

ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

ПОГРЕБНАЯ НАТАЛИЯ ЭМИЛЬВНА

УДК 669.15-194.2:621.785

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ  
ФЕРРИТО-ПЕРЛИТНОГО И БЕЙДИТНОГО КЛАССОВ

Специальность 05.02.01 - "Материаловедение в машиностроении"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
Кандидата технических наук

Днепропетровск - 1996



00759793 (1)

Диссертация является ~~руководителем~~

Работа выполнена в Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры ( ШГАСиА ).

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ: академик МИА, заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор технических наук, профессор  
БОЛЫШАКОВ Владимир Иванович  
кандидат технических наук, профессор  
ФЛОРОВ Валерий Константинович

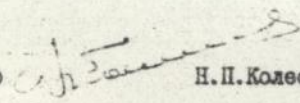
ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор технических наук, профессор  
ШАПОВАЛОВА Оксана Михайловна  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
ЛУЧКОВ Анатолий Демьянович

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ: Никопольский Джнотрубный завод

Защита состоится "16" мая 1996 г. в 13 часов на заседании специализированного ученого совета К 03.07.03 в Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры по адресу: 320600, г.Днепропетровск, ул.Чернышевского,24-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан "16" апреля 1996 г.

Ученый секретарь  
специализированного ученого  
совета, к.т.н., проф.  Н.П.Колесник

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работ. Проблема повышения прочностных и вязких характеристик металлопроката всегда являлась актуальной и решалась либо легированием сталей, либо путем их термического упрочнения (или улучшения). В Украине в условиях возрастающего дефицита энергоносителей и легирующих элементов эту задачу возможно решить применением эффективных способов деформационно-термического упрочнения (ДТУ) металлопроката рядовых и экономнолегированных сталей с использованием тепла прокатного нагрева.

Одним из наиболее эффективных способов ДТУ металлопроката является механико-термическая обработка (МТО) с регламентацией температурно-деформационных и временных параметров, которая формирует состояние мелкозернистого рекристаллизованного аустенита, что в итоге обеспечивает формирование дисперсного конечного структурного состояния стали с повышенными значениями прочности и вязкости разрушения.

Таким образом, разработка оптимизированных технологических схем МТО металлопроката рядовых низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных строительных сталей по сравнению с существующими схемами позволит снизить энергоемкость процессов деформации и термообработки, получить экономию легирующих материалов и металла за счет снижения веса конструкций, а также повысить надежность и долговечность последних.

Цель работ. Исследование и разработка температурно-временных и деформационных режимов МТО конструкционных строительных сталей ВСтЗсп и І4Х2ГМР.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

І. Разработаны деформационные и температурно-временные режимы

МТО сталей ВСтЗсп и I4X2ГМР на основе температурных зависимостей исходного и формирующегося при деформации рекристаллизованного зерна аустенита.

2. Исследовано влияние параметров последеформационных режимов охлаждения на размер зерна аустенита, твердость и свойства исследуемых сталей.

3. Разработана наименее энергоемкая технологическая схема МТО конструкционных строительных сталей ВСтЗсп и I4X2ГМР.

4. Выполнено сравнение результатов, полученных после ВТМО и МТО, с аналогичными данными после других обработок: нормализации, нормализации с отпуском (для стали I4X2ГМР), улучшения, термического упрочнения.

#### Научная новизна.

1. Оптимизированы режимы МТО с использованием полученных диаграмм изменения размера зерна аустенита от температуры, степени деформации и последеформационной выдержки.

2. Установлены и научно обоснованы температуры деформации сталей ВСтЗсп и I4X2ГМР, обеспечивающие получение мелкозернистой структуры с перераспределением углерода с границ в объем аустенитного зерна.

3. Впервые установлены температурно-деформационные и временные условия проведения МТО, обеспечивающие протекание метадинамической рекристаллизации с формированием мелкозернистого состояния аустенита сталей ВСтЗсп и I4X2ГМР с оформившимися высокоугловыми границами.

