

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **040769**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

<b>(45)</b> Дата публикации и выдачи патента <b>2022.07.26</b>	<b>(51)</b> Int. Cl. <i>C22C 38/04</i> (2006.01) <i>C22C 38/12</i> (2006.01) <i>C22C 38/22</i> (2006.01) <i>C22C 38/26</i> (2006.01) <i>C22C 38/28</i> (2006.01) <i>C22C 38/32</i> (2006.01) <i>C22C 38/38</i> (2006.01)
<b>(21)</b> Номер заявки <b>201792077</b>	
<b>(22)</b> Дата подачи заявки <b>2016.03.23</b>	

**(54) ЗАГОТОВКИ С БЕЙНИТНОЙ СТРУКТУРОЙ, ИМЕЮЩИЕ ВЫСОКУЮ ПРОЧНОСТЬ, И СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

<b>(31)</b> РСТ/IB2015/000384	<b>(56)</b> WO-A2-2009138586
<b>(32)</b> 2015.03.23	WO-A1-2007074984
<b>(33)</b> IB	US-B1-6558484
<b>(43)</b> 2018.01.31	WO-A1-2014163431
<b>(86)</b> РСТ/IB2016/000343	
<b>(87)</b> WO 2016/151390 2016.09.29	
<b>(71)(73)</b> Заявитель и патентовладелец: АРСЕЛОРМИТТАЛ (LU)	
<b>(72)</b> Изобретатель: Перро-Симонетта Мари-Терез, Резья Бернар (FR), Фолль Ульрих (DE)	
<b>(74)</b> Представитель: Воль О.И., Фелицына С.Б. (RU)	

**(57)** Предметом изобретения являются заготовка, в состав которой входят (мас.%):  $0,10 \leq C \leq 0,30$ ,  $1,6 \leq Mn \leq 2,1$ ,  $0,5 \leq Cr \leq 1,7$ ,  $0,5 \leq Si \leq 1,0$ ,  $0,065 < Nb \leq 0,15$ ,  $0,0010 \leq B \leq 0,0050$ ,  $0,0010 \leq N \leq 0,0130$ ,  $0 \leq Al \leq 0,060$ ,  $0 \leq Mo \leq 1,00$ ,  $0 \leq Ni \leq 1,0$ ,  $0,01 \leq Ti \leq 0,07$ ,  $0 \leq V \leq 0,3$ ,  $0 \leq P \leq 0,050$ ,  $0,01 \leq S \leq 0,1$ ,  $0 \leq Cu \leq 0,5$ ,  $0 \leq Sn \leq 0,1$ , остальное - железо и неизбежные при выплавке примеси, при этом микроструктура состоит в количестве, отнесённом к единице поверхности, из 100-70% бейнита, по меньшей мере 30% остаточного аустенита и по меньшей мере 5% феррита, и способ ее изготовления.

**B1**

**040769**

**040769**

**B1**

Изобретение относится к производству заготовок с высокой прочностью, сохраняющих обрабатываемость, получаемых из сталей, обладающих одновременно хорошей пластичностью в горячем состоянии, необходимой для проведения операций по горячему формованию, и закаливанию, причем операции по закалке и отпуску не являются необходимыми для достижения упомянутых свойств.

Точнее, изобретение относится к заготовкам, которые независимо от их формы и сложности обладают пределом механической прочности более или равным 1100 МПа, пределом упругости более или равным 700 МПа, относительным удлинением  $A$  при разрыве более или равным 12 и сужением  $Z$  при разрыве более 30%.

В рамках настоящего изобретения под заготовкой понимают прутки любой формы, проволоку или сложные заготовки, получаемые способом горячего формообразования, например прокаткой или ковкой с применением последующих операций частичного или полного нагрева, термической или термохимической обработки и/или формообразования с удалением материала или без него, или с добавкой материала, например, при сварке, или без вышеуказанных операций.

Под горячим формообразованием стали подразумевается любой способ, изменяющий начальную форму продукта посредством операции, производимой при температуре материала, при которой кристаллическая структура стали является преимущественно аустенитной.

Взросшие требования, касающиеся снижения выбросов парниковых газов в сочетании с ростом требований, касающихся автомобильной безопасности, а также цены на топливо вынудили конструкторов наземных механических транспортных средств вести поиск материалов с повышенной механической прочностью. Это позволяет снизить вес таких заготовок при сохранении или увеличении показателей механической прочности.

