



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C21D 8/00 (2022.08); C21D 6/00 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022115687, 09.06.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.06.2022

Дата регистрации:
09.01.2023

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 09.06.2022

(45) Опубликовано: 09.01.2023 Бюл. № 1

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

(72) Автор(ы):

Панов Дмитрий Олегович (RU),
Наумов Станислав Валентинович (RU),
Кудрявцев Егор Алексеевич (RU),
Перцев Алексей Сергеевич (RU),
Салищев Геннадий Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

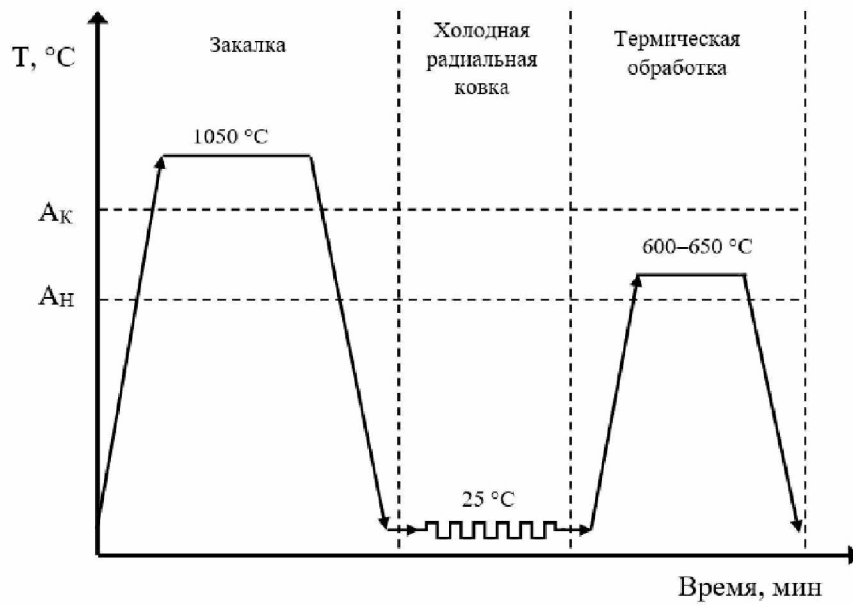
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2749815 C1, 17.06.2021. RU
2488637 C1, 27.07.2013. RU 2468093 C1,
27.11.2012. RU 2610196 C1, 08.02.2017. CN
108531817 B, 13.12.2019. EP 264357 B1, 29.07.1992.

(54) Способ получения упрочненных цилиндрических заготовок из нержавеющей стали аустенитного класса

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу получения упрочненных цилиндрических заготовок крепежных изделий из нержавеющей стали аустенитного класса. Способ включает предварительную закалку стали, пластическую деформацию методом радиальнойковки с получением прутковой заготовки и последующую термическую обработку в виде отжига. Предварительную закалку стали 08X18N10Т проводят при 1050°C, пластическую деформацию методом радиальнойковки проводят со степенью

деформации 85–90% при комнатной температуре для обеспечения заданного диаметра прутковой заготовки, а в качестве последующей термической обработки применяли отжиг при 600–650°C в течение 1–2 часов с охлаждением на воздухе для получения бимодальной структуры. Технический результат заключается в увеличении пластичности и ударной вязкости без существенного снижения прочностных характеристик и в повышении эксплуатационных свойств упрочненных заготовок. 3 ил., 1 табл., 5 пр.



Фиг. 1

RU 2787279 C1

RU 2787279 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C21D 8/00 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C21D 8/00 (2022.08); C21D 6/00 (2022.08)

(21)(22) Application: **2022115687, 09.06.2022**

(24) Effective date for property rights:
09.06.2022

Registration date:
09.01.2023

Priority:

(22) Date of filing: **09.06.2022**

(45) Date of publication: **09.01.2023** Bull. № 1

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Panov Dmitrij Olegovich (RU),
Naumov Stanislav Valentinovich (RU),
Kudryavtsev Egor Alekseevich (RU),
Pertsev Aleksej Sergeevich (RU),
Salishchev Gennadij Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD FOR OBTAINING HARDENED CYLINDRICAL BLANKS FROM AUSTENITIC STAINLESS STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: hardened cylindrical billets production.

