



(51) МПК
C22C 38/54 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C21D 9/42 (2006.01)
F41H 5/02 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2010107249/02, 01.08.2008**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.08.2008

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
01.08.2007 US 60/953,269

(43) Дата публикации заявки: **10.09.2011** Бюл. № 25

(45) Опубликовано: **10.05.2013** Бюл. № 13

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **GB 874488 A, 10.08.1961. RU 2139357 C1, 10.10.1999. RU 2102688 C1, 20.01.1998. EP 0731332 A, 11.09.1996. US 5122336 A, 16.06.1992.**

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: **01.03.2010**

(86) Заявка РСТ:
US 2008/071931 (01.08.2008)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2009/018522 (05.02.2009)

Адрес для переписки:

**129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
 ООО "Юридическая фирма Городисский и
 Партнеры", А.В. Мицу**

(72) Автор(ы):

**БЕЙЛИ Рональд Е. (US),
 ПАРАЙИЛ Томас Р. (US),
 СВАЙАТЕК Гленн Дж. (US)**

(73) Патентообладатель(и):

ЭйТиАй ПРОПЕРТИЗ, ИНК. (US)

**(54) ВЫСОКОТВЕРДЫЕ, С ВЫСОКОЙ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТЬЮ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ
 ЖЕЛЕЗА И СПОСОБЫ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к сплавам на основе железа, используемым для изготовления броневых элементов. Сплав включает, вес. %: 0,48-0,52 углерода, 0,15-1,00 марганца, 0,15-0,45 кремния, 0,95-1,70 хрома, 3,30-4,30 никеля, 0,35-0,65 молибдена, 0,0008-0,0030 бора, 0,001-0,015 церия, 0,001-0,015 лантана, не более чем 0,002 серы, не более чем 0,015 фосфора, не более чем 0,10 азота, железо и случайные примеси -

остальное. После аустенизации при температуре, по меньшей мере, 1500°F (815°C), выдержке в течение, по меньшей мере, 30 минут и последующего охлаждения он обладает твердостью более 550 НВ и стойкостью к баллистическому проникновению и развитию трещин при многочисленных ударах, что предопределяет его использование для изготовления броневых элементов различных средств защиты персонала и имущества. 4 н. и 42 з.п. ф-лы, 14 ил., 13 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C22C 38/54 (2006.01)*C21D 8/02* (2006.01)*C21D 9/42* (2006.01)*F41H 5/02* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2010107249/02, 01.08.2008**(24) Effective date for property rights:
01.08.2008

Priority:

(30) Convention priority:
01.08.2007 US 60/953,269(43) Application published: **10.09.2011 Bull. 25**(45) Date of publication: **10.05.2013 Bull. 13**(85) Commencement of national phase: **01.03.2010**(86) PCT application:
US 2008/071931 (01.08.2008)(87) PCT publication:
WO 2009/018522 (05.02.2009)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery", A.V.
Mitsu**

(72) Inventor(s):

**BEJLI Ronal'd E. (US),
PARAJIL Tomas R. (US),
SVAJATEK Glenn Dzh. (US)**

(73) Proprietor(s):

EhjTiAj PROPERTIZ, INK. (US)

(54) **HIGH-STRENGTH HIGH-DUCTILITY IRON-BASED ALLOYS AND METHODS OF THEIR PRODUCTION**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: proposed alloy comprises the following components in wt %: 0.48 - 0.52 of carbon, 0.15 - 1.00 of manganese, 0.15 - 0.45 of silicon, 0.95 - 1.70 of chromium, 3.30 - 4.30 of nickel, 0.35 - 0.65 of molybdenum, 0.0008 - 0.0030 of boron, 0.001 - 0.015 of cerium, 0.001 - 0.015 of lanthanum, not over 0.002 of sulfur, not over 0.015 of

phosphorus, not over 0.10 of nitrogen, iron and casual impurities making the rest. Alloy austenitising at, at least, 1500°F (815°C), hold for, at least, 30 minutes and cooling predefine its use for making armor elements.

EFFECT: hardness exceeding 550 HB, higher strength and resistance.

46 cl, 14 dwg, 13 tbl

Текст описания приведен в факсимильном виде.

Настоящее изобретение испрашивает приоритет согласно §119(e) раздела 35 Кодекса законов США по предварительной заявке на получение патента США с серийным №60/953269, поданной 1 августа 2007г.

Уровень техники

Область техники

Настоящее раскрытие относится к сплавам на основе железа, имеющим твердость больше чем 550 НВ, и демонстрирующим значительное и непредвиденное сопротивление проникновению в стандартном баллистическом испытании, и к броне и другим промышленным изделиям, включающим в себя эти сплавы. Настоящее раскрытие также относится к способам обработки определенных сплавов на основе железа, чтобы улучшить сопротивление баллистическому проникновению.

Описание уровня техники

Броневые плиты, лист и брус обычно используют, чтобы защитить конструкции от умышленно выпускаемых снарядов. Хотя броневые плиты, лист, а также брус, типично используют в военных применениях как средство для защиты персонала и имущества внутри, например, транспортных средств и моторизованных вооружений, эти продукты имеют также различные гражданские применения. Такие применения включают в себя, например, листовую обшивку бронированных гражданских транспортных средств и

взрывозащищенных ограждений имущества. Броню производили из ряда материалов, включая, например, полимеры, керамику, а также
5 металлические сплавы. Так как броню часто устанавливают на
передвигающиеся изделия, то вес брони обычно является важным
фактором. Хотя затраты, связанные с получением брони могут быть
10 существенными, и особенно в связи с экзотическими броневыми
сплавами, керамикой и специализированными полимерами. По
15 существу, целью является обеспечения менее дорогостоящих, еще
более эффективных альтернатив существующим видам брони, и без
значительно увеличивающегося веса брони, необходимого для
20 достижения желательного уровня баллистических характеристик
(стойкости к проникновению).

25 К тому же, в ответ на возрастающие возможные бронебойные
действия противника вооруженные силы США в течение многих лет
должны были повышать количество брони, применяемой на танках и
30 других боевых военных автомобилях, приводящее к значительно
повышенному весу транспортного средства. Продолжение такого
курса могло чрезмерно негативно влиять на мобильность,
35 возможность передвижной мостовой переправы, а также
маневренность бронированных боевых военных автомобилей. В
40 прошлом десятилетии вооруженные силы США были приспособлены к
стратегии - быть способными, по мере необходимости, очень быстро
мобилизовывать свои боевые военные автомобили и другие ресурсы в
45 любой район мира. Таким образом, беспокойство относительно
чрезмерного повышения веса боевого военного автомобиля было в
50 центре внимания. По существу, в вооруженных силах США
исследовали ряд возможных альтернатив, более легких броневых

материалов, таких как определенные титановые сплавы, керамика, гибридная керамическая плитка/композит с полимерной матрицей (PMCs)-(polymer-matrix composites).

Примеры видов обычной брони из титановых сплавов включают в себя Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V ELI и Ti-4Al-2.5V-Fe-0. Титановые сплавы проявляют много преимуществ относительно традиционной брони из гомогенной стали. Титановые сплавы имеют высокую массовую эффективность по сравнению с катаной гомогенной сталью и алюминиевыми сплавами по широкому спектру баллистических угроз, и также обеспечивают благоприятную способность стойкости к баллистическому проникновению при многочисленных ударах. Титановые сплавы также показывают обычно более высокие соотношения прочности и массы, а также значительную коррозионную стойкость, типично приводя к более низким затратам на эксплуатацию. Титановые сплавы легко могут быть получены на существующем производственном оборудовании, и титановый скрап, и заводской лом можно переплавлять и повторно использовать в промышленном масштабе. Все-таки, титановые сплавы имеют недостатки. Например, обычно требуется противоосколочная обшивка, и затраты, связанные с производством титановой броневой плиты и изготовлением продуктов из материала (например, стоимости механической обработки и сварочных работ), существенно выше, чем для видов катаной брони из гомогенной стали.

Хотя композиты с полимерной матрицей (PMCs) предлагают несколько преимуществ (например, свободу от химических опасностей, более тихая рабочая среда оператора, и высокая массовая эффективность против пулевой и осколочной

баллистических опасностей), они также страдают от ряда недостатков. Например, стоимость изготовления РМС компонентов является высокой по сравнению с затратами на производство компонентов из катаной гомогенной стали или титановых сплавов, и РМСs не могут быть легко изготовлены на существующем производственном оборудовании. К тому же, неразрушающее испытание РМС материалов не может быть проведено с тем же успехом, как испытание видов брони из сплавов. Более того, на способность стойкости к баллистическому проникновению при многочисленных ударах и автомеханическую устойчивость под нагрузкой для РМСs могут неблагоприятно влиять структурные изменения, которые имеют место как результат первоначального удара снаряда. К тому же, может быть опасность огня и дыма для людей занимающих место внутри боевых военных автомобилей, покрытых РМС-броней, а также промышленное изготовление РМС и возможности повторного использования отходов хорошо не разработаны.

Металлические сплавы часто являются предпочтительными материалами при выборе материала брони. Металлические сплавы обеспечивают существенную защиту при многочисленных ударах, типично являются недорогими для производства, относительно экзотической керамики, полимеров и композитов, и могут быть легко скомпонованы в конструктивные детали для бронированных боевых автомобилей и мобильных систем вооружений. Обычно считается, что преимуществом является использование материалов, имеющих очень высокую твердость, в броневых применениях, так как снаряды разрываются на мелкие осколки при столкновении с

материалами более высокой твердости. Определенные металлические сплавы, используемые в броневом применении, могут быть легко
5 обработаны до высокой твердости, типично – резким охлаждением (закалкой) от очень высоких температур.

Так как катаные гомогенные легированные стали обычно менее
10 дорогие, чем титановые сплавы, значительное усилие сфокусированы на модифицировании состава и обработке существующих катаных
15 гомогенных сталей, используемых в броневых применениях, поскольку даже постепенные улучшения баллистических характеристик являются существенным. Например, улучшенные
20 баллистические характеристики нападения могут предусматривать уменьшенную толщину броневое покрытие без потери функциональности, таким образом, уменьшая общую массу
25 бронированной системы. Так как высокий вес системы является главным недостатком систем из металлических сплавов
30 относительно, например, полимерного и керамического видов брони, то улучшение баллистических характеристик нападения может делать виды брони из сплавов более конкурентоспособными относительно
35 экзотических броневых систем.

За прошлые 25 лет были разработаны относительно легковесные
40 виды брони – плакированная и из многослойной стали. Некоторые из этих видов многослойной брони, например, предусматривают присоединение и металлургическое связывание облицовочного слоя
45 высокотвердой стали к вязкому, имеющему стойкость к проникновению несущему стальному слою. Высокотвердый стальной
50 слой предназначен для того, чтобы разрушать на мелкие части снаряд, в то время как жесткий нижележащий слой предназначен для

того, чтобы предохранить броню от растрескивания, разрушения или раскалывания. Обычные методы образования многослойной брони такого типа включают в себя соединенные прокаткой сложенные в пачку плиты из двух типов стали. Одним примером многослойной брони является броневая плита K12®, которая имеет двойную твердость, соединенная прокаткой многослойная броневая плита, производимая ATI Allegheny Ludlum, Питсбург, Пенсильвания. Броневая плита K12® включает в себя высокотвердую переднюю сторону и более мягкую обратную сторону. Обе поверхности броневой плиты K12® представляют собой Ni-Mo-Cr легированную сталь, но передняя сторона включает в себя углерод с более высоким содержанием, чем обратная сторона. Броневая плита K12® имеет превосходные баллистические эксплуатационные характеристики по сравнению с обычной гомогенной броневой плитой, и удовлетворяет или превышает баллистические требования многочисленных правительственных, военных и гражданских применений бронирования. Хотя плакированная и многослойная стальная броня дает многочисленные преимущества, дополнительная обработка, заключающаяся в плакировании или процессе соединения прокаткой, неизбежно повышает стоимость броневых систем.

Относительно недорогие стали, с низким содержанием легирующих, также используют в определенных броневых применениях. Как результат легирования углеродом, хромом, молибденом, а также другими элементами, и применения соответствующих этапов нагревания, закалки и отпуска, броня из определенных низколегированных сталей может быть получена с характеристиками очень высокой твердости, больше чем 550 HB (

Brinell hardness number – число твердости по Бринеллю). Такие высокотвердые стали обычно известны как "600 BHN"-стали. Таблица 1 предоставляет обобщенные составы и механические характеристики для нескольких примеров доступных 600 BHN-сталей, используемых в броневых применениях. Марки MARS 300 и MARS 300 Ni+ производятся французской компанией Arcelor. Марка брони ARMOX 600T доступна от компании SSAB Oxelosund AB, Швеция. Хотя высокая твердость брони из 600 BHN-сталей является очень эффективной при расплющивании и разрушении снарядов на мелкие части, значительным недостатком этих сталей является то, что они имеют тенденцию быть довольно хрупкими, и легко растрескиваются при баллистическом испытании, например, на пробивание снарядами брони. Растрескивание материалов может быть проблематичным для обеспечения способности к баллистической стойкости при многочисленных ударах.

Таблица 1

Сплав	C	Mn	P (max)	S (max)	Si	Cr	Ni	Mo	Предел текучести (МПа)	Предел прочности на разрыв (МПа)	Удлинение (%)	ВН (min)
Mars 300	0,45-0,55	0,3-0,7	0,012	0,005	0,6-1,0	0,4 (max)	4,5 (max)	0,3-0,5	≥1300	≥2000	≥ 6%	578-655
Mars 300 Ni+	0,45-0,55	0,3-0,7	0,01	0,005	0,6-1,0	0,01-0,04	3,5-4,5	0,3-0,5	≥1300	≥2000	≥ 6%	578-655
Arnox 600	0,47 (max)	1,0 (max)	0,010	0,005	0,1-0,7	1,5 (max)	3,0 (max)	0,7 (max)	1500 типичный	2000 типичный	≥ 7%	570-640

Учитывая вышеупомянутое, было бы выгодно предложить улучшенный стальной броневой материал, имеющий твердость в пределах 600 HB и имеющий значительную баллистическую стойкость при многочисленных ударах с уменьшенным развитием трещин.

Раскрытие

Согласно одному неограничивающему аспекту настоящего раскрытия, предложен сплав на основе железа, имеющий благоприятную баллистическую стойкость при многочисленных ударах, твердость более 550 НВ, и включающий в себя в весовых процентах, исходя из общего веса сплава: 0,48-0,52 углерода; 0,15-1,00 марганца; 0,15-0,45 кремния; 0,95-1,70 хрома; 3,30-4,30 никеля; 0,35-0,65 молибдена; 0,0008-0,0030 бора; 0,001-0,015 церия; 0,001-0,015 лантана; не более чем 0,002 серы; не более чем 0,015 фосфора; не более чем 0,10 азота; железо; и неизбежные примеси.

Согласно дополнительному неограничивающему аспекту настоящего раскрытия, предложен катаный продукт, такой как, например, плита, брус, или лист, имеющий твердость более чем 550 НВ, и включающий в себя в весовых процентах, исходя из общего веса сплава: 0,48-0,52 углерода; 0,15-1,00 марганца; 0,15-0,45 кремния; 0,95-1,70 хрома; 3,30-4,30 никеля; 0,35-0,65 молибдена; 0,0008-0,0030 бора; 0,001-0,015 церия; 0,001-0,015 лантана; не более чем 0,002 серы; не более чем 0,015 фосфора; не более чем 0,10 азота; железо; и неизбежные примеси.