Для достижения очень высоких механических свойств с давних пор существуют традиционные стальные растворы. В них содержатся в большем или меньшем количестве легирующие элементы для термических видов обработки типа аустенизации при температуре свыше  $AC1$  с последующей закалкой в текучей среде в виде масла, полимера, даже воды, и, как правило, с отпуском при температуре ниже  $Ar3$ . Некоторые недостатки, присущие таким сталям и видам обработки для получения требуемых свойств, могут носить экономический (стоимость сплавов, затраты на разные виды термообработки), экологический (энергия, израсходованная на повторную аустенизацию, рассеянная при закалке и обработке закалочных ванн) или геометрический характер (деформация сложных заготовок). При такой перспективе стали обеспечивающие достижение относительно высокой прочности именно после горячего формообразования, приобретают всё возрастающее значение. Таким образом было предложено несколько классов сталей с разным уровнем механической прочности, например микролегированные стали с перлитно-ферритной структурой с разным содержанием углерода для достижения разных уровней прочности. Такие перлитно-ферритные микролегированные стали получили широкое распространение в последние десятилетия и очень часто применяются для любых видов механических заготовок для получения сложных заготовок без термообработки непосредственно после горячего формообразования. Хотя эти стали высокоэффективны, в настоящее время они достигли своего предела, поскольку разработчикам требуются механические свойства, при которых предел упругости превышает 700 МПа и механическая прочность превышает 1100 МПа, что часто вынуждает разработчиков обратиться к упомянутым выше традиционным растворам.

Кроме того, вследствие толщины и конфигурации заготовок может оказаться затруднительным гарантировать удовлетворительную однородность свойств, в частности, ввиду разности скоростей охлаждения, воздействующей на микроструктуру.

Для удовлетворения требования о всё большем облегчении транспортных средств при сохранении экономических и экологических преимуществ микролегированных сталей с перлитно-ферритной матрицей, необходимо, следовательно, располагать сталями со всё возрастающей прочностью, получаемых непосредственно после операций горячего формообразования. Однако известно, что в сфере углеродистых сталей повышение механической прочности сопровождается, как правило, потерей пластичности и обрабатываемости. Кроме того, конструкторами механических наземных транспортных средств создаются детали всё большей сложности, для которых требуются стали с высоким уровнем механической прочности, усталостной прочности, вязкости, формования и обрабатываемости.

В документе EP 0787812 раскрыт способ изготовления кованных заготовок, в химический состав которых входят (мас. %):  $0,1\% \leq C \leq 0,4\%$ ;  $1\% \leq Mn \leq 1,8\%$ ;  $1,2\% \leq Si \leq 1,7\%$ ;  $0\% \leq M \leq 1\%$ ;  $0\% \leq Cr \leq 2\%$ ;  $0\% \leq Mo \leq 0,3\%$ ;  $0\% \leq V \leq 0,3\%$ ;  $Cu \leq 0,35\%$ , при необходимости 0,005 - 0,06% алюминия, при необходимости бор в количестве от 0,0005 - 0,01%, при необходимости 0,005 - 0,03% титана, при необходимости 0,005 - 0,06% ниобия, при необходимости 0,005 - 0,1% серы, при необходимости до 0,006% кальция, при необходимости до 0,03% теллура, при необходимости до 0,05% селена, при необходимости до 0,05% висмута, при необходимости до 0,1% свинца, остальное - железо и образующиеся при выплавке примеси. При этом способе требуется, чтобы заготовка подвергалась термообработке с охлаждением от температуры, при которой сталь является полностью аустенитной, до температуры  $T_m$ , составляющей от  $Ms+100$  D°С до  $Ms-20$ °С при скорости охлаждения  $V_f$  более 0,5°С/с при последующей выдержке заготовки от  $T_m$  до

Tf, при этом  $T_f \geq T_m - 100^\circ\text{C}$ , предпочтительно  $T_f \geq T_m - 60^\circ\text{C}$ , в течение по меньшей мере 2 мин для получения структуры с содержанием по меньшей мере 15%, предпочтительно по меньшей мере 30%, бейнита, образующегося между  $T_m$  и  $T_f$ . Такой приём требует применения способа с многочисленными стадиями, снижающими производительность.

С другой же стороны, известна заявка EP 1201774, в которой целью изобретения является создание способаковки для повышения обрабатываемости с изменением металлографической структуры изделий, подвергнутых ударной нагрузке, в мелкую перлитно-ферритную структуру без применения метода закалки и отпуска с целью получения предела упругости, превышающего предел упругости после закалки и отпуска. Достижимый предел прочности при разрыве ( $R_m$ ) ниже того же предела при использовании способа закалки и отпуска. Этому способу также присущ недостаток, заключающийся в необходимости многочисленных стадий, усложняющих производственный процесс. Кроме того, отсутствие точных сведений о химическом составе может привести к использованию химического состава, не пригодного для кованных заготовок, так как он оказывает вредное влияние на свариваемость, обрабатываемость и даже вязкость.