SUBSTANCE: invention relates to a method for producing hardened cylindrical billets of austenitic stainless steel fasteners. The method includes preliminary hardening of steel, plastic deformation by radial forging to obtain a bar stock, and subsequent heat treatment in the form of annealing. Preliminary hardening of steel 08X18H10T is carried out at 1050°C, plastic deformation by radial forging is carried out with

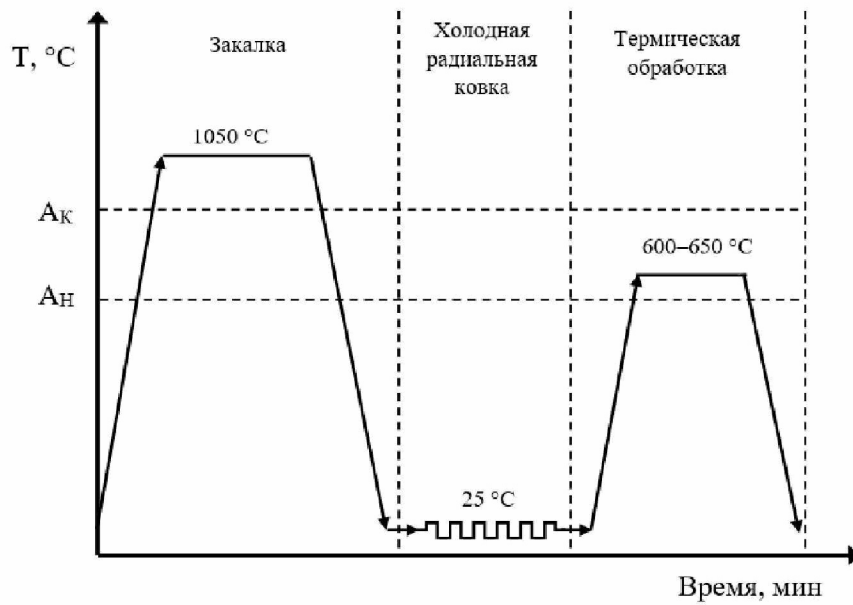
a degree of deformation of 85–90% at room temperature to ensure a given diameter of the bar stock, and annealing at 600–650°C for 1–2 hours with air cooling to obtain a bimodal structure.

EFFECT: increase in plasticity and impact strength without a significant decrease in strength characteristics and in an increase in the operational properties of hardened blanks.

1 cl, 3 dwg, 1 tbl, 5 ex

RU 2 787 279 C1

RU 2 787 279 C1



Фиг. 1

RU 2787279 C1

RU 2787279 C1

Изобретение относится к области металлургии, а именно к термомеханической обработке деталей из нержавеющей стали аустенитного класса и может быть использовано для получения высокопрочных и высоковязких крепежных изделий для котлостроения, высоконагруженных конструкций химической и энергетической промышленности.

Одним из приоритетных направлений повышения прочности с сохранением пластичности и высокой ударной вязкости коррозионностойких крепежных изделий является улучшение технологии термомеханической обработки нержавеющей сталей аустенитного класса за счет получения бимодальной структуры заготовки.

Известен способ термомеханической обработки метастабильной стали аустенитного класса, предназначенный для изготовления высоконагруженных деталей в машиностроении (RU №2598744, опубликован 24.06.2015). С целью получения субмикроструктурной структуры стали способ включает нагрев листа из стали до температуры 1100°C, выдержку 1 час, охлаждение в воде, обработку холодом в жидком азоте, прокатку в несколько проходов с общей логарифмической степенью деформации $\epsilon=0,1-0,2$ с охлаждением в жидком азоте при -196°C между проходами для формирования мартенсита деформации с объемной долей 55–75%, затем теплую деформацию при 400–700°C за один, или несколько проходов со степенью логарифмической деформации $\epsilon \leq 0,5$ и отжигу, длительностью от 200 с до 1 ч в интервале температур 600–800°C с обеспечением формирования субмикроструктурной структуры, содержащей аустенит до 95%.

