



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2010149330/02, 05.05.2009**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.05.2009

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
06.05.2008 EP 08300199.0(43) Дата публикации заявки: **20.06.2012** Бюл. № 17(45) Опубликовано: **10.10.2012** Бюл. № 28(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **US 5759299 A, 02.07.1998. RU 2309190 C2,**
27.10.2007. UA 81134 C2, 10.12.2007. FR
2241624 A1, 21.03.1975.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: **06.12.2010**(86) Заявка РСТ:
FR 2009/050822 (05.05.2009)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2009/141556 (26.11.2009)

Адрес для переписки:

109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент", О.И.Воль

(72) Автор(ы):

БЕГИНО Жан (FR),
НГОМО Валери (FR)

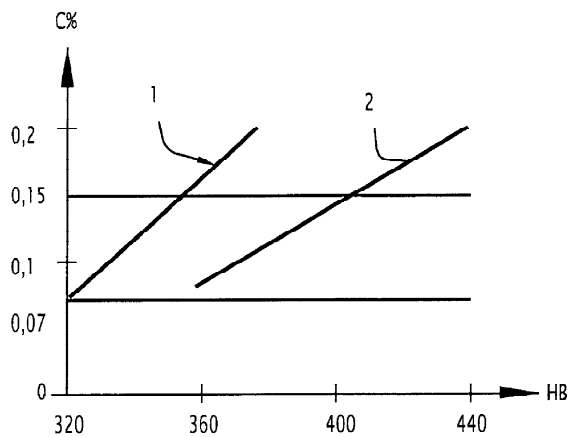
(73) Патентообладатель(и):

ЭНДЮСТЕЛЬ КРЁЗО (FR)**(54) ВЫСОКОПРОЧНАЯ СТАЛЬ ДЛЯ МАССИВНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к получению высокопрочной стали, предназначенной для изготовления массивных деталей. Сталь содержит, мас. %: $0,03 \leq C < 0,2$; $Si \leq 0,49$; $3 < Mn \leq 4$; $Ni \leq 0,9$; $1 \leq Cr \leq 5$; $Mo + W/2 \leq 1$; $Cu \leq 0,9$; $S + Se/2 + Te/3 < 0,020$; $Al \leq 0,1$; остальное железо и примеси, попавшие в сталь в результате выплавки. Для изготовления детали в виде блока или листа стали придают форму горячей пластической деформацией, осуществляемой путемковки или прокатки. Осуществляют, при необходимости,

аустенизацию, а затем последующую закалку охлаждением на воздухе. Полученные детали имеют бейнитную, мартенситно-бейнитную или мартенситную структуру. Разница в твердости между более твердыми и менее твердыми зонами детали вследствие ликвационных прожилков составляет менее приблизительно 20% средней твердости детали. Сталь обладает улучшенными механическими свойствами при обеспечении незначительных отклонений значений указанных свойств вследствие ликвации. 4 н. и 9 з.п. ф-лы, 1 ил., 4 табл.



RU 2 4 6 3 3 7 3 C 2

RU 2 4 6 3 3 7 3 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C22C 38/58 (2006.01)*C22C 38/38* (2006.01)*C21D 8/02* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2010149330/02, 05.05.2009**(24) Effective date for property rights:
05.05.2009

Priority:

(30) Convention priority:
06.05.2008 EP 08300199.0(43) Application published: **20.06.2012 Bull. 17**(45) Date of publication: **10.10.2012 Bull. 28**(85) Commencement of national phase: **06.12.2010**(86) PCT application:
FR 2009/050822 (05.05.2009)(87) PCT publication:
WO 2009/141556 (26.11.2009)

Mail address:

**109012, Moskva, ul. Il'inka, 5/2, OOO
"Sojuzpatent", O.I.Vol'**

(72) Inventor(s):

**BEGINO Zhan (FR),
NGOMO Valeri (FR)**

(73) Proprietor(s):