Целью настоящего изобретения является решение приведённых выше проблем. Также целью является создание стали для формируемых в горячем состоянии заготовок с высокими прочностными свойствами, обладающих одновременно механической прочностью и деформируемостью, обеспечивающими осуществление операций горячего формообразования. Точнее изобретение относится к сталям с механической прочностью более или равной 1100 МПа (т.е. с твёрдостью более или равной 300 по Виккерсу ( $H_v$ )), пределом упругости свыше или равным 700 МПа, относительным удлинением при разрыве более или равным 12% и сужением при разрыве 30%. Также целью изобретения является создание стали, обладающей способностью надёжной выплавки, т.е. без значительных колебаний свойств в зависимости от производственных параметров и способной к обработке стандартными инструментами без снижения производительности в процессе применения.

Поэтому предметом изобретения являются заготовка по пп.1-12 формулы изобретения и способ изготовления заготовки по п.13 формулы.

Другие признаки и преимущества указаны ниже в описании, приводимом в качестве не ограничивающего примера.

В рамках изобретения химический состав в массовых процентах должен выдерживаться следующим.

Содержание углерода составляет от 0,10 до 0,30%. Если его содержание ниже 0,10 мас.%, то имеется риск образования проэвтектоидного феррита и не достигается достаточная механическая прочность. При содержании более 0,30% свариваемость ухудшится, так как могут образоваться микроструктуры низкой вязкости в зоне термического влияния (ZAT) или в зоне расплавления. В указанном диапазоне свариваемость удовлетворительна, механические свойства устойчивы и соответствуют целям изобретения.

Согласно предпочтительному варианту осуществления содержание углерода составляет от 0,15 до 0,27%, преимущественно от 0,17 до 0,25%.

Марганец содержится в количестве от 1,6 до 2,1%, предпочтительно от 1,7 до 2,0%. Он является упрочняющим элементом посредством твёрдого раствора замещения, он стабилизирует аустенит и понижает температуру превращения  $A_c3$ . Следовательно, марганец способствует повышению механической прочности. Минимальное содержание 1,6 мас.% необходимо для достижения требуемых механических свойств. Однако при содержании более 2,1% его аустенитообразующая способность приводит к существенному замедлению кинетики бейнитного превращения, происходящего во время конечного охлаждения, и доля бейнита оказывается недостаточной для достижения предела упругости более или равного 700 МПа. Таким образом, обеспечивают удовлетворительную механическую прочность без увеличения риска уменьшения доли бейнита и, следовательно, снижения предела упругости, без повышения закаляемости свариваемых сплавов, что снизило бы способность к сварке стали согласно изобретению.

Содержание хрома должно составлять от 0,5 до 1,7%, предпочтительно от 1,0 до 1,5%. Данный элемент позволяет контролировать образование феррита при охлаждении на основе полностью аустенитной структуры, поскольку этот феррит, в повышенном количестве, снижает механическую прочность, необходимую для стали согласно изобретению. Этот элемент позволяет кроме того упрочить и измельчить бейнитную микроструктуру, поэтому требуется минимальное содержание, равное 0,5%. Однако данный элемент существенно замедляет кинетику бейнитного превращения и, следовательно, при содержании более 1,7% доля бейнита может оказаться недостаточной для достижения предела упругости более или равного 700 МПа. Предпочтительно выбирают интервал содержания хрома, составляющий от 1,0 до 1,5% для измельчения бейнитной микроструктуры.

Кремний должен содержаться в количестве от 0,5 до 1,0%. В этом диапазоне остаточная стабилизация аустенита обеспечивается добавкой кремния, существенно замедляющего выделение карбидов при бейнитном превращении. Это было подтверждено авторами изобретения, которые отметили, что в бейните согласно изобретению почти отсутствуют карбиды. Это объясняется тем, что растворимость кремния в цементите очень слабая и что этот элемент повышает активность углерода в аустените. Любому образованию цементита предшествует, следовательно, этап задерживания кремния на поверхности раздела. Таким образом, обогащение аустенита углеродом приводит к его стабилизации при комнатной тем-

пературе в стали согласно первому варианту выполнения. Впоследствии при воздействии наружной нагрузки при температуре ниже 200°C, например при формообразовании или механическом нагружении в виде нагартовки или усталости может произойти превращение части аустенита в мартенсит. Такое превращение будет иметь своим следствием повышение предела упругости. Минимальное содержание кремния должно составлять 0,5 мас.% для обеспечения стабилизирующего воздействия на аустенит и для задержки образования карбидов. Кроме того, отмечено, что в том случае, когда содержание кремния ниже 0,5%, предел упругости не достигает требуемого минимума в 700 МПа. Вместе с тем добавка кремния в количестве более 1,0% вызывает избыточное содержание остаточного аустенита, что снизит предел упругости. Предпочтительно, содержание кремния составляет от 0,75 до 0,9%, что необходимо для оптимизации упомянутых выше эффектов.