Недостатком известного способа является использование большого количества операций обработки, а именно включает нагрев, прокатку, охлаждение в азоте, теплую деформацию и последующий отжиг, что усложняет и удорожает процесс. Кроме того, приведенные механические свойства стали 08X18H10T: $\sigma_B = 1115-1130$ МПа, $\sigma_{0,1} = 950-980$ МПа, $\delta = 12-15$ % и $\sigma_B = 960-1020$ МПа, $\sigma_{0,1} = 795-870$ МПа, $\delta = 14-24$ %, не обладают высокими и стабильными показателями пластичности.

Известен способ получения заготовок сталей аустенитного класса с нанокристаллической структурой (RU №2488637, опубликован 27.07.2013). Способ изготовления заготовок стали аустенитного класса с нанокристаллической структурой заключается в том, что предварительно закаленную с температуры 1100°C заготовку подвергают многократной изотермической ковке заготовки с последовательным изменением оси ориентации на 90° при постоянной температуре в интервале 500–650°C и с минимальной истинной степенью деформации за одну осадку со скоростью деформации от 10^{-2} до 10^{-1} с⁻¹, после достижения суммарной истинной степени деформации не менее 3 проводят отжиг заготовки при температуре выше температуры изотермическойковки на 50°C в течение 1-5 ч.

Недостатком способа является низкие показатели прочностных свойств заготовок 08X18H10, а именно после термомеханической обработки в заявленном диапазоне 500–700°C: $\sigma_B = 570-680$ МПа, $\sigma_{0,2} = 485-640$ МПа, в тоже время пластичность материала изменяется в широком диапазоне $\delta = 6-22$ %, что приводит в целом к низкому комплексу механических свойств.

Известен способ получения заготовок сталей аустенитного класса (RU №2468093, опубликован 27.11.2012). Способ изготовления заготовок из стали аустенитного класса заключается в том, что после многократной изотермическойковки заготовки с последовательным изменением оси ориентации на 90° проводят закалку заготовок с 1100°C при температуре первой осадки, лежащей в интервале от 951°C до 1050°C, с

понижением температуры деформации после каждой осадки на 80-150 °С, при скорости деформации от 10-2 до 10⁻¹ с⁻¹ с истинной степенью деформации за одну осадку не менее 0,4, а две последние осадки проводят при температуре, лежащей в интервале 601-650 °С, после чего проводят отжиг заготовок при температуре выше температуры двух последних осадок на 50 °С в течение 1-5 ч.

Недостатком способа получения заготовок является низкий комплекс механических свойств нержавеющей аустенитной стали 08X18H10 в пределах заявленных температурных диапазонов осадки заготовки, а именно $\sigma_B = 620-580$ МПа, $\sigma_{0,2} = 580-410$ МПа, $\delta = 8-14$ %, а сама технология требует многократную изотермическую ковку, которая влечет дополнительные временные и энергетические затраты.

Наиболее близким является способ получения упрочненных заготовок крепежных изделий из нержавеющей аустенитной стали (RU №2749815, опубликован 17.06.2021). Способ включает предварительную закалку, пластическую деформацию методом радиальнойковки при комнатной температуре с получением цилиндрической заготовки крепежного изделия и последующую термическую обработку. Предварительную закалку стали 08X18H10Т проводят при 1050°С, пластическую деформацию методом радиальнойковки проводят со степенью деформации 85-90% при комнатной температуре для обеспечения заданного диаметра заготовки крепежного изделия в виде шпильки, а в качестве последующей термической обработки осуществляют отжиг при 400-500°С в течение 1-2 часов с последующим охлаждением на воздухе с получением градиентной структуры заготовки крепежного изделия.