EhNDJuSTEL' KREZO (FR)**(54) HIGH-STRENGTH STEEL FOR MASSIVE PARTS**

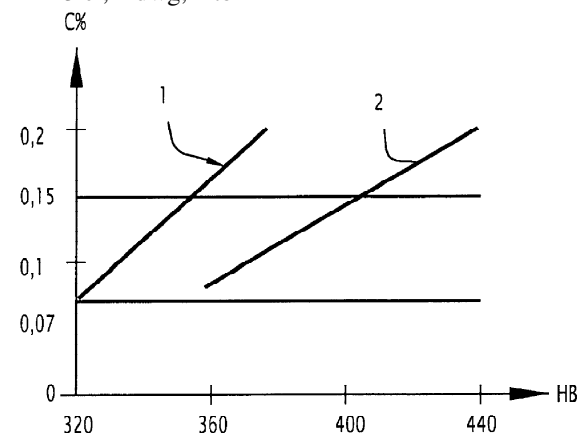
(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: steel contains, wt %: $0,03 \leq C < 0,2$; $Si \leq 0,49$; $3 < Mn \leq 4$; $Ni \leq 0,9$; $1 \leq Cr \leq 5$; $Mo + W/2 \leq 1$; $Cu \leq 0,9$; $S + Se/2 + Te/3 < 0,020$; $Al \leq 0,1$; balance is iron and admixtures that got into steel in process of smelting. To manufacture a part in the form of a block or a sheet, steel is shaped by hot plastic deformation carried out through forging or rolling. Austenisation is carried out, when required, and then further tempering by cooling on air. Produced parts have bainite, martensite-bainite or martensite structure. The difference in hardness between harder and less harder zones of the part due to liquation streaks makes less than approximately 20% of the average part hardness.

EFFECT: steel has improved mechanical properties providing for low deviation of values of specified properties as a result of liquation.

13 cl, 1 dwg, 4 tbl



Настоящее изобретение относится к высокопрочной стали, предназначенной, в частности, для изготовления деталей большого размера, таких как детали форм для пластических материалов, деталей инструментов, таких как матрицы, или быстроизнашивающихся деталей, таких как детали, которые должны быть устойчивыми к абразивному износу.

В различных областях применения механические детали, которые подвергаются воздействию значительных усилий или очень больших усилий истирания, должны быть изготовлены из стали, обладающей повышенной механической прочностью, соответствующей твердости от 300 до 500 НВ, но при этом должны оставаться достаточно пластичными, хорошо поддаваться обработке, сварке и тому подобному. Как правило, эти детали получают резкой и механической обработкой листов или блоков большой толщины. Блок, обычно имеющий форму параллелепипеда, получают ковкой слитка. Лист получают прокаткой слитка или сляба.

Для предметов, имеющих форму параллелепипеда, толщина является самым малым размером. Для блоков или листов, рассматриваемых в настоящем документе, толщина превышает 10 мм и может достигать 1 метра.

На блоках или листах этого типа, состоящих из упомянутых сталей, зачастую отмечают наличие твердых точек, являющихся результатом ликвации. Эти участки ликвации соответствуют локальным отклонениям химического состава, возникшим в результате явлений кристаллизации в слитках, из которых эти блоки были изготовлены. Наличие этих твердых точек влечет за собой ряд нежелательных последствий. Действительно, они могут затруднять точную механическую обработку или полировку, что может повлечь за собой проблемы с изготовлением деталей, для которых важна геометрическая точность и качество поверхности. Следствием таких вариаций твердости может также стать появление хрупких зон, которые могут стать предпочтительными участками возникновения трещин, негативно влияющих, в частности, на общую прочность деталей, а также на свариваемость деталей или способность деталей к термической резке.

Проблемы ликвации становятся более выраженными по мере увеличения сечения рассматриваемой детали. Более конкретно, речь идет о деталях, сечение которых может достигать нескольких дециметров и даже более одного метра, в частности, это касается необходимости добавления легирующих элементов в больших количествах для придания достаточной закаливаемости, позволяющей изготавливать такие детали.