4. По разработанным режимам МТО ( $t_{\text{деф}} = 875 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\epsilon = 15-60 \%$ ,  $\tau_{\text{пл}} \sim 3 \text{ с}$ , охлаждение в масло) достигнут требуемый уровень механических свойств стали ВСтЗсп с увеличением пластичности на 60-70 %. Дано объяснение механизму этого явления.

Практическая ценность. По результатам работы опубликованы, ре-

комендованы Минобразования Украины для студентов ВУЗов и внедрены в учебный процесс два методических указания и учебное пособие.

Получены справочные данные зависимости размера зерна аустенита от температуры, степени деформации и последеформационных выдержек.

Результаты исследований по МТО стали ВСтЗсп использованы Государственным трубным институтом при разработке технологии изготовления электросварных труб большого диаметра  $\varnothing 530 \dots 820 \times 8 \dots 12$  мм класса прочности К-48 по ТУ І4-3-1857-92 в ТЭСЦ-І Харцызского трубного завода, что позволило использовать углеродистую сталь взамен низколегированной, расширив таким образом область ее применения.

На базе натурных испытаний, выполненных головными организациями-потребителями металлопродукции, определены области использования хладостойкого металлопроката повышенной прочности из стали ВСтЗсп: трубы для магистральных газопроводов с рабочим давлением до 7,4 МПа обычного и северного исполнения; строительные конструкции, в т.ч. для нефтяных и газовых месторождений в северных районах; несущие элементы эстакад мостовых кранов; кессонные оболочки.

На ДЗМК им.Бабушкина изготовлены строительные фермы с элементами усиления из упрочненного МТО металлопроката стали ВСтЗсп.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на Всесоюзных научно-технических конференциях: "Проблемы повышения технического уровня производства черных металлов и сплавов", Донецк, 1987; "Повышение качества металлопроката путем термической и термомеханической обработки", Москва, 1988; "Структура и прочность материалов в широком диапазоне температур", Каунас, 1989; VII-ой Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений, Днепропетровск, 1989; IV-ой республиканской конференции "Субструктурное упрочнение металлов", Киев, 1990; международном семинаре "Проблемы современного материаловедения", Днепро-

петровск, 1995; на научно-технических семинарах кафедр технологии металлов и металлических конструкций ИГАСиА, 1994...1996.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано два методических указания и учебное пособие, 6 статей и 6 тезисов докладов. Разработанные технические решения защищены авторским свидетельством.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 220 страницах текста, включает 58 рисунков и 17 таблиц, состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы из 136 наименований и 4 приложений на 9 страницах.

Декларация конкретного вклада диссертанта в разработку научных результатов, которые выносятся на защиту. Автором выполнены теоретические и экспериментальные исследования, которые позволили вынести на защиту следующие положения:

1. Оптимальные деформационные и температурно-временные параметры, обеспечивающие формирование мелкого рекристаллизованного зерна аустенита, что является необходимой предпосылкой для получения благоприятного комплекса свойств.
2. Обоснование возможности применения МТО (с оптимизированными параметрами) конструкционных сталей ВСтЗсп и 14Х2ГМР с получением благоприятного комплекса свойств.
3. Установленные экспериментально температурные зависимости роста зерна аустенита исследуемых сталей.
4. Корреляционные зависимости прочностных и пластических свойств, позволяющие определять значения этих характеристик по результатам измерения твердости.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и цель работы, изложены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ отечественной и зарубежной ли-

температуры, посвященной предмету исследований, на основании которого сформулированы задачи работы.

## 2. Материал и методика исследований

В качестве объекта исследований использованы комплекснолегированная высокопрочная сталь бейнитного класса I4X2MP открытой выплавки Алчевского МК, поставляемая по ТУ I4-I-2057-77, и сталь низкоуглеродистая обычного качества ВСтЗсп по ГОСТ 380-88, выплавленная в ККЦ-I МК "Азовсталь".