Признаки прототипа, совпадающие с существенными признаками заявляемого изобретения:

- способ применяется для упрочнения цилиндрических заготовок из нержавеющей стали аустенитного класса типа 08X18H10Т;
- перед пластической деформацией осуществляется закалка нержавеющей аустенитной стали;
- пластическую деформацию осуществляют методом радиальнойковки со степенью деформации 85-90% при комнатной температуре;
- после пластической деформации проводят термическую обработку.
- охлаждение после термической обработки осуществляют на воздухе.

Недостатками известного способа являются получение нержавеющей аустенитной стали с низкими показателями пластичности и невысокими температурами эксплуатации материала заготовок изделий.

Технической задачей изобретения является расширение области применения упрочненных заготовок крепежных изделий из нержавеющей стали аустенитного класса.

Технический результат заключается в повышении характеристик механических свойств, а именно пластических свойств с сохранением прочностных характеристик и высокой ударной вязкости цилиндрических заготовок из нержавеющей сталей аустенитного класса, а также расширение области применения при более высоких температурах эксплуатации материала, и, следовательно, изделий из него.

Поставленная задача упрочнения цилиндрических заготовок изделий, работающих при повышенных температурах, решена за счет того, что в известном способе проводят предварительную закалку, пластическую деформацию методом радиальнойковки при комнатной температуре и последующую термическую обработку, согласно изобретению заготовки из нержавеющей сталей аустенитного класса типа 08X18H10Т предварительно закалывают при 1050 °С на структуру аустенита, пластическую деформацию методом радиальнойковки осуществляют после закалки до 85-90 % степени деформации при

комнатной температуре, обеспечивающей заданный диаметр заготовки, последующую термическую обработку осуществляют по режиму отжига при 600–650 °С в течение 1-2 часов с получением бимодальной структуры заготовки.

Признаки заявляемого технического решения, отличительные от прототипа:

5 - последеформационный отжиг при 600-650°С, т.е. в интервале температур обратного мартенситного превращения – между критическими точками A_H и A_K , что обеспечивает снижение деформационных остаточных напряжений, частичное развитие рекристаллизации структуры, повышение пластичности с сохранением на высоком уровне ударной вязкости и прочностных характеристик, уменьшение содержания ферромагнитной альфа-фазы, а также исчезновение градиента ее распределения. Помимо этого, температура эксплуатации термообработанного материала по таким режимам может достигать 500 °С после отжига 600 °С и 550 °С после отжига 650 °С, что делает данный материал пригодным для изделий котельной и других энергетических отраслей промышленности. Однако проведение отжига при 550 °С сопровождается получением 10 хоть и более высоких характеристик прочности, но пластичность и ударная вязкость при этом находятся на более низком уровне. С другой стороны, отжиг при 700 °С сопровождается снижением как прочностных характеристик, так и ударной вязкости. 15 Время выдержки в граничных условиях с прототипом, так как оно соответствует необходимому времени прогрева заготовки и развития всех необходимых процессов в стали. 20

- бимодальная структура состоит из крупных аустенитных зерен размером ~3 мкм и конгломератов дисперсных аустенитных и мартенситных зерен размером ~0,3 мкм. Крупные аустенитные зерна при этом обеспечивают повышенную пластичность и ударную вязкость, а конгломераты дисперсных аустенитных и мартенситных зерен – 25 повышенную прочность. Полученная структура заготовки в результате обладает выгодным сочетанием прочности, пластичности и ударной вязкости.

Отличительные признаки изобретения в совокупности с известными позволяют значительно повысить пластические свойства цилиндрических заготовок из нержавеющей сталей аустенитного класса: получить крепежные изделия класса 30 прочности 10.9 после отжига при 650 °С и 12.9 после отжига при 600 °С по ГОСТ Р52627-2006 с уровнем временного сопротивления (σ_B) 1150-1210 МПа, предела текучести ($\sigma_{0,2}$) 910-965 МПа, ударной вязкости (КСТ) от 1,00-1,25 МДж/м², относительного удлинения (δ) 19-21 % и относительного сужения (ψ) 50-57%.