Согласно еще другому неограничивающему аспекту настоящего раскрытия, предложен броневой катаный продукт, выбранный из броневой плиты, броневого бруса, и броневого листа, имеющий твердость более 550 НВ, и баллистический предел (защиту) V_{50} , которая удовлетворяет или превышает технические требования согласно спецификации (техническим условиям) MIL-DTL-46100E. В определенных вариантах воплощения броневой катаный продукт также

имеет баллистический предел V_{50} , который является по меньшей мере, баллистическим пределом V_{50} , на целых 150 фут/с меньше, чем
5 технические требования по спецификации MIL-A-46099C, с минимальным развитием трещин. Катаный продукт представляет собой сплав, включающий в себя в весовых процентах, исходя из общего
10 веса сплава: 0,48-0,52 углерода; 0,15-1,00 марганца; 0,15-0,45 кремния; 0,95-1,70 хрома; 3,30-4,30 никеля; 0,35-0,65 молибдена; 0,0008-0,0030 бора; 0,001-0,015 церия; 0,001-0,015 лантана; не более чем 0,002 серы; не более чем 0,015 фосфора; не более чем 0,10 азота; железо; и неизбежные примеси.

20 Дополнительный аспект согласно настоящему раскрытию относится к способу изготовления сплава, имеющего благоприятную баллистическую стойкость при многочисленных ударах, с
25 минимальным развитием трещин, и твердость более 550 НВ, и при этом катаный продукт представляет собой сплав, включающий в себя в весовых процентах, исходя из общего веса сплава: 0,48-0,52
30 углерода; 0,15-1,00 марганца; 0,15-0,45 кремния; 0,95-1,70 хрома; 3,30-4,30 никеля; 0,35-0,65 молибдена; 0,0008-0,0030 бора; 0,001-0,015 церия; 0,001-0,015 лантана; не более чем 0,002 серы; не более чем 0,015 фосфора; не более чем 0,10 азота;
35 железо; и неизбежные примеси. Сплав аустенизируют путем нагревания сплава до температуры, по меньшей мере, 1500°F и выдерживания при этой температуре в течение времени выдержки, по
40 меньшей мере, в 30 минут. Сплав затем охлаждают от температуры аустенизации способом, который отличается от обычного способа охлаждения броневое сплава от температуры аустенизации, и
45 который видоизменяет ход кривой охлаждения сплава относительно
50

хода кривой, которая предполагалась бы, если бы сплав охлаждали
обычным способом. Предпочтительно, охлаждение сплава от
5 температуры аустенизации обеспечивает сплав баллистическим
лимитом V_{50} , который удовлетворяет или превышает требуемый V_{50}
согласно спецификации MIL-DTL-46100E.

10 Более предпочтительно, охлаждение сплава от температуры
аустенизации обеспечивает сплав с баллистическим пределом V_{50} ,
15 который составляет по меньшей мере величину, на 150 фут/с
меньше, чем требуемый V_{50} согласно спецификации MIL-A-46099C, с
минимальным развитием трещин. Другими словами, баллистический
20 предел предпочтительно является, по меньшей мере, величиной на
целых 150 фут/с меньше, чем требуемый V_{50} согласно спецификации
MIL-A-46099C, с минимальным развитием трещин.

25 Согласно одному неограничивающему варианту воплощения
способа согласно настоящему раскрытию этап охлаждения сплава
30 включает в себя одновременное охлаждение составных плит из
сплава от температуры аустенизации с плитами, размещенными в
контакте друг с другом.

35 Другие аспекты настоящего раскрытия относятся к промышленным
изделиям, включая в себя варианты воплощения сплавов согласно
40 настоящему раскрытию. Такие изделия производства включают в
себя, например бронированные транспортные средства,
бронированные ограждения, элементы мобильной боевой техники.

Краткое описание чертежей

45 Особенности и преимущества некоторых из сплавов, изделий, а
50 также способов согласно настоящему раскрытию могут быть лучше
поняты при ссылке на прилагаемые чертежи, на которых:

Фиг.1 представляет собой зависимость твердости по шкале С Роквелла HRC (Rockwell C hardness) как функцию обработки нагреванием до температуры аустенизации для определенных образцов экспериментальной плиты, обработанной как описано ниже;

Фиг.2 представляет собой зависимость твердости HRC как функцию обработки нагреванием до температуры аустенизации для определенных, неограничивающих образцов экспериментальной плиты, обработанной как описано ниже;

Фиг.3 представляет собой зависимость твердости HRC как функцию обработки нагреванием до температуры аустенизации для определенных, неограничивающих образцов экспериментальной плиты, обработанной, как описано ниже;

Фиг.4, 5 и 7 являются схематическими представлениями размещений испытываемых образцов, применяемых во время охлаждения от температуры аустенизации.

Фиг.6 представляет собой зависимость скорости V_{50} сверх требуемого минимума скорости V_{50} (согласно MIL-A-46099C) как функцию выполнения отпуска определенных образцов для испытаний;

Фиг.8 и 9 представляют собой зависимость температуры образца по времени в течение этапов охлаждения определенных образцов для испытания от температуры аустенизации.

Фиг.10 и 11 являются схематическими представлениями размещений образцов для испытаний, применяемых во время охлаждения от температуры аустенизации;

Фиг.12-14 представляют собой графики, построенные для температуры образцов по времени для нескольких экспериментальных образцов, охлажденных от температуры аустенизации, как раскрыто

в настоящем описании.

5 Специалист оценит предшествующие детали, а также другие, при
рассматривании следующего подробного описания определенных
неограничивающих вариантов воплощения изделий из сплавов и
способов согласно настоящему раскрытию. Специалист может также
10 осмыслить некоторые из таких дополнительных деталей при
исполнении или применении сплавов, изделий и способов, описанных
в настоящем описании.
15

Подробное описание некоторых неограничивающих вариантов
воплощения

20 В настоящем описании представлено несколько неограничивающих
вариантов воплощения, но не рабочих примеров, или если не
указано иначе, все числа, выражающие количества или
25 характеристики ингредиентов и продуктов, условия обработки и
подобное, следует понимать как приведенные во всех случаях с
помощью термина "примерно". Соответственно, если не указано
30 противоположное, любые численные параметры, изложенные в
следующем описании, являются приближениями, которые могут
35 изменяться в зависимости от желательных свойств, которые каждый
стремится получить в сплавах и изделиях согласно настоящему
40 раскрытию. Как минимум, и не как попытка ограничить применение
доктрины эквивалентов к объему формулы изобретения, каждый
численный параметр должен быть истолкован, учитывая число
45 представленных значащих цифр, и с применением обычных методик
округления.

50 Любой патент, публикация или другой материал раскрытия,
которые упомянуты с помощью ссылки в настоящем описании

полностью или частично, включены в настоящее описание только в той степени, которая не противоречит существующим определениям, утверждениям или другому материалу, изложенным в настоящем описании. По существу, и в требуемых случаях, раскрытие, как изложено в настоящем описании, заменяет любой противоречивый материал, включенный в настоящее описание посредством ссылки на любой материал, или его часть, о котором сказано, что включен в настоящее описание посредством ссылки, но который противоречит существующим определениям, утверждениям, или другому материалу раскрытия, изложенному в настоящем описании, и включает его только до такой степени, что никакой конфликт не возникает между тем включенным материалом и существующим материалом раскрытия.

Настоящее раскрытие частично относится к низколегированным сталям, имеющим значительную твердость, и демонстрирующим существенный и непредвиденный уровень баллистической стойкости при многочисленных ударах, с минимальным развитием трещин, придавая уровень стойкости к баллистическому проникновению, пригодный для военных применений брони. Некоторые из вариантов воплощения стали, согласно настоящему раскрытию, демонстрируют величины твердости выше 550 НВ и демонстрируют значительный уровень стойкости к баллистическому прониканию при оценке согласно MIL-DTL-46100E, и, предпочтительно, также при оценке по MIL-A-46099C. Относительно определенных существующих материалов броневых плит из 600 ВНН – сталей, некоторые варианты воплощения сплавов согласно настоящему раскрытию значительно меньше восприимчивы к растрескиванию и прониканию при испытании против бронебойных снарядов. Некоторые варианты воплощения сплавов

также демонстрировали баллистические характеристики, которые
сравнимы с рабочими характеристиками некоторых
5 высоколегированных сплавов, таких как у броневой плиты К-12®.
Баллистические характеристики в некоторых вариантах воплощения
легированных сталей согласно настоящему раскрытию были
10 совершенно непредвиденно установлены, например, для сталей с
низким содержанием легирующих и сплавов относительно умеренной
15 твердости, по сравнению с некоторыми обычными материалами брони
из 600 BHN – сталей. Конкретнее, непредвиденно нашли, что, хотя
некоторые варианты воплощения сплавов согласно настоящему
20 раскрытию показывают относительно умеренную твердость (которая
может быть обеспечена путем охлаждения сплавов от температур
аустенизации при относительно низкой скорости охлаждения),
25 образцы сплавов показали значительные баллистические
характеристики, которые были, по меньшей мере, сравнимы с
30 характеристиками броневой плиты К-12®. Это неожиданное и
неочевидное открытие противоречит обычному мнению, что повышение
твердости стальных материалов броневой плиты улучшает
35 баллистические характеристики.

Некоторые варианты воплощения сталей согласно настоящему
40 раскрытию включают в себя низкие уровни содержания примесных
элементов серы, фосфора, азота и кислорода. Также, некоторые
варианты воплощения сталей могут включать в себя концентрации
45 одного или более из церия, лантана и других редкоземельных
металлов. Не привязываясь к какой-либо специфической теории
50 действия, авторы изобретения считают, что редкоземельные добавки
действуют, чтобы связать часть серы, фосфора и/или кислорода,

присутствующих в сплавах, для того чтобы эти примеси вероятно
меньше концентрировались по границам зерен и уменьшали при этом
5 многоударную баллистическую стойкость материала при
многочисленных ударах. Еще считают, что концентрирование серы,
фосфора и/или кислорода внутри границ зерен стали может
10 способствовать межзеренному разделению при высокоскоростном
ударе, ведущем к трещинам материала и возможному проникновению
ударяющегося снаряда. Некоторые варианты воплощения сталей
согласно настоящему раскрытию также включают в себя относительно
высокое содержание никеля, например, 3,30-4,30 весовых процента,
20 чтобы обеспечить относительно вязкую матрицу, таким образом,
значительно улучшая баллистические характеристики.

Вдобавок к разработке уникальной системы сплавов, авторы
25 изобретения также проводили исследования, обсужденные ниже,
чтобы определить, как можно обработать стали в рамках настоящего
раскрытия для улучшения твердости и баллистических
30 характеристик, что оценено по известным военным спецификациям
MIL-DTL-46100E и MIL-A-46099C. Авторы изобретения также
35 подвергали образцы стали согласно настоящему раскрытию действию
различных температур, предназначенному растворять карбидные
40 частицы внутри стали, чтобы сделать возможной диффузию, и
обеспечить приемлемую степень однородности в стали. Целью этого
испытания было определение температур тепловой обработки,
45 которые не производят чрезмерного науглероживания или не
вызывают избыточный и недопустимый рост зерен, который уменьшил
50 бы вязкость материала и, таким образом, ухудшил баллистические
характеристики. В некоторых способах плиты стали были поперечно

прокатаны для обеспечения изотропии до некоторой степени.

Также были проведены испытания, оценивающие баллистические
5 характеристики образцов, охлажденных с различными скоростями от
температуры аустенизации, и поэтому имеющих различающуюся
твердость. Проведение испытания авторами изобретения также
10 включало в себя испытания по отпуску и испытания по охлаждению с
намерением оценить, как лучше всего способствовать
баллистической стойкости при многочисленных ударах, с
15 минимальным развитием трещин. Образцы оценивали путем
определения баллистических пределов V_{50} различных образцов для
20 испытаний по MIL-DTL-46100E и MIL-A-46099C, используя
бронебойные пули 7,62 мм (30 калибр). Подробности исследований
сплава авторов изобретения следуют.

1. Изготовление плит экспериментального сплава

Был разработан новый состав низколегированной стали для
30 брони. Авторы изобретения заключили, что такой состав сплава,
предпочтительно, должен включать в себя относительно высокое
содержание никеля и низкие уровни примесных элементов серы,
35 фосфора, а также азота, и должны быть обработаны до
плитообразной формы путем, который способствует гомогенности.
40 Несколько слитков сплава, имеющих экспериментальный химический
состав, показанный в таблице 2, изготовили путем внепечной
обработки с помощью аргонокислородного обезуглероживания (АОД)
45 или АОД и ЭШП (электрошлакового переплава). Таблица 2 указывает
желательный минимум и максимум, предпочтительный минимум и
50 предпочтительный максимум (при наличии), целевые уровни
легирующих ингредиентов, а также фактический химический состав

произведенного сплава. Баланс сплава включает в себя железо и неизбежные примеси. Неограничивающие примеры элементов, которые могут присутствовать в качестве неизбежных примесей, включают в себя медь, алюминий, титан, вольфрам и кобальт. Другие потенциальные неизбежные примеси, которые могут происходить из исходных материалов, и/или от обработки сплава, известны специалистам в металлургии. Составы сплавов приведены в таблице 2, более широко раскрыты в настоящем описании, в виде весовых процентов, исходя из общего веса сплава, если не указано иначе. К тому же, в таблице 2 "LAP"- "low as possible" означает "как можно более низкий"

Таблица 2

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Ce	La	V	W	Ti	Co	Al	N	B
Min.	0,48	0,15	-	-	0,15	0,95	3,30	0,35	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	0,0008
Max.	0,52	1,00	0,015	0,002	0,45	1,70	4,30	0,65	0,015	0,015	0,05	0,08	0,05	0,05	0,020	0,10	0,0024
Предпочтит. Min.	-	0,20	-	-	0,20	1,00	3,75	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0015
Предпочтит. Max.	-	0,80	0,010	-	0,40	1,50	4,25	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0025
Цель	0,50	0,50	LAP	LAP	0,30	1,25	4,00	0,50	-	-	LAP	LAP	LAP	LAP	LAP	LAP	0,0016
Фактически *	0,50	0,53	0,01	0,0006	0,4	1,24	4,01	0,52	-	0,003	0,01	0,01	0,002	0,02	0,02	0,007	0,0015

*Анализ выявил, что состав также включает в себя 0,09 меди, 0,004 ниобия, 0,004 олова, 0,001 циркония и 92,62 железа.