Эксперименты по термомеханической обработке проводили на опытно-промышленной установке, включающей прокатный стан ДУО-300 ИЧМ НАН Украины, а также на экспериментальном прокатном стане ДУО-200 ГМетаУ.

Влияние горячей пластической деформации на формирование зерна аустенита исследовали на карточках (ВТМ) и клиновидных образцах (МГО), прокатанных с обжатием от 15...60 % при температуре 1150...875 °С с регламентированным охлаждением.

Прочностные характеристики исследуемых сталей при испытании на растяжение и ударную вязкость определяли на продольных и поперечных образцах, вырезанных из термически и термомеханически упрочненных карточек. Испытания на растяжение производили по ГОСТ I497-84, а на ударный изгиб - по ГОСТ 9454-78. Для получения адекватной оценки конструктивной прочности сталей оценивалась также вязкость разрушения.

Микроструктурный анализ проведен на оптическом микроскопе "Neophot -2I". Количественные характеристики зеренной структуры аустенита определяли на автоматическом анализаторе структуры "Epiquant". Изучение тонкой структуры проводили методом "на просвет" на электронном микроскопе ЭМ-200 с ускоряющим напряжением 150 кВ. Для изучения микромеханизма разрушения исследовали изломы ударных образцов с помощью растрового микроскопа РЭМ-100U. В ра-

боте применяли методы рентгеноструктурного анализа с использованием дифрактометра ДРОН-2,0 для изучения ширины линий (110) и (220) железа в  $Fe-K_{\alpha}$  излучении.

Усталостные испытания проводили на микропульсаторе типа "Шенк" в условиях повторного растяжения  $\sigma_{min} = (0 \pm 1)$  МПа при максимальной нагрузке 2000 Н и частоте нагружения 2800 Гц.

С использованием ЭВМ IBM-386 проведена статистическая обработка результатов мехиспытаний с получением корреляционных зависимостей характеристик прочности и пластичности от значений твердости.

### 3. Сравнительный анализ различных способов упрочнения исследуемых сталей и влияния ВТМО на их тонкую структуру и свойства

Для сравнительной оценки влияния на свойства и обоснования выбора технологической схемы термической и термомеханической обработок карточки 200x400x16 мм подвергали следующим видам обработок. Сталь ВСтЗсп: закалке в воду от 950 °С в камерном устройстве конструкции ИЧМ НАН Украины; улучшение по схеме: закалка в воду от 950 °С с последующим отпуском при 550 °С, 1 ч; ВТМО - деформация при 950 °С с разовым обжатием в ~15 %, а также с отпуском при 550 °С, 1 ч.

Сталь 14Х2ГМР: нормализации от 1100 °С; нормализации от 1100 °С с отпуском при 650 °С, 1 ч; закалке от 1100 °С; закалке от 1100 °С с отпуском при 650 °С, 1 ч; ВТМО - деформация при 1100 °С с разовым обжатием в ~15 %, а также с отпуском при 650 °С, 1 ч.

По сравнению с горячекатаным состоянием закалка образцов из стали ВСтЗсп обеспечивает существенное упрочнение (табл. I). Однако, проведенный после закалки отпуск не привел к заметному росту пластических свойств.

Существенного (~2 раза) упрочнения по сравнению с закалкой достигает сталь ВСтЗсп после ВТМО (см. табл. I). Достигнутый рост

Таблица I

Механические свойства стали ВСтЗсп после различных обработок

Вид обработки	Предел прочности	Предел текучести	Относительное удлинение	Относительное сужение
	$\sigma_B$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
Горячекатаное состояние	380	230	23,0	60,0
Закалка	666	473	12,4	59,5
Закалка, отпуск при 550 °С, I ч	600	412	12,9	57,0
ВТМО	1343	1100	6,5	39,5
ВТМО, отпуск при 550 °С, I ч	547	357	14,6	62,6