Содержание ниобия должно составлять от 0,065 до 0,15%. Он является микролегирующим элементом, особенность которого в образовании упрочняющих выделений с углеродом и/или азотом. Кроме того, он позволяет задержать бейнитное превращение при синергии с другими микролегирующими элементами, такими, как бор и молибден, предусмотренными изобретением. Содержание ниобия должно быть, тем не менее, ограничено величиной 0,15% для исключения образования выделений крупного размера, которые могут служить местами образования трещин, а также для исключения проблем, связанных со снижением вязкости в горячем состоянии, создаваемых вероятным межзёренным выделением нитридов. Кроме того, содержание ниобия должно быть выше или равным 0,065%, что в сочетании с титаном обеспечивает стабилизирующее влияние на конечные механические свойства, т.е. снижается чувствительность к скорости охлаждения. В самом деле, ниобий совместно с титаном может образовывать смешанные карбонитриды и оставаться стабильным при относительно высоких температурах, что позволяет исключить аномальный рост зёрен при высокой температуре, или даже обеспечивает достаточно существенное измельчение аустенитного зерна. Предпочтительно, максимальное содержание ниобия находится в диапазоне 0,065 - 0,110%, что позволяет оптимизировать приведённые выше эффекты.

Содержание титана должно составлять  $0,010 < Ti < 0,1\%$ . Его максимальное содержание допускается равным 0,1%, превышение этого значения приводит к удорожанию и образованию выделений, вредных для усталостной прочности и обрабатываемости. Минимальное содержание 0,010% необходимо для контроля за размером аустенитного зерна и для защиты бора от азота. Предпочтительно, содержание титана выбирают в интервале 0,020 - 0,03%.

Содержание бора должно составлять от 10 ч./млн (0,0010%) до 50 ч./млн (0,0050%). Данный элемент позволяет контролировать образование феррита во время охлаждения при полностью аустенитной структуре, поскольку феррит в повышенном количестве снижает механическую прочность и предел упругости, являющиеся целью изобретения. Бор представляет собой закалывающий элемент. Минимальное содержание 10 ч./млн необходимо для исключения образования феррита во время естественного охлаждения, скорость которого составляет, как правило, менее 2°C/с для заготовок согласно изобретению. Однако при содержании бора более 50 ч./млн он вызывает образование боридов железа, которые могут негативно влиять на пластичность. Предпочтительно содержание бора выбирают в интервале от 20 до 30 ч./млн для оптимизации приведённых выше эффектов.

Содержание азота должно составлять от 10 ч./млн (0,0010%) до 130 ч./млн (0,0130%). Минимальное содержание 10 ч./млн необходимо для образования упомянутых выше карбонитридов. Однако при содержании свыше 130 ч./млн азот может вызвать слишком большое упрочнение бейнитного феррита при возможном снижении ударной вязкости конечной заготовки. Предпочтительно содержание азота выбирается в интервале от 50 до 120 ч./млн для оптимизации указанных выше эффектов.

Содержание алюминия должно быть меньше или равно 0,050%, предпочтительно меньше или равно 0,040%, даже меньше или равно 0,020%. Предпочтительно, содержание алюминия составляет  $0,003\% \leq Al \leq 0,015\%$ . Речь идёт об остаточном элементе, содержание которого желательно ограничить. Считается, что повышенные содержания алюминия увеличивают эрозию огнеупоров и создают риск закупоривания сопел при разливке стали. Более того, алюминий вызывает отрицательные ликвации, он может быть причиной макроликваций. В избыточном количестве алюминий способен снизить пластичность в горячем состоянии и повышает риск появления дефектов при непрерывной разливке. Без тщательного контроля за условиями разливки дефекты типа микро- и макроликвации приводят в итоге к ликвации в ковальной заготовке. Такая зонная структура вызывается чередованием бейнитных полос с разной степенью твёрдости, что может ухудшить способность материала к формованию.

Содержание молибдена должно быть меньше или равно 1,0%, предпочтительно меньше или равно 0,5%. Предпочтительно, содержание молибдена выбирается в интервале 0,03 - 0,15%. Его присутствие благоприятно для образования бейнита в результате синергии с бором и ниобием. Таким образом, он гарантирует отсутствие проэвтектоидного феррита по границам зёрен. При содержании более 1,0% он способствует появлению мартенсита, что нежелательно.