Поверхности слитка шлифовали, используя обычные методы. Затем слитки нагревали до примерно 1300°F (704°C), стабилизировали, выдерживали при этой первой температуре в течение 6-8 часов, нагревали с примерно 200°F/ч (93°C/ч) вплоть до примерно 2050°F (1121°C), и выдерживали при второй

температуре в течение примерно 30 минут на дюйм толщины. Слитки прокатывали в горячем состоянии до толщины 7 дюймов (17,8 см),
5 обрезали конец слитка, при необходимости, подогревали до примерно 2050°F (1121°C) перед последующей дополнительной горячей прокаткой снова до еще одной плоской заготовки (сляба)
10 толщиной 1,50–2,50 дюймов (38,1–63,5 мм). Слябы подвергали отжигу для снижения внутренних напряжений с использованием обычных методов, и затем поверхности сляба зачищали
15 пескоструйной обработкой и окончательно прокатывали в длинные плиты, имеющие толщины или примерно 0,310 дюйма (7,8 мм), или примерно 0,275 дюйма (7 мм). Длинные плиты затем полностью
20 отжигали, зачищали пескоструйной обработкой, выравнивали и обрезали кромки, чтобы сформировать сложные отдельные плиты, имеющие толщину или примерно 0,310 дюйма (7,8 мм), или примерно
25 0,275 дюйма (7 мм).

30 В некоторых случаях, слябы подогревали до температуры прокатки сразу перед конечным этапом прокатки, необходимым для достижения конечного размера. Более конкретно, образцы плит были
35 окончательно прокатаны, как показано в таблице 3. Испытания проводили на образцах плит размера (номинального) 0,275 и 0,310 дюйма (7 и 7,8 мм), которые были окончательно прокатаны, как
40 показано в таблице 3, чтобы оценить параметры возможной тепловой обработки, оптимизирующей твердость поверхности и баллистические
45 рабочие характеристики.

50

Таблица 3

Приблизительная толщина, дюйм (мм)	Параметры процесса горячей прокатки
5 0,275 (7)	Подогретый сляб в течение от 0,5 до приблизительно 10 мин перед прокаткой до конечного размера
0,275 (7)	Не подогретый сразу перед прокаткой до конечного размера
10 0,310 (7,8)	Подогретый сляб в течение от 0,6 до приблизительно 30 мин перед прокаткой до конечного размера
0,310 (7,8)	Неподогретый сразу перед прокаткой до конечного размера

2. Определение твердости

Плиты, произведенные как описано, в разделе 1 выше, подвергали обработке аустенизацией и этапу твердения, разрезали на три части для формирования образцов для дальнейшего испытания и, необязательно, подвергали отпуску термообработкой. Обработка аустенизацией включала в себя нагревание образцов до 1550–1650°F (843–899°C) и выдержку при этой температуре в течение периода времени в 40 минут. Твердение включало в себя воздушное охлаждение образцов или закалку образцов в масле от температуры аустенизации до комнатной температуры "RT" (room temperature). Один из трех образцов из каждой аустенизированной и закаленной плиты оставили в состоянии непосредственно после закалки для испытания. Оставшиеся два образца, отрезанные от каждой аустенизированной и закаленной плиты были отожжены с отпуском путем выдерживания или при 250°F (121°C), или 300°F (149°C) в течение периода времени в 90 минут выдержки при этой температуре. Чтобы уменьшить время, необходимое для оценки твердости образца, все образцы были первоначально испытаны с использованием испытания на твердость по шкале С Роквелла (HRC)

вместо испытания твердости по Бринеллю. Два образца, показавших самые высокие значения величины HR_C в состоянии непосредственно после закалки были также испытаны для определения твердости по Бринеллю HB (от Brinell hardness) в состоянии непосредственно после закалки (т.е. перед какой-либо термообработкой отпуском).

Таблица 4 перечисляет температуры обработки аустенизацией, тип закалки, размер, и значения HR_C для образцов, отпущенных или при $250^\circ F$ ($121^\circ C$) или $300^\circ F$ ($149^\circ C$). Таблица 4 также указывает, были ли плиты, использованные в испытании, подвергнуты подогреву сразу до прокатки до конечного размера. К тому же, таблица 4 перечисляет HB твердость для неотпущенных, непосредственно после закалки образцов, показывающих значения HR_C в состоянии непосредственно после закалки.

Таблица 4

Темп.ауст. отж. ($^\circ F$)	Тип охлаждения	Подогрев	Размер	Непосредственно после закалки HR_C	Непосредственно после закалки HB	HR_C после $250^\circ F$ отжига	HR_C после $300^\circ F$ отжига
1550	Воздух	Нет	0,275	50	--	54	54
1550	Воздух	Нет	0,310	53	--	58	57
1550	Воздух	Да	0,275	50	--	53	56
1550	Воздух	Да	0,310	50	--	55	57
1550	Масло	Нет	0,275	48	--	54	56
1550	Масло	Нет	0,310	53	--	58	58
1550	Масло	Да	0,275	59	624	52	53
1550	Масло	Да	0,310	59	--	55	58
1600	Воздух	Нет	0,275	53	587	54	57
1600	Воздух	Нет	0,310	48	--	56	57
1600	Воздух	Да	0,275	54	--	56	57
1600	Воздух	Да	0,310	50	--	57	58
1600	Масло	Нет	0,275	53	--	54	57
1600	Масло	Нет	0,310	52	--	55	58
1600	Масло	Да	0,275	51	--	51	58
1600	Масло	Да	0,310	53	--	53	58

	1650	Воздух	Нет	0,275	46	--	54	56
	1650	Воздух	Нет	0,310	46	--	53	56
5	1650	Воздух	Да	0,275	48	--	53	57
	1650	Воздух	Да	0,310	48	--	54	56
	1650	Масло	Нет	0,275	47	--	52	55
	1650	Масло	Нет	0,310	46	--	54	57
10	1650	Масло	Да	0,275	46	--	55	54
	1650	Масло	Да	0,310	47	--	57	58

Таблица 5 раскрывает средние значения HR_C для образцов, включенных в таблицу 4 в состоянии непосредственно после закалки и после отжигов с отпуском или при $250^\circ F$ ($121^\circ C$) или $300^\circ F$ ($149^\circ C$) в течение периода времени в 90 мин выдержки при этой температуре.

Таблица 5

Темп. аустениз. Отжига ($^\circ F$)	Среднее HR_C непосредственно после закалки	Среднее HR_C после $250^\circ F$ отжига	Среднее HR_C после $300^\circ F$ отжига
1550	52	55	56
1600	52	55	57
1650	47	54	56

Обычно, твердость по Бринеллю определяют по методике ASTM E-10 путем вдавливания индентора в виде шарика из закаленной стали или карбида точно определенного диаметра с точно определенной нагрузкой в поверхность образца и измерения диаметра отпечатка вдавливания после опыта. Число твердости по Бринеллю "НВ" (Brinell hardness number) получают делением используемой нагрузки на индентор (в килограммах) на фактическую площадь поверхности отпечатка вдавливания (в квадратных миллиметрах). Результатом является измерение давления, но такие единицы редко устанавливаются, если сообщают величины НВ.

При оценивании числа твердости по Бринеллю образцов броневой

стали, настольный станок применяют для вдавливания индентора-шарика из карбида вольфрама диаметром 10 мм в поверхность
5 испытываемого образца. Станок использует нагрузку в 3000 килограммов обычно в течение 10 секунд. После того, как шарик убирают назад, определяют диаметр получающегося круглого
10 отпечатка. Величину НВ вычисляют согласно следующей формуле:

$$\text{ВНН} = 2P / [\pi D (D - (D^2 - d^2)^{1/2})],$$

15 где ВНН = число твердости по Бринеллю, НВ; P = приложенная нагрузка в килограммах; D = диаметр сферического индентора в мм; и d = диаметр получающегося отпечатка в мм.

20 Несколько ВНН испытаний могут быть проведены на участке поверхности броневой плиты и каждое испытание должно дать в
25 результате незначительно отличающееся число твердости. Эта вариация в твердости может быть из-за незначительного варьирования химического состава в определенном месте и
30 микроструктуры плиты, поскольку даже гомогенная броня не является абсолютно однородной. Небольшие вариации в измерениях твердости могут также происходить из ошибок в измерении диаметра
35 отпечатка индентора на образце. Учитывая ожидаемое изменение измерений твердости на любом единственном образце, величины ВНН
40 часто предусмотрены как диапазоны, а не как единственные дискретные значения.

45 Как показано в таблице 4, самые высокие твердости по Бринеллю, измеренные для образцов составляли 624 и 587. Эти специфические образцы непосредственно после закалки
50 аустенизировали при 1550°F (843°C) (НВ 624) или 1600°F (871°C) (НВ 587). Один из двух образцов закаляли в масле (НВ 624), а

другой охлаждали воздухом, и один из двух образцов (НВ 624) подогрели до прокатки до конечного размера.

5 Вообще, отмечено, что использование отжига с отпуском, способствующих повышению твердости образца, при температуре отжига 300°F (149°C) дает в результате большее повышение
10 твердости при каждой температуре аустенизации. К тому же, отмечено, что повышение температуры аустенизации обычно способствует уменьшению достигаемой конечной твердости. Эти
15 взаимосвязи иллюстрированы на фиг.1, которая представляет графически среднюю HR_C твердость как функцию температуры аустенизации для образцов 0,275 дюйма (7 мм) (левая область) и образцов 0,310 дюйма (7,8 мм) (правая область) в состоянии
20 непосредственно после закалки ("AgeN") или после отпуска или при 250°F (121°C) ("Age25"- "Старение 25"), или 300°F (149°C) ("Age30").

30 Фиг.2 и 3 рассматривают влияния типа закалки на твердость, подогрели ли слябы до прокатки до номинального размера 0,275 и 0,310 дюйма (7 и 7,8 мм). Фиг.2 представляет графически HR_C
35 твердость как функцию температуры аустенизации для неподогретых образцов 0,275 дюйма (7 мм) (верхняя левая область), подогретых образцов 0,275 дюйма (7 мм) (нижняя левая область), неподогретых образцов 0,310 дюйма (7,8 мм) (верхняя правая область), и подогретых образцов 0,310 дюйма (7,8 мм) (нижняя правая область)
40 в состоянии непосредственно после закалки ("AgeN"), или после отпуска или при 250°F (121°C) ("Age25"), или 300°F (149°C) ("Age30"). Подобным образом, фиг.3 представляет графически HR_C
45 твердость как функцию температуры аустенизации для охлажденных
50 образцов.

воздухом образцов 0,275 дюйма (7 мм) (верхняя левая область),
охлажденных в масле образцов 0,275 дюйма (7 мм) (нижняя левая
5 область), и охлажденных на воздухе образцов 0,310 дюйма (7,8 мм)
(верхняя правая область), и охлажденных в масле образцов 0,310
дюйма (7,8 мм) (нижняя правая область) в состоянии
10 непосредственно после закалки ("AgeN"), или после отпуска или
при 250°F (121°C) ("Age25"), или 300°F (149°C) ("Age30").
15 Среднюю твердость образцов, полученную для каждой из температур
аустенизации и соответствующих условий, имеющих отношения к
областям на фиг.2 и 3, представлена графически на каждой области
20 как квадратообразная точка на графике, и каждая такая точка на
графике в каждой области связана пунктирными линиями, чтобы
лучше визуализировать какое-либо направление. Общая средняя
25 твердость всех образцов, рассматриваемых на каждой области фиг.2
и 3, представлена графически в каждой области в виде ромбовидной
30 точки графика.

Обращаясь к фиг.2, вообще замечено, что влияние на твердость
35 подогревания до прокатки до конечного размера было
незначительным и неочевидным относительно влияния других
переменных. Например, только один из образцов с самыми высокими
40 твердостями по Бринеллю подогрели до прокатки до финального
размера. Обращаясь к фиг.3, вообще отмечено, что была
минимальной любая разница в твердости, получающаяся в результате
45 применения воздушного охлаждения по сравнению с закалкой в масле
после аустенизации тепловой обработкой. Например, только один из
50 образцов с самыми высокими твердостями по Бринеллю подогрели в
форме плиты до прокатки до конечного размера.

Было определено, что образцы экспериментального сплава включают в себя высокую концентрацию остаточного аустенита после аустенизирующих отжигов. Большая толщина плиты и более высокие температуры обработки аустенизацией способствовали получению более высоких уровней остаточного аустенита. К тому же, отмечено, что, по меньшей мере, некоторая часть аустенита превращается в мартенсит во время отжига с отпуском. Какой-либо неотпущенный мартенсит, присутствующий после обработки отжигом с отпуском, может понизить ударную вязкость конечного материала.

Был сделан вывод, что дополнительный отжиг с отпуском можно применить для дополнительного превращения любого остаточного аустенита в мартенсит, чтобы лучше гарантировать оптимальную ударную вязкость. Исходя из наблюдений авторов изобретения, температура аустенизации, по меньшей мере, примерно 1500°F (815°C), более предпочтительно, по меньшей мере, примерно 1550°F (843°C), по-видимому, является достаточной для изделий, оцениваемых в показателях достигающейся высокой твердости.

3. Определение баллистических характеристик

Были приготовлены, как описано выше в разделе 1, несколько панелей 18x18 дюймов (45,7x45,7 см) для испытания, имеющих номинальную толщину 0,275 дюйма (7 мм), и затем дополнительно были обработаны, как описано ниже. Панели затем подвергали испытанию на баллистические характеристики, как описано ниже.

Восемь панелей для испытания, произведенные, как описано в разделе 1, дополнительно обрабатывали, как изложено ниже. Восемь панелей аустенизировали при 1600°F (871°C) в течение 35 минут (+/-5 минут), давали возможность охладиться на воздухе до

комнатной температуры, и испытывали на твердость. ВНН твердость одной из восьми панелей, аустенизированных при 1600°F (871°C), определяли после воздушного охлаждения в состоянии непосредственно после аустенизации, неотпущенном (непосредственно после закалки). Панель непосредственно после закалки показывала твердость примерно 600 НВ.

Шесть из восьми панелей, аустенизированных при 1600°F (871°C) и воздушно охлажденных, делили на три комплекта по две, и каждый комплект отпускали по одному при 250°F (121°C), 300°F (149°C) и 350°F (177°C) в течение 90 минут (+/-5 минут), охлаждали воздухом, и испытывали на твердость. Одна панель каждого из трех комплектов отпущенных панелей (всего три панели) откладывали, и остающиеся три отпущенные панели повторно отпускали при их исходной температуре отпуска 250°F (121°C), 300°F (149°C) или 350°F (177°C) в течение 90 минут (+/-5 минут), охлаждали воздухом до комнатной температуры, и испытывали на твердость. Эти шесть панелей идентифицируются в таблице 6, ниже, как образцы с ID (identification) - идентификационными номерами с 1 по 6.

Одну из восьми панелей аустенизировали при 1600°F (871°C) и после воздушного охлаждения погружали в ледяную воду 32°F (0°C) на приблизительно 15 минут, и затем вынимали, и испытывали на твердость. Затем панель отпускали при 300°F (149°C) в течение 90 минут (+/-5 минут), охлаждали воздухом до комнатной температуры, погружали в ледяную воду 32°F (0°C) на приблизительно 15 минут, и затем вынимали, и испытывали на твердость. Затем образец повторно отпускали при 300°F (149°C) в течение 90 минут (+/-5

минут), охлаждали воздухом до комнатной температуры, опять помещали в ледяную воду 32°F (0°C) на приблизительно 15 минут, и
5 затем опять вынимали, и опять испытывали на твердость. Эта панель обозначена в таблице 6 под ID номером 7.