35 Предлагаемый способ поясняется рисунками, представленными на фиг.1–3:

На фиг. 1 приведена схема заявленного способа упрочнения нержавеющей аустенитной стали 08X18H10T.

На фиг. 2 представлена микроструктура нержавеющей аустенитной стали 08X18H10T.

40 На фиг. 3 показано распределение альфа-фазы в поперечном сечении заготовки из нержавеющей аустенитной стали 08X18H10T непосредственно после радиальной ковки (ХРК) со степенью 85-90% и после отжига при различных температурах.

Способ получения упрочненных цилиндрических заготовок из стали аустенитного класса осуществляется следующим образом.

45 С целью гомогенизации исходной заготовки и получения структуры метастабильного аустенита перед ковкой проводится закалка с 1050 °С. Далее проводят радиальную ковку на радиально-ковочной машине со степенями 85-90% при комнатной температуре с использованием четырех радиально перемещающихся бойков с получением цилиндрического прутка необходимого диаметра. При этом радиальная ковка

сопровождается получением градиентной структуры цилиндрической заготовки в радиальном направлении, упрочнения по всему сечению, в том числе за счет реализации деформационно-индуцированного мартенситного превращения, увеличения плотности дефектов кристаллического строения и формирования мелкозернистой структуры с размером зерна порядка 200 нм. Дальнейший отжиг стали 08X18H10T после операции ковки проводят в интервале температур 600–650 °С в течение 1–2 часов с охлаждением на воздухе. Температурный интервал отжига находится между критическими точками A_H и A_K , что обеспечивает снижение деформационных остаточных напряжений, частичное развитие рекристаллизации структуры, уменьшение содержания ферромагнитной альфа-фазы, а также исчезновение градиента ее распределения. Развитие данных процессов приводит к получению высокой пластичности и ударной вязкости при высоких прочностных свойствах. При этом температура эксплуатации материала может достигать 500 °С после отжига 600 °С и 550 °С после отжига 650 °С, что делает данный материал пригодным для изделий котельной и других энергетических отраслей промышленности.

Проверка технического решения заявленного способа проведена с помощью экспериментальных исследований, в ходе которых получены данные о структуре и механических свойствах нержавеющей аустенитной стали 08X18H10T для упрочнённых заготовок изделий. Определение временного сопротивления (σ_B , МПа), предела текучести ($\sigma_{0,2}$, МПа), относительного удлинения (δ , %) и относительного сужения (ψ , %) проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 1497–84 на пятикратных цилиндрических образцах типа III №7. Одноосное растяжение проводили на испытательной машине Instron 5882 при комнатной температуре со скоростью деформации $0,001 \text{ с}^{-1}$. Ударную вязкость образцов с предварительно нанесенной усталостной трещиной (КСТ, МДж/м²) определяли в соответствии с ГОСТ 9454-78 на образцах типа 17 с использованием маятникового копра. Структурные исследования проводили на электронном микроскопе JEOL 2100 при ускоряющем напряжении 200 кВ. Распределение ферромагнитной α -фазы по сечению заготовки оценивали вихрековым методом с использованием ферритометра FERRITSCOPE FMP30.

Механические свойства упрочненной по заявленному способу стали 08X18H10T со значениями за пределами заявленного интервала температур термической обработки после деформации и по прототипу представлены в таблице 1.

Таблица 1. Комплекс механических свойств заготовок из нержавеющей аустенитной стали 08X18H10T*.

№	Способ	Термическая обработка после деформации	Механические свойства					Примечание
		$T_{отж}$, °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСТ, МДж/м ²	
1	Прототип	400	1590	1570	8,6	40	1,00	Пониженные характеристики пластичности.
2		500	1550	1430	9,4	42	1,40	Пониженные характеристики пластичности.
3	Заявленный способ	600	1210	965	19,0	55	1,00	Наилучший комплекс механических свойств.
4		650	1150	910	21,0	57	1,25	Наилучший комплекс механических свойств
5	Значения за пределами заявленного интервала по $T_{отж}$	Без отжига	1410	1405	11,0	40	0,70	Пониженные характеристики пластичности и ударной вязкости
6		550	1330	1140	15,5	51	0,75	Пониженные характеристики пластичности и ударной вязкости.
7		700	975	725	24,0	49	0,75	Пониженные характеристики прочности и ударной вязкости.