Содержание никеля должно составлять меньше или равно 1,0%. Максимальное содержание 1,0% допускается, свыше него никель вызывает удорожание предложенного раствора, что может снизить его применение с экономической точки зрения. Предпочтительно, содержание никеля выбирается в интервале от 0 до 0,55%.

Содержание ванадия должно составлять меньше или равно 0,3%. Максимальное содержание 0,3% допускается, свыше него ванадий может вызвать удорожание раствора и ухудшить ударную вязкость. Предпочтительно, содержание ванадия выбирается в интервале 0 - 0,2%.

Сера может содержаться в разных количествах, в зависимости от требуемой обрабатываемости. Она присутствует всегда в незначительном количестве, так как является остаточным элементом, содержание которого невозможно довести до абсолютного нуля, но она может добавляться и преднамеренно. Содержание серы задаётся меньшим, если требуемые усталостные свойства являются очень высокими. В целом содержание задаётся от 0,015 до 0,04%, при этом известно, что ее возможно добавить в количестве до 0,1% для повышения обрабатываемости. В качестве варианта также возможно добавлять вместе с серой один или несколько элементов, выбранных из теллура, селена, свинца и висмута в количестве меньшем или равном 0,1% каждого элемента.

Фосфор должен содержаться в количестве меньше или равно 0,050%, предпочтительно меньше или равно 0,025%. Он является элементом, который упрочняет твёрдый раствор, но который существенно понижает свариваемость и пластичность в горячем состоянии, в частности, из-за своей способности к образованию ликвации по границам зёрен или к совместному образованию ликвации с марганцем. По этим причинам его содержание должно ограничиваться величиной 0,025% для того, чтобы обеспечить хорошую способность к сварке.

Содержание меди должно составлять меньше или равно 0,5%. Максимальное содержание 0,5% допустимо, но свыше него медь снижает способность изделия к формообразованию.

Остаток химического состава приходится на железо и неизбежные при выплавке примеси, такие, как, например, мышьяк и олово.

Согласно предпочтительным вариантам осуществления химические составы согласно изобретению дополнительно могут удовлетворять следующим условиям, взятым отдельно или в сочетании:

$$0,1 \leq S1 \leq 0,4, \text{ и}$$

$$0,5 \leq S2 \leq 1,8,$$

$$0,7 \leq S3 \leq 1,6,$$

$$0,3 \leq S4 \leq 1,5,$$

где

$$S1 = Nb + V + Mo + Ti + Al,$$

$$S2 = C + N + Cr/2 + (S1)/6 + (Si + Mn - 4 \times S)/10 + Ni/20,$$

$$S3 = S2 + 1/3 \times V_{Г 600},$$

$$S = S3 - V_{Г 400},$$

где содержания элементов выражены в массовых процентах, скорости охлаждения  $V_{Г 400}$  и  $V_{Г 600}$  выражены в °C/с.  $V_{Г 400}$  означает скорость охлаждения в интервале температур от 420 до 380°C.  $V_{Г 600}$  означает скорость охлаждения в интервале температур от 620 до 580°C.

Как будет показано в описываемых ниже опытах, критерий S1 коррелирует с надёжностью механических свойств в свете изменений условий охлаждения в целом и в свете изменений  $V_{Г 600}$  в частности. Следовательно, соблюдение пределов значения этого критерия позволяет гарантировать очень слабую чувствительность сорта стали к условиям производства. Согласно предпочтительному варианту выполнения соблюдение:  $0,200 \leq S1 \leq 0,4$  позволит дополнительно повысить надёжность.

С другой же стороны, критерии S2 и S4 скоррелированы с получением преимущественно бейнитной структуры, составляющей более 70%, для сортов стали согласно изобретению, что гарантирует достижение целевых механических свойств.

Согласно изобретению, в микроструктуре стали может содержаться после конечного охлаждения, при отнесении к единице поверхности:

бейнит в количестве от 70 до 100%. В рамках данного изобретения под бейнитом понимается

бейнит с содержанием по меньшей мере 5% карбидов на поверхности, межслойная фаза которых является аустенитом,

остаточный аустенит в количестве менее или равном 30%,

феррит в количестве менее 5%. В частности, если содержание феррита превышает 5%, то сталь согласно изобретению будет обладать механической прочностью менее требуемых 1100 МПа.