Три дополнительных панели для испытаний, приготовленные, как
10 описано выше в разделе 1, дополнительно обрабатывали, как указано ниже, и затем подвергали испытанию баллистических характеристик. Каждую из трех панелей аустенизировали при 1950°F
15 (1065°C) в течение 35 минут (+/-5 минут), давали возможность охладиться воздухом до комнатной температуры и испытывали на твердость. Каждую из трех панелей затем отпускали при 300°F
20 (149°C) в течение 90 минут (+/-5 минут), охлаждали воздухом до комнатной температуры и испытывали на твердость. Две из трех охлажденных воздухом панели затем повторно отпускали при 300°F
25 (149°C) в течение 90 минут (+/-5 минут), охлаждали воздухом, и затем испытывали на твердость. Одну из повторно отпущенных панелей потом криогенно охлаждали до -120°F (-84°C), давали
30 возможность согреться до комнатной температуры, и испытывали на твердость. Эти панели обозначены ID 9-11 в таблице 6.

Одиннадцать панелей, идентифицированных в таблице 6, оценили
40 индивидуально по баллистическим характеристикам путем определения величины баллистического предела V_{50} (защита), используя пули 7,62 мм (0,30 калибр) согласно MIL-DTL-46100E. С
45 пулями МЧ АР баллистический предел V_{50} представляет собой рассчитанную скорость снаряда, при которой вероятность того, что снаряд пройдет сквозь броневую панель для испытаний, составляет
50 50%.

Более точно, по спецификации военных поставок США MIL-DTL-46100E ("Armor, Plate, Steel, Wrought, High Hardness")-("Броня, плиты, сталь, деформируемые, высокотвердые") баллистический предел V_{50} (защита) представляет собой среднюю скорость шести вполне удовлетворительных скоростей соударения, включающих в себя три самых низких пулевых скорости, дающих в результате полное пробивание и три самых высоких скорости снарядов, дающих в результате частичное проникновение. Максимальная разница в 150 фут/с (fps) (feet per second) разрешается между самыми низкими и самыми высокими скоростями, используемыми в определении V_{50} . В случаях, если самые низкие скорости полного проникновения ниже, чем самые высокие скорости частичного проникновения на 150 фут/с, баллистический предел основан на десяти скоростях (пять самых низких скоростей, которые дают в результате полное проникновение и пять самых высоких скоростей, которые дают в результате частичные проникновения). Если используют приблизительно десятикратно избыточную разницу баллистического предела, скоростная разница должна быть уменьшена до самого нижнего уровня, и как можно ближе к 150 фут/с. Обычный способ стрельбы вверх и вниз применяют в определении баллистического предела V_{50} (защита), причем все скорости корректируют к скорости соударения. Если вычисленный баллистический предел V_{50} меньше, чем на 30 фут/с относительно минимально требуемого, и если существует расхождение (высокая скорость частичного проникновения ниже низкой скорости полного проникновения) в 30 фут/с или более, то пулевую стрельбу продолжают согласно потребности уменьшить расхождение до 25 фут/с или менее.

Баллистический предел V_{50} , рассчитанный для испытываемой панели, может быть сравнен с минимальным V_{50} для определенной
5 толщины испытываемой панели. Если V_{50} , рассчитанный для испытываемой панели превышает требуемый минимальный V_{50} , тогда
можно сказать, что испытываемая панель "прошла" нужные
10 баллистические критерии качества функционирования. Минимальные величины баллистического предела V_{50} для листовой брони
присутствуют в различных военных спецификациях США, включая MIL-
15 DTL-46100E и MIL-A-46099C ("Armor Plate, Steel, Roll-Bonded, DNAL Hardness - (0.187 Inches To 0.700 Inches Inclusive))-
20 ("Листовая броня, Сталь, Соединенные прокаткой, DNAL твердость - (от 0,187 дюймов до 0,700 дюймов включительно"))

25 Таблица 6 перечисляет следующую информацию для каждой из одиннадцати панелей для баллистического испытания: ID номер образца; температуру аустенизации; HB твердость после охлаждения
30 до комнатной температуры от температуры обработки аустенизацией (непосредственно после закалки); параметры обработки отпуском (если использовалась); HB твердость после охлаждения до
35 комнатной температуры от температуры отпуска; параметры обработки повторным отпуском (если использовалась); HB твердость после охлаждения до комнатной температуры от температуры
40 повторного отпуска; и разница в фут/с между рассчитанным баллистическим пределом V_{50} для панелей и требуемым минимальным
45 баллистическим пределом V_{50} согласно MIL-DTL-46100E и согласно MIL-A-46099C. Положительные величины разницы V_{50} в таблице 6
50 (например, "+419") указывают, что рассчитанный для панели баллистический предел V_{50} превышал требуемый V_{50} в указанном

размере. Отрицательные величины разницы (например, "-44") указывают, что рассчитанный V_{50} для панели был меньше, чем требуемый V_{50} по указанной с военной спецификации в указанном

Таблица 6

ID	Темп. ауст. (°F)	Непосредств-венно после закалки (НВ)	Отпуск (мин@°F)	Твердость после отпуска (НВ)	Повторный отпуск (мин@°F)	Твердость после повторного отпуска (НВ)	Повторный отпуск (мин@°F)	Твердость после повторного отпуска (НВ)	V_{50} по 46100E (фут/с)	V_{50} по 46099 С (фут/с)
1	1600	600	90@250	600	NA	NA	NA	NA	+419	+37
2	1600	600	90@250	600	90@250	600	NA	NA	+341	-44
3	1600	600	90@300	600	NA	NA	NA	NA	+309	-74
4	1600	600	90@300	600	90@300	600	NA	NA	+346	-38
5	1600	600	90@350	578	NA	NA	NA	NA	+231	-153
6	1600	600	90@350	578	90@350	578	NA	NA	+240	-144
7	1600	600	15@32	600	90@300 + AC + 15@32	600	90(3300 + AC + 15@32	600	+372	-16
8	1950	555	90@300	555	NA	NA	NA	NA	+243	-137
9	1950	555	90@300	555	90@300	555	NA	NA	+234	-147
10	1950	555	90@300	-	90@300	-	-120	-	-	--

Были приготовлены, как описано выше в разделе 1, восемь дополнительных панелей для испытания 18×18 дюймов (45,7×45,7 см) (номинальный), пронумерованные 12-19, состоящие из экспериментального сплава. Каждая из панелей была номинально толщиной или 0,275 дюйма (7 мм) или 0,320 дюйма (7,8 мм). Каждую из восьми панелей подвергали обработке аустенизацией путем нагревания при 1600°F (871°C) в течение 35 минут (+/-5 минут), и затем охлаждали воздухом до комнатной температуры. Панель 12 оценивали по баллистическим характеристикам в состоянии непосредственно после закалки (непосредственно после охлаждения, без обработки отпуском) против пуля 7,62 мм (30 калибр) M2 AP. Панели 13-19 подвергали отдельным этапам отпуска, перечисленным

в таблице 7, охлаждали воздухом до комнатной температуры, и затем оценивали по баллистическим характеристикам, так же как панели 1-11 выше. Каждый из периодов времени отпуска, перечисленных в таблице 7, имеет приближенное значение и находился практически в пределах +/-5 минут от перечисленных продолжительностей. Таблица 8 перечисляет рассчитанный баллистический предел V_{50} (рабочий режим) каждой из испытываемых панелей 12-19, наряду с требуемым минимальным V_{50} согласно MIL-DTL-46100E и согласно MIL-A-46099C для панелей определенной толщины, указанной в таблице 7.

Таблица 7

ID	Размер (дюйм)	Нет отпуска	Отпуск@ 175°F в течение 60 минут	Отпуск@ 200°F в течение 60 минут	Отпуск@ 225°F в течение 60 минут	Отпуск@ 250°F в течение 30 минут	Отпуск@ 250°F в течение 60 минут	Отпуск@ 250°F в течение 90 минут	Отпуск@ 250°F в течение 120 минут
12	0,282	x							
13	0,280		x						
14	0,281			x					
15	0,282				x				
16	0,278					x			
17	0,278						x		
18	0,285							x	
19	0,281								x

Таблица 8

ID образца	Рассчитанный баллистический предел V_{50} (фут/с)	Минимальный баллистический предел V_{50} по MIL-DTL-46100E (фут/с)	Минимальный баллистический предел V_{50} по MIL-A-46099C (фут/с)
12	2936	2426	2807
13	2978	2415	2796
14	3031	2421	2801
15	2969	2426	2807
16	2877	2403	2785
17	2915	2403	2785
18	2914	2443	2823
19	2918	2421	2801

Катаные продукты в виде, например, плиты, брусков, листа могут быть изготовлены из сплавов согласно настоящему раскрытию путем обрабатывания, включающего в себя этапы, сформулированные с предшествующими наблюдениями и умозаключениями, для того чтобы оптимизировать твердость и баллистические характеристики сплава. Как понятно специалистам, продукт "плита" имеет толщину, по меньшей мере, 3/16 дюйма и ширину, по меньшей мере, 10 дюймов, и продукт "лист" имеет толщину не больше, по меньшей мере, 3/16 дюйма, и ширину, по меньшей мере, 10 дюймов. Так, специалистам будут легко понятны различия между разными обычными катаными продуктами, таким как плита, лист и брус.

4. Испытания на охлаждение

а. Испытание 1

Группы образцов 0,275x18x18 дюймов, имеющих фактический химический состав, показанный в таблице 2, обрабатывали в течение цикла аустенизации путем нагревания образцов при 1600±10°F (871±6°C) в течение 35 минут ±5 минут, и затем охлаждали до комнатной температуры, используя различные способы, чтобы воздействовать на ход охлаждения. Охлажденные образцы затем отпускали в течение определенного времени, и давали возможность охладиться воздухом до комнатной температуры. Образцы испытывали на твердость по Бринеллю и на баллистические характеристики. Желательными были величины баллистической V₅₀, соответствующие требованиям согласно спецификации MIL-DTL-46100E. Предпочтительно, баллистические характеристики, как оцененные величинами V₅₀, составляют не менее чем величины на 150 фут/с меньше чем величины V₅₀, требуемые согласно спецификации

MIL-A-46099C. Обычно, MIL-A-46099C требует значительно более
высоких величин V_{50} , которые обычно составляют на 300-400 фут/с
5 больше, чем требуемые согласно MIL-DTL-46100E.

Таблица 9 перечисляет результаты по твердости и V_{50} для
образцов, охлажденных от температуры аустенизации при
10 вертикальной укладке образцов на стенде для охлаждения на
расстоянии между образцами в 1 дюйм, и, давая возможность
15 образцам охлаждаться до комнатной температуры в спокойном
воздухе в окружающей среде комнатной температуры. Фиг.4
схематически иллюстрирует укладочное размещение для этих
20 образцов.

Таблица 10 предоставляет твердость и величины V_{50} для
образцов, охлажденных от температуры аустенизации с
25 использованием таких же обычных условий охлаждения и такого же
вертикального укладочного размещения образцов в таблице 9, но
30 при этом охлаждающий вентилятор распространял воздух комнатной
температуры вокруг образцов. Таким образом, средняя скорость, с
которой образцы, перечисленные в таблице 10, охлаждались от
35 температуры аустенизации, превышала среднюю скорость, с которой
образцы, перечисленные в таблице 9, охлаждали от температуры
40 аустенизации.

Таблица 11 перечисляет результаты твердости и V_{50} для
охлажденных в спокойном воздухе образцов, размещенных
45 горизонтально на стенде для охлаждения, уложенных в контакте с
соседними образцами, для того чтобы оказывать влияние на
50 скорость, с которой охлаждались образцы от температуры
аустенизации. Величины V_{50} , включенные в таблицу 11, графически

представлены на фиг.6 как функция выполнения отпуска. Для образцов таблицы 11 использовали четыре различных укладочных размещения. В одном размещении, показанном в верхней части 5 фиг.5, два образца помещали в контакте друг с другом. В другом размещении, показанном в нижней части фиг.5, три образца помещали в контакте друг с другом. Фиг.8 представляет собой 10 график кривых охлаждения для образцов, уложенных, как показано на верхней и нижней частях фиг.5. Фиг.7 показывает два дополнительных укладочных размещения, при этом или четыре плиты (верхняя часть) или пять плит (нижняя часть) помещали в контакте 20 друг с другом при охлаждении от температуры аустенизации. Фиг.9 представляет собой график кривых охлаждения для образцов, уложенных, как показано на верхней и нижней частях фиг.7. Для 25 каждого образца, перечисленного в таблице 11, вторая колонка таблицы указывает общее число образцов, объединенных в укладочное расположение. Предполагается, что циркулирование 30 воздуха вокруг образцов (в сравнении - охлаждение в спокойном воздухе) и помещение отличающегося числа образцов в контакте друг с другом, как с образцами в таблице 9, 10 и 11, влияли на 35 форму кривых охлаждения для разных образцов. Другими словами, предполагается, что определенные траектории с последующими 40 кривыми охлаждения (т.е. "формы" кривых) различаются для разных размещений образцов в таблице 9, 10 и 11. Например, скорость 45 охлаждения на одном или более участках кривой охлаждения для образца, охлажденного в контакте с другими образцами, может быть меньше чем скорость охлаждения для образцов, уложенных 50 вертикально на расстоянии друг от друга, на том же участке

кривой охлаждения. Полагают, что различия в охлаждении образцов, привело к микроструктурным различиям в образцах, что
5 непредвиденно повлияло на стойкость образцов к баллистическому проникновению, как обсуждено ниже.

