



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C21D 8/00 (2022.08); C21D 1/25 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022122541, 22.08.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.08.2022

Дата регистрации:
24.01.2023

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 22.08.2022

(45) Опубликовано: 24.01.2023 Бюл. № 3

Адрес для переписки:
308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Цуриковой
Н.Д.

(72) Автор(ы):
Долженко Анастасия Сергеевна (RU),
Беляков Андрей Николаевич (RU),
Кайбышев Рустам Оскарович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2631068 C1, 18.09.2017. RU
2599465 C2, 10.10.2016. KIMURA Y. и др.,
Tempforming in medium-carbon low-alloy steel.
Journal of Alloys and Compounds, vol.577,
pp.S538-S542. WO 2002077310 A1, (JAPAN
SCIENCE AND TECHNOLOGY
CORPORATION), 03.10.2002.

(54) Способ обработки хромомолибденовой стали перлитного класса

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к термомеханической обработке хромомолибденовых сталей перлитного класса, адаптированных к природно-климатическим условиям крайнего севера, для использования в сооружениях по добыче, хранению и транспортировке газа и нефти на арктическом шельфе, а также для сооружений и конструкций различного назначения, эксплуатируемых в условиях низких температур. Способ состоит из предварительной и окончательной обработок, причем предварительная обработка включает: нагрев и выдержку заготовки в течение 1 часа в аустенитной области (выше линии A₃), однократную прокатку при этой же температуре с обжатием 20% с последующей закалкой в воде,

а окончательная обработка включает отпуск в течение 1 часа при температуре 550-650°C и прокатку до истинной степени деформации не менее 1,4 при температуре отпуска. После каждого прохода заготовка подогрывается до заданной температуры, обжатие за проход составляет 10%. Технический результат заключается в повышении показателей прочности при комнатной температуре, сохраняя высокие показатели пластичности, и увеличении значений ударной вязкости при отрицательных температурах для изделий, используемых в условиях крайнего севера, в сооружениях по добыче, хранению и транспортировке газа и нефти на арктическом шельфе, а также для сооружений и конструкций различного назначения, эксплуатируемых в условиях низких температур. 1 табл., 3 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C21D 8/00 (2022.08); *C21D 1/25* (2022.08)

(21)(22) Application: **2022122541, 22.08.2022**

(24) Effective date for property rights:
22.08.2022

Registration date:
24.01.2023

Priority:

(22) Date of filing: **22.08.2022**

(45) Date of publication: **24.01.2023** Bull. № 3

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul.
Pobedy, 85, NIU "BelGU", OIS, Tsurikovoj N.D.**

(72) Inventor(s):

**Dolzhenko Anastasiya Sergeevna (RU),
Belyakov Andrej Nikolaevich (RU),
Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU
"BelGU") (RU)**

(54) **METHOD FOR PROCESSING CHROMIUM-MOLYBDENUM STEEL OF PEARLITIC CLASS**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the field of metallurgy, namely the thermomechanical processing of pearlitic chromium-molybdenum steels, adapted to the climatic conditions of the Far North, for use in facilities for the production, storage and transportation of gas and oil on the Arctic shelf, as well as for structures and structures for various purposes operated at low temperatures. The method consists of preliminary and final processing, and the preliminary processing includes: heating and holding the workpiece for 1 hour in the austenitic region (above line A₃), single rolling at the same temperature with a reduction of 20%,

followed by quenching in water, and the final processing includes tempering for 1 hour at a temperature of 550-650°C and rolling to a true degree of deformation of at least 1.4 at a tempering temperature. After each pass, the workpiece is heated to a predetermined temperature, the reduction per pass is 10%.

EFFECT: increase in strength at room temperature, while maintaining high plasticity, and an increase in impact strength at negative temperatures for products used in the Far North, in facilities for the production, storage and transportation of gas and oil on the Arctic shelf, as well as for structures and structures for various purposes, operated at low temperatures.

1 cl, 1 tbl, 3 ex

Изобретение относится к области металлургии, а именно к термомеханической обработке хромомолибденовых сталей перлитного класса, адаптированных к природно-климатическим условиям крайнего севера, для использования в сооружениях по добыче, хранению и транспортировке газа и нефти на арктическом шельфе, а также для сооружений и конструкций различного назначения, эксплуатируемых в условиях низких температур.