прочности отрицательно сказывается на пластичности - относительное удлинение снижается до 6,5 %. Но такие изменения свойств не приводят к охрупчиванию стали, что обусловлено особенностями строения микро- и субмикроструктуры, полученными в результате ВТМО. Под воздействием ВТМО измельчается зерно аустенита, пакетный мартенсит в пределах большуголовых границ наследует дислокационную субструктуру горячедеформированного аустенита. Развитая субструктура способствует увеличению числа мест зарождения мартенситных кристаллов, препятствует их росту. Измельчение пакетов и реек, фрагментация мартенситных кристаллов приводит к повышению прочности после ВТМО значительно более высокому, чем после обычной закалки.

Недопустимо низкие значения относительного удлинения сталей ВСтЗсп и 14Х2ГМР после ВТМО предопределяют необходимость применения дополнительного отпуска. Отпуск же переводит обе стали в один класс прочности: по пределу текучести и временному сопротивлению разрыву они отличаются всего лишь на 8...10 % (табл. I и 2).

Поэтому, при условии использования тепла прокатного нагрева, ВТМО является менее энергоемкой и, следовательно, более экономичной операцией, чем улучшение. При применении же отпуска после ВТМО и

Таблица 2

Влияние различных обработок на механические свойства стали I4X2ГМР

Вид обработки	Предел прочности	Предел текучести	Относительное удлинение	Относительное сужение
	$\sigma_B$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$
Нормализация	900	640	20,0	62,0
Нормализация, отпуск при 650 °С, 1 ч	760	665	20,0	68,0
Закалка	1176	1045	10,0	46,0
Закалка, отпуск при 650 °С, 1 ч	897	812	14,6	67,7
ВТМО	1410	1200	8,2	36,3
ВТМО, отпуск при 650 °С, 1 ч	951	875	12,3	45,7

закалки возрастает энергоемкость процесса и, соответственно, себестоимость проката.

Были изучены поверхности изломов обеих сталей. Обе стали промышленного производства, поэтому присутствующие в них промежуточные соединения и неметаллические включения выполняют роль своего рода упрочняющих фаз, располагаясь в виде островков по направлению деформации.

ВТМО с отпуском изменяет характер разрушения низкоуглеродистых сталей, что проявляется в отсутствии межзеренного разрушения. При этом повышается однородность поверхности разрушения, состоящей из густой сетки мелких равноосных ямок, характерных для внутризеренного вязкого разрушения.

Исследована дислокационная структура стали I4X2ГМР при циклическом нагружении образцов. По мере увеличения числа циклов нагружения растет плотность дислокаций, которые образуют плотные скопления, а затем полигонизованную и ячеистую субструктуру.

Фрактографические исследования изломов позволили обнаружить усталостные микрополосы (бороздки), которые указывают на усталост-

ную природу разрушения образцов.

Применение ВТМО, имеющей значительные преимущества перед исследованными схемами термообработок, влечет, вместе с тем, увеличение затрат на оснащение станов закалочным оборудованием и его эксплуатацию. Проведение такой энергоемкой операции, как отпуск после ВТМО, также приводит к дополнительным затратам.

#### 4. Фазовые и структурные превращения при нагреве и охлаждении сталей ВСтЗсп и I4X2ГМР

На положение "порога" интенсивного роста зерна аустенита существенное влияние оказывает исходное структурное состояние металла в слябах перед прокаткой. Состояние заготовок из стали I4X2ГМР размером 200x300x20 мм, близкое к исходному, обеспечивали термообработкой, включающей отпуск при 900 °С, 40 мин, изотермическую выдержку при 700 °С, 30 ч, подстуживание в печи до 600 °С, охлаждение на воздухе. Заготовки из стали ВСтЗсп дополнительной обработке не подвергали. Полученная исходная структура стали ВСтЗсп состояла из феррита и перлита, I4X2ГМР - из феррита, продуктов промежуточного и мартенситного превращений.