Таблицы 9-11 идентифицируют обработку отпуском,
10 использованную для каждого образца, перечисленного в этих таблицах. Результаты по V_{50} в таблицах 9-11 перечисляют как разницу в фут/с относительно требуемого минимума скорости V_{50} для
15 отдельных испытываемых образцов определенного размера согласно спецификации MIL-A-46099C. В качестве примеров, величина "-156"
20 означает, что V_{50} для образца, оцененного по военной спецификации с использованием бронебойных боеприпасов 7,62 мм (30 калибр), была на 156 фут/с меньше, чем требуемая величина согласно
25 военной спецификации, и величина "+82" означает, что скорость V_{50} превышала требуемую величину на 82 фут/с. Таким образом, большие
30 положительные величины разницы наиболее желательны, так как они отражают стойкость к баллистическому прониканию, которая превышает требуемую V_{50} согласно военной спецификации. Величины
35 V_{50} , сообщенные в таблице 9, рассчитывали, поскольку плиты-цели растрескивались (разрушались) во время баллистического
40 испытания. Образцы с баллистическими результатами, перечисленными в таблице 9 и 10, на практике претерпевали растрескивание в более высокой степени.
45

50

Таблица 9

Образцы, охлажденные в спокойном воздухе, уложенные вертикально с размещением на расстоянии в 1 дюйм

Образец	Обработка отпуском (°F отпуска/время отпуска/охлаждения)	V ₅₀ (46099C) (фут/с)	Средняя твердость после аустенизации (НВ)	Средняя твердость после отпуска (НВ)
79804AB1	200/60/AC	-	712	712
79804AB2	200/60/AC+ 350/60/AC	- +3	712 712	712 640
79804AB3	200/60/AC	-	712	704
79804AB4	200/60/AC	-	712	712
79804AB5	225/60/AC	-	712	712
79804AB6	225/60/AC	-	712	704
79804AB7	225/60/AC	-	712	712
79804AB8	400/60/AC	-155	712	608
79804AB9	500/60/AC	-61	712	601
79804AB10	600/60/AC	-142	712	601

Таблица 10

Образцы, охлажденные вентилятором, уложенные вертикально с размещением на расстоянии в 1 дюйм

Образец	Обработка отпуском (°F отпуска/время отпуска/охлаждения)	V ₅₀ (46099C) (фут/с)	Средняя твердость после аустенизации (НВ)	Средняя твердость после отпуска (НВ)
79373AB1	200/60/AC	-95	712	675
79373AB2	200/120/AC	-47	712 712	675
79373AB3	225/60/AC	+35	712	668
79373AB4	225/120/AC	-227	712	682
79373AB5	250/60/AC	+82	712	682
79373AB6	250/120/AC	+39	712	682
79373AB7	275/60/AC	+82	712	682
79373AB8	275/120/AC	+13	712	675
79373AB9	300/60/AC	-54	712	675

Таблица 11

Образцы, охлажденные в спокойном воздухе, расположенные друг над другом

Образец	Складывание (число пробных образцов)	Обработка отпуском (°F отпуска/время отпуска/охлаждения)	V ₅₀ (46099C) (фут/с)	Средняя твердость после аустенизации (НВ)	Средняя твердость после отпуска (НВ)
79804AB3	2	225/60/AC	+191	653	653
79804AB4	2	225/60/AC	+135	653	653
79804AB1	3	225/60/AC	+222	640	627

	79804AB5	3	225/60/AC	+198	640	640
	79804AB6	3	225/60/AC	+167	627	627
	79804AB7	4	225/60/AC	+88	646	646
5	79373DA1	4	225/60/AC	+97	601	601
	79373DA2	4	225/60/AC	-24	601	601
	79373DA3	4	225/60/AC	+108	620	607
	79373DA4	5	225/60/AC	+114	627	614
10	79373DA5	5	225/60/AC	+133	627	601
	79373DA6	5	225/60/AC	+138	620	601
	79373DA7	5	225/60/AC	+140	620	614
15	79373DA8	5	225/60/AC	+145	614	621

Величины твердости для образцов, перечисленных в таблице 11, были значительно меньше, чем у образцов таблиц 9 и 10. Полагали, что это различие является результатом размещения образцов в контакте друг с другом при охлаждении образцов от температуры аустенизации, которое видоизменило кривую охлаждения образцов относительно " закаленных на воздухе " образцов, представленных в таблицах 9 и 10 и на фиг.4. Также думают, что более медленное охлаждение, примененное для образцов в таблице 11, действует, для того чтобы материал подвергался самоотпуску во время охлаждения от температуры аустенизации до комнатной температуры.

Как указано выше, обычное убеждение заключается в том, что повышение твердости стальной брони усиливает способность брони разрушать снаряды при столкновении, и таким образом, должно улучшить баллистические характеристики, что оценено, например, испытанием по V_{50} . Образцы в таблицах 9 и 10 были идентичными по составу образцам в таблице 11 и, за исключением способа охлаждения от температуры аустенизации, были обработаны по существу тем же способом. Поэтому специалисты по производству стальных броневых материалов должны бы ожидать, что уменьшенная

поверхностная твердость образцов в таблице 11 должна негативно
воздействовать на стойкость к баллистическому проникновению, и
5 давать в результате более низкие скорости V_{50} относительно
образцов в таблицах 9 и 10. Вместо этого, настоящие авторы
изобретения обнаружили, что образцы из таблицы 11 непредвиденно
10 демонстрировали улучшенную стойкость к проникновению с более
низкой степенью растрескивания при сохранении положительных
величин V_{50} . Учитывая видимое улучшение в баллистических
15 свойствах при экспериментальных испытаниях с проведением отпуска
стали после охлаждения от температуры аустенизации, считается,
20 что в проходах вторичной прокатки было бы предпочтительным
осуществлять отпуск при 250-450°F, и, предпочтительно, при
примерно 375°F в течение 1 часа после охлаждения от температуры
25 аустенизации.

Средняя скорость V_{50} в таблице 11 составляет на 119,6 фут/с
30 больше, чем требуемая скорость V_{50} для образцов согласно MIL-A-
46099C. Соответственно, экспериментальные данные в таблице 11
показывают, что варианты воплощения стальной брони согласно
35 настоящему раскрытию имеют скорости V_{50} , которые достигают или
превышают требуемые величины согласно MIL-A-46099C. Напротив,
40 средняя V_{50} , указанная в таблице 10, для образцов, охлажденных с
более высокой скоростью, была только на 2 фут/с больше, чем
средняя V_{50} , требуемая согласно спецификации, и образцы показали
45 неприемлемую трещиностойкость при многочисленных ударах.
Учитывая, что скорости V_{50} требований MIL-A-46099C составляют на
50 300-400 фут/с больше, чем согласно спецификации MIL-DTL-461000E,
некоторые варианты воплощения стальной брони согласно настоящему

раскрытию будут также достигать или соответствовать требуемым
величинам согласно MIL-DTL-46100E. Несмотря на то, что никаким
5 образом не ограничивается изобретение в настоящем раскрытии,
скорости V_{50} предпочтительно составляют не менее чем величины на
150 фут/с меньше, чем требуемые величины согласно MIL-A-46099C.
10 Другими словами, скорости V_{50} предпочтительно составляют, по
меньшей мере величины на целых 150 фут/с меньше, чем требуемая
15 V_{50} согласно спецификации MIL-A-46099C, с минимальным развитием
трещин. Средняя характеристика стойкости к прониканию вариантов
воплощения из таблицы 11 является существенной и, как полагают,
20 является, по меньшей мере, сравнимой с определенными, более
дорогостоящими, броневыми материалами из высоколегированного
сплава, или броневой плитой двойной твердости K-12®. Итак,
25 несмотря на то, что образцы стальной брони в таблице 11 имели
значительно более низкую поверхностную твердость, чем образцы в
30 таблицах 9 и 10, они непредвиденно демонстрировали заметно
большую стойкость к баллистическому проникновению с уменьшенной
степенью развития трещин, и сравнимой с баллистической
35 стойкостью некоторых, высоколегированных броневых сплавов
высшего качества.

40 Не намереваясь быть связанными определенной теорией, авторы
изобретения полагают, что специфический состав видов стальной
брони согласно настоящему раскрытию, и нетрадиционный подход к
45 охлаждению видов брони от температуры аустенизации являются
важными для обеспечения видов стальной брони непредвиденно
50 высокой стойкостью к проникновению. Авторы изобретения отмечали,
что значительная баллистическая характеристика образцов из

таблицы 11 была не просто функцией более низкой твердости образцов относительно образцов в таблице 9 и 10. Фактически, как
5 показано ниже в таблице 12, некоторые из образцов в таблице 9 имели твердость после отпуска, которая была по существу такой же, как твердость после отпуска образцов из таблицы 11, но
10 образцы в таблице 11, которые охлаждали от температуры аустенизации иначе, чем образцы в таблицах 9 и 10, имели значительно более высокие скорости V_{50} с более низкой степенью
15 растрескивания. Поэтому, без намерения быть связанными определенной теорией авторы, полагают, что значительное улучшение стойкости к проникновению в таблице 11 могло
20 получаться от непредвиденного и значительного микроструктурного изменения, которое происходило во время нетрадиционного способа охлаждения, и дополнительно давало возможность материалу
25 подвергнуться самоотпуску во время охлаждения до комнатной температуры.

Несмотря на то, что в настоящих испытаниях кривая охлаждения
35 видоизменилась от того, что этап обычной воздушной закалки осуществляли путем помещения образцов в контакте друг с другом в горизонтальном направлении на стенде охлаждения, исходя из
40 наблюдений авторов изобретения, обсужденных в настоящем описании, полагают, что могут быть использованы другие способы видоизменения обычной кривой охлаждения для выгодного влияния на
45 баллистические характеристики сплавов согласно настоящему раскрытию. Примеры возможных путей выгодно видоизменить кривую
50 охлаждения сплавов включают в себя охлаждение от температуры аустенизации в зоне регулируемого охлаждения или обкладку сплава

теплоизоляционным материалом, таким материалом, как каолиновая вата, во время всего или части этапа охлаждения сплава от температуры аустенизации.

Таблица 12

Таблица 9 – Выбранные образцы		Таблица 11 – Выбранные образцы	
Средняя твердость после отпуска (НВ)	V ₅₀ (46099С) (фут/с)	Средняя твердость после отпуска (НВ)	V ₅₀ (46099С) (фут/с)
640	+3	640	+198
608	-155	607	+108
601	-61	601	+97
601	-142	601	-24
		601	+133
		601	+138

В свете преимуществ, полученных с помощью высокой твердости в броневых применениях, низколегированные стали согласно настоящему раскрытию предпочтительно имеют твердость, по меньшей мере, 550 НВ. Исходя из вышеупомянутых результатов испытаний и наблюдения авторов изобретения, стали согласно настоящему изобретению предпочтительно имеют твердость, которая больше чем 550 НВ и меньше чем 700 НВ, и, более предпочтительно, больше, 550 НВ и меньше 675. Согласно одному особенно предпочтительному варианту воплощения, стали согласно настоящему раскрытию имеют твердость, которая составляет, по меньшей мере, 600 НВ и составляет меньше 675 НВ. Твердость, вероятно, играет важную роль в создании баллистических характеристик. Однако экспериментальные броневые сплавы, произведенные согласно настоящим способам, также получают непредвиденно существенную стойкость к проникновению от микроструктурных изменений, вследствие нетрадиционного способа охлаждения образцов, который

видоизменил кривые охлаждения образцов относительно кривых, характеризующих традиционный этап охлаждения образцов от температуры аустенизации на воздухе.

в. Испытание 2

Экспериментальное испытание проводили для исследования специфических изменений кривых охлаждения сплавов, охлажденных от температуры аустенизации, что может быть, по меньшей мере, частично отвечает за непредвиденное улучшение стойкости к прониканию сплавов согласно настоящему раскрытию. Две группы из трех пробных плит по 0,310 дюйма, имеющих фактический химический состав, показанный в таблице 2, нагревали до температуры аустенизации $1600 \pm 10^\circ\text{F}$ ($871 \pm 6^\circ\text{C}$) в течение 35 минут ± 5 минут. Группы устроили на полке печи двумя разными размещениями, чтобы влиять на кривую охлаждения образцов от температуры аустенизации. В первом размещении, иллюстрированном на фиг.10, три образца (номера DA-7, DA-8 и DA-9) были уложены вертикально с расстоянием между образцами минимум в 1 дюйм. Первая термопара (названная канал 1) была позиционирована на лицевой стороне среднего образца DA-8 из уложенных образцов. Вторая термопара (канал 2) была позиционирована на внешней стороне (т.е. не лицом к средней плите) наружной плиты (DA-7). Во втором размещении, показанном на фиг.11, три образца уложили послойно в контакте друг с другом, с образцом №DA-10 внизу, образцом №BA-2 наверху, и образцом №BA-1 в середине. Первая термопара (канал 3) была размещена на верхней поверхности нижнего образца, и вторая термопара (канал 4) была размещена на нижней поверхности верхнего образца (напротив верхней поверхности среднего

образца). Потом каждое размещение образцов нагревали и выдерживали при температуре аустенизации, полку для образцов удаляли из печи и давали им возможность охладиться в спокойном воздухе, пока образцы не достигали температуры ниже 300°F (149°C).

Твердость (НВ) оценивали в угловых местах каждого образца после охлаждения образцов от температуры аустенизации до комнатной температуры, и опять потом каждый аустенизированный образец отпускали в течение 60 минут при 225°F (107°C). Результаты показаны в таблице 13.

Таблица 13

Образцы	Твердость (НВ) в углах образца после охлаждения от температуры аустенизации				Твердость (НВ) в углах образца после обработки отпуском.			
	Вертикально уложенные							
DA-7	653	601	653	653	653	627	601	627
DA-8	627	601	653	627	653	627	653	653
DA-9	653	653	653	627	601	627	601	627
Горизонтально уложенные								
DA-10 (низ)	653	653	627	627	653	627	601	653
BA-1 (середина)	653	653	653	653	682	682	653	653
BA-2 (верх)	712	653	653	653	653	653	653	653

Кривая охлаждения, показанная на фиг.12, графически представляет температуру образца, записанную в каждом из каналов 1-4 во времени сразу после того, как образцы удалили из печи для аустенизации, до достижения температуры в интервале примерно 200-400°F (93-204°C). Фиг.12 также показывает кривую превращений при непрерывном охлаждении (CCT) - (continuous cooling transformation) для сплава, иллюстрирующую различные фазовые участки для сплава, так как он охлаждается от высокой

температуры. Фиг.13 показывает подробное изображение части кривой охлаждения по фиг.11, включающей в себя участок, в котором каждая из кривых охлаждения для каналов 1-4 пересекает теоретическую SST кривую. Подобным образом, фиг.14 показывает часть кривой охлаждения и SST кривые, показанные на фиг.12 в температурном интервале образца 500-900°F (260-482°C). Кривые охлаждения для каналов 1 и 2 (вертикально уложенные образцы) являются похожими на кривые для каналов 3 и 4 (расположенные друг над другом образцы). Однако кривые для каналов 1 и 2 следуют другими путями, чем кривые для каналов 3 и 4, и особенно, в ранней части кривых охлаждения (во время начала этапа охлаждения). Впоследствии, формы кривых для каналов 1 и 2 отражают более быструю скорость охлаждения, чем для каналов 3 и 4. Например, на участке кривой охлаждения, в котором кривые охлаждения отдельного канала первыми пересекают SST кривые, скорость охлаждения для каналов 1 и 2 (вертикально уложенные образцы) составляла приблизительно 136°F/мин (75,6°C/мин), и для каналов 3 и 4 (расположенные друг над другом образцы) составляла приблизительно 98°F/мин (54,4°C/мин) и приблизительно 107°F/мин (59,4°C/мин), соответственно. Как следовало бы ожидать, скорости охлаждения для каналов 3 и 4 попадают между скоростями охлаждения, измеренными, измеренными для испытаний по охлаждению, включая две, расположенные друг над другом, плиты (111°F/мин (61,7°C/мин)) и 5, расположенных друг над другом, плит (95°F/мин (52,8°C/мин)), обсужденных выше. Кривые охлаждения в испытаниях по охлаждению двух, расположенных друг над другом, плит ("2пл") и 5, расположенных друг над другом,

плит ("5пл") также показаны на фиг.12-14.