Для уменьшения протяженности зон ликвации иногда применяют способы изготовления слитков типа электрошлакового переплава (ЭШП) или переплава в вакууме. В частности, эти способы эффективны для получения однородных деталей большого размера и, следовательно, обладающих удовлетворительными эксплуатационными свойствами. Однако их недостатком является очень высокая стоимость. Поэтому такие способы применяются в основном при изготовлении деталей, которые должны обладать очень высокими рабочими характеристиками и стоимость изготовления которых с учетом сферы их применения может быть более высокой.

Для уменьшения влияния ликвации было также предложено применять гомогенизирующую термическую обработку. Цель такой термической обработки заключается в сглаживании локальных вариаций химического состава диффузией химических элементов из наиболее насыщенных в наименее насыщенные зоны. Недостаток ее заключается в том, что она слишком продолжительна и, следовательно, очень дорогая.

Цель настоящего изобретения состоит в устранении этих недостатков путем создания стали, которая позволит обеспечить улучшенные механические свойства, твердость которой будет достигать 400 НВ и даже 450 НВ, в том числе внутри очень массивных деталей, при относительно невысоких вариациях твердости, обусловленных
5 ликвацией.

В связи с этим объектом изобретения является высокопрочная сталь, химический состав которой включает по весу:

$0,03\% \leq C < 0,2\%$

$Si \leq 0,49\%$

$3\% < Mn \leq 4\%$

$Ni \leq 0,9\%$

$1\% \leq Cr \leq 5\%$

$Mo + W/2 \leq 1\%$

$Cu \leq 0,9\%$

$S + Se/2 + Te/3 < 0,020\%$

$Al \leq 0,1\%$

остальное железо и примеси, попавшие в сталь в результате выплавки.

Предпочтительно химический состав удовлетворяет одному или нескольким
20 следующим условиям:

$Cr > 2,5\%$

$Cr < 3,5\%$

$Ni < 0,5\%$

$Cu < 0,4\%$

$Mo + W/2 < 0,3\%$.

Более конкретно, согласно предпочтительному способу воплощения сталь имеет следующий химический состав:

$2,7\% \leq Cr < 3\%$

$Mo \leq 0,3\%$.

Изобретение также относится к блоку или листу стали по изобретению, толщина которого превышает 10 мм, который обладает бейнитной, мартенситно-бейнитной или мартенситной структурой, в котором разница в твердости между более твердыми и менее твердыми зонами блока или листа в результате прожилок ликвации составляет
35 менее приблизительно 20% средней твердости блока.

Наконец, изобретение относится к способу изготовления блока или листа стали по изобретению, согласно которому после придания формы горячей пластической деформацией: ковкой или прокаткой выполняют закалку охлаждением на воздухе или
40 аустенизацию с последующей закалкой охлаждением на воздухе.

Более конкретно, изобретение предназначено для изготовления листов или блоков, толщина которых превышает 10 мм и как правило превышает 20 мм. Толщина может превышать 100 мм и даже превышать 150 мм, даже 300 мм и даже 500 мм. Толщина
45 может достигать 1 метра.

Ниже изобретение будет описано более подробно, со ссылкой на единственную приведенную фигуру и проиллюстрировано примерами. Однако приведенные примеры не являются ограничительными.

Приведенная фигура представляет собой график, показывающий целевое содержание углерода в зависимости от требуемой твердости для высокопрочной стали по изобретению после отпуска при 550°C (кривая 1) или после отпуска при температуре ниже 500°C (кривая 2), для базового состава: 0,15% кремния, 3,3%
50

марганца, 3% хрома, 0,25% молибдена и для блоков, которые были охлаждены на воздухе после нормализации при 900°C.