Сталь согласно изобретению может быть произведена описываемым ниже способом:

приготавливают сталь с содержанием согласно изобретению в виде блюма, болванки круглого или прямоугольного сечения или же в виде слитка,

эту сталь прокатывают с получением полуфабриката в виде прутка или проволоки,

этот полуфабрикат нагревают до температуры ( $T_{\text{tech}}$ ) от 1100 до 1300°C для получения подогретого полуфабриката,

подогретый полуфабрикат подвергают горячему формообразованию, при этом конечная температура горячего формообразования превышает или равна 850°C, что необходимо для получения горячедеформированной заготовки,

горячедеформированную заготовку охлаждают до температуры 620 - 580°C со скоростью  $V_{Г 600}$  от

0,10 до 10°C/с,

эту заготовку охлаждают до температуры от 420 до 380°C со скоростью V<sub>г</sub> 400 менее 4°C/с,

заготовку охлаждают от 380 до 300°C со скоростью менее или равной 0,3°C/с,

заготовку охлаждают до комнатной температуры со скоростью менее или равной 4°C/с,

при необходимости, подвергают термообработке на отпуск указанную заготовку, деформированную в горячем состоянии и охлажденную до комнатной температуры, при температуре отпуска от 300 до 450°C в течение от 30 до 120 мин и проводят механическую обработку заготовок.

Согласно предпочтительному варианту выполнения термообработку на отпуск проводят с целью гарантированного получения очень хороших свойств заготовок после охлаждения.

Для лучшего пояснения изобретения проводились опыты на трёх сортах стали.

Опыты.

Химический состав применённых в опытах сталей приведён в табл. 1. Температура нагрева этих сортов стали составила 1250°C. Конечная температура горячего формообразования составила 1220°C. Скорости охлаждения V<sub>г</sub> 600 и V<sub>г</sub> 400 указаны в табл. 2. Заготовки охлаждали в интервале от 380°C до комнатной температуры при скорости 0,15°C/с и обрабатывались. Условия проведения этих опытов и результаты измерения характеристик приведены в табл. 2.

Таблица 1

Сорт стали	C	Si	Mn	P	S	Al	B	Cr	Cu	Mo	N	Ni	Sn	Ti	V	Nb	Si
A	0,183	0,758	1,756	0,002	0,031	0,032	0,0027	1,437	0,001	0,072	0,0090	0,027	0,003	0,030	0,001	0,110	0,245
B	0,183	0,796	1,699	0,013	0,029	0,019	0,0028	1,644	0,001	0,070	0,0089	0,026	0,003	0,027	0,001	0,060	0,177
C	0,178	0,764	1,769	0,005	0,021	0,007	0,0024	1,165	0,006	0,056	0,0059	0,006	0,003	0,023	0,001	0,050	0,137

Таблица 2

Опыт	Сорт стали	V <sub>г</sub> 600, °C/с	V <sub>г</sub> 400, °C/с	S2	S3	S4	Микроструктура	R <sub>m</sub> , МПа	Re, МПа	A, %	Z, %	Re/Rm	ΔR <sub>m</sub>	ΔRe
1	A	0,80	0,18	1,192	1,458	1,278	100% бейнита	1215	916	15,2	51,1	0,75		
2	A	0,22	0,10	1,192	1,265	1,165	100% бейнита	1172	906	14,9	46,3	0,77	43	10
3	B	0,80	0,18	1,283	1,549	1,369	Бейнит + < 5% маргенсиита	1319	1036	14,9	52,2	0,79		
4	B	0,22	0,10	1,283	1,356	1,256	Бейнит + < 5% маргенсиита	1220	932	13,4	42,9	0,76	99	104
5	C	0,80	0,18	1,034	1,301	1,121	100% бейнита	1165	883	14,8	48,1	0,76		
6	C	0,22	0,10	1,034	1,108	1,008	100% бейнита	1042	749	16,7	42,7	0,72	123	134

Результаты этих опытов представлены графически в виде 4 фигур.

На фиг. 1 показано изменение механической прочности при разрыве R<sub>m</sub> в зависимости от скорости охлаждения V<sub>г</sub> 600 для сортов A и B стали.

На фиг. 2 показано изменение предела упругости Re в зависимости от скорости охлаждения V<sub>г</sub> 600 для сортов A и B стали.

Было отмечено, что сорт стали согласно изобретению обладал большей стабильностью своих механических свойств в том случае, когда изменялись условия охлаждения. Следовательно, сорт стали более устойчив к изменениям условий способа, чем сорт стали из уровня техники.

Вместе с тем на фиг. 3 показана дельта механической прочности R<sub>m</sub> при разрыве в зависимости от критерия S1 для сортов стали A, B и C.

Также на фиг. 4 показана дельта предела упругости Re в зависимости от критерия S1 для сортов стали A, B и C.

Установлено, что чувствительность к условиям охлаждения тем слабее, чем выше значение S1.

В частности, изобретение может быть успешно применено при изготовлении горячедеформированных заготовок, а именно, кованных в горячем состоянии, для применения в наземных механических транспортных средствах. Также оно может быть применено при производстве заготовок для судов или в строительстве, в частности, в производстве брусьев с болтовым креплением для обшивки.