Кривые охлаждения, показанные на фиг.12-14 для каналов 1-4,
5 подводят к тому, что все кривые по существу не различались. Как
показано на фиг.12 и 13, однако каждая из кривых в начале
пересекает ССТ кривую в различных точках, указывая различные
10 меры перехода, которые могут значительно действовать на взаимные
микроструктуры образцов. Колебание в точке пересечения ССТ
15 кривой в значительной степени определяется степенью охлаждения,
которое происходит, пока образец находится при высокой
температуре. Поэтому, мера охлаждения, которое происходит в
20 промежуток времени относительно скоро после того, как образец
удаляют из печи, может значительно оказывать воздействие на
25 конечную микроструктуру образцов, и это может, в свою очередь,
обеспечить, или содействовать непредвиденному улучшению
стойкости к баллистическому прониканию, обсужденному в настоящем
30 описании. Следовательно, экспериментальное испытание
подтвердило, что способ, которым образцы охлаждаются от
температуры аустенизации, может влиять на микроструктуру сплава,
35 и это может быть, по меньшей мере, частично отвечает за
улучшенные баллистические характеристики броневых сплавов
40 согласно настоящему раскрытию.

Стальная броня согласно настоящему раскрытию обеспечивает
45 существенную величину, так как она может показывать
баллистические характеристики, по меньшей мере, соизмеримые с
высоколегированными броневыми сталями отличного качества, хотя
50 имеет существенно более низкие уровни дорогостоящих легирующих
элементов, таких как, например, никель, молибден и хром.

Учитывая характеристики и преимущество в затратах на варианты
воплощения стальной брони согласно настоящему раскрытию,
5 полагают, что такие виды брони представляют собой очень
существенное достижение по сравнению со многими существующими
броневыми сплавами.

10 Пластина из сплава и другие катаные продукты, изготовленные
согласно настоящему раскрытию, могут быть использованы в обычных
15 броневых применениях. Такие применения включают в себя,
например, обшивание броней и другие конструктивные детали для
боевых военных автомобилей, вооружение, бронированные двери и
20 ограждения, а также другое промышленное изделие, требующее или
извлекающее выгоду из защиты от ударов снарядов, взрывчатых
25 веществ и других высокоэнергетических повреждений. Эти примеры
возможных применений для сплавов согласно настоящему раскрытию
предлагаются только в качестве примера, и не являются
30 исчерпывающими для всех применений, к которым могут быть
применены настоящие сплавы. Те специалисты, которые прочтут
настоящее раскрытие, могут легко идентифицировать дополнительные
35 применения для сплавов, описанных в настоящем описании.
Полагают, что такие специалисты в области техники могут
40 допускать создание всех таких промышленных изделий из сплавов
согласно настоящему раскрытию на основе знаний, существующих в
области техники. Соответственно, дополнительное обсуждение
45 процедур изготовления таких изделий является излишним.

Хотя предшествующее описание имеет обязательно
50 представленные только ограниченное число вариантов воплощения,
специалисты соответствующей области техники будут принимать во

внимание, что различные изменения в настоящих сплавах, способах и изделиях производства могут быть сделаны специалистами в области техники, и все такие модификации будут оставаться в пределах принципа и объема настоящего раскрытия, как выражено в настоящем описании и прилагаемой формуле изобретения. Специалисты в области техники следует также принять во внимание, что изменения могли бы быть сделаны сверх вариантов воплощения без отступления от основной изобретательской идеи. Понятно, что изобретение не ограничивается раскрытыми конкретными вариантами воплощения, но намерено защищать модификации, которые находятся в пределах принципа и объема изобретения, как определено формулой изобретения.

Формула изобретения

1. Сплав на основе железа, имеющий твердость более 550 НВ и стойкость к баллистическому проникновению и развитию трещин при многочисленных ударах, причем сплав включает в себя в весовых процентах, исходя из общего веса сплава: 0,48-0,52 углерода, 0,15-1,00 марганца, 0,15-0,45 кремния, 0,95-1,70 хрома, 3,30-4,30 никеля, 0,35-0,65 молибдена, 0,0008-0,0030 бора, 0,001-0,015 церия, 0,001-0,015 лантана, не более чем 0,002 серы, не более чем 0,015 фосфора, не более чем 0,10 азота, железо и случайные примеси.

2. Сплав по п.1, который имеет баллистический предел V_{50} , по меньшей мере такой же, как требуемый V_{50} по спецификации MIL-DTL-46100E.

3. Сплав по п.1, при этом сплав имеет баллистический предел V_{50} , который составляет по меньшей мере величину на 150 фут/с меньше, чем требуемый V_{50} согласно спецификации MIL-A-46099C.

4. Сплав по п.1, который имеет твердость больше 550 НВ и меньше 700 НВ.

5. Сплав по п.1, который имеет твердость больше 550 НВ и меньше 675 НВ.

6. Сплав по п.1, который имеет твердость больше 600 НВ и меньше 675 НВ.

7. Сплав по п.1, который содержит по меньшей мере 0,20% марганца.

8. Сплав по п.1, который содержит не более 0,80% марганца.

9. Сплав по п.1, который содержит по меньшей мере 0,20% кремния.

10. Сплав по п.1, который содержит не более 0,40% кремния.

11. Сплав по п.1, который содержит по меньшей мере 1,00% хрома.

12. Сплав по п.1, который содержит не более 1,50% хрома.

13. Сплав по п.1, который содержит по меньшей мере 3,75% никеля.

14. Сплав по п.1, который содержит не более 4,25% никеля.

15. Сплав по п.1, который содержит по меньшей мере 0,40% молибдена.

16. Сплав по п.1, который содержит не более 0,60% молибдена.

17. Сплав по п.1, который содержит по меньшей мере 0,0015% бора.

18. Сплав по п.1, который содержит не более 0,0025% бора.

19. Сплав по п.1, который содержит не более 0,010% фосфора.

20. Сплав по п.1, имеющий твердость, которая составляет по меньшей мере 550 НВ и менее 700 НВ и баллистический предел V_{50} , который составляет по меньшей мере величину на 150 фут/с меньше требуемого V_{50} согласно спецификации MIL-A-46099C.

21. Броневого катаный продукт, выбранный из броневой плиты, броневое листа и броневое бруса, при этом катаный продукт представляет собой сплав на основе железа, имеющий твердость больше 550 НВ и стойкость к баллистическому проникновению и развитию трещин при многочисленных ударах, причем сплав содержит в весовых процентах, исходя из общего веса сплава: 0,48-0,52 углерода, 0,15-1,00 марганца, 0,15-0,45 кремния, 0,95-1,70 хрома, 3,30-4,30 никеля, 0,35-0,65 молибдена, 0,0008-0,0030 бора, 0,001-0,015 церия, 0,001-0,015 лантана, не более чем 0,002 серы, не более чем 0,015 фосфора, не более чем 0,10 азота, железо и случайные примеси.

22. Броневого катаный продукт по п.21, при этом сплав имеет баллистический предел V_{50} , по меньшей мере такой же, как требуемый V_{50} согласно спецификации MIL-DTL-46100E.

23. Броневого катаный продукт по п.21, при этом сплав имеет баллистический предел V_{50} , который составляет по меньшей мере величину на 150 фут/с меньше требуемого V_{50} согласно спецификации MIL-A-46099C.

24. Броневого катаный продукт по п.21, при этом сплав имеет твердость больше 550 НВ и меньше 700 НВ.

25. Броневого катаный продукт по п.21, при этом сплав имеет твердость больше 550 НВ и меньше 675 НВ.

26. Броневого катаный продукт по п.21, при этом сплав имеет твердость, которая составляет по меньшей мере более 600 НВ и составляет меньше 675 НВ.

27. Броневого катаный продукт по п.21, при этом сплав имеет твердость, которая составляет по меньшей мере 550 НВ и меньше 700 НВ и баллистический предел V_{50} , который составляет по меньшей мере величину на 150 фут/с меньше требуемого V_{50} согласно спецификации MIL-A-46099C.

28. Изделие, полученное с использованием сплава на основе железа, имеющего твердость больше 550 НВ и стойкость к баллистическому проникновению и развитию трещин при многочисленных ударах, причем сплав содержит в весовых процентах, исходя из общего веса сплава: 0,48-0,52 углерода, 0,15-1,00 марганца, 0,15-0,45 кремния, 0,95-1,70 хрома, 3,30-4,30 никеля, 0,35-0,65 молибдена, 0,0008-0,0030 бора, 0,001-0,015 церия, 0,001-0,015 лантана, не более чем 0,002 серы, не более чем 0,015 фосфора, не более чем 0,10 азота, железо и случайные примеси.

29. Изделие по п.28, которое выбрано из бронированного автомобиля, бронированного ограждения и отдельного элемента бронированного мобильного оборудования.

30. Способ изготовления броневое катаного продукта, выбранного из броневой плиты, броневое листа и броневое бруса, причем броневой продукт имеет твердость больше 550 НВ и стойкость к баллистическому проникновению и развитию трещин при многочисленных ударах, при этом способ включает в себя:

обеспечение катаного продукта из сплава, содержащего в весовых процентах, исходя из общего веса сплава: 0,48-0,52 углерода, 0,15-1,00 марганца, 0,15-0,45 кремния, 0,95-1,70 хрома, 3,30-4,30 никеля, 0,35-0,65 молибдена, 0,0008-0,0030 бора, 0,001-0,015 церия, 0,001-0,015 лантана, не более чем 0,002 серы, не более чем 0,015

фосфора, не более чем 0,10 азота, железо и случайные примеси;

аустенизацию продукта из сплава путем его нагревания при температуре по меньшей мере 1500°F (815°C) в течение периода выдержки при этой температуре по меньшей мере в 30 мин;

5 охлаждение продукта из сплава от температуры аустенизации так, что он имеет баллистический предел V_{50} , по меньшей мере такой же, как требуемый V_{50} согласно спецификации MIL-DTL-46100E.

10 31. Способ по п.30, в котором охлаждение сплава обеспечивает сплав с баллистическим пределом V_{50} , который составляет по меньшей мере величину на 150 фут/с меньше требуемого V_{50} согласно спецификации MIL-A-46099C.

32. Способ по п.30, в котором охлаждение сплава обеспечивает сплав с твердостью больше 550 НВ и меньше 700 НВ.

15 33. Способ по п.30, в котором охлаждение сплава обеспечивает сплав с твердостью больше 550 НВ и меньше 675 НВ.

34. Способ по п.30, в котором охлаждение сплава обеспечивает сплав с твердостью, которая является больше 600 НВ и меньше 675 НВ.

35. Способ по п.30, в котором сплав содержит по меньшей мере 0,20% марганца.

20 36. Способ по п.30, в котором сплав содержит не более 0,80% марганца.

37. Способ по п.30, в котором сплав содержит по меньшей мере 0,20% кремния.

38. Способ по п.30, в котором сплав содержит не более 0,40% кремния.

39. Способ по п.30, в котором сплав содержит по меньшей мере 1,00% хрома.

40. Способ по п.30, в котором сплав содержит не более 1,50% хрома.

25 41. Способ по п.30, в котором сплав содержит по меньшей мере 3,75% никеля.

42. Способ по п.30, в котором сплав содержит не более 4,25% никеля.

43. Способ по п.30, в котором сплав содержит по меньшей мере 0,40% молибдена.

44. Способ по п.30, в котором сплав содержит не более 0,60% молибдена.

30 45. Способ по п.30, в котором сплав содержит по меньшей мере 0,0015% бора.

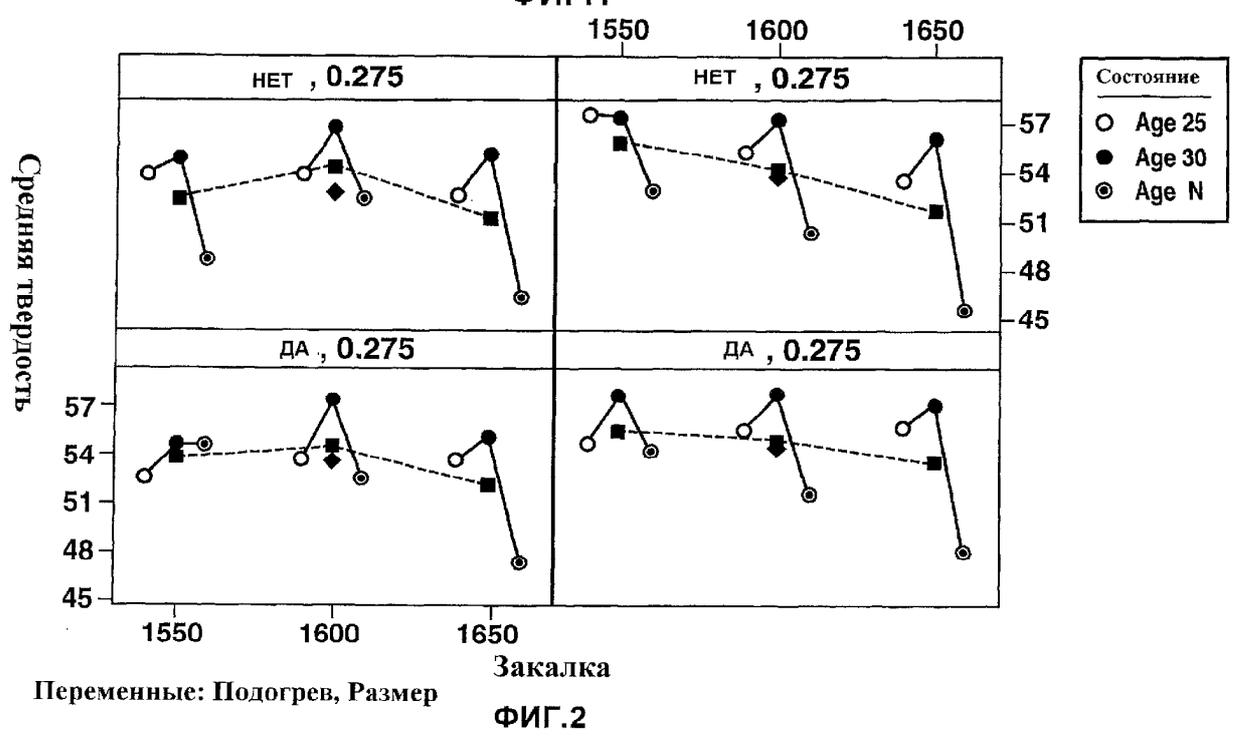
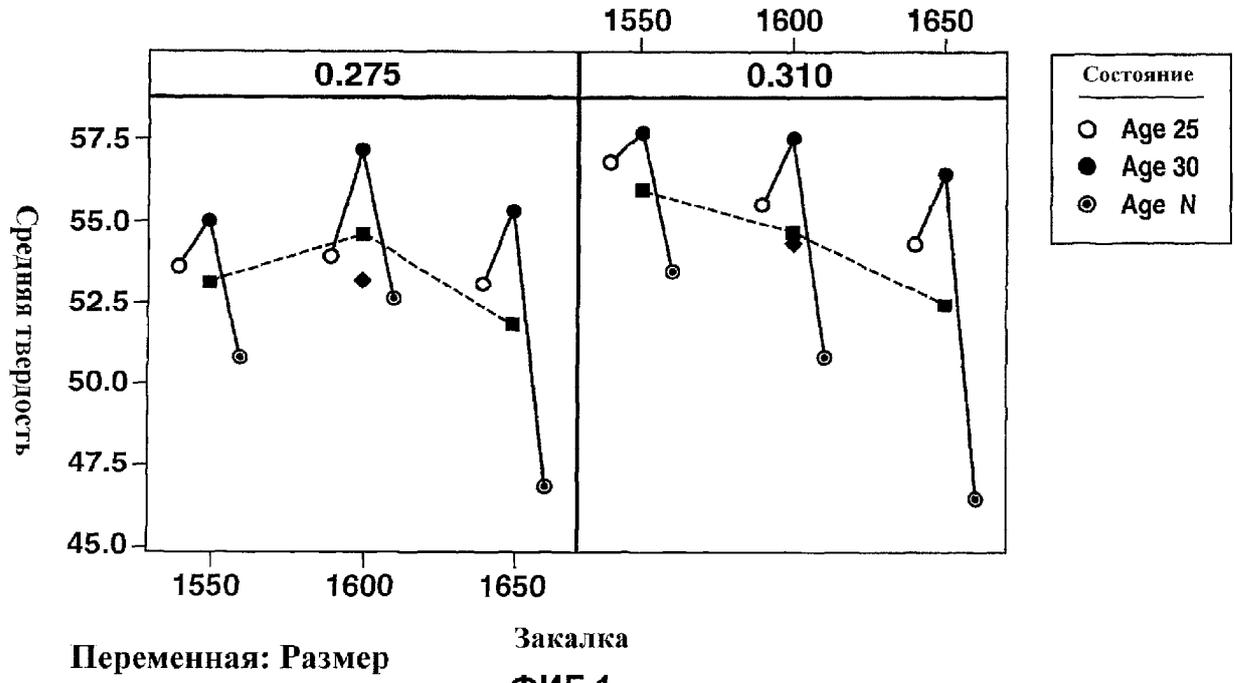
46. Способ по п.30, в котором охлаждение сплава обеспечивает сплав с твердостью, которая составляет по меньшей мере 550 НВ и меньше 700 НВ и баллистический предел V_{50} , который составляет по меньшей мере величину на 150 фут/с меньше требуемого V_{50} согласно спецификации MIL-A-46099C.