Для изготовления деталей очень большой толщины, толщина которых превышает 10 мм и может достигать 500 мм и даже превышать 1 метр, у которых средняя твердость достаточно однородна в толще и на поверхности, необходимо применять сталь, закаляемость которой достаточна для получения однородной структуры без необходимости проведения закалки в слишком резкой закалочной среде. Действительно, чем резче закалочная среда, тем сильнее вариации скорости охлаждения внутри блока, и, следовательно, выше риск получения неоднородной структуры. Напротив, при достаточной закаляемости, охлаждение на воздухе, и более конкретно на спокойном воздухе, которое приводит к относительно небольшим различиям в охлаждении поверхности и толщи, позволяет получить удовлетворительную структуру, которая обладает хорошей однородностью. Естественно, эти условия закалки не оказывают прямого влияния на проблему локальных вариаций твердости в результате ликвации.

Для обеспечения достаточной закаляемости обычно считается необходимым применять химические составы, насыщенные легирующими элементами. Однако эффект этих легирующих элементов заключается в том, что они приводят к ликвации, которая может быть значительной.

Несмотря на то, что обычно считалось, что чем более выражена тенденция легирующих элементов к ликвации, тем значительнее их влияние на различие в твердости прожилков ликвации, изобретатели неожиданно обнаружили отсутствие корреляции между интенсивностью переупрочнения в прожилке ликвации, обусловленной легирующими элементами, и соответствующей склонностью к ликвации каждого из этих легирующих элементов.

Склонность к ликвации легирующих элементов и их влияние на твердость прожилков ликвации иллюстрируется следующими испытаниями, в ходе которых было выполнено шесть плавов стали в слитки весом три тонны, состав которых, выраженный в 10⁻³% по весу, приведен в таблице 1.

Таблица 1						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
1	170	200	1500	2800	100	1500
2	170	500	1500	2800	100	1500
3	170	200	2800	2800	100	1500
4	170	200	1500	1300	100	1500
5	170	200	1500	2800	400	1500
6	170	200	1500	2800	100	200

Эти слитки были прокатаны и превращены в листы толщиной 50 мм, которые были разрезаны для получения образцов, на которых измеряли одновременно среднюю твердость и упрочнение в результате ликвации. Образцы, отобранные из каждого листа, исследовали с одной стороны непосредственно после охлаждения, когда они имели мартенситную структуру, и с другой стороны в состоянии отпуска при температуре 500°C, при котором они имели структуру мартенсита отпуска.

На каждом из образцов в прожилках ликвации измеряли одновременно:

- средний процент ликвации каждого из разных легирующих элементов (Si, Mn, Cr, Mo, Ni) при помощи микрозонда для количественного анализа. Склонность каждого элемента к ликвации характеризовали отношением (%) разницы между средним составом в прожилке ликвации C_v и составом плавки C₀ к последней величине (то

есть: $(C_v - C_0)/C_0$);

- среднюю твердость прожилков ликвации при помощи классических тестов типа способа Виккерса при 300 г. Переупрочнение в прожилках соответствует разнице между средней твердостью прожилков и твердостью окружающей матрицы вне прожилков. При последующем сравнении результатов этих измерений в образцах различных плавок, взятых попарно, можно определить вклад в переупрочнение в прожилках, который может быть приписан конкретно ликвации каждого легирующего элемента.

Часть переупрочнения в прожилках, которая может быть приписана одному элементу, является результирующей ликвации этого элемента, то есть, по определению, произведением номинального содержания этого элемента и его процента ликвации. Следовательно, сравнение элементов по их отрицательному действию в плане переупрочнения со ссылкой на вклад в переупрочнение при одинаковом уровне номинального содержания каждого элемента (произвольно был выбран уровень 0,2%) является правомерным.

Так, в качестве примера, обнаруженная разница с показателем средней твердости в 33 HV между плавками 1 и 3 (с содержанием 1,5% и 2,8% Mn) приводит к оценке переупрочнения $33 \times (0,2\% / 1,3\%) = 5$ Hv для 0,2% Mn (ср. с данными таблицы ниже).

Результирующие данные представлены в таблице 2 ниже.