Образцы 20x20x20 мм нагревали в аустенитную область при 850-1250 °С через 25 °С и закалывали в воде. При этом в стали I4X2ГМР сформировалась мартенситно-бейнитная структура, а в образцах из стали ВСтЗсп происходило выделение по границам бывших аустенитных зерен (после закалки) сетки избыточного неравновесного феррита. Обе стали склонны к ступенеобразному укрупнению зерна аустенита при превышении определенных критических температур вследствие протекания собирательной рекристаллизации, что сопровождается появлением значительной разноразмерности. Ступенеобразный рост зерна аустенита в стали ВСтЗсп до температур 900...950 °С обусловлен сдерживающим влиянием всего комплекса частиц промежуточных фаз, неметаллических включений и, в частности, термически нестойких сульфидов и силика-

тов. По мере повышения температуры происходит растворение последних, возрастает межчастичное расстояние, увеличивается возможность их оглобления перемещающимися границами зерна аустенита, что при сравнительно небольшом перегреве приводит к интенсивному ступенеобразному росту зерна. Дальнейшее повышение температуры и диссоциация термически нестойких сульфидов и силикатов по границам зерна аустенита обуславливает оттеснение углерода из приграничных зон вглубь объемов, вследствие чего по границам выделяется сетка избыточного феррита, что является результатом проявления эффекта "очистения" границ из-за оттеснения углерода под влиянием кремния из приграничных зон. При нагреве образцов из стали ВСтЗсп до 1050...1100 °С объемная доля избыточного феррита существенно снижается, структура становится однородной мартенсито-бейнитной.

Мелкозернистое структурное состояние аустенита стали 14Х2ГМР сохраняется до 1100 °С. Крупнозернистым аустенит становится после нагрева до 1150 °С. Такой эффект обусловлен влиянием высоких температур на скорость диссоциации частиц промежуточных фаз, задерживающих по "барьерному" механизму перемещение границ зерен при рекристаллизации.

Из полученных температурных зависимостей следует, что в интервале 900...950 °С для стали ВСтЗсп зерно аустенита укрупняется на 3 номера (ГОСТ 5639-88), а у стали 14Х2ГМР в интервале 1100...1150 °С - на 6 номеров. Таким образом, по темпу роста зерна аустенита сталь 14Х2ГМР превосходит сталь ВСтЗсп.

Для оценки влияния исходного состояния образцы из стали 14Х2ГМР подвергали термическим обработкам: закалке от 900 °С и отпуску при 650 °С, 1,5 ч; отжигу при 1100 °С, 3 ч. Такая обработка оказывает влияние на температурные зависимости величины зерна аустенита стали 14Х2ГМР при повторной перекристаллизации: сравнительно с отжигом предшествующее улучшение на ~ 50 °С смещает "порог" интенсивного роста зерна аустенита в сторону более низких температур.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить температурные зависимости величины зерна аустенита исследуемых сталей для назначения режимов МТО.

#### 5. Исследование особенностей формирования аустенитной структуры, микроструктуры и свойств исследуемых сталей после МТО

Для обоснованного назначения режимов МТО и получения представления о характере и кинетике протекания восстановительных процессов как при горячей деформации, так и в последеформационный период, были проведены следующие обработки: деформация с обжатием 15...60 % за проход при 850...1200 °С, последеформационная выдержка 3...10 с; регламентированное охлаждение со скоростью 3...200 °С/с.

МТО с обжатием 15...25 % клиновидных образцов из стали 14X2ГМР при 920 °С с охлаждением на воздухе приводит к дифференциации твердого раствора, обуславливающего выделение избыточного феррита в микрообъемах, где концентрация углерода понижена. Разнозернистость в интервале обжатий 30...45 % значительно уменьшается, что свидетельствует о прохождении рекристаллизации. Увеличение деформации до 60 % приводит к появлению разнозернистости, связанной с процессом собирательной рекристаллизации, т.к. формирующиеся при деформации неравновесные дислокационные границы аннигилируют ("рассыпаются") за счет взаимодействия дислокаций противоположных знаков.