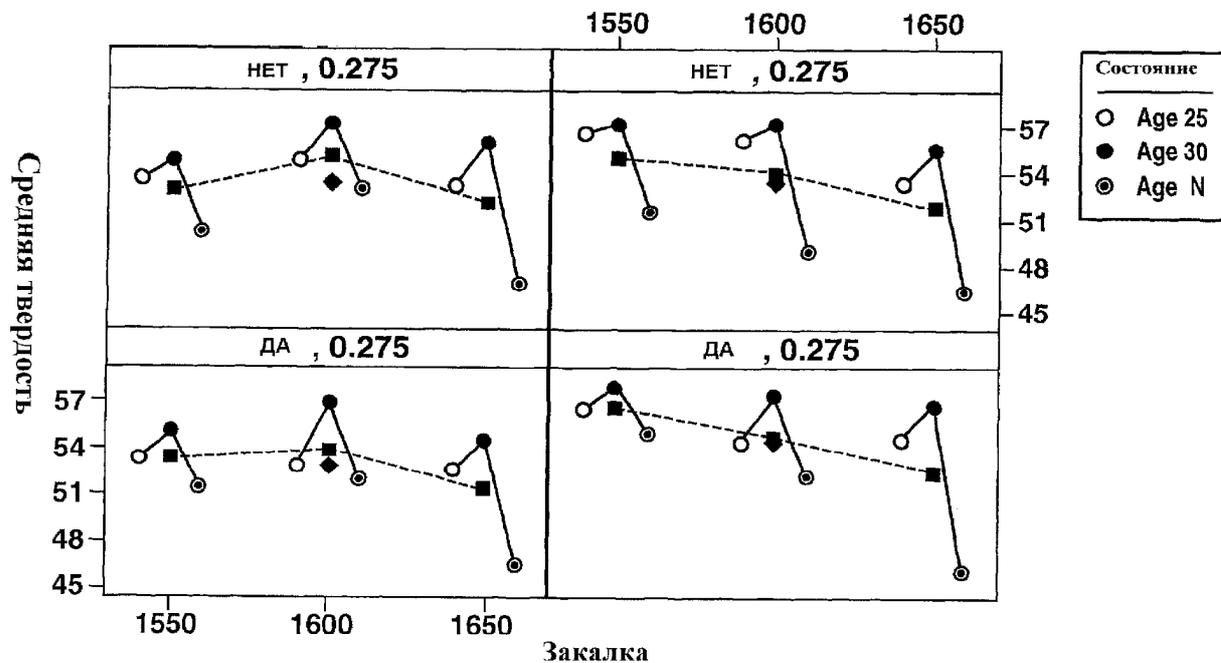
35

40

45

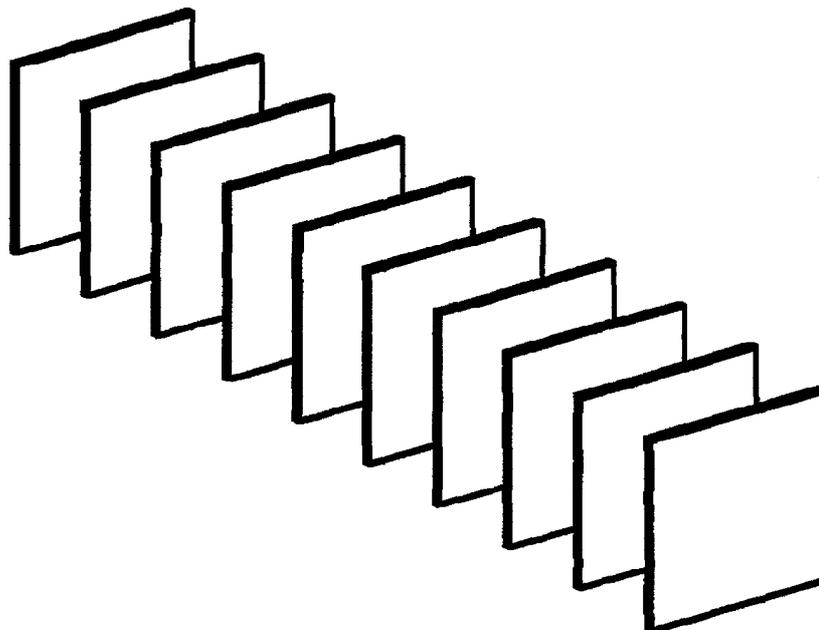
50



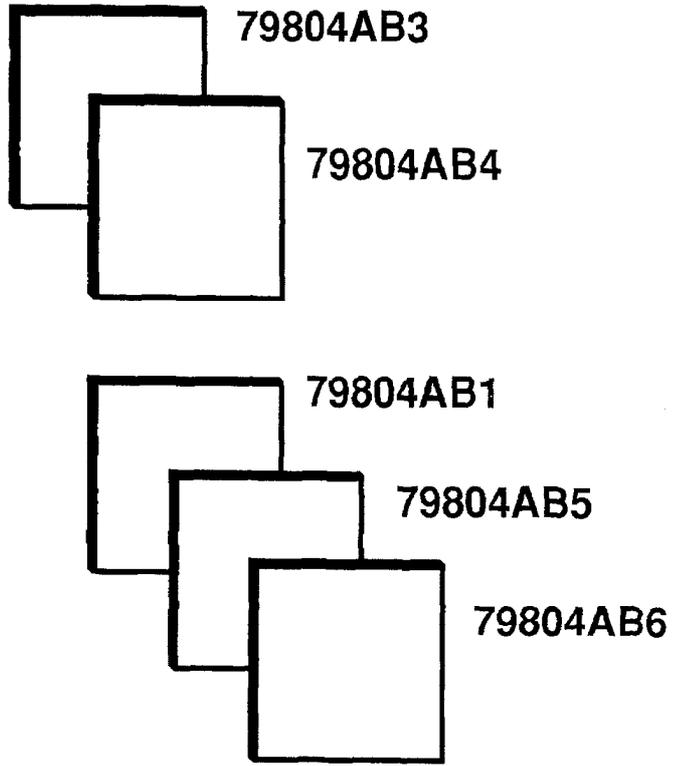


Переменные: Резкое охлаждение, Размер

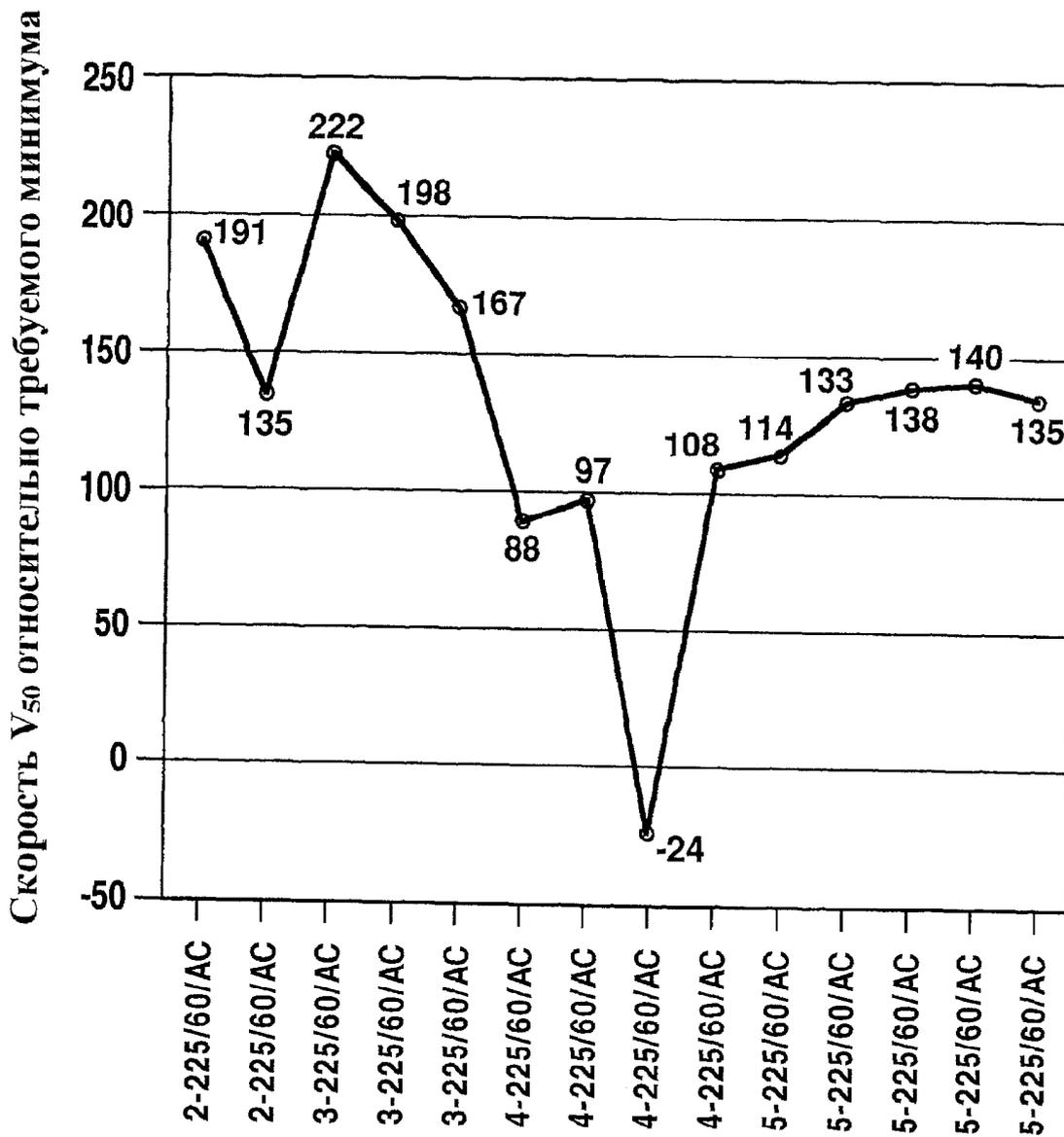
ФИГ.3



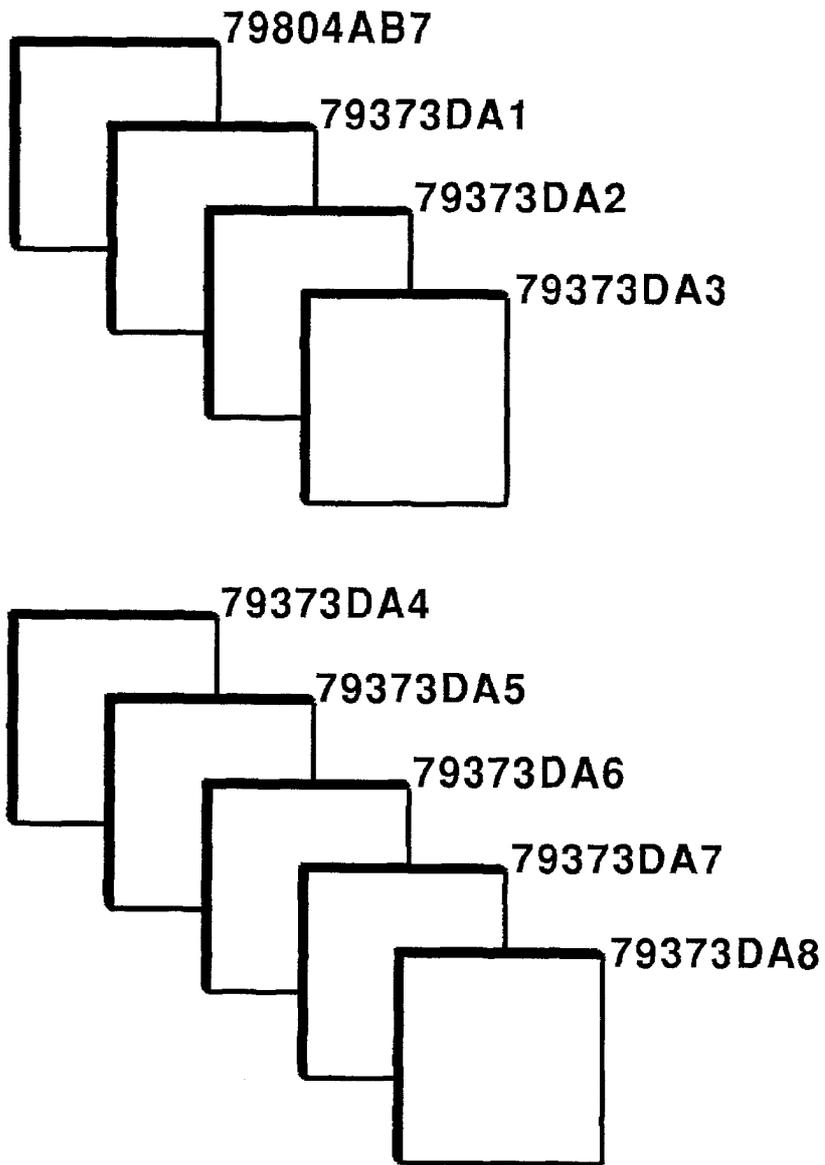
ФИГ.4



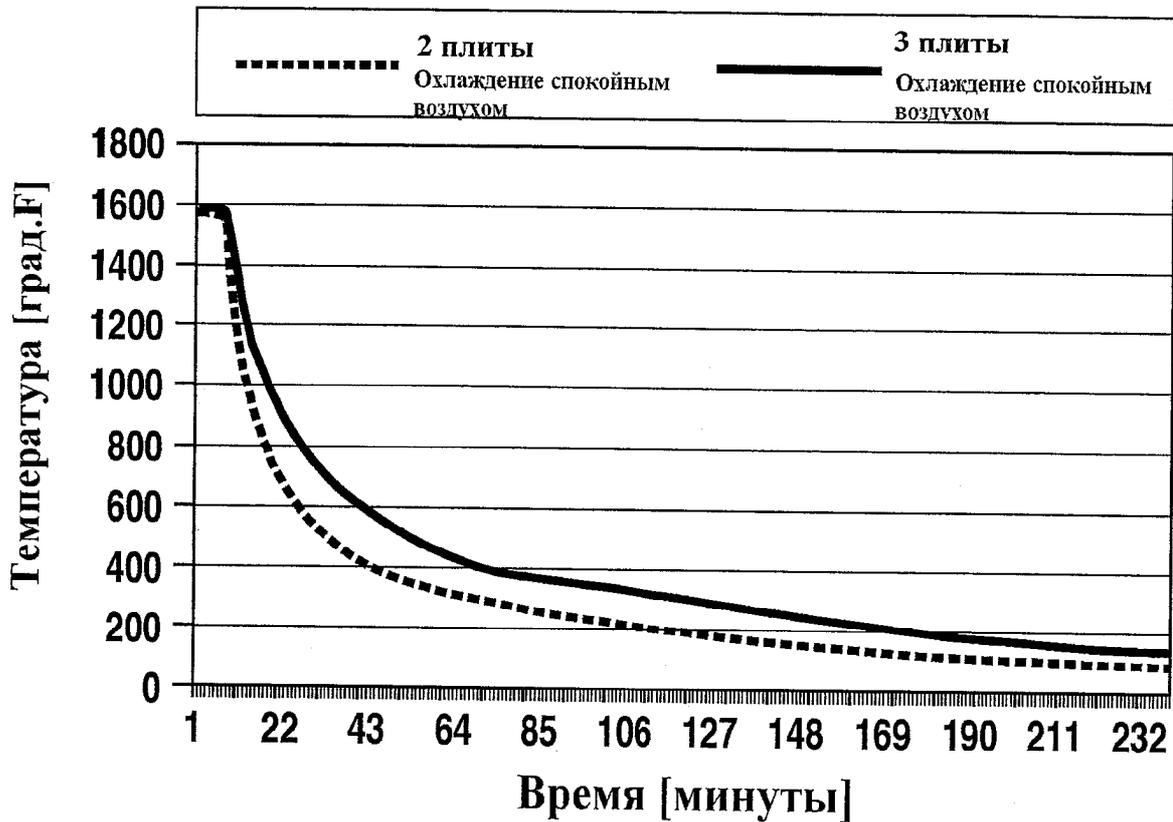