Таблица 2		
Легирующие элементы	Склонность элемента к ликвации	Эффект переупрочнения (Hv), зафиксированный в прожилках ликвации, по сравнению со сплавом, содержащим 0,2% (после отпуска)
Si	35%	8
Cr	26%	17
Mn	42%	5
Mo	67%	70
Ni	32%	3

В таблице 3 ниже приведена склонность каждого элемента к ликвации и его эффект упрочнения в прожилке ликвации, выраженные в качественных характеристиках.

Таблица 3		
Легирующие элементы	Склонность элемента к ликвации	Эффект переупрочнения (Hv), зафиксированный в прожилках ликвации
Si	Средняя	Слабый
Cr	Слабая	Средний
Mn	Достаточно сильная	Очень слабый
Mo, V	Сильная	Очень сильный
Ni	Средняя	Очень слабый

В свете этих результатов представляется, что вопреки общепринятым представлениям для обеспечения очень хорошей закаливаемости при слабой ликвации желательно выбрать состав, содержащий много марганца, мало хрома и мало молибдена, может также представлять интерес включение большого количества никеля. Однако никель является очень дорогим элементом и, предпочтительно, использовать марганец, а не никель.

На основании этих результатов ясно, что для получения сталей, позволяющих изготавливать детали очень больших размеров с хорошими свойствами, обладающие относительно слабыми вариациями прочности в результате ликвации, желательно применять сталь, состав которой отвечает следующим условиям:

- углерод: от 0,03% до 0,2% в % по весу, влияние этого элемента в основном заключается в том, что он действует на твердость мартенсита таким образом, его

содержание подбирают в зависимости от требуемого уровня твердости деталей. Для определения содержания углерода в зависимости от целевой твердости можно, например, разделить шкалу твердости на отрезки по 40 НВ в диапазоне от 320 НВ до 440 НВ. Эти интервалы примерно соответствуют классическим интервалам применения в сталях, устойчивых к абразивному износу, или инструментальных сталях.

Можно также рассмотреть следующие интервалы содержания углерода: от 0,03% до 0,06%, от 0,07% до 0,15%, от 0,16% до 0,20%. Каждому интервалу содержания углерода соответствует при определенной термической обработке интервал твердости. Действительно, в зависимости от того, была ли сталь подвергнута отпуску при 550°C, или не была подвергнута отпуску, или была подвергнута обработке при температуре существенно ниже 500°C, уровень твердости неодинаков для одинакового содержания углерода. В общем, интервал самой низкой твердости соответствует самому низкому содержанию углерода, а интервал самой высокой твердости соответствует самому высокому содержанию углерода. Однако границы этих интервалов содержания углерода, соответствующих твердости, несколько варьируют в зависимости от содержания других легирующих элементов и в зависимости от скорости охлаждения, а также в зависимости от термической обработки, которой были подвергнуты детали.

Такая сегментация иллюстрируется примером стали, в состав которой помимо углерода входит: 0,15% кремния, 3,3% марганца, 3% хрома, 0,25% молибдена.

На фигуре 1 представлено изменение твердости в зависимости от содержания углерода для блоков, которые были охлаждены после нормализации при 900°C, которая проводилась после предварительной горячей прокатки. Блоки были подвергнуты отпуску: один при 480°C и другой при 550°C. Как видно на фигуре, блок, отпуск которого проводили при температуре 480°C, обладает твердостью 360 НВ при содержании углерода 0,1%, а та же сталь, отпущенная при 550°C, имеет твердость только 320 НВ. Аналогично, при содержании углерода в стали около 0,2% блок этой стали, отпущенный при 480°C, обладает твердостью порядка 440 НВ, а блок, который был отпущен при 560°C, имеет твердость 375 НВ. Минимальное содержание углерода 0,03% соответствует значению, до которого упрочняющая ликвация и интерес, связанный с ее снижением, становятся незначительными. Следует отметить, что полученная твердость слабо изменяется при применении отпуска, если его температура существенно не превышает 480°C. Эти результаты также относятся к листам.