*заготовки из нержавеющей стали аустенитного класса предварительно были подвергнуты закалке с 1050 °C и последующей радиальной ковке со степенью 85-90% при комнатной температуре.

Пример 1 (таблица 1, п. 5). Образцы стали 08X18H10T нагревали до 1050 °C с выдержкой 2 часа и охлаждением в воде. Радиальную ковку проводили на радиально-ковочной машине со степенями 85–90%. Отжиг аустенитной стали 08X18H10T после радиальнойковки не проводили. В результате получены пониженные показатели ударной вязкости (КСТ = 0,70 МДж/м²) и пластичности ($\delta = 11$ % и $\psi = 40$ %) несмотря на достаточно высокие показатели временного сопротивления ($\sigma_B = 1410$ МПа) и предела текучести ($\sigma_{0,2} = 1405$ МПа). В поперечном сечении наблюдается градиентное распределение ферромагнитной альфа-фазы (Фиг. 3).

Пример 2 (таблица 1, п. 6). Образцы стали 08X18H10T нагревали до 1050 °C с выдержкой 2 часа и охлаждением в воде. Радиальную ковку проводили на радиально-ковочной машине со степенями 85–90%. Отжиг аустенитной стали 08X18H10T после радиальнойковки проводили при температуре 550 °C в течение 1-2 часов. В результате получены пониженные показатели ударной вязкости (КСТ = 0,75 МДж/м²) и пластичности ($\delta = 15,5$ % и $\psi = 51$ %) несмотря на высокие показатели временного сопротивления ($\sigma_B = 1330$ МПа) и предела текучести ($\sigma_{0,2} = 1140$ МПа).

Пример 3 (таблица 1, п. 3). Образцы стали 08X18H10T нагревали до 1050 °C с выдержкой 2 часа и охлаждением в воде. Радиальную ковку проводили со степенями 85–90%. Отжиг стали 08X18H10T после деформации проводили при 600 °C в течение 1-2 часов. В результате получен хороший уровень временного сопротивления ($\sigma_B = 1211$

МПа), предела текучести ($\sigma_{0,2} = 965$ МПа) и ударной вязкости ($KCT = 1,00$ МДж/м²). При этом пластичность существенно возросла ($\delta = 19,0$ % и $\psi = 55$ %). Дополнительно наблюдается снижение содержания альфа фазы по сечению до уровня 20-25 % (Фиг. 3). Данный комплекс механических свойств является достаточно высоким и соответствует крепежным изделиям класса прочности 12.9 по ГОСТ Р52627-2006.

Пример 4 (таблица 1, п. 4). Образцы стали 08X18H10T нагревали до 1050 °С с выдержкой 2 часа и охлаждением в воде. Радиальную ковку проводили на радиально-ковочной машине со степенями 85–90%. Отжиг стали 08X18H10T после радиальнойковки проводили при 650 °С в течение 1-2 часов. В результате получен хорошее сочетание временного сопротивления ($\sigma_B = 1151$ МПа), предела текучести ($\sigma_{0,2} = 907$ МПа), ударной вязкости ($KCT = 1,25$ МДж/м²) и характеристик пластичности ($\delta = 21,0$ % и $\psi = 57$ %). При этом наблюдается содержание альфа фазы по сечению на уровне 10 % (Фиг. 3). Структура при этом является бимодальной, т.е. состоит из крупных аустенитных зерен размером ~3 мкм и конгломератов дисперсных аустенитных и мартенситных зерен размером ~0,3 мкм (Фиг. 2). Данный комплекс механических свойств является достаточно высоким и соответствует крепежным изделиям класса прочности 10.9 по ГОСТ Р52627-2006.