Деформация стали 14X2ГМР до 15 % при 1150 °С, закалка в 15 % водном растворе *NaCl* приводит к значительному укрупнению диаметра зерна аустенита как по направлению - до 150 мкм, так и поперек прокатки - до 100 мкм. Такой эффект наблюдается и при температуре 1075 °С, где размер аустенитного зерна равен ~90 мкм. Дальнейшее увеличение деформации до 35 % приводит к уменьшению диаметра зерна почти в 2 раза. Коэффициент разнозернистости при  $\epsilon = 35...45\%$  достигает максимальных значений. Это объясняется происходящими в горячекатаном аустените процессами динамического разупрочнения. При

этом значение размеров зерна закаленных образцов коррелирует с размерами сформировавшегося при рекристаллизации аустенитного зерна: более крупному зерну с повышенной устойчивостью переохлажденного аустенита соответствует также и более высокие значения твердости. Получаемое при деформации  $\varepsilon = 60\%$  состояние горячего наклепа стимулирует рекристаллизацию, приводящую к измельчению зерна аустенита до 25 мкм.

В интервале деформации 35...60 % при 1075 °C наблюдается рост зерна с 90 до 120 мкм, вследствие протекания собирательной рекристаллизации. Таким образом, с ростом деформации тенденция к рекристаллизации в аустените с крупным зерном больше, чем со средним и, тем более, с мелким.

Установлено, что получение мелкого зерна аустенита в 33...50 мкм соответствует всему интервалу деформации с  $\varepsilon = 15...60\%$  при 920 °C, после закалки в 15 % водном растворе *NaCl*. При этом значения твердости свидетельствуют о незначительном упрочнении ( $\sim 23\%$ ) по сравнению с охлаждением на воздухе.

Показано, что процессы разупрочнения получают дальнейшее развитие при использовании последеформационных выдержек, обеспечивающих различную полноту протекания метадинамической рекристаллизации. Необходимо отметить, что наиболее благоприятные условия протекания рекристаллизации стали 14X2ГМР получены после деформации при 1075 °C и закалки в 15 % водном растворе *NaCl* с последеформационной выдержкой в 6 с.

В более яркой форме характер восстановительных процессов выражен у стали ВСтЗсп. После деформации с  $\varepsilon = 25...30\%$  при 875 °C и закалки в 15 % водном растворе *NaCl* степень дефектности кристаллического строения достаточна для начала первичной рекристаллизации, приводящей к резкому измельчению зерна. Использование больших степеней деформации нецелесообразно, т.к. оно не приводит к дальнейше-

му измельчению аустенитного зерна, дополнительно увеличивая энергозатраты на прокатку.

Установлено, что более полному протеканию рекристаллизации, проявляющейся в измельчении зерна аустенита до I4 номера, способствует последеформационная выдержка 10 с при 875 °С и закалка в 15 % водном растворе *NaCl*. При этом разнородность смещается к деформации до 30 %.

Для сохранения мелкозернистого состояния аустенита на протяжении межклетвевых пауз и по окончании прокатки целесообразно применение регламентированного охлаждения, что подавляет возможность протекания собирательной рекристаллизации.

В результате выполненного анализа массивов данных по уровням твердости стали ВСтЗсп получены следующие зависимости:

$$\begin{aligned} \sigma_{0,2} &= 3,44 \cdot HV - 227 \\ \sigma_B &= 2,9 \cdot HV + 32 \\ \delta_5 &= 39,6 - 0,0096 \cdot HV \end{aligned}$$

при ошибке расчета для  $\delta_5 \leq 7\%$ , для  $\sigma_B$  и  $\sigma_{0,2} \leq 3\%$ . Благоприятному уровню твердости в 215...240 HV соответствуют значения

$$\sigma_B = 650-725 \text{ МПа}, \sigma_{0,2} = 500-600 \text{ МПа при } \delta_5 = 17-20\% \text{ при значении } KCU \geq 0,7 \text{ МДж/м}^2.$$

В шестой главе приведены результаты промышленного опробования разработанной технологической схемы МТО и определены области ее использования.