- кремний: общее содержание этого элемента, который в частности служит для раскисления ванны жидкой стали во время выплавки, составляет выше 0,025% и предпочтительно выше 0,05% или даже может быть выше 0,1%. Однако содержание этого элемента должно оставаться ниже 0,49%, предпочтительно оставаться ниже 0,35%, более предпочтительно ниже 0,19%, и, если это возможно с учетом требований раскисления ванны, оставаться ниже 0,1%. Действительно, кремний является элементом, который обладает свойством значительно повышать массивную ликвацию в верхней части слитка (так называемая зональная ликвация), которая затем подпитывает прожилки ликвации, выраженные тем сильнее, чем выше ликвация в верхней части слитка. Кроме того, кремний обладает свойством снижать теплопроводность стали, что может быть неблагоприятным в некоторых областях применения, таких как, например, пресс-формы для пластических материалов. Наконец, кремний оказывает негативный эффект на склонность к обратной отпускной хрупкости, которую необходимо учитывать, в частности, при низкой

скорости охлаждения изделий, что имеет место в областях применения этой стали,

- хром: этот элемент оказывает благоприятное действие на закаливаемость, и, поскольку он имеет склонность к образованию карбидов, он оказывает благоприятное действие на устойчивость к снижению твердости при отпуске, его эффект переупрочнения в прожилках ликвации гораздо менее выражен, чем таковой эффект молибдена или вольфрама, его необходимо добавлять в количестве предпочтительно выше 1% и более предпочтительно выше 2,5%, но при этом его содержание должно быть ниже 5%, предпочтительно ниже 3,5% и наиболее

предпочтительно составлять от 2,7% до 3% для обеспечения одновременно достаточной закаливаемости, удовлетворительной устойчивости к снижению твердости при отпуске, без слишком выраженного переупрочнения зон ликвации,

- молибден и вольфрам: недостатком этих двух элементов, которые обладают сильно выраженной склонностью к образованию карбидов, благоприятно сказывающихся на устойчивости к снижению твердости при отпуске, является очень заметное влияние на переупрочнение зон ликвации. Так, вольфрам оказывает такой же эффект, как и молибден, при условии добавления 2% вольфрама на 1% молибдена, поэтому суммарное содержание Mo+W/2 ограничивают 1%, предпочтительно 0,5%, или даже максимум 0,3%,

- ванадий, ниобий: эти элементы оказывают крайне неблагоприятный эффект на переупрочнение зон ликвации, в сталь не следует специально добавлять ванадий или ниобий, которые тем не менее могут присутствовать в остаточных количествах, содержание ванадия должно оставаться на уровне ниже 0,010% и предпочтительно ниже 0,005%, а содержание ниобия должно оставаться на уровне ниже 0,050% и предпочтительно ниже 0,010%,

- марганец: этот элемент оказывает очень благоприятное действие на закаливаемость, его преимущество также заключается в очень небольшом действии на переупрочнение зон ликвации. Поэтому его применяют предпочтительно для обеспечения закаливаемости. Так, содержание марганца составляет от 3 до 4%, чтобы комбинированный эффект марганца и углерода на закаливаемость был достаточным,

- никель: этот элемент оказывает благоприятное действие на закаливаемость и небольшой эффект на переупрочнение зон ликвации. Однако этот элемент очень дорог, поэтому его содержание составляет менее 0,9% предпочтительно менее 0,5% и более предпочтительно, чтобы его содержание было на остаточном уровне,

- медь: содержание этого элемента, который зачастую присутствует в остаточной форме, должно оставаться ниже 0,9%, предпочтительно ниже 0,4%, более предпочтительно еще ниже, менее 0,2%, поскольку этот элемент не оказывает особо благоприятного влияния на свойства рассматриваемой стали,

- алюминий: содержание этого элемента, который оказывает благоприятный эффект на раскисление ванны жидкой стали во время выплавки и который в твердом состоянии позволяет контролировать размер аустенитного зерна образованием нитрида алюминия, составляет менее 0,1%. При необходимости перевода в глобулярную форму образующихся соединений серы, которые могут формировать удлиненные решетки, представляющие собой источник разделения слитка, предпочтительно добавлять от 0,040 до 0,60% алюминия,

- сера, Se, Te: сера, которая является примесью, всегда присутствующей по меньшей мере в следовых количествах, может оказывать благоприятный эффект на обрабатываемость. Однако при высоком содержании она оказывает неблагоприятное воздействие на прочность, и возможно на полируемость сталей. Селен и теллур

оказывают действие, сходное с действием серы при их содержании из расчета 2 части селена на 1 часть серы или 3 части теллура на 1 часть серы. Так, более конкретно для областей применения, где требуется хорошая полируемость, сумма $S+Se/2+Te/3$ должна составлять следовые количества или быть выше 0,005%, но в любом случае оставаться ниже 0,020%.

Остальная часть состава представлена железом и примесями, попавшими в сталь в результате выплавки.

Для изготовления деталей, состоящих из стали, которая была описана выше, сначала выплавляют сталь, имеющую выбранный состав, потом разливают эту сталь в форме полуфабриката, например слитка, которому придают форму горячей пластической деформацией: ковкой или прокаткой.

Полученную таким образом заготовку, представляющую собой блок или лист стали, затем используют непосредственно после прокатки иликовки, или после термической обработки, соответствующей предполагаемому применению, которую сможет подобрать специалист.

Более конкретно, сталь непосредственно после прокатки иликовки используется для таких областей, как изготовление деталей, устойчивых к истиранию, для применения в горнорудной промышленности или в гражданском строительстве, в тех сферах, в которых стоимость стали является значимым элементом при выборе.

При необходимости получить сталь с более конкретными свойствами, детали, листы или блоки непосредственно послековки или прокатки, возможно, разрезанные или предварительно обработанные, подвергают аустенизации нагреванием до температуры, превышающей температуру AC_3 , как правило, порядка 900°C, затем закалывают охлаждением на открытом воздухе, более конкретно на спокойном воздухе, или возможно в закалочной среде, в которой охлаждение протекает немного быстрее, хотя это не является необходимым условием. Польза от такой аустенизации с последующим охлаждением на воздухе заключается в увеличении отношения предела упругости к пределу прочности при растяжении.

Следует отметить, что в случае необходимости закалка может проводиться непосредственно во время нагрева при придании формы горячей пластической деформацией, если последняя проводится в соответствующих температурных условиях. Специалист умеет определять такие условия.

Блоки или листы непосредственно после горячей деформации, во время которой они были подвергнуты повторной аустенизации и медленно охлаждены, предпочтительно можно подвергнуть термической обработке отпуском при температуре выше 450°C, но ниже 550°C. Преимущество такой обработки отпуском, которая существенно не меняет твердость, заключается в уменьшении уровня остаточного напряжения в блоках или деталях, в том состоянии, в котором они непосредственно были получены после предшествующих обработок.

Это уменьшение внутренних напряжений представляет особый интерес для прецизионных деталей, получаемых в результате значительной механической обработки срезанием материала. С этой точки зрения преимущество обработки повторной аустенизацией и медленным охлаждением по сравнению с состоянием непосредственно после горячего формования заключается в ослаблении по меньшей мере части остаточных напряжений.

Наконец, преимущество обработки отпуском может заключаться в небольшом дополнительном увеличении отношения предела упругости к пределу прочности при растяжении.

В одном из вариантов обработку отпуском можно заменить термообработкой для снятия внутренних напряжений после закалки при температуре от 150 до 250°C.

Такая термообработка для снятия внутренних напряжений не приводит к значительным отклонениям твердости. Напротив, обычно она приводит к существенному увеличению прочности, что полезно одновременно для облегчения изготовления изделий и, с другой стороны, для удлинения срока службы деталей.