ФИГ.5



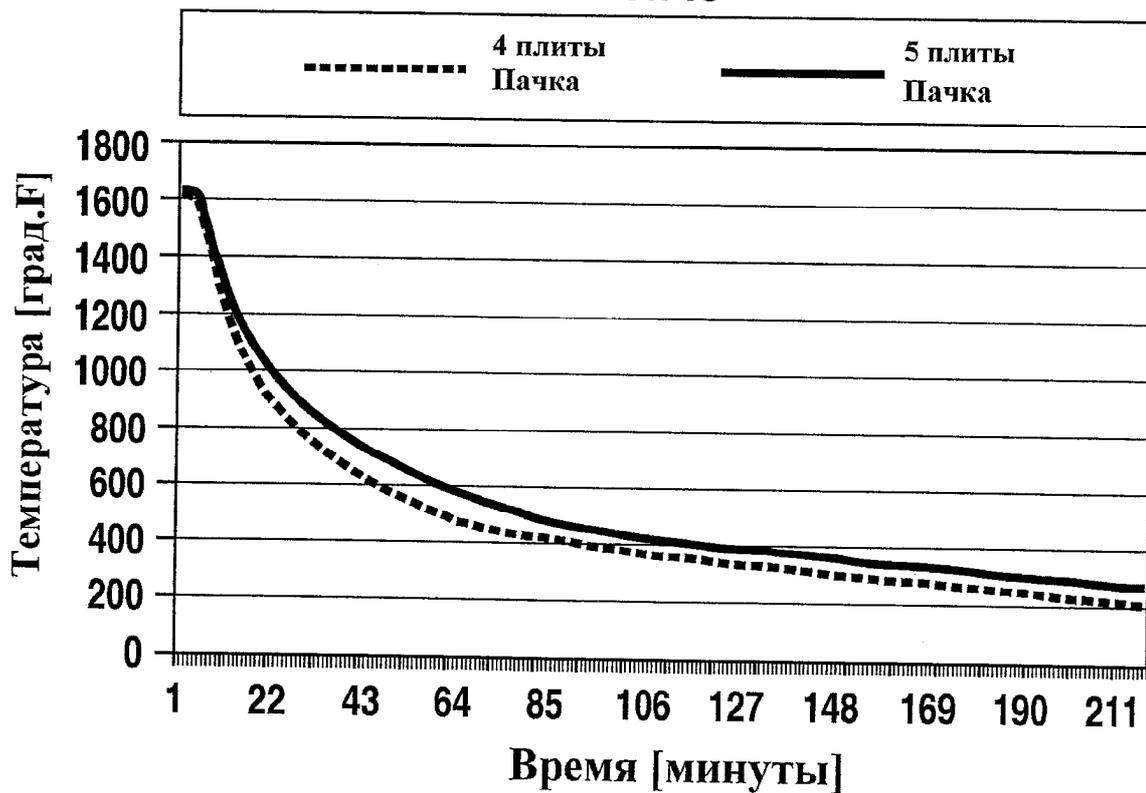
Выполнение отпуска
ФИГ.6



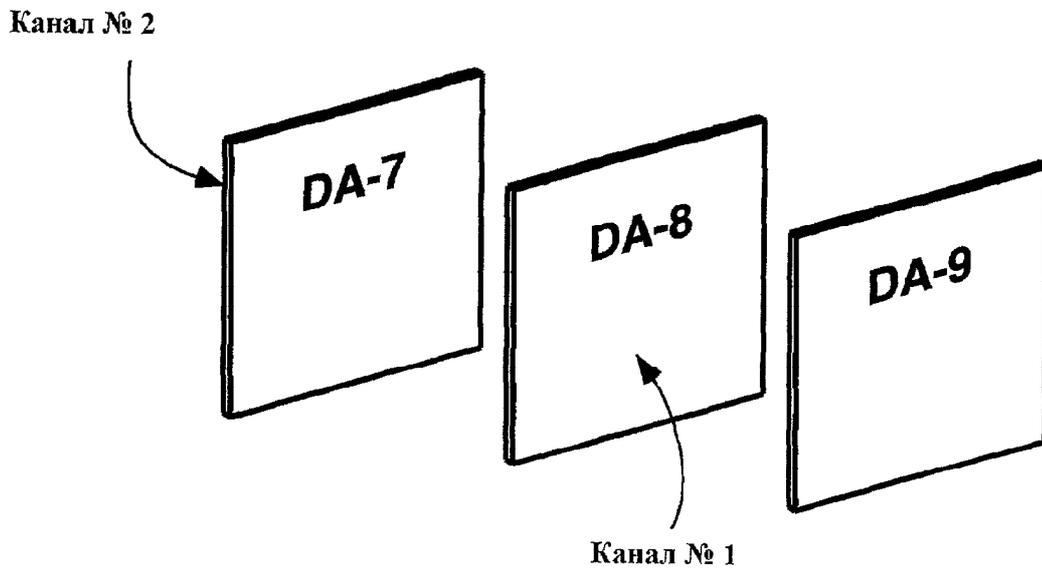
ФИГ.7



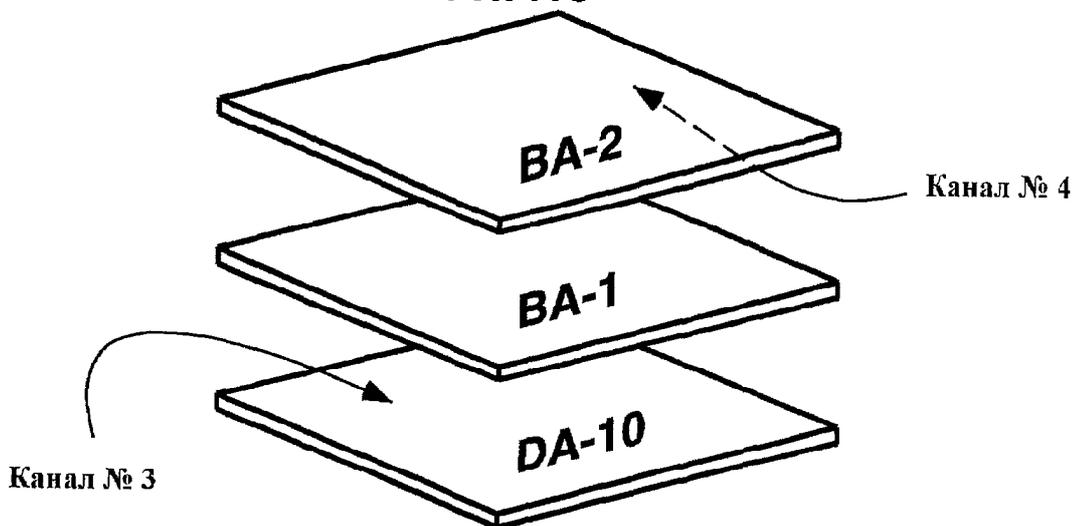
ФИГ.8



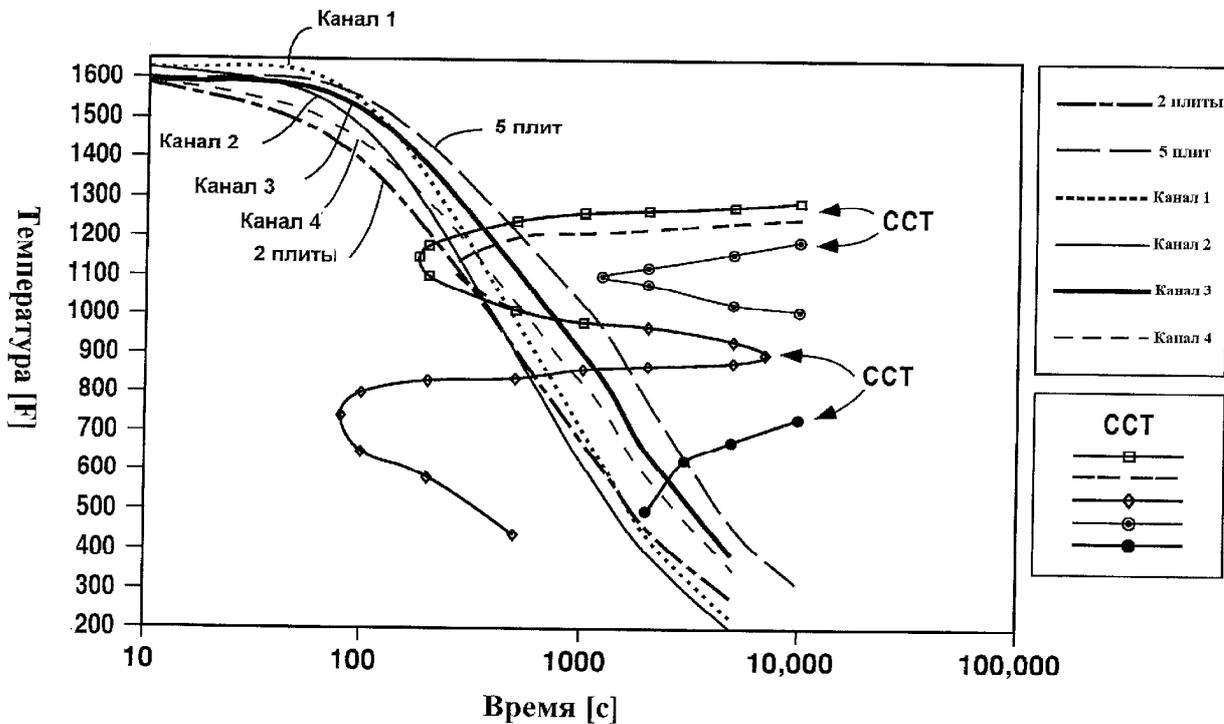
ФИГ.9



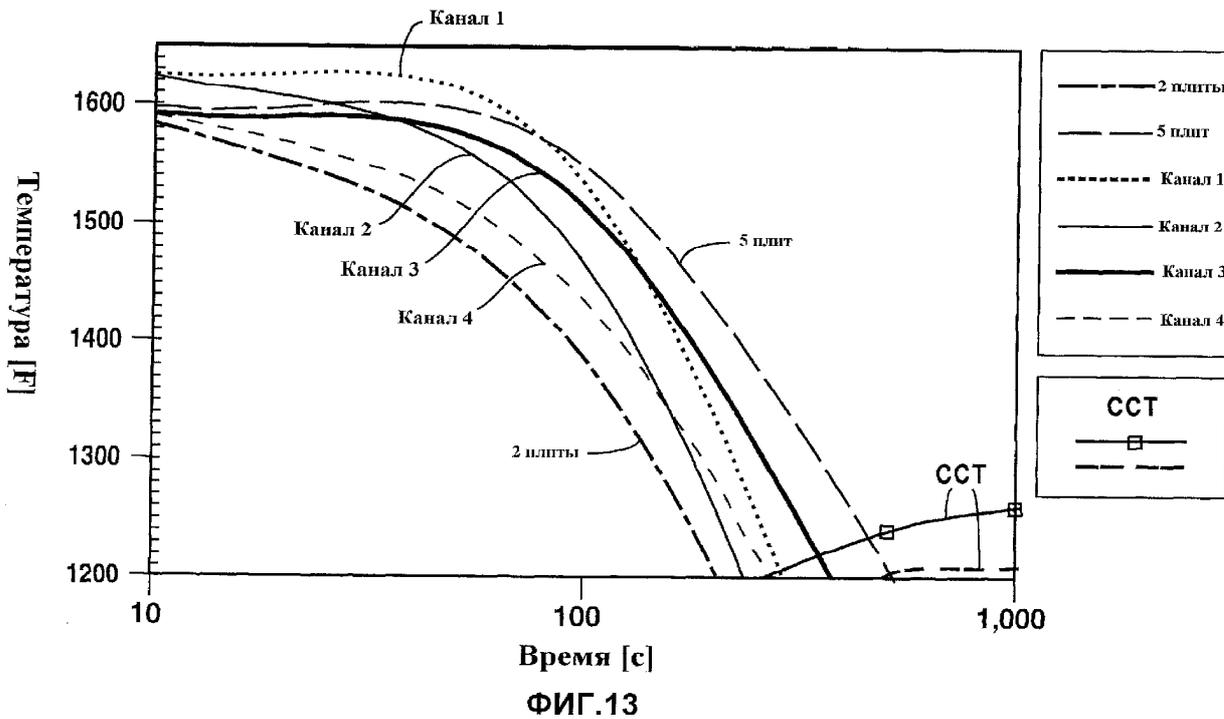
ФИГ.10



ФИГ.11



ФИГ.12



ФИГ.13