Высокопрочные хромомолибденовые стали являются одним из широко используемых классов материалов. Одним из существенных недостатков таких сталей является сравнительно высокая температура хрупко вязкого перехода, ниже которой ударная вязкость сталей резко падает, сталь становится хрупкой, что может привести к внезапному катастрофическому разрушению конструкции. Высокие показатели механических свойств демонстрируют легированные мартенситно-старееющие стали. Однако большое содержание дорогостоящих легирующих добавок существенно ограничивают области их применения по условиям экономической целесообразности. Разработка технологии, которая обеспечит высокий уровень прочности (более 1200 МПа) и ударной вязкости при пониженных до -90°C температурах (KCV более 150 Дж/см²) в катаных полуфабрикатах хромомолибденовых сталей, суммарное содержание легирующих элементов в которых не превышает 4%, имеет большое практическое значение. Такие стали будут перспективными материалами для замены имеющих ценовые ограничения мартенситно-старееющих сталей в изделиях, выпускаемых крупными сериями.

Для достижения требуемых свойств в материале необходимо разработать оптимальный режим термомеханической обработки.

Известен способ деформационно-термической обработки, описанный в статье «Tempforming in medium-carbon low-alloy steel» (J. Alloys Compd., vol. 577, pp. S538-S542) авторами Y. Kimura, T. Inoue, K. Tsuzaki. Согласно этому способу слиток низколегированной стали, полученный путем вакуумной плавки и литья, подвергают гомогенизационному отжигу при 1200°C и деформационной обработке путем горячей прокатки до пластины толщиной 4 см, затем из стальных слитков вырезают заготовки, размерами 12 см × 4 см × 4 см, для последующей обработки. Вырезанные заготовки нагревают до 1200°C и выдерживают в течение 1 ч, после чего подвергают горячей прокатке в пруток с квадратным поперечным сечением 9 см² с последующей закалкой в воде. Закаленные прутки подвергают отпуску при 500°C в течение 1 часа и многократной прокатке при температуре отпуска в пруток с квадратным поперечным сечением 2 см² и последующему охлаждению на воздухе. Ударная вязкость после термообработки: $KCV_{-20^{\circ}\text{C}} = 336$ Дж/см², $KCV_{-60^{\circ}\text{C}} = 291$ Дж/см².

Недостатком данного способа является то, что он предназначен для обработки низколегированных среднеуглеродистых сталей и не обеспечивает получение достаточно высоких значений ударной вязкости при отрицательных температурах.

Известен способ деформационно-термической обработки низколегированной стали (RU 2631068, опубликован 18.09.2017), который включает гомогенизационный отжиг слитка, его горячую ковку, закалку заготовки с последующим отпуском, прокатку, отличающийся тем, что гомогенизационный отжиг слитка проводят при температуре $1423 \pm 50\text{K}$ в течение 1 часа, ведут многопроходную горячую ковку слитка при температуре $1423 \pm 50\text{K}$ до истинной степени деформации не менее 0,5 с последующим охлаждением на воздухе, при этом при ковке после каждого прохода заготовку подогревают до температурыковки, нагрев заготовки под закалку осуществляют до

температуры 1373–1423 К в течение 30 минут и охлаждают в масле, отпуск проводят при температуре 873–923 К в течение 1 часа, а затем при температуре отпуска проводят многопроходную прокатку до истинной степени деформации не менее 1,2, причем при прокатке после каждого прохода заготовку подогревают до температуры отпуска, а обжатие за проход составляет не менее 10%. Такая обработка позволяет получить предел прочности 1050-1100 МПа, предел текучести 1040-1090 МПа, а относительное удлинение 10% при значениях $KCV_{-60^{\circ}C} = 360-390$ Дж/см².

Недостатком данного способа является недостаточный уровень прочностных свойств. Задачей предлагаемого изобретения является разработка способа термомеханической обработки хромомolibденовых сталей, позволяющего повысить прочностные характеристики данных сталей при комнатной температуре, а также увеличить значения ударной вязкости при отрицательных температурах.

Технический результат заключается в следующем:

- получение lamельной структуры в хромомolibденовой стали, обеспечивающей повышение прочностных свойств, а также значений ударной вязкости при отрицательных температурах.

Поставленная задача решается предложенной термомеханической обработкой хромомolibденовой стали. Предложенный способ включает предварительную и окончательную обработки. Предварительная обработка включает нагрев до температуры выше линии А3 и выдержку заготовки в течение 1 часа при этой же температуре с последующей однократной прокаткой с обжатием 20%, после чего осуществляют закалку в воде, а окончательная обработка включает отпуск при температуре 550-650°C в течение 1 часа и многократную прокатку при температуре отпуска до истинной степени деформации не менее 1,4. После каждого прохода заготовку подогревают до заданной температуры, обжатие за проход составляет 10%.