Более конкретно, такая обработка подходит для деталей, предназначенных для работы в условиях, требующих значительной устойчивости к износу при трении металла о металл, который имеет место в машиностроении, или устойчивости абразивному износу, который имеет место в гражданском строительстве, на рудниках или в карьерах. В качестве примера были выполнены две повторные плавки стали 1 и 2, которые сравнили с выбранными сталями C1 и C2, приведенными для сравнения.

Из этих сталей, состав которых приведен в таблице 4, были изготовлены горячей прокаткой листы толщиной 150 мм, которые после охлаждения были подвергнуты повторной аустенизации нагреванием до 900°C, затем охлаждены на воздухе.

Таблица 4													
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	H	dH	dH/H(%)	Tf	Сварив.	Эконо м.
C1	0,24	0,2	1,3	0,3	1,9	0,49	-	310	65	21	150	+	++
C2	0,53	0,4	0,8	1,6	1,1	0,55	0,11	395	119	30	41	+	+
Сталь 1, отп. 550°C	0,11	0,10	3,4	0,2	2,9	0,28	-	340	41	12	135	+++	+++
Сталь 2, отп. 480°C	0,13	0,15	3,2	0,2	3,0	0,22	-	405	48	15	105	++	+++

На полученных листах провели определение средней твердости по Бринеллю (H), разницы по твердости (dH) между самыми твердыми участками зон ликвации и наименее твердыми участками листов, отношения между разницей твердости и средней плотностью (dH/H в %), оценили обрабатываемость по времени фрезерования (Tf), свариваемость и экономическую привлекательность стали.

Результаты, приведенные в таблице 4, показывают, что стали по изобретению, обладая твердостью, которая может быть относительно высокой, поскольку она находится в интервале от 340 HB до 405 HB, имеют отклонения твердости, которые составляют менее 15% средней твердости, по сравнению с более 20% у сталей известного уровня техники. Кроме того, эти стали обладают удовлетворительной обрабатываемостью, более выраженной свариваемостью, чем стали, приведенные для сравнения, и являются экономически более привлекательными.

Формула изобретения

1. Высокопрочная сталь, содержащая, мас. %:

$0,03 \leq C < 0,2$

$Si \leq 0,49$

$3 < Mn \leq 4$

$Ni \leq 0,9$

$1 \leq Cr \leq 5$

$Mo + W/2 \leq 1$

$Cu \leq 0,9$

$S + Se/2 + Te/3 < 0,020$

$Al \leq 0,1$

остальное железо и примеси, попавшие в сталь в результате выплавки.

2. Высокопрочная сталь по п.1, отличающаяся тем, что она содержит:

$Cr > 2,5\%$.

3. Высокопрочная сталь по п.1, отличающаяся тем, что она содержит:

$Cr < 3,5\%$.

5

4. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что она содержит:

$Ni < 0,5\%$.

5. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что она содержит:

$Cu < 0,4\%$.

10

6. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что она содержит:

$Mo + W/2 \leq 0,3\%$.

7. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что она содержит:

$2,7\% \leq Cr \leq 3\%$,

$Mo \leq 0,3\%$.

15

8. Стальная деталь толщиной, большей или равной 10 мм, выполненная из стали по любому из пп.1-7, с бейнитной, мартенситно-бейнитной или мартенситной структурой, у которой разница в твердости между более твердыми и менее твердыми зонами детали вследствие ликвационных прожилок составляет менее приблизительно 20% средней твердости детали.

20

9. Стальная деталь по п.8, отличающаяся тем, что она имеет толщину, больше или равную 20 мм.

10. Стальная деталь по п.8, отличающаяся тем, что она представляет собой лист.

11. Стальная деталь по п.8, отличающаяся тем, что она представляет собой блок.

25

12. Способ изготовления стальной детали по п.8, включающий придание формы горячей пластической деформацией, осуществляемое путемковки или прокатки и последующую закалку охлаждением на воздухе.

13. Способ изготовления стальной детали по п.8, включающий придание формы горячей пластической деформацией, осуществляемое путемковки или прокатки, аустенизацию и последующую закалку охлаждением на воздухе.

30

35

40

45

50