемый материал в виде проволоки подавали в точку фокуса лазерного луча. Технологические режимы и результаты представлены в таблице 1. Получаемый продукт имеет форму волокон с размерами: ширина × толщина × длина - (5 ÷ 55) × (2 ÷ 10) × (40 ÷ 1000) мкм.

Для сравнительных данных, при прочих равных условиях, получали изделия известным способом. Для получения волокон при осуществлении способа использовали холодильник в виде вращающегося диска. Технологические режимы и результаты представлены в табл. 1.

Пример 2.

Аналогично примеру 1 проводили получение волокон из цветного сплава X15H60. Технологические режимы и результаты представлены в табл. 2.

Для сравнительных данных, при прочих равных условиях, получали волокна известным способом. При этом данные получали, как и примере 1. Технологические режимы и результаты представлены в таблице 2. Получаемый продукт имеет форму волокон с размерами: ширина × толщина × длина - (5 ÷ 55) × (2 ÷ 10) × (40 ÷ 1000) мкм.

Вывод: анализ данных таблиц 1 и 2 показывает, что применение заявляемого способа позволяет увеличить выход фракции " - 50" мкм. приблизительно в 4 раза и расширить сортамент получаемого продукта.

Пример 3.

Аналогично примеру 1 получали партии волокон из стали X18H10T. Технологические режимы и результаты представлены в табл. 3.

Вывод: представленные в табл. 3 результаты опробования заявляемого способа свидетельствуют о том, что пороговая плотность мощности излучения, при достижении которой происходит процесс распыления, для стали X18H10T равна 3×10^5 Вт/см².

Пример 4.

Аналогично примеру 3 получали партии волокон из стали X18H10T. В виде заготовки использовали ленту. Технологические режимы и результаты представлены в табл. 4.

Вывод: представленные в табл. 4 результаты опробования заявляемого способа свидетельствуют о том, что при ширине В заготовки превышающей диаметр d_n пятна лазерного излучения на поверхности металла и/или при скорости V подачи металла, превышающей произведение $d_n \times v$, наблюдается неполное распыление.

Таким образом, предлагаемый способ по сравнению с известным обеспечивает следующие преимущества:

- расширение сортамента получаемых изделий за счет получения волокон;
- увеличение дисперсности получаемых изделий.

Таблица 1

Наименование параметра	Известный способ	Заявляемый способ
Диаметр проволоки, мм	0,3	0,3
Плотность мощности импульса излучения на поверхности металла, Вт/см ²	4×10^5	4×10^5
Частота следования импульсов излучения, Гц	непрерывный режим генерации	3
Скорость подачи проволоки, мм/с	1	1
Диаметр холодильника, мм	230	230
Частота вращения холодильника, об/мин	2000	2000
Давление распыляющего газа, кг/см ²	2	нет
Зазор " h", мм	5	0,5
Выход фракции " - 50" мкм, вес. %	16	74

ВУ 4366 С1

Таблица 2

Наименование параметра	Известный способ	Заявляемый способ
Диаметр проволоки, мм	0,2	0,2
Плотность мощности импульса излучения на поверхности металла, Вт/см ²	4×10 ⁵	4×10 ⁵
Частота следования импульсов излучения, Гц	непрерывный режим генерации	3
Скорость подачи проволоки, мм/с	1	1
Диаметр холодильника, мм	230	230
Частота вращения холодильника, об/мин	2000	2000
Давление распыляющего газа, кг/см ²	2	нет
Зазор " h", мм	5	0,5
Выход фракции " - 50" мкм, вес. %	18	71

Таблица 3

Наименование параметра	№ опыта				
	1	2	3	4	5
Диаметр заготовки, мм	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Плотность мощности импульса излучения на поверхности металла, Вт/см ²	2×10 ⁵	2,5×10 ⁵	2,8×10 ⁵	3×10 ⁵	3,5×10 ⁵
Частота следования импульсов излучения, Гц	3	3	3	3	3
Скорость подачи проволоки, мм/с	1	1	1	1	1
Диаметр холодильника, мм	230	230	230	230	230
Частота вращения холодильника, об/мин	2000	2000	2000	2000	2000
Зазор " h", мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Выход фракции " - 50" мкм, вес. %	0	0	0	50	65
Примечание	Распыление не наблюдается			Наблюдается распыление	

Таблица 4

Наименование параметра	№ опыта		
	1	2	3
Диаметр пятна лазерного излучения на поверхности металла, мм	0,6	0,6	0,6
Размер заготовки: ширина × толщина, мм	0,4×0,1	1×0,1	1×0,1
Плотность мощности импульса излучения на поверхности металла, Вт/см ²	5×10 ⁵	5×10 ⁵	5×10 ⁵
Частота следования импульсов излучения, Гц	3	3	3
Скорость подачи проволоки, мм/с	1	1	1
Диаметр холодильника, мм	230	230	230
Частота вращения холодильника, об/мин	2000	2000	2000
Зазор " h", мм	0,5	0,5	0,5
Выход фракции " - 50" мкм, вес. %	74	39	21

ВУ 4366 С1

Источники информации:

1. Заявка № 61-16216 (Япония), кл. В22D 11/06, В22F 9/10, 1982.
2. Заявка № 61-264108 (Япония), кл. В22F 9/08, В23К 26/14, 1986.

1. Способ получения металлических волокон, заключающийся в том, что генерируют сфокусированное лазерное излучение, подают металлическую заготовку в зону его действия, расплющивают металл с последующим охлаждением частиц металла, **отличающийся** тем, что лазерное излучение генерируют в импульсном режиме, а охлаждение расплющенных частиц металла осуществляют на движущейся поверхности холодильника.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что металлическую заготовку подают в виде ленты шириной B или проволоки диаметром D меньшими диаметра пятна лазерного излучения на поверхности заготовки d_n , причем скорость подачи заготовки V выбирают меньшей произведения

$$d_n \times \nu,$$

где ν - частота следования импульсов излучения.

3. Способ по п. 1 или 2, **отличающийся** тем, что при получении волокон из нержавеющей стали используют лазерное излучение с плотностью мощности импульса на поверхности заготовки не менее 3×10^5 Вт/см².