Пример 5 (таблица 1, п. 7). Образцы стали 08X18H10T нагревали до 1050 °С с выдержкой 2 часа и охлаждением в воде. Радиальную ковку проводили на радиально-ковочной машине со степенями 85–90%. Отжиг стали 08X18H10T после деформации проводили при 700 °С в течение 1-2 часов. В результате получены пониженные показатели ударной вязкости ($KCT = 0,75$ МДж/м²), временного сопротивления ($\sigma_B = 975$ МПа) и предела текучести ($\sigma_{0,2} = 725$ МПа). Пластичность при этом улучшилась ($\delta = 24,0$ % и $\psi = 49$ %), но находится на уровне значений заявленного способа (таблица 1, п. 3, п. 4).

Преимущества заявленного способа относительно прототипа состоят в том, что заявленный способ позволяет:

1. Повысить пластичность упрочненных заготовок из нержавеющей стали аустенитного класса, с получением высоких показателей пластичности (δ , ψ) ударной вязкости (KCT), временного сопротивления (σ_B) и предела текучести ($\sigma_{0,2}$), то есть значительно улучшить комплекс механических свойств высоконагруженных крепежных изделий из метастабильной аустенитной нержавеющей стали 08X18H10T с бимодальной структурой и получить изделия классов прочности 10.9 и 12.9 по ГОСТ Р52627-2006.

2. Получить изделие, обладающее коррозионной стойкостью и повышенной температурой эксплуатации, за счет использования нержавеющей стали аустенитного класса типа 08X18H10T с последующим отжигом при 600-650 °С.

3. Расширить область применения нержавеющей сталей аустенитного класса, например, 08X18H10T, с бимодальной структурой для изготовления высоконагруженных крепежных изделий эксплуатирующиеся при повышенных температурах.

(57) Формула изобретения

Способ получения упрочненных цилиндрических заготовок из нержавеющей стали аустенитного класса, включающий закалку стали 08X18H10T от 1050 °С, холодную пластическую деформацию методом радиальнойковки до 85-90 % при комнатной температуре и последующую термическую обработку с охлаждением на воздухе, отличающийся тем, что последующую термическую обработку после деформации

осуществляют по режиму отжига при 600-650 °С и выдержкой 1-2 часа с получением бимодальной структуры заготовки.

5

10

15

20

25

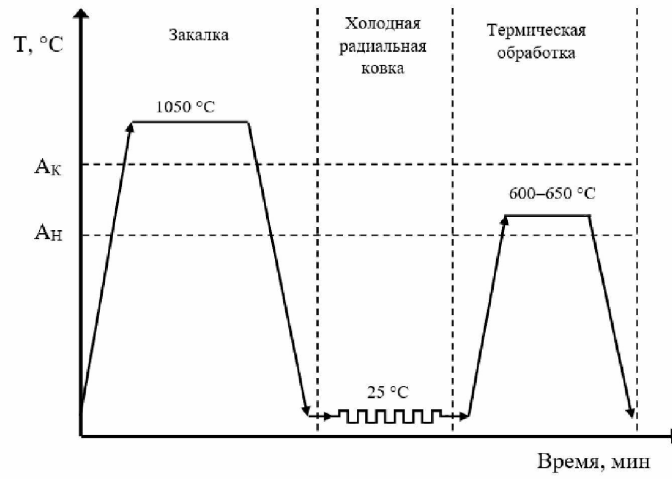
30

35

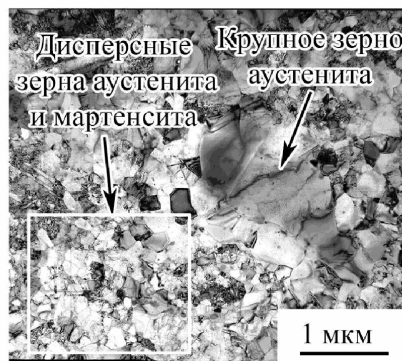
40

45

1



Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3