## ВЫВОДЫ

1. Энергоемкие процессы отпуска после нормализации, закалки и ВТО не гарантируют в стали ВСтЗсп и I4X2ГМР требуемого уровня пластических свойств, обеспечивающих надежную работу конструкций.

2. На основании полученных температурных зависимостей размера зерна аустенита установлено, что при нагреве исследуемых сталей

проявляется немонотонный ступенеобразный рост аустенитного зерна: для стали ВСтЗсп он происходит в интервале  $t_{НI}=900$  °С,  $t_{КI}=950$  °С; для 14Х2ГМР -  $t_{НI}=1100$  °С,  $t_{КI}=1150$  °С. В этих интервалах, вследствие протекания собирательной рекристаллизации, происходит укрупнение зерна у стали ВСтЗсп на 3 номера, а у 14Х2ГМР - на 6 номеров.

3. Наиболее благоприятные свойства для стали ВСтЗсп получены после МТО с разовыми обжатиями от 15 до 60 % при температуре прокатки 875 °С с последующим регулируемым охлаждением со средней скоростью около 475 °С/с в интервале 875-400 °С. Уровень свойств, формирующихся при этом, соответствует свойствам стали после ВТМО с дополнительным отпуском.

4. С использованием математической обработки массивов данных установлено, что по уровням прочности и пластичности сталь ВСтЗсп, обработанная по разработанной технологической схеме, превосходит такую же после закалки и ВТМО с отпуском.

5. Регламентированную горячую деформацию целесообразно проводить не до "порога" интенсивного роста зерна аустенита, т.е. в мелкозернистом состоянии, когда лимитируется возможность активного протекания рекристаллизации при МТО, а после "порога" с соответствующим "очищением" границ сформировавшихся при собирательной рекристаллизации аустенитных зерен. Последнее повышает пластичность и понижает энергоемкость деформации.

6. МТО с регламентированными температурно-деформационными параметрами формирует при протекании рекристаллизации мелкозернистое состояние аустенита с величиной зерна II-12 номеров, что обуславливает получение дисперсного конечного структурного состояния стали с повышенными прочностью, пластичностью и вязкостью.

Основное содержание диссертации опубликовано:

а) в методических указаниях и учебном пособии:

1. Большаков В.И., Погребная Н.Э. Прочность и пластичность металлов: Метод.указания. - Днепропетровск: ДИСИ,1986. - 159 с.
2. Большаков В.И., Погребная Н.Э. Прочность и пластичность металлов. Атлас схем и микроструктур сталей. Метод.указания. - Днепропетровск: ДИСИ,1988. - 63 с.
3. Большаков В.И., Воробьев Г.М., Погребная Н.Э. Материаловедение, прочность и пластичность металлов: Учебное пособие. - Киев: УМК ВО, 1991. - 104 с. - На укр.яз.

б) в статьях:

4. Большаков В.И., Монгайт И.А., Погребная Н.Э., Котова Л.И. Повышенные качества и надежности строительных деталей в результате субструктурного упрочнения // *МетМ.*-1986.-№ 8.-С.42-46.
5. Большаков В.И., Лукьянскова А.Н., Погребная Н.Э. и др. Влияние смешанных структур на свойства конструкционных низколегированных сталей // *Металлургическая и горнорудная промышленность.*-1988.-№ 3.-С.28-30.
6. Большаков В.И., Рычагов В.Н., Погребная Н.Э. Влияние параметров структуры высокопрочной конструкционной стали на ее прочность и вязкость / *Межвуз. сб. научн. трудов "Структура и оптимальное упрочнение конструкционных материалов"*. - Новосибирск: НЭТИ,1988.-С.31-35.
7. Флоров В.К., Погребная Н.Э., Рычагов В.Н. Величина зерна аустенита и выбор параметров МТО / *Сб. трудов семинара "Проблемы современного материаловедения"*. -Днепропетровск: ПГАСиА,1995.-С.39-42.
8. Большаков В.И., Рычагов В.Н., Флоров В.К., Погребная Н.Э. Влияние различных режимов термического упрочнения с прокатного нагрева на изменение структуры и свойств конструкционных сталей / *Сб. трудов Межд.семинара "Проблемы современного материаловедения"*. - Днепропетровск: ПГАСиА,1995.-С.46-47.
9. Рычагов В.Н., Большаков В.И., Мешков Ю.Я., Погребная Н.Э. Повышение трещиностойкости (вязкости разрушения) строительных сталей термомеханической обработкой и ВТМО / *Сб. трудов Межд.семинара "Проблемы современного материаловедения"*. -Днепропетровск: ПГАСиА, 1995.-С.55-59.