В целом, изобретение может найти применение в производстве любых типов заготовок с требуемыми свойствами.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Стальная заготовка, в состав которой входят, мас. %:

0,10 ≤ C ≤ 0,30,

1,6 ≤ Mn ≤ 2,1,

0,5 ≤ Cr ≤ 1,7,

0,5 ≤ Si ≤ 1,0,

0,065 ≤ Nb ≤ 0,15,

0,0010 ≤ B ≤ 0,0050,

0,0010 ≤ N ≤ 0,0130,

0,01 ≤ Ti ≤ 0,07,

0,01 ≤ S ≤ 0,1,

остальное - железо и неизбежные при выплавке примеси, при этом микроструктура состоит в количестве, отнесённом к единице поверхности, из 70-100% бейнита, менее 30% остаточного аустенита и менее 5% феррита.

2. Заготовка по п.1, состав которой дополнительно содержит, мас.%.  $0 \leq Al \leq 0,060$ ;  $0 \leq Mo \leq 1,00$ ;  $0 \leq Mn \leq 1,0$ ;  $0 \leq V \leq 0,3$ ;  $0 \leq P \leq 0,050$ ;  $0 \leq Cu \leq 0,5$ ;  $0 \leq Sn \leq 0,1$ .

3. Заготовка по п.1 или 2, в которой содержания ниобия, ванадия, молибдена, титана и алюминия составляют

$$0,1 \leq S1 \leq 0,4,$$

$$\text{где } S1 = Nb + V + Mo + Ti + Al.$$

4. Заготовка по п.3, в которой содержания углерода, азота, хрома, кремния, марганца, серы и никеля составляют

$$0,5 \leq S2 \leq 1,8,$$

$$0,7 \leq S3 \leq 1,6,$$

$$0,3 \leq S4 \leq 1,5,$$

$$\text{где } S2 = C + N + Cr/2 + (S1)/6 + (Si + Mn - 4 \times S)/10 + Ni/20,$$

$$S3 = S2 + 1/3 \times V_{Г 600},$$

$$S4 = S3 - V_{Г 400},$$

где  $V_{Г 400}$  и  $V_{Г 600}$  выражены в °C/с,  $V_{Г 400}$  означает скорость охлаждения заготовки в температурном интервале 420-380°C,  $V_{Г 600}$  означает скорость охлаждения заготовки в температурном интервале 620-580°C.

5. Заготовка по любому из пп.1-4, в состав которой входит, мас.%.  $0,15 \leq C \leq 0,27$ .

6. Заготовка по любому из пп.1-5, в состав которой входит, мас.%.  $1,7 \leq Mn \leq 2,0$ .

7. Заготовка по любому из пп.1-6, в состав которой входит, мас.%.  $1,0 \leq Cr \leq 1,5$ .

8. Заготовка по любому из пп.1-7, в состав которой входит, мас.%.  $0,75 \leq Si \leq 0,9$ .

9. Заготовка по любому из пп.1-8, в состав которой входит, мас.%.  $0,065 \leq Nb \leq 0,110$ .

10. Заготовка по любому из пп.1-9, в состав которой входит, мас.%.  $0,0020 \leq B \leq 0,0030$ .

11. Заготовка по любому из пп.1-10, в состав которой входит, мас.%.  $0,0050 \leq N \leq 0,0120$ .

12. Заготовка по любому из пп.1-11, в состав которой входит, мас.%.  $0,003 \leq Al \leq 0,015$ .

13. Заготовка по любому из пп.1-12, в состав которой входит, мас.%.  $0 < Mn \leq 0,55$ .

14. Заготовка по любому из пп.1-13, в состав которой входит, мас.%.  $0 < V \leq 0,2$ .

15. Заготовка по любому из пп.1-14, в состав которой входит, мас.%.  $0,03 < Mo \leq 0,15$ .

16. Заготовка по любому из пп.1-15, структура которой содержит 0% феррита.

17. Способ изготовления стальной заготовки по любому из пп.1-16, включающий в себя следующие последовательные стадии:

готовят сталь с составом, указанным в любом из пп.1-15 в виде блюма, болванки круглого или прямоугольного сечения или слитка,

полученную сталь прокатывают с получением полуфабриката в виде прутков или проволоки,

этот полуфабрикат нагревают до температуры  $T_{\text{tech}}$  от 1100 до 1300°C для получения подогретого полуфабриката,

подогретый полуфабрикат подвергают горячему формообразованию, при этом конечная температура горячего формообразования превышает или равна 850°C, для получения горячедеформированной заготовки,

горячедеформированную заготовку охлаждают до температуры 620-580°C при скорости  $V_{Г 600}$  от 0,10 до 10°C/с,

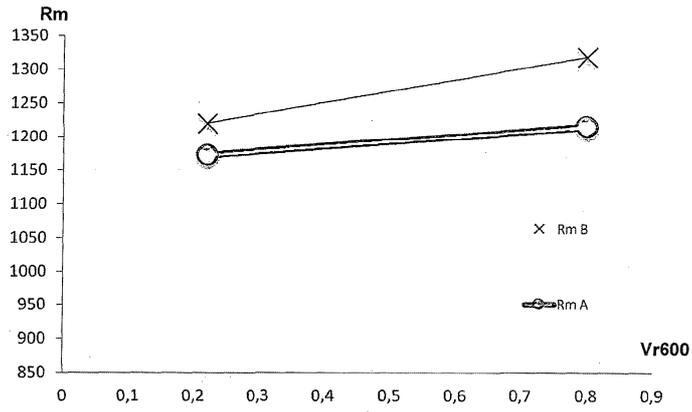
эту заготовку охлаждают до температуры от 420 до 380°C при скорости  $V_{Г 400}$  менее 4°C/с,

заготовку охлаждают от 380 до 300°C при скорости менее или равной 0,3°C/с,

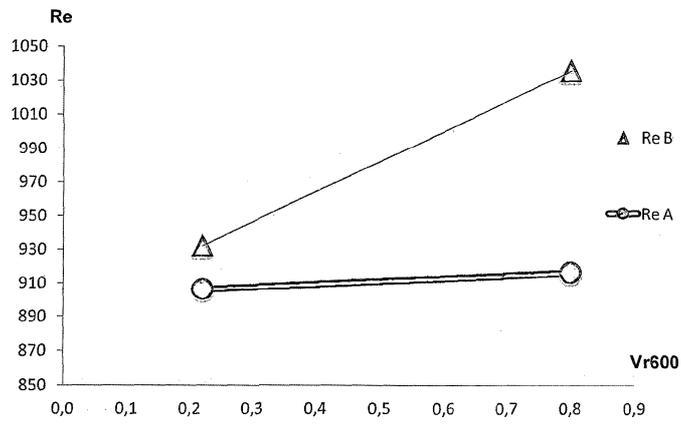
заготовку охлаждают до комнатной температуры при скорости менее или равной 4°C/с, и

проводят механическую обработку заготовки.

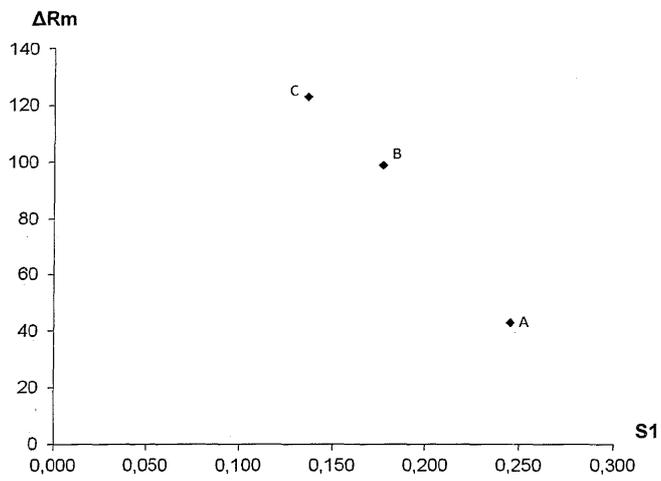
18. Способ по п.17 в котором до механической обработки указанную заготовку, деформированную в горячем состоянии и охлаждённую до комнатной температуры, подвергают термообработке на отпуск при температуре отпуска от 300 до 450°C в течение от 30 до 120 мин.



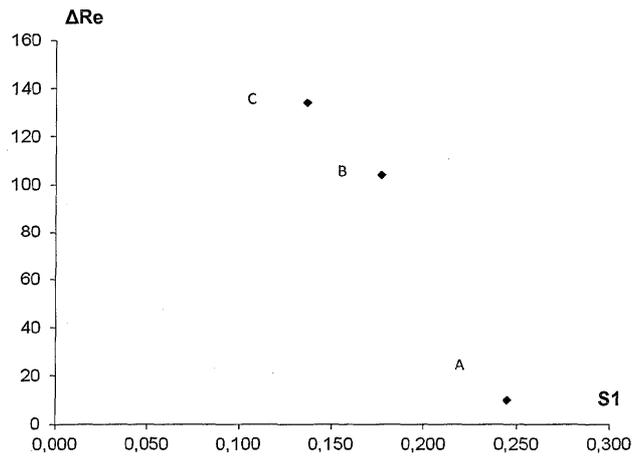
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2

---