Примеры осуществления:

Пример 1. Заготовка из стали 35ХГМ (Fe – 0.36С – 0.4Si – 0.56Cr – 0.57Mn – 0.54Mo) была подвергнута предложенной термомеханической обработке. Исходный материал в виде слитка размерами 44x44x240 мм³ был подвергнут нагреву и выдержке в печи при температуре 850°C в течение 1 часа. Полученная заготовка была подвергнута однократной прокатке при температуре 850°C с обжатием 20% с последующим охлаждением в воде. Следующей стадией был отпуск при температуре 550°C в течение 1 часа. Далее заготовку подвергли многократной прокатке (10 проходов) при температуре отпуска до толщины 10 мм, конечная истинная степень деформации составила 1.5. Все стадии прокатки проводились с промежуточным нагревом до температуры 550°C.

Пример 2. Заготовка из стали 35ХГМ (Fe – 0.36С – 0.4Si – 0.56Cr – 0.57Mn – 0.54Mo) была подвергнута предложенной термомеханической обработке. Исходный материал в виде слитка размерами 44x44x240 мм³ был подвергнут нагреву и выдержке в печи при температуре 850°C в течение 1 часа. Полученная заготовка была подвергнута однократной прокатке при температуре 850°C с обжатием 20% с последующим охлаждением в воде. Следующей стадией был отпуск при температуре 600°C в течение 1 часа. Далее заготовку подвергли многократной прокатке (10 проходов) при температуре отпуска до толщины 10 мм, конечная истинная степень деформации составила 1.5. Все стадии прокатки проводились с промежуточным нагревом до температуры 600°C.

Пример 3. Заготовка из стали 35ХГМ (Fe – 0.36С – 0.4Si – 0.56Cr – 0.57Mn – 0.54Mo)

была подвергнута предложенной термомеханической обработке. Исходный материал в виде слитка размерами 44x44x240 мм³ был подвергнут нагреву и выдержке в печи при температуре 850°C в течение 1 часа. Полученная заготовка была подвергнута однократной прокатке при температуре 850°C с обжатием 20% с последующим охлаждением в воде. Следующей стадией был отпуск при температуре 650°C в течение 1 часа. Далее заготовку подвергли многократной прокатке (10 проходов) при температуре отпуска до толщины 10 мм, конечная истинная степень деформации составила 1.5. Все стадии прокатки проводились с промежуточным нагревом до температуры 650°C.

После термомеханической обработки по предложенному способу сталь характеризуется ламельной микроструктурой со средним размером зерен 250-360 нм.

Из полученных стальных заготовок были вырезаны образцы для испытаний на определение механических свойств. Образцы вырезались вдоль направления прокатки.

В таблице 1 представлены результаты механических испытаний образцов высокопрочной хромомолибденовой стали 35ХГМ, подвергнутых термомеханической обработки по предложенному способу. Механические испытания на растяжения проводились в соответствии с ГОСТ 1497-84 при комнатной температуре. Испытания на ударный изгиб с концентратором вида V проводились в соответствии с ГОСТ 9454-78 при температурах -196, -90 и -40°C.

Таблица 1.

Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение до разрушения, %	Ударная вязкость, KCV _{-40°C} , Дж/см ²	Ударная вязкость, KCV _{-90°C} , Дж/см ²	Ударная вязкость, KCV _{-196°C} , Дж/см ²
Пример 1					
1550	1510	7,2	225	260	90
Пример 2					
1350	1350	8,1	310	290	160
Пример 3					
1190	1180	13,3	255	300	235

Таким образом, достигнута задача по разработке способа обработки хромомолибденовой стали. Применение предлагаемой термомеханической обработки хромомолибденовой стали перлитного класса приводит к повышению показателей прочности при комнатной температуре, сохраняя высокие показатели пластичности, и увеличению значений ударной вязкости при отрицательных температурах для изделий используемых условиях крайнего севера, в сооружениях по добыче, хранению и транспортировке газа и нефти на арктическом шельфе, а также для сооружений и конструкций различного назначения, эксплуатируемых в условиях низких температур.

(57) Формула изобретения

Способ обработки хромомолибденовой стали перлитного класса, характеризующийся предварительной и окончательной обработками, причем предварительная обработка включает нагрев до температуры выше линии A₃ и выдержку заготовки в течение 1 часа при этой же температуре с последующей однократной прокаткой с обжатием 20%, после чего осуществляют закалку в воде, а окончательная обработка включает отпуск

при температуре 550-650°C в течение 1 часа и многократную прокатку при температуре отпуска до истинной степени деформации не менее 1,4, после каждого прохода заготовку подогревают до заданной температуры, обжатие за проход составляет 10%.

5

10

15

20

25

30

35

40

45