в) в авторском свидетельстве на изобретение:

10. А.с. 1605526 СССР. Способ обработки стали. Большаков В.И., Прелецкий В.Б., Погребная Н.Э. и др. - Б.И.-1990.-№ 41.-С.240.

Л.В. Ш. В. Стефанюк  
АН України

## АНОТАЦІЯ

Погребна Н.Е. Дослідження впливу механіко-термічної обробки на структуру і властивості будівельних сталей ферито-перлітного і бейнітного класів.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - "Матеріалознавство в машинобудуванні", Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, Дніпропетровськ, 1996.

Захищаються 3 учбових посібника, 6 наукових робіт і авторське свідоцтво, які відображають результати розробки оптимізованих технологічних схем МТО металопроката звичайних низьковуглецевих і низьколегованих сталей.

Встановлені та вивчені температурно-деформаційні і тимчасові умови проведення МТО, забезпечуючі перебіг метадінамічної рекристалізації з формуванням дрібнозернистого стану аустеніту сталей ВСт3сп и 14Х2ГМР з оформленими висококутовими межами.

Досягнут потрібний комплекс властивостей сталі ВСт3сп із збільшенням на 60-70%. Дано пояснення механізму цього явища.

Ключові слова: зерно аустеніта, пластичність, міцність, деформація, рекристалізація, ферит, гартування.

## ABSTRACT

Pogrebna N.E. The Study of the Impact Exerted by Thermomechanical Treatment on the Structure and Properties of Hypopearlitic and Bainitic Building Steels.

Dissertation for a degree of a candidate of technical sciences, speciality No.05.02.01 - material studies in mechanical engineering.

Prdniprovsk State Academy of Construction and Architecture, Dniepropetrovsk, 1996.

3 manuals, 6 scientific papers and the certificate of authorship which are defended reflect the results of development of flow charts for thermomechanical treatment (TMT) in rolling common low-carbon and low-alloy steels. Thermodeformational and temporal conditions of TMT realization ensuring procedure of metadynamic recrystallization with formation of fine-grained state of ВСт3сп and 14Х2ГМР steel austenite with shaped high-angle boundaries were determined and studied. The required complex of mechanical properties of ВСт3сп steel was obtained at 60 to 70 percent increase in plasticity. The mechanism of this phenomenon was explained.

Сдано в набор 05.04.96 г. Заказ № 262. Тираж 100 экз.

ДТІ. г. Днепропетрoвск, ул. Писаркивского, І-а.

1115817

AB 34.489

# AB 34.489

Section 1. The Legislature hereby enacts the following:

Section 2. The Legislature hereby enacts the following:

Section 3. The Legislature hereby enacts the following:

Section 4. The Legislature hereby enacts the following:

Section 5. The Legislature hereby enacts the following:

## SECTION 1

Section 1. The Legislature hereby enacts the following:

Section 2. The Legislature hereby enacts the following:

Section 3. The Legislature hereby enacts the following:

Section 4. The Legislature hereby enacts the following:

Section 5. The Legislature hereby enacts the following: